

Escola Tècnica Superior d'Arquitectura
Universitat Politècnica de València
> Programa de Doctorado en Arquitectura, Edificación, Urbanística y Paisaje

Estructuras prefabricadas y modulares para ampliación vertical de edificios residenciales existentes

Tesis Doctoral

Autora

Maria Piqueras Blasco

Director

Ivan Cabrera i Fausto

València, junio 2024



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

Estructuras prefabricadas y modulares para ampliación vertical de edificios residenciales existentes



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

Als meus pares

Recuerdo unas conversaciones cuando, sin saber lo que me esperaba, decidí replantear mi futuro laboral. Puesto que, tanto profesional como personalmente, no acababa de encontrar una relación sana con el ejercicio profesional de la arquitectura. Recuerdo aquellas charlas sobre investigación y docencia con el que a día de hoy es mi director de tesis. Por ello, quiero dar las gracias a Ivan Cabrera, quien me ha acompañado durante este camino y me ha brindado de grandes consejos.

Sin duda, agradecer a mi familia, especialmente a mis padres, por animarme a avanzar y por el esfuerzo durante todos los años invertidos en mi formación. Y sin duda, por llenarme de ilusiones y enseñarme a valorar las pequeñas cosas.

No puede faltar mi agradecimiento a Paco, aquella persona que ha estado ahí no desde el primer momento, sino mucho antes. Quien durante el camino me ha aguantado y ayudado a tomar decisiones, a afrontar con valentía los retos, y a seguir el objetivo sin dejar que me saliera del camino.

A mis amigas, especialmente a María, por seguir y estar ahí, y a Roser, por quedar siempre conmigo en pequeños momentos necesarios de evasión.

A Adolfo Alonso por resolver mis preguntas acerca del programa.

A Júlia Martínez Villaronga por ayudarme con la maquetación de esta tesis, y darme los mejores consejos de estética y composición.

Finalmente, quiero agradecer a todas aquellas personas que han estado durante el viaje. Ha sido intenso, emocionante, e irrepetible.

Resumen

A lo largo de la historia, los movimientos migratorios de población siempre han sido una constante. Pero son aquellos propiciados por la Primera y Segunda Revolución Industrial y al Desarrollismo posterior a la Segunda Guerra Mundial, los que generarán grandes cambios urbanísticos en las ciudades. La migración masiva desde las zonas rurales hacia las áreas urbanas, unida a la absorción de poblaciones cercanas motivará la aparición de las primeras metrópolis. Como resultado, surgirán los primeros planes de desarrollo urbano y los primeros ensanches.

Pese a que los primeros reglamentos planteaban retículas y geometrías definidas, las posteriores modificaciones y la especulación han modificado, en ocasiones, sustancialmente la concepción original de estos barrios históricos. De igual modo, el envejecimiento de la población y la falta de recursos han contribuido al deterioro de gran parte de estos edificios residenciales. Por consiguiente, el desorden visual, la degradación de los elementos constructivos, y la falta de mantenimiento, ponen de manifiesto, con frecuencia, la necesidad de una renovación urbana del patrimonio arquitectónico. Pero el proceso de migración hacia las ciudades, lejos de detenerse, sigue en marcha. En la actualidad, es también necesario desarrollar un nuevo parque residencial para hacer frente a la creciente demanda de viviendas.

Así pues, todo este contexto ha llevado a plantear una estrategia de ampliación en las zonas de ensanche decimonónico y de la primera mitad del siglo XX. Una posibilidad es la extensión en altura de unidades residenciales que todavía no han agotado su edificabilidad.

Del mismo modo, la actual crisis climática nos hace replantear el enfoque en el diseño de estas viviendas. Es por eso, que la construcción prefabricada y modular se ha convertido en el núcleo del modelo constructivo para hacer frente a estas necesidades emergentes.

En la presente tesis doctoral, el desarrollo principal consiste en una comparación y análisis de estructuras prefabricadas y modulares que acojan estas nuevas viviendas en edificios preexistentes en la zona del Eixample de la ciudad de Valencia, que se toma como estudio de caso, teniendo en cuenta las características estructurales de esta tipología de construcción y su interacción con la nueva estructura. La investigación desarrollada ambiciona establecer una secuencia aproximativa a este nuevo fenómeno desde lo más amplio, como es la ciudad, hasta lo más concreto, como es la validación estructural de un modelo de vivienda.

Para ello, ha sido necesario realizar una matriz comparativa entre diversas estructuras modulares y ligeras, que puntúe múltiples requisitos

esenciales para la ampliación vertical. De todos ellos, se han escogido los mejores puntuados, y se han modelizado estructuralmente y comparado resultados. De este modo, los modelos finalmente comparados han sido los sistemas porticados de acero, y los sistemas panelados de madera contralaminada.

Por último, para garantizar la aplicabilidad del nuevo cuerpo y con el fin de asegurar la integridad del edificio existente, se ha realizado un estudio estructural sobre cómo interactúan ambas estructuras. A partir de un modelo numérico realizado con Elementos Finitos para la modelización del edificio existente, se ha realizado un análisis lineal para cargas gravitatorias, así como un cálculo no lineal del material. Los resultados obtenidos en estos análisis nos proporcionan información sobre el comportamiento estructural, los posibles mecanismos de colapso y la vulnerabilidad del sistema. Dando como resultado las premisas a tener en cuenta para la ampliación vertical de edificios residenciales existentes.

Resum

Al llarg de la història, els moviments migratoris de població sempre han sigut una constant. Però són aquells propiciats per la Primera i Segona Revolució Industrial i al Desenvolupisme posterior a la Segona Guerra Mundial, els que generaran grans canvis urbanístics a les ciutats. La migració massiva des de les zones rurals cap a les àrees urbanes, unida a l'absorció de poblacions pròximes motivarà l'aparició de les primeres metròpolis. Com a resultat, sorgiran els primers plans de desenvolupament urbà i els primers eixamples.

Malgrat que els primers reglaments plantejaven reticles i geometries definides, les posteriors modificacions i l'especulació han modificat, a vegades, substancialment la concepció original d'aquests barris històrics. D'igual mode, l'envelliment de la població i la falta de recursos han contribuït a la deterioració de gran part d'aquests edificis residencials. Per consegüent, el desordre visual, la degradació dels elements constructius, i la falta de manteniment, posen de manifest, amb freqüència, la necessitat d'una renovació urbana del patrimoni arquitectònic. Però el procés de migració cap a les ciutats, lluny de detindre's, continua en marxa. En l'actualitat, és també necessari desenvolupar un nou parc residencial per a fer front a la creixent demanda d'habitatges.

Així doncs, tot aquest context ha portat a plantejar una estratègia d'ampliació en les zones d'eixample huitcentista i de la primera meitat del segle XX. Una possibilitat és l'extensió en altura d'unitats residencials que encara no han esgotat la seua edificabilitat.

De la mateixa manera, l'actual crisi climàtica ens fa replantejar l'enfocament en el disseny d'aquests habitatges. És per això, que la construcció prefabricada i modular s'ha convertit en el nucli del model constructiu per a fer front a aquestes necessitats emergents.

En la present tesi doctoral, el desenvolupament principal consisteix en una comparació i anàlisi d'estructures prefabricades i modulares que acullen aquests nous habitatges en edificis preexistents en la zona de l'Eixample de la ciutat de València, que es pren com a estudi de cas, tenint en compte les característiques estructurals d'aquesta tipologia de construcció i la seua interacció amb la nova estructura. La investigació desenvolupada ambiciona establir una seqüència aproximativa a aquest nou fenomen des del més ampli, com és la ciutat, fins al més concret, com és la validació estructural d'un model d'habitatge.

Per a això, ha sigut necessari realitzar una matriu comparativa entre diverses estructures modulares i lleugeres, que puntue múltiples requisits essencials per a l'ampliació vertical. De tots ells, s'han triat els millors puntuats.

i s'han modelitzat estructuralment i comparats resultats. D'aquesta manera, els models finalment comparats han sigut els sistemes porticats d'acer, i els sistemes de panells de fusta contralaminada.

Finalment, per a garantir l'aplicabilitat del nou cos i amb la finalitat d'assegurar la integritat de l'edifici existent, s'ha realitzat un estudi estructural sobre com interactuen totes dues estructures. A partir d'un model numèric fet amb Elements Finitos per a la modelització de l'edifici existent, s'ha dut a terme una anàlisi lineal per a càrregues gravitatòries, així com un càlcul no lineal del material. Els resultats obtinguts en aquestes anàlisis ens proporcionen informació sobre el comportament estructural, els possibles mecanismes de col·lapse i la vulnerabilitat del sistema. Donant com a resultat les premisses a tindre en compte per a l'ampliació vertical d'edificis residencials existents.

Abstract

Throughout history, migratory population movements have always been a constant. But it is those brought about by the First and Second Industrial Revolutions and post-World War II developmentalism that will generate major urban changes in cities. Mass migration from rural areas to urban areas, together with the absorption of nearby populations, led to the emergence of the first metropolises. As a result, the first urban development plans and the first urban extensions will emerge.

Although the first planning regulations proposed defined grids and geometries, subsequent modifications and speculation have sometimes substantially modified the original conception of these historic neighbourhoods. Similarly, the ageing of the population and the lack of resources have contributed to the deterioration of many of these residential buildings. Consequently, the visual disorder, the degradation of the constructive elements and the lack of maintenance often highlight the need for urban renewal of the architectural heritage. But the process of migration to the cities, far from stopping, is continuing. It is now also necessary to develop new housing stock to cope with the growing demand for housing.

Thus, this context has led to a strategy of expansion in the areas of the nineteenth-century and first half of the twentieth century. One possibility is the extension in height of residential units that have not yet exhausted their buildability.

Similarly, the current climate crisis is causing us to rethink our approach to housing design. That is why prefabricated and modular construction has become the core of the building model to address these emerging needs.

In this doctoral thesis, the main development consists of a comparison and analysis of prefabricated and modular structures that house these new dwellings in pre-existing buildings in the Eixample area of the city of Valencia, which is taken as a case study, taking into account the structural characteristics of this type of construction and its interaction with the new structure. The research carried out aims to establish an approximate sequence to this new phenomenon from the broadest, such as the city, to the most concrete, such as the structural validation of a housing model.

To do this, it has been necessary to make a comparative matrix between different modular and lightweight structures, which scores multiple essential requirements for vertical extension. From all of them, the best scoring ones have been chosen, structurally modelled and the results compared. In this way, the models finally compared were the steel portal frame systems and the cross-laminated timber panel systems.

Finally, in order to guarantee the applicability of the new body and to ensure the integrity of the existing building, a structural study has been carried out on how both structures interact. Based on a numerical model made with Finite Elements for the modelling of the existing building, a linear analysis for gravity loads has been carried out, as well as a non-linear material calculation. The results obtained in these analyses provide us with information on the structural behaviour, the possible collapse mechanisms and the vulnerability of the system. This results in the premises to be taken into account for the vertical extension of existing residential buildings.

Índice

21 ► 1. Introducción

| | |
|----|--|
| 22 | 1.1. Crisis climática y emergencia habitacional |
| 27 | 1.2. Objetivos |
| 28 | 1.3. Límites de la investigación |
| 29 | 1.4. Metodología y estructura |

33 ► 2. Estado de la cuestión

| | |
|----|--|
| 34 | 2.1. Industrialización, prefabricación y modulación |
| 35 | 2.2. Una aproximación al concepto de construcción modular |
| 37 | 2.3. Breve reseña histórica. Historia y evolución |
| 37 | 2.3.1. Orígenes de la construcción prefabricada |
| 38 | 2.3.2. Precursor de las viviendas prefabricadas de madera |
| 39 | 2.3.3. Los avances en la construcción prefabricada en el siglo XIX |
| 39 | <i>Los primeros sistemas de prefabricación</i> |
| 41 | <i>Incorporación de nuevos materiales: hierro y vidrio</i> |
| 41 | 2.3.4. La construcción prefabricada en el siglo XX y su relación con el urbanismo y la vivienda social |
| 41 | <i>Propuestas de arquitectos</i> |
| 43 | <i>El urbanismo y la vivienda social</i> |
| 44 | 2.3.5. Los primeros sistemas modulares |
| 44 | <i>La relevancia de Gropius en la prefabricación</i> |
| 47 | <i>Los sistemas modulares en la arquitectura de posguerra</i> |
| 47 | 2.3.6. El continuo interés por la construcción modular. El CIAM y sus grupos |
| 49 | 2.3.7. La movilidad de la vivienda |
| 50 | 2.3.8. La evolución y sus intereses |

| | |
|---|-----------|
| 2.4. La sobreelevación y su estado actual | 53 |
| 2.4.1. Ampliaciones de edificios. Una práctica recurrente | 53 |
| 2.4.2. El recurso de la sobreelevación en edificios residenciales: la metodología | 54 |
| 2.4.3. Ejemplos de sobreelevación | 57 |
| 2.4.4. Estado de la investigación | 59 |

3. Necesidades y oportunidades en la ciudad consolidada. Valencia como estudio de caso ◀ **65**

| | |
|--|-----------|
| 3.1. Problema de falta de vivienda y de mantenimiento del parque construido | 66 |
| 3.2. Definición del ámbito de actuación: Ensanche de la ciudad de Valencia | 67 |
| 3.3. Evolución histórica y urbanística | 68 |
| 3.3.1. Tendencia migratoria hacia las ciudades | 68 |
| 3.3.2. Primeros planes urbanísticos del Ensanche | 70 |
| 3.4. La edificabilidad como recurso para la regeneración urbana | 73 |
| 3.5. Identificación de las oportunidades para ampliaciones verticales | 75 |
| 3.6. Aproximación a la metodología constructiva | 78 |

4. Los aspectos constructivos del edificio existente ◀ **81**

| | |
|---|-----------|
| 4.1. La sobreelevación como respuesta al contexto urbano | 82 |
| 4.2. Identificación de los aspectos constructivos existentes | 83 |
| 4.2.1. Tipología arquitectónica | 84 |

| | |
|----|---|
| 88 | 4.2.2. Tipología constructiva-estructural |
| 88 | <i>Cimentación</i> |
| 89 | <i>Estructura vertical</i> |
| 91 | <i>Estructura horizontal</i> |
| 92 | <i>Cubierta</i> |
| 93 | 4.2.3. Estado de conservación e identificación de los principales daños |

96 4.3. Consideraciones para el diseño de la nueva vivienda

99 ► 5. La nueva vivienda prefabricada

100 5.1. Los sistemas modulares prefabricados para cualquier uso

| | |
|-----|--|
| 100 | 5.1.1. Definición y características. Principios generales |
| 101 | <i>Ventajas y limitaciones</i> |
| 103 | <i>Objetivos de Desarrollo Sostenible</i> |
| 103 | <i>Usos y aplicaciones en la construcción</i> |
| 105 | 5.1.2. Tecnologías y materiales empleados |
| 105 | <i>Clasificación según el mecanismo de transferencia estructural</i> |
| 106 | <i>Materialidad y sistemas</i> |
| 108 | 5.1.3. Conexiones de los módulos |
| 109 | <i>Inter-modular</i> |
| 109 | <i>Intra-modular</i> |
| 109 | <i>Módulo-cimentación</i> |
| 109 | 5.1.4. Consideraciones de diseño estructural |
| 110 | <i>Factores de riesgo para la estructura</i> |
| 114 | <i>Comportamientos y mecanismos de fallo</i> |
| 116 | 5.1.5. Normativa y regulación aplicable |

117 5.2. Particularidades de los sistemas modulares para vivienda

118 5.3. Los materiales y sistemas modulares para la ampliación vertical. Consideraciones de diseño

| | |
|-----|--|
| 119 | 5.3.1. Criterios de selección del sistema modular prefabricado |
| 122 | <i>Criterios estructurales</i> |
| 128 | <i>Otros criterios</i> |
| 134 | 5.3.2. Tipos de sistemas modulares a evaluar |

| | |
|--|------------|
| 5.3.3. Estudio de los sistemas modulares seleccionados | 136 |
| 5.3.4. Evaluación de las opciones disponibles del mercado a partir de los criterios establecidos | 159 |
| 5.4. Definición métrica | 165 |
| 5.4.1. Métrica de la normativa | 165 |
| 5.4.2. Métrica de los materiales y sistemas constructivos existentes del mercado para estructuras ligeras y su compatibilidad con la normativa | 168 |
| 5.4.3. Compatibilidad de los módulos de sobreelevación construibles con las edificaciones existentes en función de los puntos anteriores | 176 |
| 5.4.4. Condicionantes métricos finales de las nuevas viviendas | 178 |

6. Definición métrica y material de un prototipo como estudio de caso ◀ **181**

| | |
|---|------------|
| 6.1. Elección del sistema modular prefabricado utilizado | 182 |
| 6.2. Justificación y presentación del modelo | 183 |
| 6.2.1. Definición y justificación arquitectónica | 185 |
| <i>Ubicación</i> | 185 |
| <i>Definición geométrica</i> | 186 |
| <i>Justificación arquitectónica</i> | 187 |
| 6.2.2. Definición material | 189 |
| 6.3. Del objeto arquitectónico al prototipo modular | 199 |
| 6.3.1. Métrica estructural | 199 |
| 6.4. Preprocesado | 203 |
| 6.4.1. Geometría | 203 |
| <i>Tipología y dimensiones</i> | 203 |
| <i>Morfología y dimensiones de las secciones</i> | 205 |
| <i>Vínculos internos</i> | 209 |

| | |
|--------------|---|
| 212 | 6.4.2. Vinculos externos |
| 212 | 6.4.3. Materiales estructurales |
| 215 | 6.4.4. Acciones: evaluación, hipótesis y combinaciones |
| 235 | 6.5. Procesado. Análisis estructural |
| 235 | 6.5.1. Tipo de análisis |
| 237 | 6.5.2. Modelo de cálculo |
| 242 | 6.5.3. Extracción de resultados |
| 259 | 6.5.4. Análisis y comparación de resultados |
| 265 | 6.6. Postprocesado. Dimensionado, comprobación y peritación |
| 265 | 6.6.1. Cumplimiento del dimensionado |
| 270 | 6.6.2. Redimensionado |
| 274 | 6.6.3. Decisiones finales sobre el prototipo a considerar |
| 277 ▶ | 7. Interacción entre el edificio existente y el nuevo volumen |
| 278 | 7.1. Relevancia del estudio de interacción |
| 278 | 7.2. Introducción al cálculo |
| 279 | 7.2.1. El comportamiento inelástico |
| 281 | 7.2.2. El modelo de daño |
| 285 | 7.3. Presentación de los casos de interacción para la sobreelevación |
| 287 | 7.4. Modelo estructural del edificio existente |
| 287 | 7.4.1. Análisis numérico. Modelo de cálculo |
| 293 | <i>Comportamiento del conjunto frente a cargas verticales</i> |
| 303 | 7.5. Aplicación del modelo para la ampliación vertical |
| 304 | 7.5.1. Opción A. Sistema porticado de acero |

| | |
|--|--------------|
| <i>Respuesta frente a cargas verticales</i> | 307 |
| <i>Comentarios finales de la opción A</i> | 314 |
| 75.2. Opción B. Sistema panelado de madera contralaminada | 315 |
| <i>Respuesta frente a cargas verticales</i> | 318 |
| <i>Comentarios finales de la opción B</i> | 324 |
| 75.3. Comparación de resultados | 325 |
| 8. Directrices de diseño para la ampliación vertical | ◀ 337 |
| 9. Conclusiones | ◀ 345 |
| 9.1. Relativas a la conveniencia de la metodología de sobreelevación y sus grandes rasgos definitorios | 346 |
| 9.2. Sobre las oportunidades para la sobreelevación en el contexto actual | 347 |
| 9.3. Sobre la aptitud de edificios susceptibles de recibir ampliación vertical | 349 |
| 9.4. Sobre la existencia de tecnología adecuada para el desarrollo de los módulos prefabricados | 350 |
| 9.5. Sobre la materialidad y el sistema estructural de los nuevos módulos | 353 |
| 9.6. Sobre la interacción entre el edificio preexistente y la nueva ampliación modular | 354 |
| 10. Futuras líneas de investigación | ◀ 358 |
| Bibliografía | 361 |
| Fuente figuras | 375 |
| Fuente tablas | 389 |
| Leyenda de siglas y abreviaturas | 397 |
| Anexo A. Fichas tipológicas | 401 |

Introducción † 01

1.1. Crisis climática y emergencia habitacional

La investigación tiene como propósito servir a la sociedad y contribuir a su bienestar. Esto implica observar de forma cuidadosa y con detalle nuestra sociedad y nuestro planeta para detectar sus necesidades urgentes. Actualmente, una de las principales preocupaciones es la crisis climática, que se ha agravado en los últimos años y marca muchas de las decisiones a las que nos enfrentamos cada día. El aumento de la temperatura global de la Tierra, causada mayoritariamente por las actividades humanas, nos hace tomar medidas urgentes y muy necesarias. De igual forma, la emergencia habitacional se muestra latente, no solo en países subdesarrollados, sino que también ocurre en sociedades avanzadas, manifestándose en las crecientes dificultades para acceder a una vivienda digna, y también en el mantenimiento de la misma.

La crisis climática ha experimentado un agravamiento notable en las últimas décadas, esto desempeña un desafío global que nos obliga a repensar nuestra forma de vida, nuestra relación con el entorno y nuestra forma de construir. En este contexto, la industria de la construcción desempeña un papel fundamental, ya que es responsable de una parte significativa de las emisiones de gases de efecto invernadero, y es uno de los sectores que más recursos consume y que más residuos genera (Krausmann et al., 2018). La adopción de prácticas constructivas más sostenibles, junto con el uso responsable de materiales y la implementación de diseños eficientes son algunas de las soluciones que la industria puede aportar (Ruuska & Häkkinen, 2014). Asimismo, la promoción de la innovación en diseño y construcción, y la inversión en tecnologías que optimizan la eficiencia en la edificación son áreas en las que esta industria puede marcar la diferencia en la solución de la emergencia habitacional (Kromoser et al., 2022).

En otro orden de cosas, a lo largo de la historia las ciudades han presentado incrementos demográficos sustantivos. Esto se ha visto reflejado en su morfología urbana y modo de crecimiento. Pero sin duda, un hecho que marcó significativamente el crecimiento de la ciudad fue la Revolución Industrial, pasando de albergar un 3% de la población mundial a un 13%. Este porcentaje ya era del 50% en 2007 y se espera que siga aumentando (Artés et al., 2018). Este hito provocó un gran cambio en muchos sectores, económico, agrícola, tecnológico, e incluso cultural, transformado una economía fundamentada en el trabajo manual en otra sustentada por el trabajo industrial (Puig, 1974). Estos cambios provocaron la gran migración de las zonas más rurales a las zonas urbanas. En esta rápida evolución, las urbes actuales han cubierto estas necesidades de distintas maneras siendo habitual la creación de un modelo de ciudad que aumenta su extensión, frecuentemente dispersa, desordenada e ineficiente. Frente a este rápido desarrollo, que provoca una explotación y un consumo del

suelo descontrolado, cabe contraponer un nuevo modelo de ciudad compacta. Este modelo, más eficiente, busca optimizar las infraestructuras y reducir el impacto ambiental, lo que a su vez implica un menor consumo de energía. Esto se traduce en ciudades potencialmente más sostenibles.

El contexto urbano actual en múltiples ciudades en todo el mundo viene caracterizado por dos circunstancias tan relevantes como negativas. Por un lado, la existencia de edificaciones antiguas en las zonas céntricas de las ciudades con necesidad de intervención, debido a la falta de mantenimiento, actualización y mejoras en general, pero especialmente en los espacios, infraestructuras e instalaciones comunes. Por otro lado, las dinámicas poblacionales hacia las áreas urbanas han generado una demanda creciente de nuevas viviendas. Es por ello, que la falta, en multitud de ocasiones, de políticas urbanas y necesidad de rehabilitación de estas viviendas, ha llevado a plantear diferentes estrategias. En consecuencia, es fundamental implementar programas de revitalización y renovación urbana que promuevan la rehabilitación de edificios antiguos, mejorando su habitabilidad y funcionalidad, así como la calidad de vida de sus habitantes. Además, es necesario desarrollar políticas de planificación urbana que fomenten un crecimiento ordenado y sostenible, garantizando el acceso a una vivienda digna y adecuada para todos los ciudadanos.

Una posible línea de actuación es la ampliación de la oferta de parque residencial en las zonas de ensanche mediante la dinámica conocida como sobreelevación, la cual propone ampliar verticalmente los edificios existentes para generar más superficie para la construcción de viviendas. La extensión en altura aprovecha la volumetría permitida por la planificación no utilizada del edificio en cuestión, es decir, la ampliación de aquellos bloques que no han agotado su edificabilidad y todavía poseen volumetría vacante. A cambio, se realizan obras de mejora y actualización de elementos comunes. Esta forma de intervenir en las ciudades genera un modelo de regeneración urbana, puesto que los propios residentes de estas edificaciones, ceden el *derecho de vuelo* a cambio de unas prestaciones en sus elementos comunes. Esta propuesta busca completar una ciudad que se considera consolidada, aprovechando la existencia de vacíos que todavía están disponibles. Por lo tanto, de manera similar a cómo se pueden identificar en planta vacíos, ocurre lo mismo en vertical, nos encontramos así, con una situación muy particular, la existencia de *solares verticales*. A esta práctica se le conoce como *sobreelevación*, término que utilizaremos a lo largo de la investigación.

Toda esta mejora, promueve una reactivación y regeneración urbana en las zonas céntricas de las ciudades, las cuales por su antigüedad necesitan frecuentemente ser rehabilitadas. Podríamos aludir a los arquitectos Lacaton y Vassal, los cuales en multitud de proyectos proponen la adaptación de la arquitectura en contra de una demolición

y de una posterior construcción de obra nueva. El planteamiento de este estudio francés se fundamenta en "Working with the existing," para revalorizar y reutilizar los elementos construidos. Además de dar respuesta a temas actuales como puede ser la flexibilidad o sostenibilidad (Anne Lacaton, Frédéric Druot, 2007).

Si bien, existen profesionales que reflexionan sobre actualizar el patrimonio de las ciudades, no hay que olvidar que este debate ya está abierto en la Agenda 2030. Si prestamos atención al Objetivo de Desarrollo Sostenible número 11: Ciudades y Comunidades Sostenibles, se prevé que en 2030 más de 5000 millones de personas vivan en las ciudades, frente a los 3500 millones actuales. A pesar de que para hacer frente a este gran número sería necesaria la expansión de suelo urbano, no hay que dejar de lado nuestra arquitectura actual. Y es que, los objetivos de este ODS-11 centran sus esfuerzos, entre otros, en asegurar viviendas dignas, servicios básicos, y reducir el impacto ambiental a todos los habitantes. Para ello, hay que hacer frente y analizar el estado actual de nuestras ciudades y cómo se pueden aprovechar los recursos ya existentes.

La práctica de ampliación vertical ofrece múltiples ventajas, como son la optimización de los recursos de la ciudad, de esta forma no es necesaria la extensión de redes de abastecimiento y transporte, o la construcción de nuevos equipamientos. Además, promueve un mantenimiento urbano adecuado, y una actualización de los estándares de confort actuales en muchos edificios que, probablemente, no reúnen estas condiciones. De la misma manera, la sobreelevación favorece la reactivación urbana en las zonas céntricas de las ciudades, ya que son las edificaciones potencialmente más apropiadas. Esto se debe principalmente a la existencia de edificabilidad vacante, y a la falta de rehabilitación en muchos de estos inmuebles. Asimismo, la necesidad de alojar a más población de manera eficiente contribuye a la construcción de viviendas en zonas tensionadas de las ciudades. Si bien, son múltiples los beneficios de esta nueva estrategia, también encontramos alguna desventaja. Si nos referimos a términos sociales, encontramos que la introducción repentina de nuevos vecinos ajenos a la convivencia del edificio puede resultar compleja en algunas ocasiones. De igual forma, la solución técnica debe responder a criterios estrictos que no penalicen estructuralmente de manera significativa al edificio existente con el objeto de evitar costosos e incómodos refuerzos. Para ello, se propone realizar la ampliación utilizando sistemas modulares ligeros. Esta elección tecnológica, aunque innovadora, a veces resulta compleja y, como resultado, se enfrenta a una cierta resistencia por parte de las partes involucradas en las primeras etapas del proceso.

Todo lo mencionado anteriormente contribuye a construir nuevas viviendas y a mejorar los edificios existentes. En este momento, nos encontramos con numerosos edificios que han alcanzado o están próximos a alcanzar el

final de su vida útil. Sin embargo, desde el punto de vista de su resistencia y durabilidad, muchas de estas edificaciones aún pueden permanecer en servicio durante más tiempo. Además, las regulaciones actuales permiten la posibilidad de agregar nuevas alturas a estas estructuras existentes.

Constructivamente, se debe resaltar el avance de las innovaciones tecnológicas en el ámbito de la edificación. Son muchas las investigaciones acerca de nuevos materiales y sistemas constructivos que ofrecen mejores resultados en múltiples aspectos, y que abogan por un menor impacto ambiental. En cambio, no se aplican en el uso diario y se continúa edificando con materiales y sistemas constructivos tradicionales (Kromoser et al., 2022). Del mismo modo, los edificios existentes presentan una particularidad concreta, y es que, a pesar de la capacidad portante que todavía poseen, no se debe olvidar que la ampliación vertical supone una carga adicional, por este motivo, es esencial minimizar esta carga en la medida de lo posible. Por tanto, la construcción de nuevas viviendas viene determinada por cuestiones tanto humanas como tecnológicas. La limitación de tiempo de los trabajos in situ, evitando molestias a los vecinos, la ligereza de la ampliación, unido a valores de eficiencia energética, nos lleva a plantear dicha ampliación mediante la construcción de nuevos módulos ligeros en las azoteas de edificios antiguos. Es por ello, que esta investigación trata de plantear la utilización de materiales con menor huella energética y sistemas de construcción prefabricada y modular.

Se crea así un marco global determinado por cuatro factores clave: económico, urbano, social y sostenible. Esta práctica de ampliación es posible ya que, si bien el factor económico ha despertado el interés de esta práctica, es el factor urbano el que hace posible intervenir en la ciudad, y que junto al factor social y sostenible hacen de esta práctica una solución atractiva y viable.

Factor económico

Los inversores han encontrado una nueva estrategia de negocio en el sector inmobiliario a partir de la edificabilidad vacante. Invierten en la creación de nuevos pisos que, al situarse en centros urbanos con todos los equipamientos e infraestructuras realizadas, se encuentran más valorados. Pero no solo deben construir las nuevas viviendas, sino que además deben pactar con los vecinos los cambios a realizar en el propio edificio preexistente.

Factor urbano

Las ciudades van albergando a más habitantes con el tiempo, y por ello, las urbes deben crecer de forma más sostenible y ordenada. Este crecimiento en altura, y no en extensión, crea un modelo de ciudad más adaptado al medio, debido al aprovechamiento de las infraestructuras ya

creadas, iguala alturas construidas, de cornisa, de fachada; y permite la desaparición de medianeras, mejorando con todo ello el paisaje urbano.

Factor técnico

Para la realización de estas nuevas viviendas, es necesario un equipo de profesionales que actúen de manera adecuada y acorde a las circunstancias del edificio a intervenir. Además de la construcción de las plantas altas, no hay que olvidar las mejoras del edificio existente, ya que al tener un grado de antigüedad será necesario actuar conforme a ello, apostando por obras de mejora y eliminar las deficiencias que puedan tener. Del mismo modo, los avances tecnológicos y el contexto de los mismos edificios propician la utilización de construcción ligera y prefabricada.

Factor social

Si bien antes hablábamos de los inversores, hay que mencionar a los propietarios del propio edificio. Económicamente, sus viviendas se verán revalorizadas debido a las obras de mejora que pactarán con los inversores, trabajos que posiblemente no podrían ser ejecutados debido a la falta de capital necesario para la rehabilitación. Además, gracias a este pacto, es muy probable que estos edificios, los cuales suelen estar obsoletos en materia de accesibilidad, se verán también recompensados y adaptados a las nuevas circunstancias. Todo este conjunto de mejoras, beneficiará a los propietarios.

Entonces, ¿cuál es la problemática? El fuerte desconocimiento de la tipología. Esto genera inseguridad entre los profesionales técnicos encargados de llevar a cabo la ampliación vertical. Además, de que la industria de proveedores carece de productos específicos para la sobreelevación. ¿Y qué podemos hacer? Estudiarlo para normalizarlo, para convertirlo en una opción igual de válida.

Por ende, para desarrollar esta propuesta se necesita entender el proceso de ejecución, y la definición de las particularidades tipológicas de los edificios. De esta forma, se podrá hacer un catálogo de soluciones métricas y constructivas que permitan: ser atractivo para los promotores, apoyar los arquitectos y profesionales técnicos, y estimular la industria.

En consecuencia, las acciones específicas estudian las particularidades de los tres entes intervinientes:

- el edificio existente
- la nueva construcción
- la interacción entre ellos

Asimismo, las acciones concretas estudian:

- los barrios para conocer sus características métricas, constructivas y estructurales
- la métrica y materialidad, y sus riesgos
- la problemática del punto de interacción, la cubierta

La presente tesis aborda un campo bastante novedoso hasta hace poco. La ampliación vertical o sobreelevación, realizado a partir de sistemas modulares prefabricados diseñados para un contexto legal y urbanístico de la ciudad de València, que se toma como estudio de caso. Y es que, el mundo se enfrenta a diferentes retos, y nosotros como arquitectos debemos tratar de mejorar la vida de las personas. La tendencia a desplazarse hacia las áreas urbanas, y la crisis climática, nos hace replantear nuevas estrategias y nuevas formas de consumir materiales y energía, a partir de la utilización de materiales con menor huella energética y sistemas de construcción prefabricada y modular. Estas cuestiones se entrelazan, y nos invitan a reformular el desarrollo de las ciudades pensando en dos cuestiones: la crisis climática y el consumo responsable.

1.2. Objetivos

La oportunidad de construir nuevas viviendas empleando la edificabilidad vacante es una oportunidad que debe estudiarse y, en su caso, fomentarse. Para hacer de esta práctica una solución atractiva para todos los agentes intervinientes, es necesario una mejor comprensión, y estudios que permita una estandarización y normalización de la tecnología para facilitar el conocimiento constructivo y estructural para la reinserción pública.

El estudio y la depuración de sistemas tipo permitirán responder adecuadamente a diferentes aspectos constructivos, medioambientales, sociales y económicos. Del mismo modo, son muchos los edificios existentes que se encuentran desactualizados en cuanto a medidas de accesibilidad se refiere, la incorporación de nuevas viviendas en las azoteas obliga a mejorar y renovar los espacios comunes. Así pues, las principales cuestiones que han tratado de resolverse son:

- ¿Ofrecen las ciudades la posibilidad de sobreelevación?
- ¿Existe tecnología en el mercado para desarrollar módulos prefabricados? En caso de existir, ¿hay posibilidad de adaptación para la construcción de viviendas?
- ¿Están los edificios existentes aptos para recibir nueva carga?
- ¿Cómo deben ser las nuevas viviendas?

Para resolver estas cuestiones, se establecen los siguientes objetivos:

Objetivos generales:

- Estudiar los sistemas modulares para la ampliación vertical de edificios residenciales

Objetivos específicos:

- Analizar el estado de la investigación actual y los vacíos que existen
- Demostrar la viabilidad urbanística en barrios históricos consolidados de la sobreelevación, tomando la zona del Eixample de València como estudio de caso
- Estudiar la capacidad estructural de los edificios existentes y sus posibilidades
- Examinar y valorar las múltiples opciones de sistemas modulares del mercado
- Identificar la tipología que mejor funciona en la ampliación vertical
- Estudiar el comportamiento estructural del prototipo
- Facilitar el conocimiento estructural de la tipología para promover su utilización
- Proporcionar recomendaciones prácticas para la utilización de los sistemas modulares en la ampliación vertical

1.3. Límites de la investigación

La investigación se realiza en la ciudad de Valencia, más concretamente en la zona de ensanche del barrio de Russafa. La tipología edificatoria se acota en el análisis de edificaciones de carácter residencial, con un énfasis particular en aquellas que han sido designadas con algún nivel de protección según las regulaciones urbanísticas.

Este estudio se centra de manera exclusiva en el ámbito de la construcción prefabricada, específicamente en el enfoque de construcción modular. Esta investigación busca proporcionar una comprensión más profunda de la aplicación y los desafíos de la construcción modular en un entorno urbano diverso y con consideraciones de patrimonio arquitectónico y normativas específicas.

Finalmente, la investigación se enmarca dentro de tres límites fundamentales que definen el alcance del estudio:

- El estudio se realiza en edificios residenciales existentes de la zona del Ensanche de Valencia
- El diseño y análisis de los nuevos volúmenes se centrará en un prototipo
- El estudio de interacción se centrará entre el edificio existente y su

ampliación

En caso de utilización de normativa, se mostrará mencionada en el apartado correspondiente.

1.4. Metodología y estructura

En primer lugar, se realiza un estudio sobre el estado de la cuestión. Se plantea como se ejecuta la ampliación vertical y qué relación tiene con la industrialización, prefabricación y modulación. A continuación, se lleva a cabo una reseña histórica para entender cuáles han sido las motivaciones de la construcción industrializada. Como último punto, se expone el estado de la investigación a día de hoy y cuales han sido las principales inquietudes investigadas.

Seguidamente, se han estudiado los barrios de la ciudad de Valencia. De esta forma, se han identificado las posibilidades de realizar sobreelevaciones. Así mismo, se ha cuantificado el número de viviendas que se podrían ejecutar y cuál sería su afectación en el distrito.

A continuación, para poder establecer un punto de partida de la situación existente se han identificado los aspectos construidos del edificio a sobreelevar, analizando como es su tipología edificatoria, arquitectónica y constructiva-estructural. Además, se ha realizado un estudio de viabilidad para poder conocer las limitaciones técnicas.

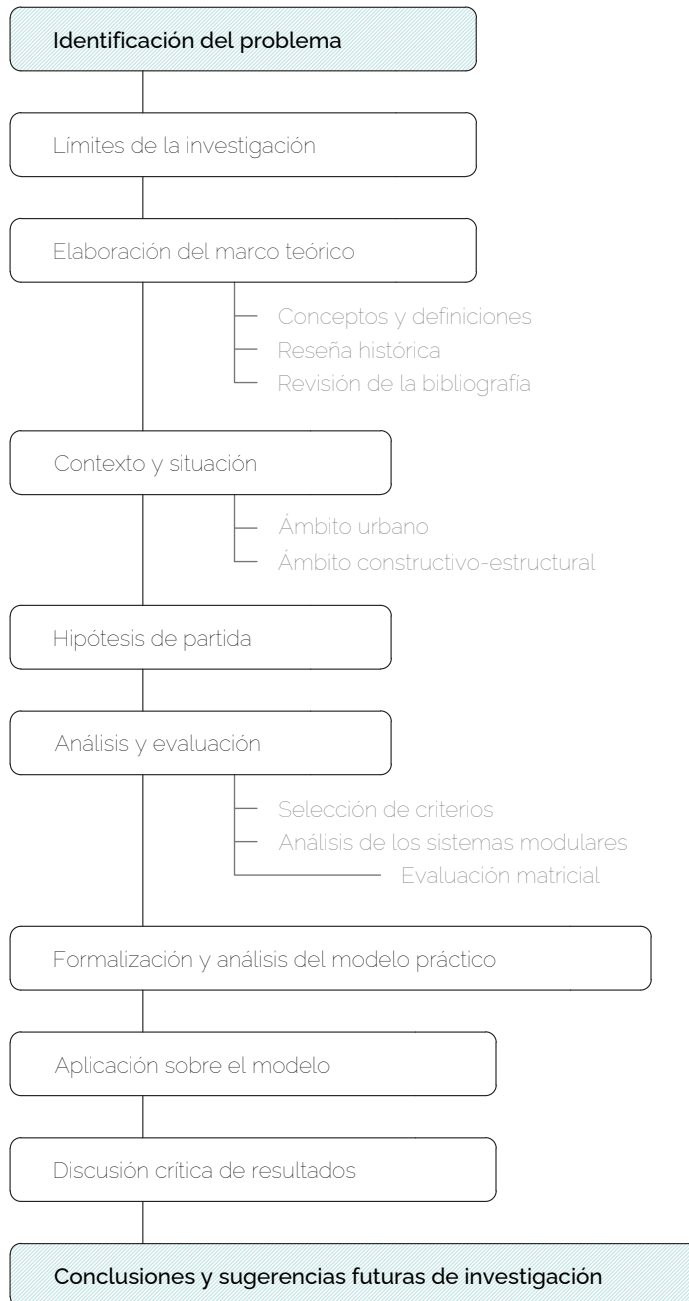
El siguiente apartado, se ha focalizado en la formulación de un prototipo como caso de estudio. Este capítulo centra sus esfuerzos en la comprensión de los sistemas modulares y sus particularidades. Seguidamente, se realiza una evaluación de los diferentes sistemas modulares y de los criterios que definen la ampliación vertical, con el propósito de seleccionar aquel o aquellos más adecuados. Por último, se han seleccionado los dos sistemas mejor valorados para llevar a cabo el análisis de su comportamiento estructural, permitiendo así una comparativa detallada entre los sistemas modulares.

Estudiadas las dos partes intervinientes, el edificio existente y las nuevas viviendas, se ha analizado la interacción de ambas. Para finalmente, realizar una guía de buenas prácticas y recomendaciones en la ampliación vertical o sobreelevación.

En el último apartado, se han presentado las principales conclusiones (Fig. 1).

La sobreelevación contempla la ampliación vertical del edificio

Figura 1. Esquema de la metodología de investigación



Estado de la cuestión **02**

existente a partir de la utilización de una estructura ligera, prefabricada y modular. Para poder comprender y establecer un punto de partida, es necesario conocer el concepto de estructura prefabricada y tener un conocimiento más amplio sobre este tipo de construcción. Por ello, en primer lugar, se ha realizado una aproximación al concepto de estructura ligera modular. A continuación, se ha elaborado una breve cronología sobre los precedentes de la arquitectura prefabricada y como ha llegado hasta el día de hoy. Seguidamente veremos cómo se encuentra el fenómeno de sobreelevación, para finalmente recopilar una bibliografía específica y conocer el estado de la investigación.

2.1. Industrialización, prefabricación y modulación

Para poder comprender la tipología edificatoria y la metodología constructiva de la ampliación vertical o sobreelevación, es necesario entender los conceptos de industrialización, prefabricación y modulación. Todos estos términos que con frecuencia se utilizan en la construcción, aunque tengan relación, tienen ligeras diferencias. Seguidamente se detallan estos tres conceptos:

- Industrialización: La industrialización en la construcción implica la utilización de procesos industriales para la producción en masa de elementos constructivos que se pueden utilizar en diferentes tipos de construcciones. Mayoritariamente las técnicas de industrialización tratan de producir componentes tales como, bloques de hormigón prefabricado, elementos de acero estructural o incluso paneles de yeso. Este concepto trata de mejorar la eficiencia durante la construcción, reducir los costes y mejorar la calidad de los componentes.
- Prefabricación: La prefabricación implica la construcción de elementos en una fábrica, para luego transportarlos al lugar final de construcción. La prefabricación permite una mayor precisión en la construcción, reduce el tiempo de construcción en el lugar y mejora la calidad del producto final.
- Modulación: La modulación se refiere a la utilización de módulos o unidades prefabricadas que se pueden ensamblar en diferentes disposiciones, formas y tamaños. Los módulos pueden ser utilizados para crear diferentes tipologías edificatorias, como viviendas, oficinas, centros sanitarios, etc. La modulación permite una mayor flexibilidad en el diseño y la construcción, así como una mayor eficiencia en la construcción.

Debido a lo cual, hay que ser precisos con la terminología y tener en cuenta que industrialización, prefabricación, y construcción modular ligera no son lo mismo. A pesar de que son compatibles entre sí, no siempre van de la mano.

Los sistemas modulares están incluidos dentro de la arquitectura prefabricada. Este tipo de industria se basa en la construcción de elementos y componentes fuera del sitio final de emplazamiento, para luego ensamblarse en el lugar final de construcción. La principal diferencia entre ambos es que la arquitectura prefabricada se refiere a la construcción de elementos individuales prefabricados que pueden ensamblarse en el lugar final de obra o en taller. En cambio, los sistemas modulares son unidades volumétricas ensambladas en su totalidad en fábrica y por si solas ya forman un espacio que luego será trasladado al emplazamiento final. De igual forma, junto con más unidades volumétricas pueden formar un edificio completo. Los sistemas modulares son una forma de arquitectura prefabricada, pero no todos los sistemas prefabricados son modulares.

Por tanto, cuando se habla de sistemas modulares para la ampliación vertical de edificios residenciales, hay que tener en cuenta que las nuevas viviendas se ejecutan a partir de unidades volumétricas realizadas en taller que luego se trasladan al lugar final.

2.2. Una aproximación al concepto de construcción modular

La construcción prefabricada es un proceso de construcción basado en la estandarización de las piezas, y que, además, se realiza fuera del emplazamiento final. Se conoce también como construcción *off-site* (Lacey et al, 2018). De esta forma, este tipo de construcción requiere de la manufacturación de los elementos en fábrica. Donde, una vez construidos los sistemas, son posteriormente transportados y ensamblados en el sitio final de instalación (Díaz Piloñeta et al., 2018). Debemos puntualizar que en arquitectura se utiliza el concepto de industrialización como alternativa a la construcción convencional, a pesar de que son muchos los elementos que tienen un desarrollo prefabricado o industrializado (Juan Carlos Sánchez González, 2016).

Entendido el primer punto, cabe mencionar que la construcción ligera modular encaja dentro de la construcción prefabricada, con la peculiaridad de que la gran parte de su montaje y fabricación se realiza en taller, dejando muy poco margen para la terminación in situ. La singularidad de la construcción modular reside en la partición por módulos del conjunto del elemento a construir para su posterior transporte y montaje. Otro punto característico es la ligereza. Debido a las condiciones de entorno y a la propia manejabilidad de los módulos, es necesario hacer una optimización máxima de la estructura. Por este motivo, esta tesis se centrará en la investigación en torno a los módulos ligeros prefabricados.

Las ventajas de los sistemas prefabricados son múltiples (Smith, 2010). Este tipo de construcción se produce en talleres controlados, esto supone un seguimiento más exhaustivo durante todo el proceso de fabricación y ensamblaje. Por este mismo motivo, se consiguen unos mayores estándares de calidad, con un mayor nivel de producción y una minimización de los residuos, lo cual favorece al aprovechamiento del material y a una producción más sostenible. Del mismo modo, se produce una reducción en los plazos de ejecución, y, por tanto, también de los costes, y de las molestias de la propia obra. Asimismo, este tipo de construcción favorece una mayor ligereza que la construcción tradicional, y una merma de las emisiones de CO₂ debido a la disminución de movimientos del transporte a la obra (Díaz Piloñeta et al., 2018). A pesar de que las ventajas de la construcción modular superen las desventajas, hay que tener en cuenta que el gran inconveniente se encuentra en el transporte. Tanto en encontrar un medio de transporte capaz de transportar el elemento, como que éste pueda circular por dentro de la ciudad y llegar al destino final. Todo ello hace que las luces estructurales de los módulos estén sujetas también a límites dimensionales ciertamente modestos (Lacey et al., 2018). Por tanto, las principales ventajas de la construcción *off-site* son:

- Reducción en los plazos de ejecución
- Mayor control y calidad sobre el producto final
- Mejor gestión de los recursos económicos
- Optimización en la gestión de residuos
- Reducción de las molestias en el lugar final de emplazamiento

Todas estas ventajas se han agrupado y sintetizado, y según los autores de "Present and future of modular construction" se destacan las siguientes:

I. Rapidez: Las viviendas modulares se ejecutan con mayor rapidez que las convencionales debido a una mejor planificación, lo cual provoca menos retrasos durante la ejecución, bien sea por imprevisto o incluso por cuestiones meteorológicas.

II. Sostenibilidad: De forma intrínseca la buena gestión de recursos y la reducción de residuos favorecen medioambientalmente. Además, la ejecución en taller favorece al reciclaje de los materiales sobrantes, y reduce la huella de carbono considerablemente, ya que se evitan desplazamientos a la obra.

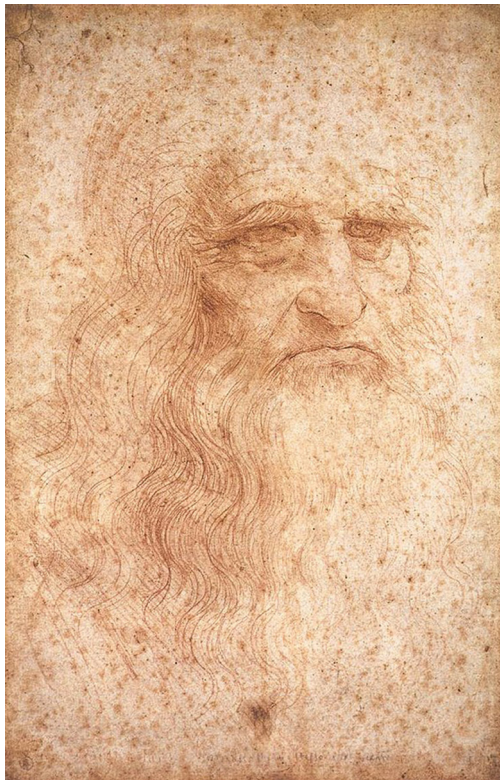
III. Seguridad: El ensamblaje y producción en fábrica conlleva la realización de los trabajos más controlados, lo que favorece a unas condiciones de seguridad laboral mejores.

IV. Rentabilidad: El conjunto de todas las ventajas anteriores se traduce en rentabilidad, puesto que la optimización de los recursos económicos, humanos, y de tiempo lleva consigo una optimización en la gestión monetaria.

2.3. Breve reseña histórica. Historia y evolución

2.3.1. Orígenes de la construcción prefabricada

Las primeras referencias sobre la prefabricación se pueden encontrar en el siglo XVI, de la mano de Leonardo da Vinci (1452-1519) (Fig. 2). Fue en el año 1516 cuando el Rey de Francia, Francisco I, le encarga al polímata el diseño de nuevas ciudades en la antigua región de Loire, Francia. Para poder desarrollar las nuevas viviendas, y todo el conjunto urbanístico, Da Vinci planteó la colocación de un centro de producción en la zona origen de cada nueva ciudad. De esta forma, pretendía la fabricación de los diferentes elementos y su posterior transporte, estableciendo así un radio de acción para la construcción de los edificios. Cada uno de estos componentes y de los edificios fueron pensados por él mismo para dar cabida a las construcciones de una forma flexible y homogeneizada. Asimismo, cada uno de los edificios, independientemente de la tipología y el uso, se planteó utilizando el menor número de elementos constructivos (Aguiló Alonso et al., 1974).



◀ Figura 2.
Leonardo Da Vinci

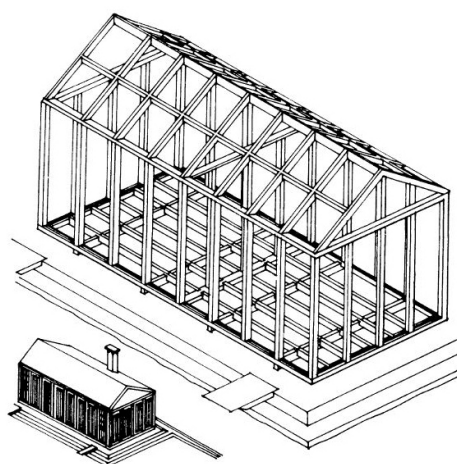
Durante este mismo periodo, sucedieron las guerras entre Inglaterra y Francia (Lantigua De La Cruz, 2015). La guerra desencadenó una ingeniosa construcción de pabellones prefabricados realizados a partir de madera para poder refugiar a los combatientes. La práctica consistía en el montaje y desmontaje, por parte de los propios soldados, y posterior transporte por barco a medida que avanzaban. Esto propiciaba un alojamiento sólido, al mismo tiempo que rapidez en el desplazamiento y montaje (Pérez, 2008).

2.3.2. Precursor de las viviendas prefabricadas de madera

Se destaca a principios del siglo XIX la construcción de las *Portable Colonial Cottage* (Fig. 3), construidas a partir de madera y desarrolladas por el carpintero Herbert Manning en 1833, un hito destacable para la prefabricación de la arquitectura. Lo más pionero de estas viviendas fue la descomposición y montaje por piezas numeradas, clasificadas y fabricadas en taller, donde posteriormente se desmontaban para ser transportadas por barco hasta su destino. Una vez llegadas a su emplazamiento, se ensamblaban de forma sencilla a fin de formalizar la vivienda. Así mismo, todos los elementos que componían el alojamiento, estaban estandarizados y adaptados a las dimensiones que ofrecía en ese momento la materia prima.

Las primeras viviendas fueron popularizadas por los emigrantes que partieron hacia las colonias inglesas, principalmente de Australia y Sudáfrica. Fueron unos años después cuando Manning diseñó varias propuestas con diferencias en el tamaño y en el precio, fue en este momento, cuando las viviendas empezaron a ser un producto comercial al alcance de más gente (Bergdoll y Christensen 2008).

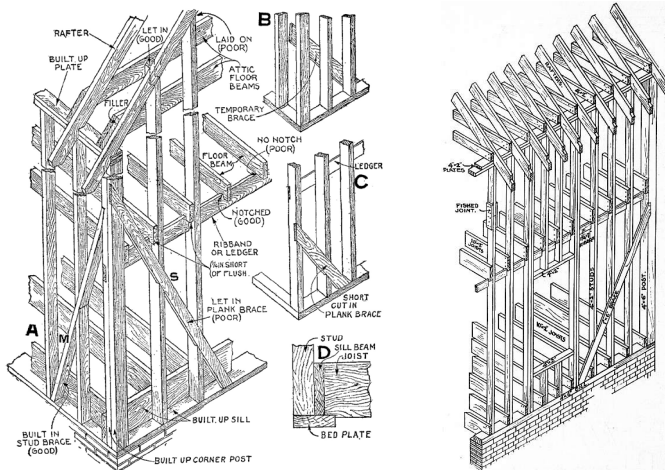
Figura 3. Ilustración de una Portable Colonial Cottage



2.3.3. Los avances en la construcción prefabricada en el siglo XIX

Los primeros sistemas de prefabricación

Sin duda, el gran acontecimiento que marco un hito en la construcción industrializada se relaciona con la aparición del sistema conocido como *Balloon Frame* (Fig. 4). El innovador sistema nace en Chicago, y a menudo se le atribuye a George W. Snow alrededor de 1832, aunque no existen documentos que lo confirmen de manera definitiva. De echo, se ha asociado también este logro a Augustine Taylor (Serra Soriano, Díaz Segura, & Meri de la Maza, 2016).



◀ Figura 4. Sistema Balloon Frame

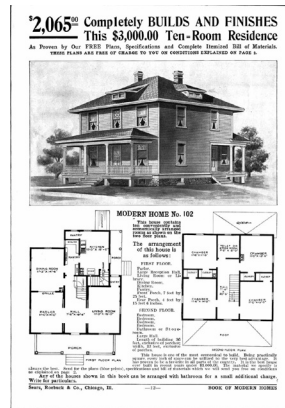
El sistema se basa en la construcción de una estructura compuesta por listones finos de madera, que al unirse con clavos industrializados forman un bastidor. Constructivamente, este sistema partía de listones de madera aserrada que se unían entre ellos en ángulo recto mediante clavos para formalizar los bastidores o cestas estructurales (Basket Frame según el libro que escribieron G. E. Woodward y F. W. Woodward en 1865) (Fig. 5). Sobre la cimentación apoyaban los durmientes, que se reducían a la mitad en las esquinas. Otro punto destacable es la ligereza, puesto que para optimizar el material y su resistencia el corte de los listones se realiza con la óptima orientación de las fibras (Serra Soriano et al., 2016). Estos, se cortaban en taller y se ajustaban en el emplazamiento en distintas disposiciones según las necesidades del programa, llegando incluso hasta tres plantas (Ovando Vacarezza, 2015). El atractivo de este sistema procede de la utilización de materiales provenientes del lugar, junto con su rapidez de montaje, ligereza y accesibilidad económica (Sarmirnto Ocampo, 2013).



Figura 5. ▲
Montaje Balloon
Frame, EEUU

Este sistema hizo que la empresa estadounidense Sears, Roebuck & Company, comercializase gran cantidad de viviendas con diferentes formas, precios y tamaños a partir de catálogos vía correo (Fig. 6). Además, esta empresa fue de las primeras en la utilización para las particiones interiores, el cartón-yeso y la calefacción central (F. J. Terrados Cepeda, 2012).

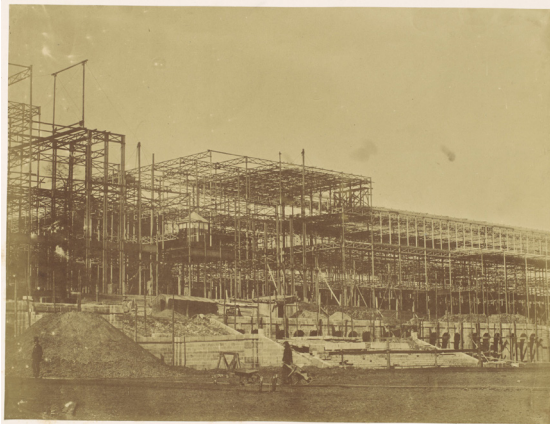
Figura 6. ►
Portada de
Sears, Roebuck &
Company y ejemplo
del catálogo, "The
Hamilton", modelo
núms. 102 y 158



Incorporación de nuevos materiales: hierro y vidrio

Hasta ahora, el principal material que se utilizaba era la madera, pero fue a partir de finales del siglo XVIII y principios del XIX cuando se empezó a introducir el hierro como elemento estructural. Aunque se utilizaba sobretudo en construcciones de ingeniería como puentes o ferrocarriles, el auge de la Revolución Industrial propició la fabricación de hierro, que junto con el progreso de los métodos de industrialización y producción, hizo que se extendiese el uso del hierro en los edificios (Strike, 2004).

Sin duda, las exposiciones sirvieron para profundizar e investigar acerca de los nuevos materiales. Un ejemplo de ello, lo encontramos en la Exposición Universal de 1851 celebrada en Londres. En ella, se construyó el Crystal Palace de Joseph Paxton realizado a partir de hierro fundido y vidrio (Fig. 7). Se reconoce como ejemplo de construcción industrializada debido a la prefabricación eficiente y a la producción en serie de todos sus elementos, unido al rápido montaje y desmontaje para instalarlo en otros puntos (Ovando Vacarezza, 2015).



2.3.4. La construcción prefabricada en el siglo XX y su relación con el urbanismo y la vivienda social

Propuestas de arquitectos

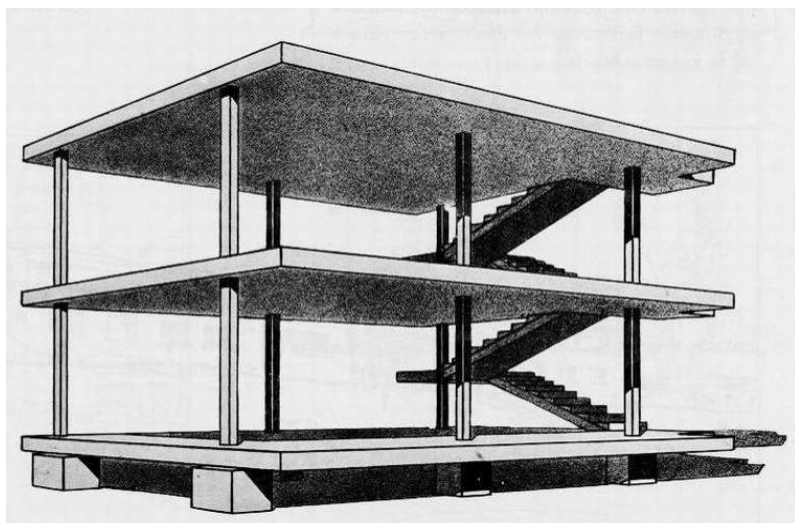
Fue entre 1911 y 1917, cuando Frank Lloyd Wright se asoció con la empresa constructora Richards Company para realizar el diseño de las llamadas *American System-Built Houses* (Juan Carlos Sánchez González, 2016). Para el arquitecto la intención de la arquitectura era mejorar la

▲ Figura 7.
Progreso del
Crystal Palace en
Sydenham

calidad de los individuos, y trataba de proyectar diseños para todo tipo de personas. Estas viviendas se centraban en la idea de estandarización y prefabricación. Es decir, que cada uno de los elementos que componían la vivienda, como vigas, cubierta, ventanas, incluso puertas, se realizaban en taller. La gran diferencia de este diseño, en comparación con otros, consistía en el valor de identidad individual. Wright desarrolló estos apartamentos con la intención de dotar a cada modelo de un diseño personalizado, más que con la intención de crear *tipos de repetición*. Se trataba de producir los mismos elementos fabricados en taller, pero encajarlos de formas distintas. Con este propósito, la intención era reducir los tiempos de fabricación y montaje, al mismo tiempo que disminuir costes, tanto de material, como de mano de obra. Pero, dotar al cliente de una individualidad del hogar (Juan Carlos Sánchez González, 2016). Los elementos se fabricaban en taller, y posteriormente se trasladaban al emplazamiento donde se encajaban y formalizaba la vivienda.

Con la idea de individualización y adaptación de las viviendas, Le Corbusier también ideó un modelo de viviendas llamado Dom-ino en 1914 (Fig. 8). Se trata de una estructura modular realizada de hormigón a modo de esqueleto, en la que los elementos verticales se liberan. De tal forma que, se independizan los cerramientos de la estructura, permitiendo conjugar distintas viviendas según las necesidades (Gardinetti, 2014). El concepto del sistema y la distinción entre los elementos estructurales y los no estructurales, marcaron unas pautas para la posterior arquitectura prefabricada y modular.

Figura 8. ▶
Sistema Dom-ino,
Le Corbusier.



Otro arquitecto que también estudio sobre la arquitectura prefabricada y sus beneficios fue Richard Buckminster Fuller en el 1927-29 con las *Dymaxion Houses*. Estas viviendas experimentales y su modelo teórico parte de la concepción de tres palabras que dan nombre a la propia vivienda "dinámica" (DY), "máximo" (MAX), y "tensión" (ION) (Juan Carlos Sánchez González, 2016). El arquitecto trató de generar un modelo económico y eficiente que pudiese ser producido en masa y transportado fácilmente. Lo representativo del modelo era su planta hexagonal basado en una estructura central de acero inoxidable de la cual se sostenía el resto del edificio, cubierta, suelo y paredes, a partir de cables radiales (Bergdoll & Christensen, 2008). Además de la funcionalidad del espacio, Fuller trató de darle un enfoque eficiente energéticamente. Para ello, el usuario podía regular la temperatura interior mediante los flujos de aire, abriendo o cerrando la parte superior de la casa. Las *Dymaxion Houses* se quedaron en prototipo, pero su diseño novedoso y su idea de vivienda prefabricada y modular representan una visión innovadora.

El urbanismo y la vivienda social

En los primeros años del siglo XX, surgieron movimientos que reivindicaban viviendas dignas y asequibles para todas las clases. Esto propició que grandes arquitectos estudiaran las oportunidades de la arquitectura prefabricada y modular. Sobre todo, en aquello que concierne a la accesibilidad económica. Por ello, la eficiencia constructiva y la estandarización que otorgaba la industrialización contribuyó al pensamiento de nuevas formas y técnicas constructivas (Banham, 2002). Junto con esto, el rápido crecimiento de las ciudades y la necesidad de viviendas para los trabajadores, ayudó a la utilización de técnicas de construcción industrializada.

Este aliciente propició enfocar la nueva arquitectura de las áreas urbanas y la vivienda social desde un enfoque de seriación y repetición modular. Estos conceptos se alineaban con los principios fundamentales del Movimiento Moderno, que abogaban por la funcionalidad, la racionalidad y la eliminación de ornamentos innecesarios en el diseño arquitectónico.

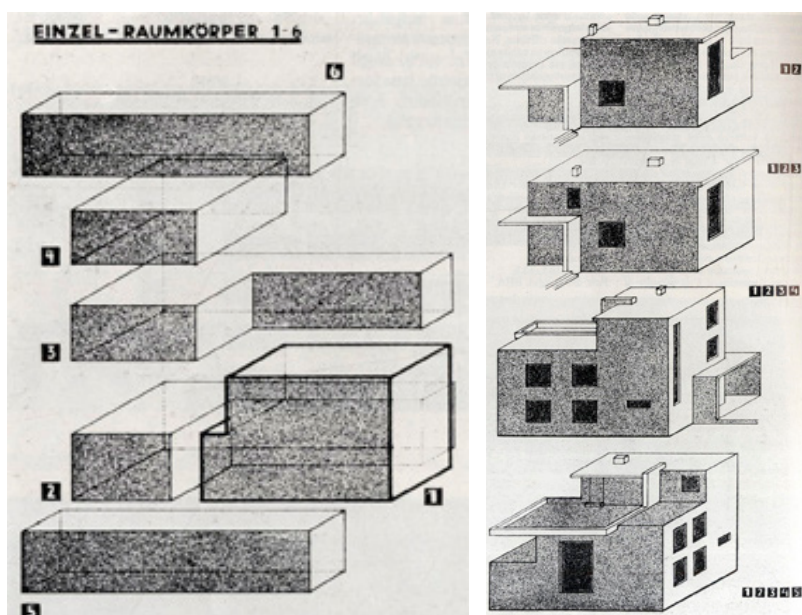
La aplicación de la seriación y repetición modular fue particularmente relevante en el contexto de la vivienda social. Dado que la demanda de viviendas era alta, la estandarización y repetición de elementos permitían a los arquitectos y urbanistas responder rápidamente a esta necesidad sin comprometer la calidad ni la coherencia arquitectónica. Los conjuntos habitacionales modulares, como por ejemplo la *Unité d'Habitation* de Le Corbusier, ilustran cómo la combinación de unidades habitacionales iguales o similares podía generar una comunidad organizada y funcional.

2.3.5. Los primeros sistemas modulares

La relevancia de Gropius en la prefabricación

Entrados ya en la segunda década del siglo XX, se debe destacar a Walter Gropius, fundador de la Escuela Bauhaus, como pionero del concepto de lo que hoy conocemos como las *viviendas prefabricadas*. El arquitecto revolucionó la arquitectura moderna, tanto a nivel educativo como teórico, marcando un antes y un después. Gropius junto a Adolf Meyer, presentaron lo que se conoce como *Baukasten im Großen* o Módulo de gran tamaño en 1923 (Fig. 9). Se trata de un diseño que engloba seis módulos distintos, y que según como se combinen ofrece diferentes opciones de programa, haciendo de este proyecto una amplia variedad según las necesidades (Gropius, 1966). Esta fue una de las primeras aportaciones al conocimiento teórico de la construcción industrializada y modular. De hecho, Gropius ya mostró interés por la industria y producción en masa desde sus inicios como ayudante mostrándose latente en sus posteriores diseños (Serra Soriano et al., 2016).

Figura 9. Baukasten im großen. Walter Gropius, 1923.



En 1927, para la Exposición de la Vivienda de Stuttgart, que duró aproximadamente tres meses, Gropius diseñó dos viviendas prefabricadas. Los modelos ofrecieron un sistema de montaje industrial y prefabricado.

evidenciando su alto nivel de diseño proyectual y de montaje. La intención de estas viviendas era ofrecer una respuesta al contexto económico de la mayoría de las personas de la época. Es decir, viviendas económicas, con montaje rápido, y con diseño adaptable y flexible.

El siguiente ejemplo lo encontramos en la *Steel House* o *Casa del Acero* de 1927 (Fig. 10). Proyecto construido en el municipio de Dessau, y diseñado por Georg Muche y Richard Paulick, pertenecientes a la Escuela Bauhaus. Llamada como Casa del Acero debido a su estructura, y al cerramiento que lo envolvía, realizado a partir de planchas exteriores de acero de 3mm de espesor con aislamiento térmico, cámara de aire y placas de mortero. El proyecto trataba de adaptarse, reduciéndose o ampliándose, a partir de paneles estrictamente modulados. Se trataba de una vivienda de 80 m² formada por dos cuerpos y apoyada sobre una cimentación de hormigón. Aunque, aquello que dotó de valor al proyecto fue su diseño adaptable mediante paneles y el uso en seco del acero (Strike, 2004). El gran inconveniente que tuvo la vivienda fue su mal confort térmico, dado que en los meses de invierno era fría, y por el contra, en verano calurosa (Sánchez González, 2016). Asimismo, el empleo de la estructura de acero se consideraba pesada, y esto hizo que Gropius se replanteara la elección de otros materiales en los próximos proyectos.

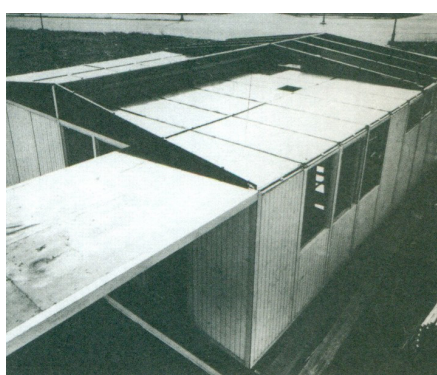
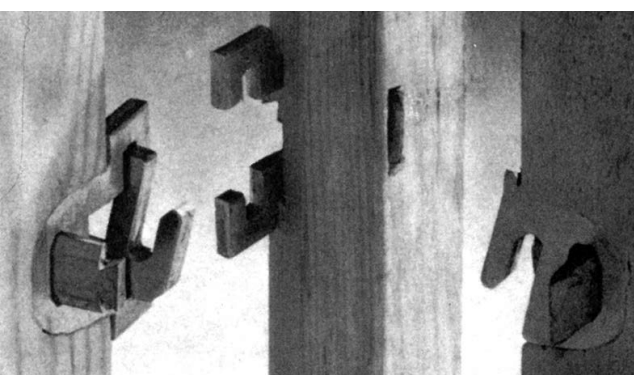
Figura 10.
La casa de Acero
de Georg Muche y
Richard Paulick en
1926-27



La muestra de ello la tenemos en las *Copper Houses* o *Casa de chapa de Cobre* de 1931. Unas viviendas con cinco habitaciones fabricadas en taller y ensambladas en seco en el emplazamiento. Se componía de cerramientos de amianto-cemento por el exterior, más una chapa de cobre acanalada. Por dentro, estaba recubierto por placas de amianto-cemento, y la estructura era de madera. Todo el sistema llevaba las carpinterías incorporadas en taller, e in situ únicamente se trataba de atornillar cada uno de los paneles (Strike, 2004).

La Segunda Guerra Mundial propició una fuerte demanda de vivienda. Es por ello que, en 1942, Gropius y Konrad Wachsmann presentaron las *Packaged House* (Fig. 11). Sin duda, lo más distintivo de este proyecto resultaba de su modulación, rapidez de montaje, y sobre todo de su sistema de conexión. El proyecto trataba de unir paneles portantes rectangulares, posicionados de forma vertical y horizontal dependiendo del diseño de la vivienda en cuestión, que servían tanto, para paredes, suelos y techos. Se diseñaron diferentes paneles, opacos, con huecos para ventanas y puertas, incluso también paneles de diferentes tamaños. De tal forma que, dependiendo de cómo se uniesen y de las necesidades de la vivienda, se iban adaptando de una forma u otra. Su sistema de ensamblaje permitía una gran variedad de conexiones entre los distintos paneles. Se trataba de un conector que llegar a encajar los paneles tanto en forma de "L", en "T" o en cruz, y en vertical o en horizontal. Todo esto, permitía al sistema una gran flexibilidad, y la opción de ampliación de las viviendas. A pesar del gran éxito que esperaban del sistema de viviendas, no ocurrió lo esperado, y por tanto, las *Packaged Houses* se quedaron más bien, como un pensamiento para las posteriores tipologías de viviendas prefabricadas debido a su importante aportación en el sistema de anclaje (Herbert, 1981).

Figura 11.
Packaged House,
diseñada por Walter
Gropius y Konrad
Wachsmann ▼



Los sistemas modulares en la arquitectura de posguerra

Después de 1945, durante la posguerra, se produjo una necesidad de nuevas viviendas. Esta demanda encontró respuesta en los sistemas modulares, produciendo viviendas rápidas y económicas. La rapidez en el montaje, reducción de costes y facilidad constructiva y de transporte fueron las principales ventajas (Ovando Vacarezza, 2015). Un ejemplo de viviendas ofrecidas en Estados Unidos vino por parte de Tennessee Valley Authority (TVA) (Fig. 12). Se trata de residencias a modo de tráiler pensadas como viviendas de emergencia, aunque posteriormente las familias que buscaban alojamientos económicos empezaron a utilizarlas también (Kelly, 1951).

Figura 12.
Tennessee Valley
Authority (TVA)



2.3.6. El continuo interés por la construcción modular. El CIAM y sus grupos

El *Congrès International d'Architecture Moderne* o CIAM se crea en 1928 con la intención de debatir sobre la transformación de la ciudad y la mejora de su sociedad en los modos de habitar. Uno de los conceptos más debatidos durante estos eventos fue cómo transformar la construcción de viviendas haciéndola más industrial y productiva (Fig. 13). En 1947, después de la Segunda Guerra Mundial, se plantearon la necesidad de proponer soluciones para la planificación urbanística de distintas ciudades y su construcción en masa. Debido a diferentes opiniones, finalmente el

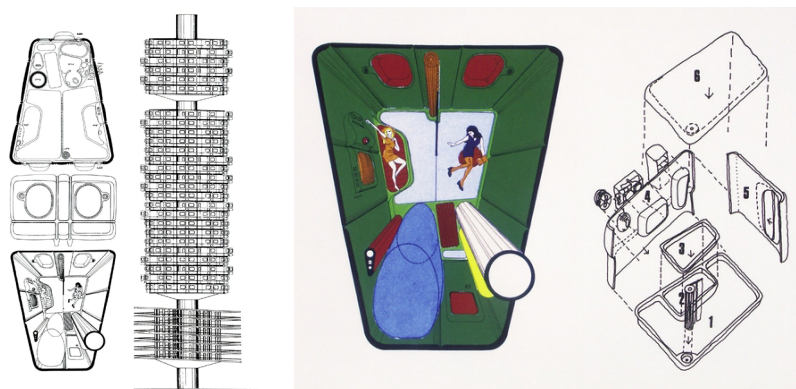
CIAM desaparece. A pesar de ello, y gracias a las reuniones, se formaron diferentes grupos. Por un lado, en Europa se crea el grupo *Archigram*, paralelamente, se forma en Japón el movimiento *Metabolista*.

Figura 13.
CIAM, Team 10 en
Otterlo



Una propuesta que ganó interés por parte del grupo europeo se trata del *Plug-in City*. Este planteamiento competía con la idea clásica de ciudad, y proponía la creación de unidades residenciales modulares conectadas a un mega-núcleo central, el cual contiene los servicios necesarios de la ciudad. Aunque lo más destacable viene de la mano de Warren Chalk, y son las *Capsule Houses* (Fig. 14). Torres formadas por diferentes módulos prefabricados, los cuales se van intercambiando según las necesidades de los habitantes.

Figura 14.
Capsule Houses,
Warren Chalk, 1964



El movimiento japonés secunda la idea de la transformación funcional a partir de los progresos tecnológicos y el desarrollo constructivo en base a mega-estructuras modulares. El proyecto construido más destacable viene de la mano de Kisho Kurokawa, llamado *Nakagin Capsule Tower* en 1972 (Fig. 15). Se trata de dos núcleos de comunicaciones y servicios, a los que se le van adosando módulos prefabricados, con la idea de poder ser reemplazados y reubicados.



◀ Figura 15.
The Nakagin
Capsule Tower

2.3.7. La movilidad de la vivienda

La evolución de las viviendas transportables ha estado ligada a la movilidad y la búsqueda de una mayor flexibilidad en el estilo de vida. A partir de la década de 1930, con la popularización de los tráileres o viviendas en carretera, surgió la idea de que una casa podía ser un hogar incluso mientras estaba en movimiento. Estos tráileres estaban diseñados para ser cómodos y funcionales, lo que los convirtió en una opción atractiva para quienes deseaban explorar nuevos lugares sin renunciar a las comodidades del hogar. Su diseño en serie permitió la producción eficiente de estas viviendas sobre ruedas.

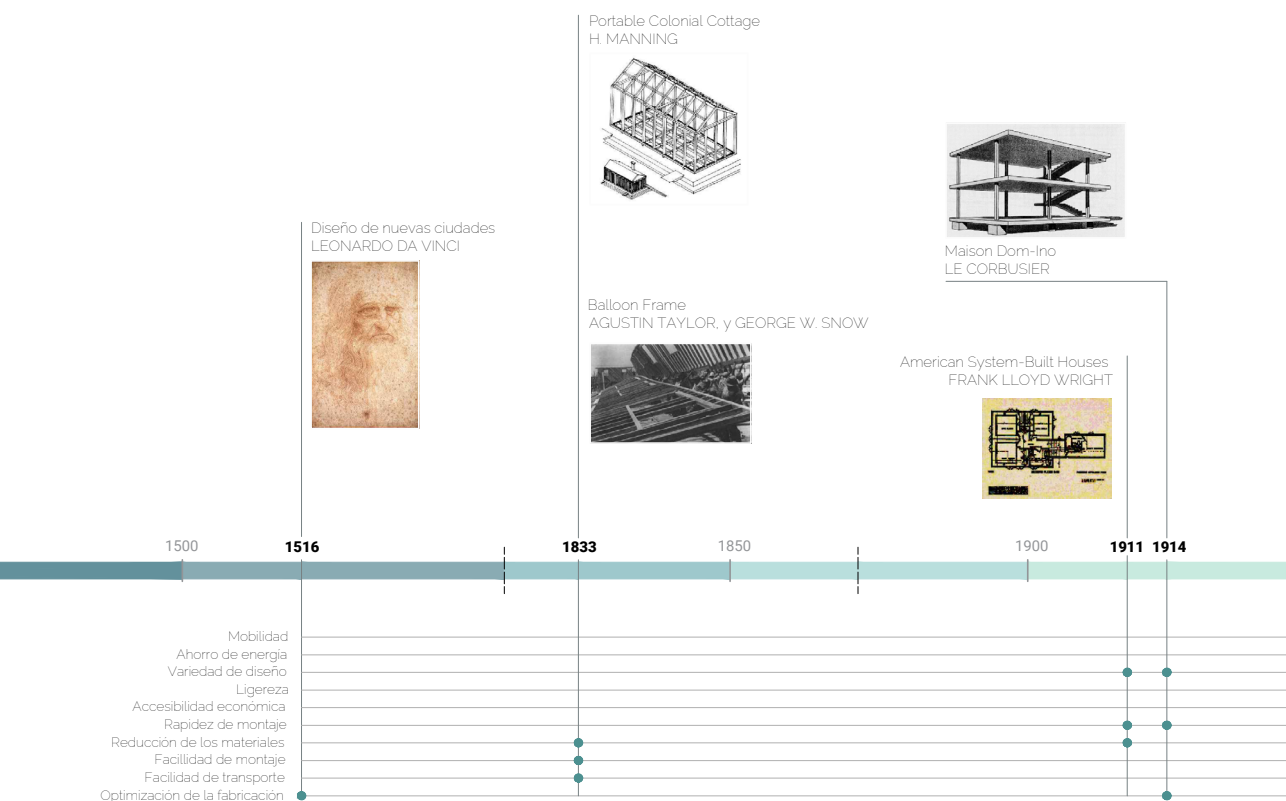
Sin embargo, fue en la década de 1970 cuando se dio un paso significativo con la aparición de las Mobile Homes. A diferencia de los tráileres, estas viviendas tenían ruedas que podían quitarse para establecer la vivienda en un lugar fijo (Ovando Vacarezza, 2015). Esto amplió aún más las posibilidades, ya que permitía a las personas tener una vivienda transportable que podía utilizarse como residencia principal o secundaria, dependiendo de sus necesidades.

Es así como finalmente, en el contexto más contemporáneo, las viviendas transportables han alcanzado un nivel de versatilidad y diseño excepcional. Ejemplos notables son las viviendas de Kaufmann g6 Architecture, que ofrecen soluciones flexibles, se trata de dos viviendas de 30 y 18 m² (Terrados Cepeda, 2011). Con unidades adaptables y configurables que varían en tamaño, estas viviendas permiten crear diferentes espacios según sus preferencias y necesidades, lo que representa una respuesta ingeniosa en la sociedad moderna.

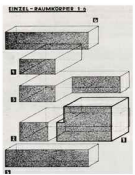
Figura 16.
Secuencia
cronológica con la
identificación de
etapas, principales
proyectos
y aspectos
identificativos ▼

2.3.8. La evolución y sus intereses

Realizada una breve reseña de los hitos más significativos y de la evolución de la arquitectura prefabricada, se ha podido identificar una secuencia cronológica que se divide en cinco etapas fundamentales (Fig. 16):

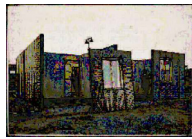


- I. Primeras ideas de la construcción *off-site*: primeras ideas y conceptos relacionados con la construcción fuera del sitio
- II. Viviendas de fácil montaje: creación de viviendas que podían ensamblarse de manera más rápida y sencilla que las construcciones convencionales
- III. Sistemas para la fabricación diaria: desarrollo de sistemas que permitieron la producción eficiente de componentes y módulos de construcción a gran escala
- IV. Pensamiento a nivel urbanístico: transición hacia la consideración de soluciones prefabricadas en el contexto de la planificación urbana
- V. Movilidad en la vivienda: movilidad y adaptabilidad de viviendas prefabricadas, abriendo la puerta a soluciones habitacionales versátiles y móviles



Baukasten im Groben
WALTER GROPIUS y
ADOLF MEYER

Copper Houses
WALTER GROPIUS



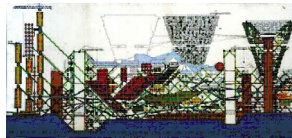
Packaged House
WALTER GROPIUS y
KONRAD WACHSMANN



Casas tropicales
JEAN PROUVÉ



Plug-In-City
ARCHIGRAM



Habitat '67
MOSHE SAFDIE



Nakagin Capsule Tower
KISHO KUROKAWA



Viviendas transportables
KAUFMANN g6 ARCHITECTURE



1923 1931 1941 1949 1964 1967 1972 1996 2000

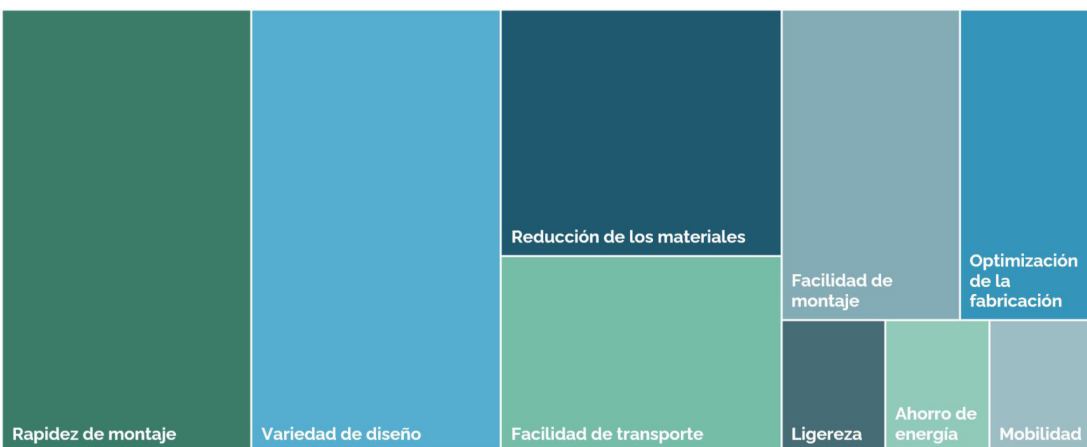
Estas etapas corresponden a la evolución de los pensamientos e ideas en la construcción prefabricada y modular. Asimismo, se han identificado los puntos más representativos a lo largo de la evolución histórica y sus etapas. Estos aspectos señalados describen las principales motivaciones de los diseños (T. 1). El fin de esta visión crítica trata de establecer el interés de la arquitectura prefabricada y como ha ido evolucionando a lo largo de los años. Por tanto, los puntos predominantes identificados son:

Tabla 1.
Aspectos
identificativos a lo
largo de la historia ▼

| | |
|---------------------------------------|---|
| Optimización de la fabricación | Utilización de materias primas locales con eficiencia en el transporte, reduciendo así los desplazamientos |
| Facilidad de transporte | Desplazamiento sencillo de los elementos |
| Facilidad de montaje | Construcción fácil y asequible, bien porque se necesitan pocas herramientas, o porque es un montaje intuitivo |
| Reducción de los materiales | Empleo eficiente de los materiales, evitando el desperdicio de material |
| Rapidez de montaje | Construcción rápida de ejecutar, y con reducción de plazos |
| Accesibilidad económica | Solución constructiva al alcance de gran parte de la población |
| Ligereza | Solución constructiva con detenimiento en la ligereza de los materiales y de los diferentes elementos |
| Ahorro de energía | Solución sostenible y con reducción en el consumo energético |
| Movilidad | Producto móvil y transportable |

Figura 17.
Principales
motivaciones de
los proyectos
analizados a lo largo
de la evolución ▼

De estos diez puntos y de trece proyectos o diseños se extrae que las principales motivaciones son la rapidez en el montaje y la variedad en el diseño. A continuación, le sigue la reducción de los materiales, y muy cerca la facilidad en el montaje y transporte. Seguidamente, se muestra un gráfico de los puntos identificados y su atractivo en el conjunto de los proyectos (Fig. 17).



2.4. La sobreelevación y su estado actual

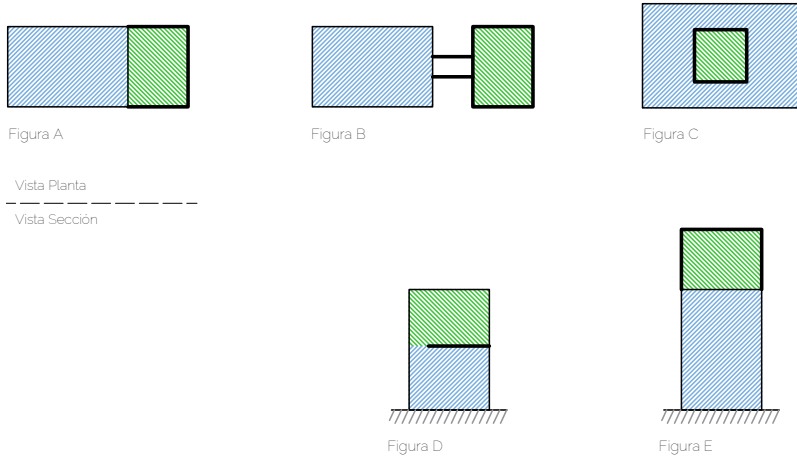
La sobreelevación pretende dar una solución a la construcción de nuevas viviendas en zonas tensionadas de las ciudades, utilizando como sistema constructivo la prefabricación modular y ligera. Las nuevas viviendas se plantean como una ampliación en altura de edificios ya conformados, a cambio de la actualización y mejora en el resto del inmueble. La secuencia establece así dos elementos claramente identificables: el edificio preexistente y el elemento a añadir. Se realizará, a continuación, una breve identificación de las modalidades de ampliación más usuales de arquitectura. Se evidenciará, de este modo, que esta práctica siempre ha existido en la historia de la arquitectura. Posteriormente nos centraremos en el fenómeno de la sobre-elevación para concluir detallando algunos ejemplos de ampliación vertical.

2.4.1. Ampliaciones de edificios. Una práctica recurrente

La sobreelevación en edificios existentes es un recurso relativamente actual. Sin embargo, las ampliaciones de edificios, bien de carácter público o residencial de tipo unifamiliar, han constituido una práctica muy frecuente.

La dinámica de cualquier ampliación está protagonizada por dos actores claramente diferenciados. El primero es el elemento primitivo, entendido como el punto de partida. El segundo elemento es el nuevo volumen o superficie, el cual deberá ajustarse a los condicionantes del primero, de la normativa urbana, si existe, y de la tecnología disponible. Las ampliaciones más habituales en arquitectura suelen corresponder a una extensión en superficie (Fig. 18 A). Existen numerosos casos paradigmáticos, como a ampliación de David Chipperfield Architects en el James Simon Gallery, o la ampliación del centro de arte Reina Sofía de Jean Nouvel, o incluso la torre de viviendas Bois-le-Prête de Druot, Lacaton y Vassal, un ejemplo muy visual de ampliación y remodelación urbana en edificios residenciales. Otra forma de ampliación, corresponde a la conexión de dos edificios separados, los cuales se unen a través de un punto de unión, como una pasarela o incluso un corredor bajo tierra (Fig. 18 B), un ejemplo muy reconocible es el Skywalk Rennweg en Viena del estudio Solid Architecture, o también el museo ABC de Aranguren y Gallegos en Madrid. Otra práctica recurrente cuando no existe la posibilidad de edificar en un solar colindante, es construir dentro de los propios patios de dicho edificio (Fig. 18 C), esto se observa más a menudo en edificios de carácter administrativo. Por otro lado, cuando no es posible edificar en planta, se recurre a ampliar superficie a partir del recurso en sección. Una posible solución, usualmente en naves o tiendas, es la construcción de un nuevo forjado dentro del volumen principal (Fig. 18 D). Finalmente, el caso del que vamos a tratar con más detenimiento en el resto del estudio es la incorporación de un cuerpo nuevo en la cubierta del edificio preexistente (Fig. 18 E), un ejemplo lo podríamos encontrar en el CaixaForum Madrid de Herzog & De Meuron.

Figura 18. Esquemas de los tipos de ampliación, tanto en planta como en sección



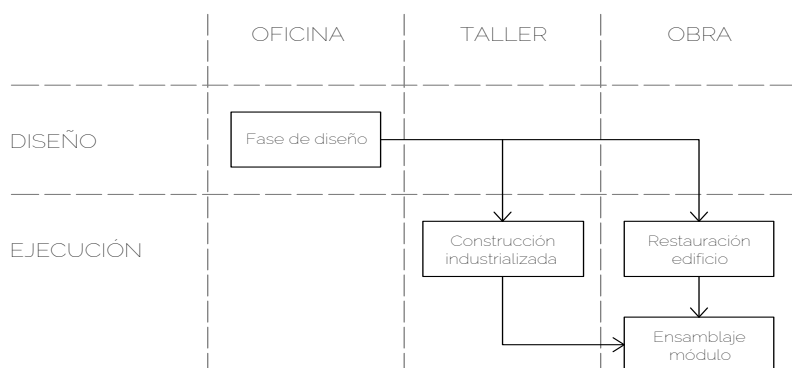
2.4.2. El recurso de la sobreelevación en edificios residenciales: la metodología

Esta nueva modalidad de ampliación edificatoria se abrió camino en los centros históricos de ciudades como Barcelona, Madrid o París. La construcción de nuevas plantas altas, frecuentemente áticos, en edificios residenciales preexistentes, ofrece y ofrece la posibilidad de reutilizar azoteas en desuso cuando la edificabilidad no se ha agotado, completando así el perfil de la ciudad. Por otra parte, la creación de nuevas viviendas revaloriza los edificios existentes a partir de las mejoras realizadas, ayudando así a la reactivación urbana de las zonas céntricas (Bailach Hernandis & Lostao Chueca, 2018).

La metodología de trabajo aplicada en estas ampliaciones trata de respetar los valores del patrimonio. Se interviene en las azoteas de forma cuidadosa, sin mermar su valor arquitectónico. Otro factor determinante es la técnica de construcción industrializada, que favorece el respeto de los plazos y la garantía de las calidades mínimas (Millán Delgado, 2018). Además, este tipo de construcciones también se preocupan por el valor ecológico, con el objetivo de obtener certificaciones como LEED (USGBC) o VERDE (GBCe) que califiquen el rendimiento medioambiental (Wadel, 2010).

El proceso completo de la sobreelevación puede dividirse en dos fases: diseño y ejecución. Durante el diseño, y debido a la alta exigencia del proyecto, se necesita un estudio exhaustivo y completo del edificio sobre el que se va a actuar, conocer todos los aspectos legales de la normativa urbanística, las exigencias técnicas requeridas por las diferentes normativas vigentes, los recursos económicos, además de una logística de transporte y montaje completa de todo el proyecto. En lo relativo a la ejecución, ésta es la

etapa más característica de este tipo de actuación, y, a diferencia de la obra convencional, presenta dos emplazamientos: inicialmente el taller donde se construyen los módulos, y finalmente el edificio que va a recibir la ampliación donde se realiza el montaje de dichos módulos y se ejecutan las obras de rehabilitación y mejora (Fig. 19). Estas obras se ofrecen a la propiedad como contrapartida por la ampliación del edificio (Areitio Mata, 2017).



◀ Figura 19. Esquema de las fases de trabajo que siguen los proyectos de sobreelevación

Las obras de mejora del edificio dependen de diversos factores internos y externos al mismo tiempo. Internamente, estos trabajos van a depender del estado en que se encuentre el inmueble, bien a nivel estético, funcional y estructural. Externamente, dependerá del acuerdo entre vecinos e inversores, y de las posibilidades que ofrezca como bien en el que invertir.

En primer lugar y para poder determinar las actuaciones a realizar, se debe hacer un estudio de las deficiencias del edificio. Una vez localizados estos puntos, se pactan cuáles van a ser todos los trabajos de rehabilitación y mejoras junto con la comunidad de vecinos. Normalmente responden a cuestiones de accesibilidad, como actuaciones en el núcleo de escalera y vestíbulo, incorporación de ascensor y eliminación de barreras arquitectónicas. Aspectos estéticos y de subsanación de patologías, por ejemplo, rehabilitación de fachadas y patios, y restauración de elementos patrimoniales. Además de una mejora o sustitución de instalaciones obsoletas, las cuales ya se deben tener en cuenta en el proyecto de rehabilitación debido al aumento de número de viviendas. Todo este cómputo de mejoras hace que los propietarios obtengan a parte de las nuevas comodidades, una revalorización de sus viviendas («La casa por el tejado», 2020).

Previamente a la recepción de los módulos es necesario haber estudiado la viabilidad estructural de la intervención, para ello, es primordial comprender la estructura del edificio y cómo actúa. Dependiendo de la carga a añadir, del estado estructural del edificio y de los condicionantes constructivos y logísticos, las intervenciones serán distintas.

A continuación, se explica a modo de ejemplo un posible caso modelo de sobreelevación. Inicialmente, tenemos el posible refuerzo de la cimentación, donde existen múltiples técnicas de reparación y refuerzo (Areitio Mata, 2017). En caso de que sea necesario, además de actuar en la cimentación y en la estructura aérea, se debe preparar la cubierta para recepcionar los nuevos módulos de vivienda. Si cogemos como ejemplo la ciudad de Barcelona, una gran parte de los inmuebles corresponden a una tipología de cubierta similar, cubierta plana a la catalana (Joan y Gerardo 2018). La peculiaridad de este tipo de cubiertas planas es que disponen de una cámara de aire entre 40 y 60 centímetros de espesor. Esta doble cubierta crea una corriente de aire que minimiza las altas temperaturas en verano y evita las condensaciones. Aprovechando esta solución constructiva y para aligerar peso, en primer lugar, se realiza el derribo de esta capa superior, y por consiguiente, se impermeabiliza para evitar problemas de filtración.

Despejada ya la cubierta, llega el momento de ejecutar los elementos estructurales nuevos donde van a apoyar los módulos. Hay que tener en cuenta que los módulos deben adaptarse a los elementos estructurales del edificio existente. La estructura de estos edificios suelen ser muros de carga paralelos a la fachada, y han de tenerse en cuenta para el apoyo de los nuevos módulos. Por tanto, la estructura original condicionará a los nuevos elementos estructurales, y, por ende, también a los espacios. Según la metodología propuesta por algunas empresas especializadas en este campo, se ejecutan los zunchos y vigas de hormigón armado sobre los muros de carga preexistentes. Una vez fraguado el hormigón, se colocan las pletinas metálicas debidamente niveladas en los puntos donde apoyarán los módulos, estas serán las encargadas de dotar a las nuevas viviendas de una precisa planeidad (Areitio Mata, 2017).

Paralelamente a todos los trabajos en obra comentados previamente, se ejecutan en taller los módulos de viviendas gracias al sistema de construcción industrializada. Cada vivienda se compone de diferentes módulos que se conforman en un taller de montaje, hablamos del concepto de *off-site*. Constructivamente, primero se realiza el cuadro inferior, el cual será el encargado de ensamblarse a las pletinas anteriormente mencionadas, en segundo lugar, se unen los pilares, y finalmente, el cuadro superior. Toda esta estructura tridimensional se conforma mediante perfiles de acero que serán posteriormente tratados tanto a corrosión como a incendios según indica la normativa. Conformada ya la geometría principal, se ensamblan los forjados, normalmente realizados de hormigón y chapa colaborante (Areitio Mata, 2017).

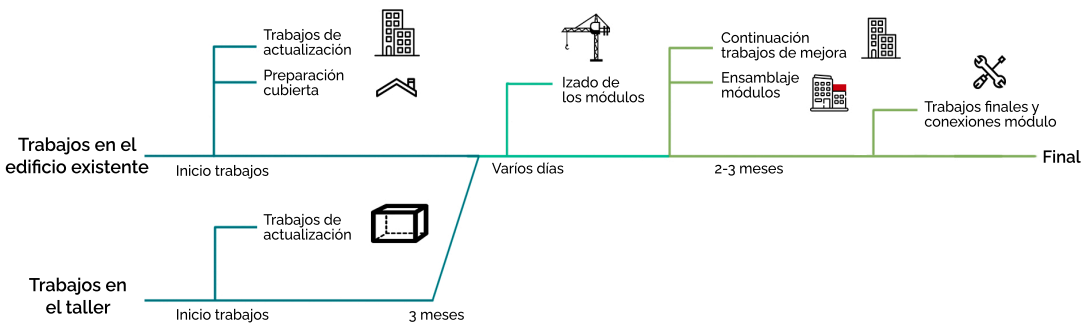
A continuación, se instalan las divisiones interiores formadas por cartón-yeso. Al mismo tiempo que se avanza con los tabiques se realizan las instalaciones de agua, saneamiento, luz y telecomunicaciones, para posteriormente trabajar con los acabados de revestimientos, alicatados, pavimentos y falsos techos. También se forman las pendientes de las terrazas.

impermeabilizaciones e instalación de equipamientos. Una vez realizados los interiores se trabaja con los exteriores, colocando las carpinterías y los cerramientos (Arellano Mata, 2017).

Preparados los módulos se organiza toda la logística de transporte y montaje para su colocación en el emplazamiento definitivo. Durante los días de izado y montaje, todo tiene que estar muy planificado, los módulos listos para su montaje definitivo, y el edificio listo para recibir las nuevas viviendas. Además de la propia obra, es necesario una organización con vía pública por cuestiones de transporte especial y montaje en grúa. Por el tipo de sistema de construcción, los módulos están prácticamente terminados en el taller, pero una vez allí se realizan los últimos detalles, como la unión entre módulos, juntas, conexión de instalaciones, terminaciones, impermeabilización y sellado. Y al mismo tiempo, se continúa con las obras de mejora del edificio existente.

Los trabajos paralelos, tanto del inmueble como de la fabricación de los módulos en taller, suelen ser de 3 meses. Posteriormente el izado de los módulos es de varios días y la formalización de las uniones entre módulos y entre viviendas nuevas y edificio existente, y todas las terminaciones suele extenderse entre 2 y 3 meses (Artés et al., 2018). Así pues, el lapso total, sin contar la fase de proyecto y los plazos legales, oscila entre 5 y 6 meses (Fig. 20).

Figura 20. Gráfico conceptual sobre los tiempos y los trabajos en la sobreelevación



2.4.3. Ejemplos de sobreelevación

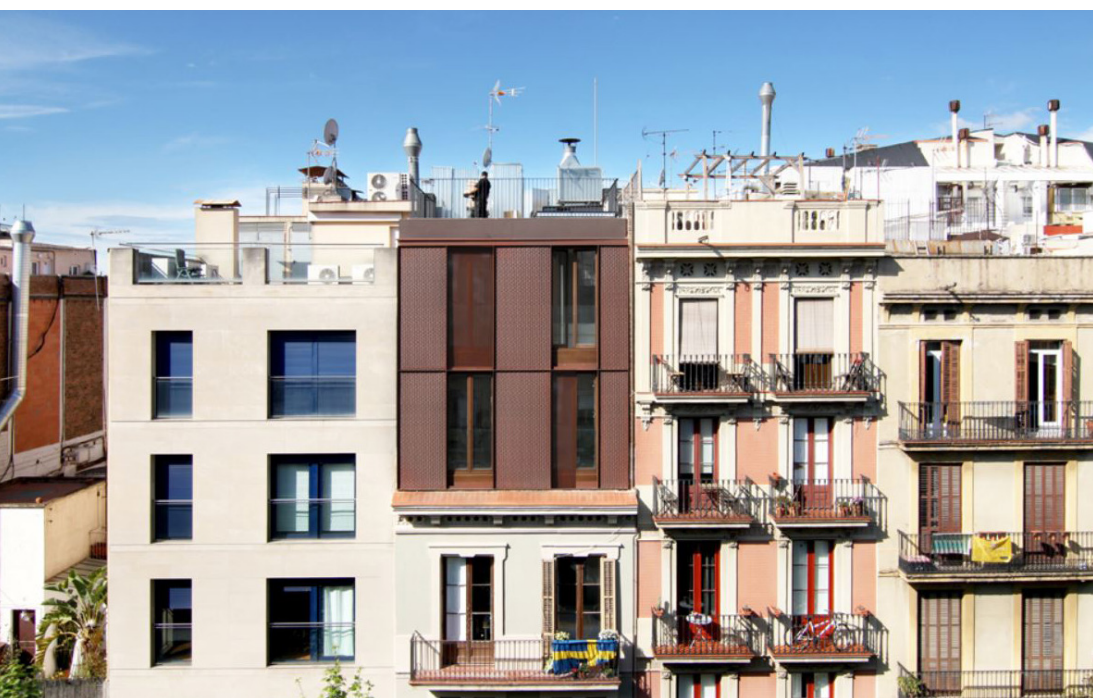
La práctica de la sobreelevación es ciertamente desconocida a nivel social y profesional, con abundantes lagunas técnicas y constructivas, lo cual la hace poco frecuente, especialmente en el contexto de la construcción de nuestro país donde las constructoras están poco habituadas y requerirían un cambio en las habilidades y técnicas de su mano de obra. Pese a esta desconfianza, existen iniciativas crecientes que apuestan por la sobreelevación. Un ejemplo de proyecto lo encontramos en el estudio Descombes & Thieulin architectes, el cual utiliza la ampliación volumétrica en muchos de

sus obras, o proyectos como The Skyscape Rooftop House de WARarchitect que apuesta por una vivienda en la azotea.

Esta nueva metodología de crecimiento de las ciudades no solo se está aplicando a nivel particular en diferentes edificios, existen otro tipo de propuestas que siguen la misma línea a gran escala, como por ejemplo el proyecto Up en la ciudad de Zaragoza. Este plan pretende la construcción de nuevas viviendas pasivas, ligeras y de rápida ejecución a través del aprovechamiento de edificabilidad vacante de edificios, y la rehabilitación de los mismos a nivel de ciudad (Bailach Hernandis & Lostao Chueca, 2018). Otra estrategia destacable es el plan financiado por la Comisión Europea "Abracadabra" basado en la rehabilitación energética de edificios existentes aprovechando la creación de nuevas viviendas en la cubierta («Comisión Europea», 2016).

Se encuentran también algunas empresas que están llevando a cabo este tipo de construcción, como *La casa por el tejado* (Fig. 21), una constructora que, en colaboración con un equipo externo de técnicos realiza estas casas. Además, están surgiendo nuevas empresas relacionadas con esta modalidad, como Growing Buildings, que hace casas pasivas, o Inbesters, una consultora de inversión en proyectos inmobiliarios (Nicolás Millán 2018).

Figura 21.
Proyecto de
viviendas
sobreelevadas
de La Casa por el
Tejado en Barcelona ▼



Finalmente, cabe destacar de forma notoria el concurso del Solar Decathlon Europe, que trata de premiar a los mejores proyectos en hábitat y vivienda sostenibles. Además, se valoran otros campos como la Arquitectura e ingeniería, construcción, sostenibilidad, u otros. En el año 2021/2022 la competición ha tratado de contextualizar el proyecto en el aprovechamiento de los recursos en las ciudades. Muchos de los proyectos han ampliado de forma vertical sus viviendas y por tanto, esto nos hace entrever que este tipo de intervención en las ciudades tiene interés a nivel urbano, sostenible, y social (Fig. 22).

Figura 22.
Diferentes proyectos
del concurso Solar
Decathlon



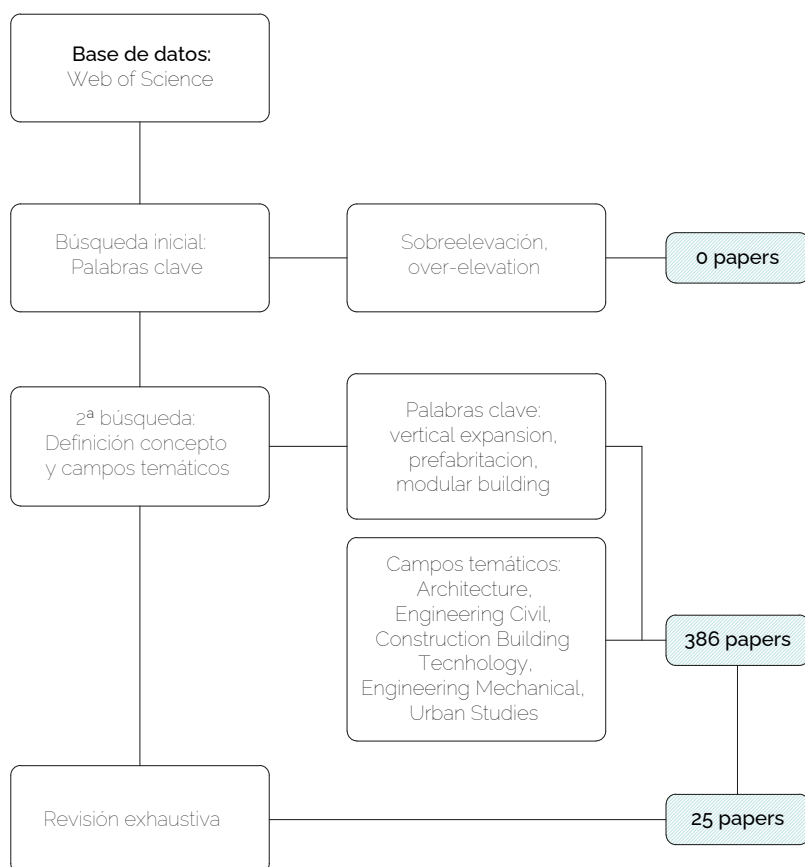
2.4.4. Estado de la investigación

Una vez expuesta la metodología propia de la sobreelevación según ejemplos que se han realizado recientemente, se ha profundizado en el estado de la cuestión a efectos de investigación científica. Para ello, se ha consultado la base de datos de "Web of Science" por ser una fuente fiable y rigurosa. Inicialmente, la búsqueda a partido del propio término sobreelevación o *over-elevation*, y la respuesta ha sido nula. Analizado el porqué de este motivo, se ha concluido que la expresión se utiliza únicamente a nivel nacional y no a nivel internacional, siendo también frecuente la utilización de *remonta*, aunque esto se ciñe más a la puesta en carga del módulo en la azotea. Así pues, se ha buscado este fenómeno a partir del uso de palabras-clave que definen esta metodología, y de esta forma poder recopilar de manera más precisa toda la información existente.

De este modo, una revisión sistemática de la bibliografía existente expondrá el nivel de conocimiento acerca de toda esta metodología, y planteará los vacíos que pudiesen existir (Fig. 23). Del mismo modo, determinará que líneas se muestran más en tendencia. Por ello, los vocablos introducidos en el buscador y que mejor definen la sobreelevación han sido "vertical extension", "prefabrication" y "modular building". Asimismo, se ha filtrado por campos temáticos para acotar la bibliografía que refiere a nuestro ámbito como "Engineering Civil", "Construction Building

Technology", "Materials Science Multidisciplinary", "Engineering Mechanical", "Architecture", y "Urban Studies". Esto ha dado como consecuencia un total de 386 resultados. Tras una revisión más exhaustiva de toda la bibliografía encontrada, únicamente se han podido extraer 25 artículos que acometen algún punto relacionado sobre nuestro tema.

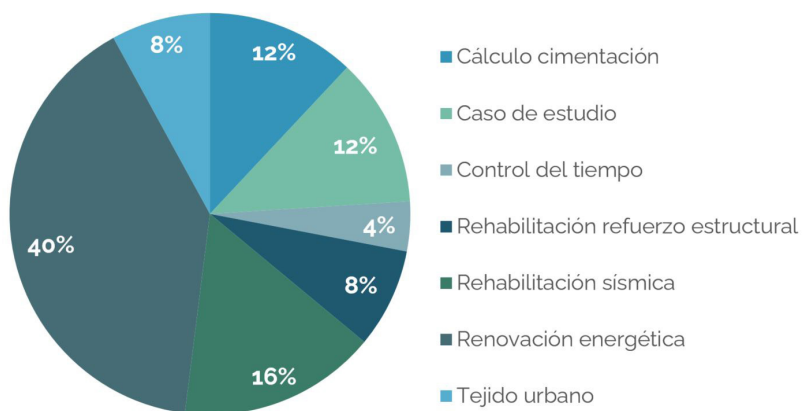
Figura 23. Resultados revisión literatura



Después de revisar esta última bibliografía, y a pesar de que parece que hay una cantidad limitada de literatura disponible, nos percatamos que el artículo más antiguo data de 2013. Esto significa que la investigación científica sobre la sobreelevación solo tiene una década de existencia. Este hallazgo pone de manifiesto que la sobreelevación es un fenómeno bastante reciente y que aún no se ha realizado una cantidad significativa de investigaciones al respecto.

Una vez revisados todos los artículos se ha podido establecer una clasificación temática en la que se han escogido los tópicos más frecuentes. La siguiente figura muestra el porcentaje de referencias de cada una de las siete categorías (Fig. 24). Estas se clasifican en:

- Cálculo cimentación
- Caso de estudio
- Control del tiempo
- Rehabilitación refuerzo estructural
- Rehabilitación sísmica
- Renovación energética
- Tejido urbano

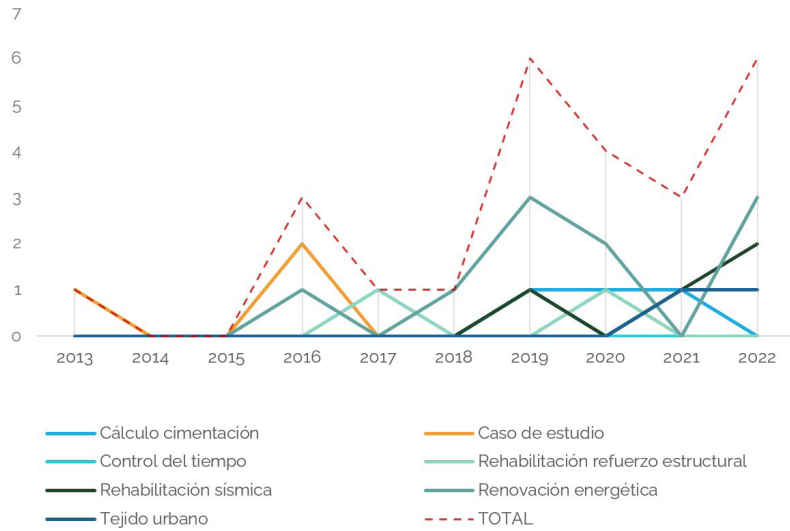


◀ Figura 24. Porcentaje del número de literatura según el tema

Claramente, se aprecia un tema predominante como es la *Renovación energética*, seguido de la *Rehabilitación sísmica*, aunque a mucha distancia. La importancia de un consumo responsable de energía se viene mostrando latente en muchos otros ámbitos, por eso no es de extrañar que sea la categoría con más estudios. Si bien, sí que ha resultado sorprendente la importancia del sismo en este tipo de actuaciones.

A continuación, y a pesar de la edad temprana sobre la investigación actual del tema se muestra la figura 25. Esta viene determinada por la cantidad de artículos escritos por cada categoría y su evolución en el tiempo. En el gráfico se aprecia el desarrollo de cada uno de los tópicos establecidos anteriormente, al mismo tiempo que la suma total de la literatura.

Figura 25. Gráfico lineal que muestra la evolución por tema y el total



En el gráfico se observa como los primeros temas tratan casos de estudio, y como en los posteriores años no existen artículos sobre ningún tema. Fue en el 2016 cuando se empezaron a tratar diversos puntos como la renovación energética, además de otros casos de estudio. Seguidamente aparece bibliografía sobre cálculos estructurales, bien por el efecto del sismo o bien por refuerzos estructurales de la cimentación o del propio edificio. Aunque sin duda, la renovación energética se encuentra en cabeza en cuanto a los estudios se refiere. Con un pico importante en el 2019 de literatura, nos encontramos en que los años posteriores cae de nuevo, seguramente debido a la crisis del Covid-19, pero resurge de nuevo durante el año 2022. A pesar de que es un tiempo muy corto, y una bibliografía escasa para decidir el interés del tema, lo relevante de este gráfico es la tendencia positiva acerca de la sobre elevación.

Necesidades y oportunidades en la ciudad consolidada. Valencia como estudio de caso **03**

3.1. Problema de falta de vivienda y de mantenimiento del parque construido

Ante el constante aumento de la población urbana, las ciudades se ven desafiadas a proporcionar viviendas adecuadas para sus habitantes. A la par, luchan por conservar y mantener el parque construido que enriquece el patrimonio arquitectónico heredado. Bajo este umbral, la problemática de la falta de vivienda y los desafíos que plantea el mantenimiento de los espacios urbanos surgen como dos obstáculos que definen la calidad de las ciudades contemporáneas que habitamos.

En un escenario de expansión urbana, el desafío de la falta de vivienda se intensifica, con un crecimiento demográfico que supera la capacidad de los sistemas de vivienda existentes. Este aumento de la demanda de vivienda coloca una presión significativa sobre los recursos disponibles para proporcionar soluciones habitacionales. Además, la necesidad de una vivienda digna y asequible se convierte en un factor determinante en la calidad de vida y el bienestar de la población urbana. Esta falta de vivienda constituye, así, una preocupación global. Del mismo modo, una adecuada planificación urbana y zonificación desempeñan un papel también crítico. Y es que una ubicación estratégica de las viviendas está ligada fuertemente a la relación con los servicios e infraestructuras necesarias para la vida diaria. Asimismo, las raíces de esta problemática, donde la creación reciente de nuevos domicilios a las afueras de la ciudad no está dotada de los suficientes recursos, pueden encontrarse en la intersección de factores económicos, políticos y sociales. Creando así, una compleja situación que exige nuevas soluciones.

Simultáneamente, la conservación y el mantenimiento del patrimonio arquitectónico urbano emergen como desafíos igualmente urgentes. Las ciudades albergan una riqueza de edificios históricos y monumentos que narran la historia y la identidad de una comunidad. Sin embargo, el mantenimiento de las viviendas ya existentes emerge como una cuestión igualmente preocupante. En múltiples casos el patrimonio envejece y se deteriora debido a falta de inversiones para su mantenimiento. No hablamos sólo de reparaciones visibles, como aspectos estéticos o incluso conceptos de accesibilidad, sino también de la sostenibilidad a largo plazo de los edificios o de su capacidad de adaptación a las necesidades cambiantes de la población.

Esta intersección de falta de vivienda y de mantenimiento plantea cuestiones sobre cómo abordar el desarrollo urbano sostenible en las ciudades. Enfrentarse a este desafío requiere la implementación de estrategias innovadoras y multifacéticas que aborden tanto la creación de nuevas viviendas como el mantenimiento adecuado de las existentes.

¿Qué estrategias pueden adoptarse para prevenir el patrimonio construido, normalmente vinculado a viviendas y ocasionalmente con valor histórico? ¿Cómo se pueden crear nuevas oportunidades habitacionales en el suelo urbano existente? ¿Se puede garantizar un suministro adecuado de viviendas mientras se aborda el desafío de mantener las viviendas existentes?

3.2. Definición del ámbito de actuación: Ensanche de la ciudad de Valencia

Para poder concretar y contextualizar mejor las acciones propuestas y con objeto de aplicabilidad, tomaremos como caso de estudio la ciudad de Valencia, y más concretamente en el distrito del Eixample, en el barrio de Russafa. De esta forma, se acota y se analiza de forma más específica las características de la zona en cuestión, permitiendo un análisis detallado y significativo de las dinámicas urbanas y las necesidades específicas. Este proceso abarca la delimitación geográfica y conceptual de la zona que se pretende intervenir, estableciendo los límites físicos y funcionales de la expansión urbana seleccionada.

3.3. Evolución histórica y urbanística

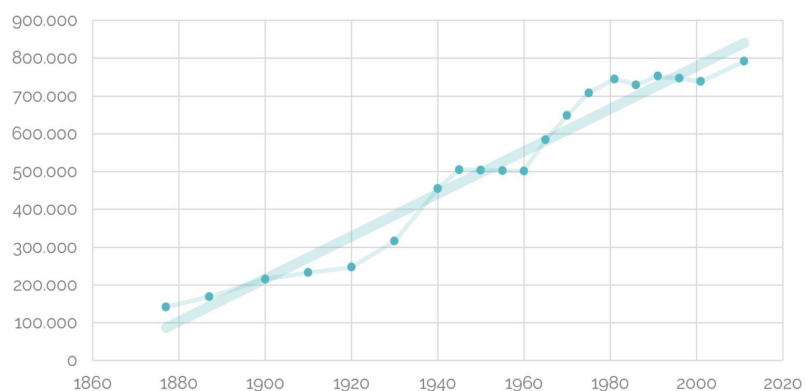
3.3.1. Tendencia migratoria hacia las ciudades

Las ciudades evolucionan continuamente, y cada vez necesitan más espacio para ofrecer a sus habitantes todas las comodidades necesarias. Como consecuencia de la falta ocasional de espacio, la planificación urbana se ha visto afectada significativamente a lo largo de la historia dando lugar a un continuo aumento de la superficie de las ciudades. En la actualidad, esta propuesta de extensión constituye un modelo insostenible e ineficiente, ya que implica una inversión de recursos en nuevas infraestructuras para dotar a la ciudad de conexiones, equipamientos, zonas verdes y todo tipo de servicios. Asimismo y con frecuencia, los barrios históricos quedan desprotegidos ante este tipo de crecimiento urbano ya que pasan a una situación de declive debido a la escasez de políticas de regeneración urbana.

Siempre ha habido flujos migratorios a lo largo de la historia. Sin embargo, la Revolución Industrial fue el periodo que trajo por primera vez cambios urbanos notables en las ciudades (Piqué y Gascón, 2017). Esto se debió a las grandes migraciones de las zonas rurales a las urbanas, y al cambio de una economía anteriormente basada en el sector agrícola a una economía más industrializada. En Valencia, como en muchas otras

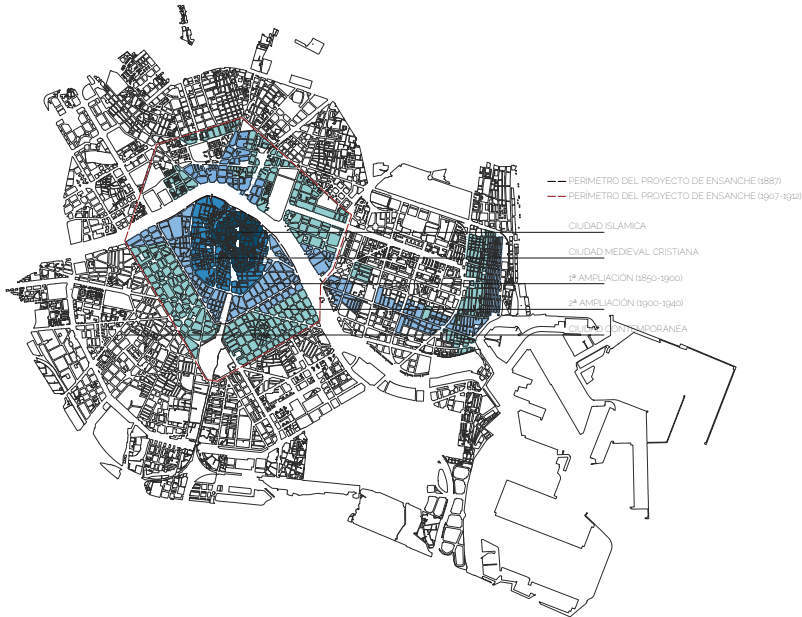
ciudades, hay evidencias del crecimiento de la población urbana en la segunda mitad del siglo XIX, ya sea por el aumento interno de residentes, por la migración hacia la ciudad o incluso por la anexión de los pueblos colindantes (Fig. 26). El crecimiento del número de habitantes acentuó la dicotomía entre zonas periféricas y centrales. Así, la periferia albergó mayoritariamente viviendas construidas con un marcado carácter obrero, y el centro y los ensanches decimonónicos y de la primera mitad del siglo XX se destinaron mayoritariamente a las clases altas (De Terán, 1994).

Figura 26. Gráfico lineal que muestra la evolución de la población desde 1877 hasta 2011 en la ciudad de Valencia. Datos obtenidos de la Oficina de Estadística de Valencia



Los objetivos de los primeros planes de ensanche eran desarrollar y unificar normas urbanísticas para la expansión de las ciudades (Fig. 27). Estos reglamentos proponían unas retículas muy claras, manzanas cuadradas con esquinas achaflanadas que ofrecían una gran visibilidad en las intersecciones, facilitaban el giro de los tranvías y mejoraban las condiciones de soleamiento. A pesar de que la geometría era muy clara, las modificaciones posteriores y la especulación inmobiliaria han modificado sustancialmente la visión global de estos conjuntos históricos, degradando la identidad del paisaje urbano. El ejemplo más obvio y notable es la construcción de edificios mucho más altos que los vecinos existentes porque una normativa urbanística recién promulgada así lo permitía. Este fenómeno extremadamente frecuente ha dado lugar en el caso de Valencia y de muchas otras ciudades mediterráneas a una gran cantidad de medianeras producidas por la discontinuidad en altura de los edificios colindantes. En la actualidad muchos barrios se encuentran degradados no sólo por este incómodo desorden en la línea de cornisa sino también por un significativo deterioro de los elementos constructivos que revela una falta de mantenimiento del patrimonio arquitectónico.

Figura 27.
Plano del desarrollo
urbano de Valencia



Aunque en ocasiones el estado de abandono es latente, los barrios de las zonas de ensanche siempre han tenido grandes atractivos como la centralidad urbana, la vinculación con las clases altas o incluso la riqueza espacial. Por ello y a pesar de su actual deterioro, los barrios del ensanche suelen ser mejor valorados que la periferia de la segunda mitad del siglo XX. Ello abre una ventana de oportunidad para muchos edificios que, según los planes generales actuales, aún disponen de edificabilidad vacante para realizar ampliaciones verticales.

La actual y frecuente falta de políticas urbanísticas y la necesidad de rehabilitación de estas viviendas ofrecen una oportunidad a la ya mencionada estrategia de extensión mediante crecimiento vertical en los barrios de ensanche. Es decir, se plantea la ampliación en altura de bloques de viviendas que aún no han agotado su edificabilidad vacante. Esto genera un modelo de regeneración urbana, debido a que los vecinos de estos edificios renuncian a su *derecho de vuelo* a cambio de prestaciones en los elementos comunes.

3.3.2. Primeros planes urbanísticos del Ensanche

Las teorías y reflexiones sobre la expansión de las ciudades se materializaron en un conjunto de proyectos innovadores, que tuvieron que desarrollarse debido al cambio social y demográfico de la época (Layuno 2013). Como resultado, históricamente, la morfología de las ciudades refleja el contexto histórico, la cultura y la actividad económica, desde los primeros cascos antiguos hasta las extensiones urbanas resultantes de un panorama industrial en los siglos XIX y XX (Capel, 2002).

La industrialización vino acompañada de una nueva concepción de las grandes ciudades en la que la creciente población y sus necesidades ganaron protagonismo. Esto provocó la redacción de los primeros planes urbanísticos (Arriola Aguirre, 2005). Una de las ciudades pioneras en llevar a cabo un programa de expansión urbana fue la capital francesa en 1853, de la mano de Georges-Eugène Haussmann y un notable equipo de arquitectos e ingenieros (Rodríguez Sánchez, 2019). No obstante, también existen ejemplos en la ciudad de Viena con proyectos como los de Otto Koloman Wagner. En España, podemos encontrar el plan de ensanche de la ciudad de Madrid desarrollado por Carlos María de Castro. Sin embargo y sin lugar a dudas, el plan más importante fue el ideado por Ildelfonso Cerdà en 1860 para Barcelona y su famoso Eixample. Muchas ciudades españolas como Valencia, Pamplona, Bilbao o León se sumaron después a esta tendencia (Capel, 2002).

En el siglo XIX comienzan a desarrollarse los primeros reglamentos para la ciudad de Valencia que incluyen cuestiones de edificación y calles. Un ejemplo de ello es el "Reglamento de policía urbana y rural" de 1844, cuyo artículo séptimo establece que deben denegarse aquellas obras de consolidación que puedan impedir el ensanche de la calle. También es destacable su artículo décimo que trata cuestiones de materialidad de las fachadas, como que el material de rejas y barandillas debe ser el hierro (Taberner Pastor, 1987). Esto son solo unos ejemplos de la totalidad del reglamento, aun así, ya se muestran preocupaciones de uniformidad de la ciudad y de posibles ampliaciones.

Al igual que otras ciudades españolas, Valencia no iba a ser diferente. Por ello, una vez derribadas las murallas de la ciudad en 1865, comenzaron a aplicarse ordenanzas que reflejaban una idea de la posterior urbanización periférica. Estas ordenanzas continuaron con la tendencia de las alineaciones de las calles, las normas para la composición de las fachadas, e incluso empezaron a preocuparse por el sistema de drenaje y saneamiento. Además, también se establecen protocolos para edificios en estado de ruina y derribo en la vía pública. Todo ello se encuentra en la "R.O. de 12 de marzo de 1878 sobre alineaciones, planos, licencias, etc.", o en las "Ordenanzas municipales de la ciudad de Valencia, aprobadas por el Gobierno Civil de la provincia el 2 de enero de 1880" (Taberner Pastor, 1987).

Sin embargo, no sería hasta 1883 cuando se establecieron las primeras normas del ensanche y, con ello, se creó el "Programa para la formación del proyecto de ensanche de la ciudad de Valencia" (Fig. 28). En este programa se detallan perfectamente los siguientes temas y aspectos: documentos del proyecto de ensanche, zona de delimitación, normas, e incluso diferenciación de calles en función de su importancia. Este programa dio lugar a las "Ordenanzas municipales especiales para el Ensanche de la ciudad" en 1887. En esta ordenanza se recopilan los límites de alturas o número de plantas y se especifica que los edificios no pueden tener menos de dos pisos altos ni más de tres, pero se permitía añadir un entresuelo siempre que estuviera unido compositivamente al primer piso. En el mismo artículo, también se fijaban las alturas mínimas de cada planta y la altura total de la fachada, que dependía de la importancia de la calle, cuanto más importante fuese, más alta se permitía que fuera (Taberner Pastor, 1987). Por tanto, es palpable el interés por la uniformidad geométrica de sus fachadas y por la armonización de todo el conjunto arquitectónico.

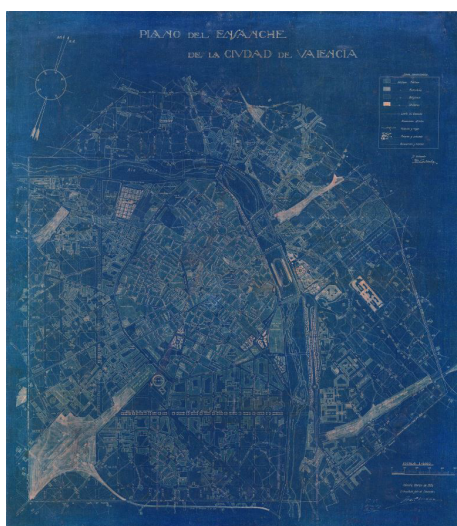


◀ Figura 28. Plano topográfico de Valencia (1883). El levantamiento topográfico proporcionó los datos necesarios para la redacción y aprobación del ensanche en 1887

A pesar de esta ampliación, fue en 1898 cuando se elaboró el "Programa para la formación de proyectos de ampliación del Ensanche en las zonas suroeste y el margen izquierdo del río", debido al continuo crecimiento demográfico, al fracaso de las reformas en el centro histórico y a la falta de extensión del suelo urbano (Daukšis Ortolá & Taberner Pastor, 2002). En los años siguientes se elaboraron diferentes planes que clarificaron los límites de alineaciones y rasantes, hasta que en 1912 se aprobó definitivamente el plan diseñado por el arquitecto Francisco Mora

y el ingeniero Vicente Pichó (Taberner Pastor, 1987) (Fig. 29). Este proyecto se dedicó a prolongar los ejes de trazado que ya habían sido marcados con anterioridad, y a crear una tercera circunvalación. El nuevo plan, a diferencia del anterior, permitía elevar la altura máxima edificable a 22 metros en las calles de primer orden, y en consecuencia el número de plantas. Esta modificación en la normativa se convirtió al mismo tiempo en un cambio en el planteamiento de los edificios y en su edificabilidad, ya que implicaba edificios de hasta 6 plantas (Taberner Pastor, 1987), posibilitando la ruptura puntual de la continuidad y armonía volumétrica ambicionada por el planeamiento urbanístico anterior. Otro aspecto destacado fue la creación de los primeros áticos, no tanto para uso residencial, sino para espacios abiertos. Así se especifica en el artículo sexto, donde se indica que este cerramiento debe evitar la primera crujía, creando así estancias retranqueadas respecto a la primera línea de fachada que servirán posteriormente de guía para los áticos posteriores.

Figura 29. ▶
Plano del ensanche
de Valencia
realizado por
Francisco Mora
(1924)



Esta inclinación hacia el aumento del número de plantas continuó creciendo en los siguientes cambios urbanísticos, ya fuera por la falta de viviendas o por la insolvencia expansiva de la ciudad. Fue a partir de 1924 cuando, mediante las "licencias condicionales" concedidas por el ayuntamiento, se autorizó superar la altura edificable. Esta postura se debió a la escasez de viviendas unida a la crisis laboral de la época, y a la discrepancia entre la altura permitida en el centro histórico, 24 metros, y el ensanche, 22 metros, a pesar de contar con calles mucho más anchas (Taberner Pastor, 1987). Por ello, en 1925, a través del "Apéndice a las

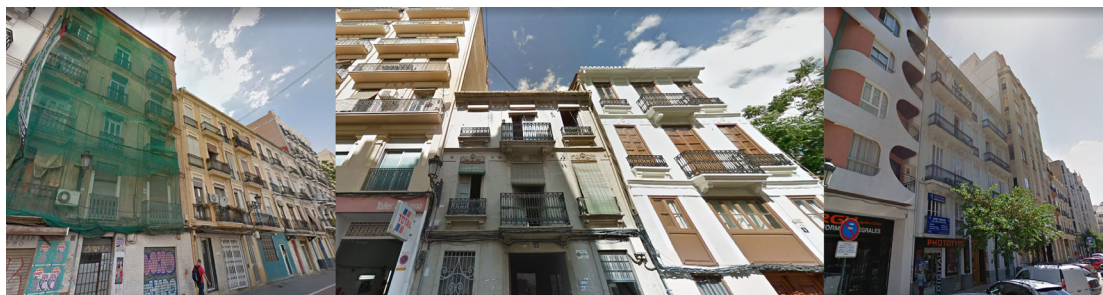
nuevas ordenanzas de policía urbana”, se autorizó aumentar la altura – hasta 30 metros– para los edificios situados en calles de primer orden, siempre que su anchura fuera superior a 20 metros, además de añadir un ático habitable desde la segunda crujía (Llopis Alonso & Perdigón Fernández, 2010).

Los constantes cambios en las ordenanzas y las sucesivas ampliaciones han promovido una clara trayectoria hacia bloques de viviendas con un número creciente de plantas. Por estos motivos, no es de extrañar que algunos edificios estuvieran por debajo de la edificabilidad máxima permitida y, por el contrario, otros superaran esta totalidad. En consecuencia, esta progresión de las normas ha dado lugar a nuevas oportunidades a través de huecos virtuales en las azoteas.

3.4. La edificabilidad como recurso para la regeneración urbana

Ha resultado ciertamente habitual que las ordenanzas urbanísticas hayan tendido a aumentar la edificabilidad. A pesar de la existencia de bloques residenciales que han agotado su volumen permitido, podemos encontrar otros edificios que no han aprovechado el número máximo de plantas bien sea por cuestiones económicas, por la falta de colocación de ascensor en el momento de construcción, por la inexistencia de necesidad de más alturas, u otros motivos. Simultáneamente, algunos de estos edificios presentan un notable valor arquitectónico cuyos elementos se han ido marchitando por falta de mantenimiento (Ibarloza, Malles, Ibarloza, & Heras-Saizarbitoria, 2018). Algunos también presentan evidencias de barreras arquitectónicas o sistemas obsoletos. Todo ello ha contribuido a la conformación de un paisaje urbano y arquitectónico ocasionalmente irregular, desordenado y descuidado (Fig. 30).

Figura 30.
Fachadas de algunas calles del ensanche de Valencia con posibilidad de ampliación vertical



Las circunstancias que han llevado a la búsqueda de nuevas soluciones son múltiples. En primer lugar, hay que considerar la constante tendencia migratoria hacia las ciudades en busca de trabajo y nuevas oportunidades, lo que trajo consigo la necesidad de nuevas viviendas. Otras razones de peso como la conveniencia de no crear nuevos barrios debido a la escasez de recursos económicos, la necesidad en muchos edificios de intervenciones y reparaciones que los propietarios no pueden afrontar, y la oportunidad de aumentar el volumen en zonas de ensanche, han confluído en este modelo de estrategia. Por ello, los profesionales han visto una oportunidad en la construcción de nuevas viviendas en las azoteas de los edificios en los que la edificabilidad vigente lo permite. Los residentes, como compensación por esta adición, reciben la rehabilitación o renovación de elementos constructivos, instalaciones, o adecuación de la accesibilidad del edificio por citar algunos ejemplos. Siendo así, se pretende dar respuesta a muchas de estas cuestiones, además de promover una reactivación urbana. Con todo ello, la creación de nuevas viviendas y la rehabilitación de edificios, ayuda a promover un equilibrio entre el desarrollo urbano y la conservación de la ciudad (Zucconi, 2014).

En primer lugar, para entender este modelo de estrategia a través de la edificabilidad, es necesario ser conscientes de que para posibilitar estas ampliaciones verticales es imprescindible adquirir el *derecho de vuelo*, que viene definido en el Artículo 16.2 del Decreto de 14 de febrero de 1947 del Reglamento hipotecario como¹:

El derecho de elevar una o más plantas sobre un edificio o el de realizar construcciones bajo su suelo, haciendo suyas las edificaciones resultantes, que, sin constituir derecho de superficie, se reserve el propietario en caso de enajenación de todo o parte de la finca o transmita a un tercero, será inscribible conforme a las normas del apartado 3º del artículo 8 de la Ley y sus concordantes. En la inscripción se hará constar: a) Las cuotas que hayan de corresponder a las nuevas plantas en los elementos y gastos comunes o las normas para su establecimiento d) Las normas de régimen de comunidad, si se señalaren, para el caso de hacer la construcción.

Por tanto, para la construcción de nuevas viviendas mediante la ampliación en altura, es necesaria una edificabilidad vacante y un derecho

¹ La última actualización fue publicada el 02/04/2001.

de vuelo, junto con el cumplimiento de toda la normativa urbanística y arquitectónica correspondiente. Es importante recalcar en este momento que la sobreelevación no aumenta la densidad para la cual la ciudad, el distrito o el barrio fueron concebidos, sino que la completa.

Asimismo, si existe la posibilidad de incrementar el número de plantas dentro del plan urbanístico, se puede observar que se da una situación similar desde el punto de vista estructural. Por un lado, la capacidad de carga estructural suele ser más elevada de lo necesario, lo que permite agregar más pisos sin dificultades significativas. Por otro lado, la durabilidad de la estructura también está sobredimensionada, lo que significa que la estructura seguirá siendo funcional más allá de los estándares de vida útil de estos edificios. De hecho, si recurrimos a las regulaciones del Código Técnico de la Edificación, se establece que el periodo de servicio debe ser de 50 años. Aun así, en la práctica, muchos edificios superan este periodo de vida útil con facilidad. Todas estas circunstancias favorables respaldan la posibilidad de agregar nuevos niveles, siempre y cuando estos se adapten adecuadamente a las condiciones del edificio existente.

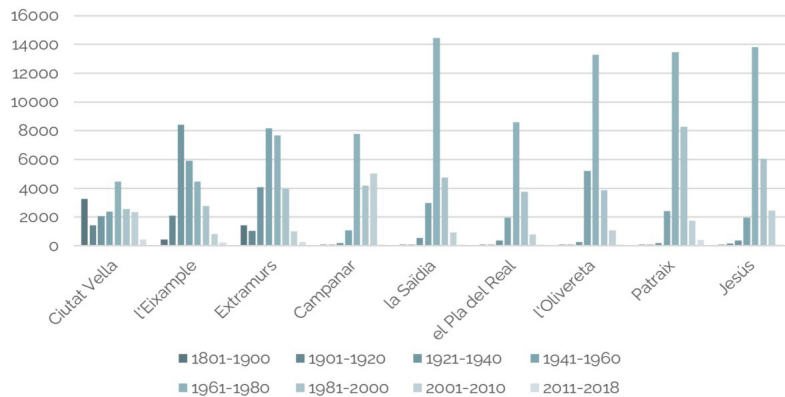
3.5. Identificación de las oportunidades para ampliaciones verticales

La ampliación en altura de los edificios residenciales es sólo una vía más para la reactivación y regeneración urbana. Las mejoras individuales de cada bloque residencial, en su conjunto, generan una estrategia de mejora a nivel global en la metrópoli.

Se ha realizado un gráfico a partir de los datos del *Catastro de Bienes Inmuebles de naturaleza urbana a 19/06/2019. Oficina de Estadística. Ayuntamiento de València*. En la figura 31 se detalla la fecha de construcción y la cantidad de inmuebles de diferentes barrios de Valencia. Se aprecia que gran parte de los edificios se construyeron entre los años 1961 y 1980, un indicador de que un gran número de viviendas están próximas a su vida útil o ya la han superado. Si además nos fijamos en los barrios de ensanche, que corresponden a los barrios de l'Eixample y Extramurs, la mayoría de los edificios fueron construidos entre los años 1941 y 1960.

Por tanto, a pesar de la falta de mantenimiento que pudiesen tener las edificaciones, no se puede obviar la antigüedad de las viviendas. La existencia de barreras arquitectónicas, la falta de adaptación a nuevos sistemas, la baja eficiencia energética, o las reparaciones de elementos estéticos en fachada, ligado a la conservación propia de edificio, son una clara evidencia de necesidad de rehabilitación.

Figura 31. Gráfico de barras de los inmuebles residenciales según su antigüedad en los distritos más céntricos de Valencia, España



De esta forma, si se establece un posible escenario en el que los edificios de viviendas requieren de rehabilitación, hay que tener en cuenta que algunos de estos edificios disponen de algún grado de protección, ya sea ambiental, parcial o singular, debido a la normativa que los acoge. En la figura 32 se han identificado los edificios con algún grado de protección extraídos de los "Planes Especiales de protección del Ensanche de Valencia", el P.E.P. 1 correspondiente al barrio de Russafa Norte, y el P.E.P. 2, a Russafa Sur. Sin embargo y en base a los planes, incluso en estos edificios protegidos, la normativa urbanística permite esta posible suplementación de plantas. La figura 33 recoge los edificios con posibilidad de ampliación vertical dispuesta por los planes y que, además, cuentan con grado de protección. Por tanto, los inmuebles con oportunidad de ampliación vertical hacen un total de 70, catorce de ellos en Russafa Norte, y los cincuenta y seis restantes en Russafa Sur. A pesar de este número, existen algunas ampliaciones verticales ya realizadas. En Russafa Norte, se han realizado 3. Por otro lado, en Russafa Sur han sido tres las realizadas, estando una con los trabajos parados. Del mismo modo, existe un edificio dedicado a equipamiento y que, por tanto, tampoco será computado debido a sus características particulares, muy diferentes a las del resto. Así pues, pueden contabilizarse hasta sesenta y tres inmuebles con posibilidad de sobre elevación.

En la figura 34 se muestran ejemplos de hojas extraídas de los planes especiales. Se puede apreciar cómo viene indicado la posibilidad de alteración volumétrica, el número de plantas adicionales posibles, los requerimientos estéticos de la fachada, las alineaciones con los edificios colindantes y cualquier otro aspecto relacionado con el patrimonio arquitectónico del entorno. Por tanto, no es de extrañar que, si la existencia de estos planes especiales contribuye a una ampliación en altura, la normativa urbanística permita también la construcción de más plantas en edificios sin ningún grado de protección, teniendo en cuenta siempre, las correspondientes limitaciones legales, arquitectónicas y urbanísticas.



◀ Figura 32.
Edificaciones con grado de protección establecidos en el plan especial de 2006 del ensanche de Valencia del barrio de Russafa



◀ Figura 33.
Edificaciones con grado de protección y con posibilidad de ampliación volumétrica según planes especiales de Valencia del barrio de Russafa

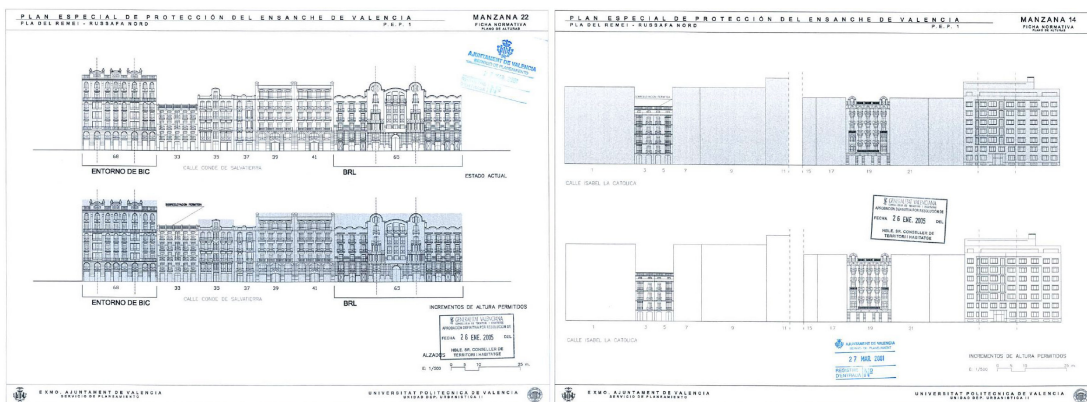


Figura 34. ▲
Ejemplos del
archivo del "Plan
especial de
protección de la
zona de ensanche"
donde se indica la
sobreelevación de
un edificio

Cabe señalar que la normativa urbanística tiene en cuenta las limitaciones de altura y planta en función del entorno arquitectónico. Por tanto, las actuaciones individuales siempre van acompañadas de una armonización de los barrios, tanto a nivel patrimonial y urbanístico (De Gracia, s. f). Aun así, el gran problema al que podría enfrentarse este tipo de práctica, en caso de especulación excesiva, sería una densificación mayor de la que el barrio de expansión podría asumir. Actualmente, y según los datos del *Padrón Municipal de Habitantes a 01/01/2019. Oficina de Estadística. Ayuntamiento de Valencia* hay una población empadronada entre 39.194 y 48.259, y existe una densidad de 20.492,24 y 31.373,9 hab/km² en Russafa Sur, y de 13.029,09 y 20.492,24 hab/km² en Russafa Norte. Teniendo en cuenta que existen 62 edificios con posibilidad de sobreelevación, y a una media de 4 personas por planta construida teniendo en cuenta que son dos viviendas por planta, el máximo de personas nuevas empadronadas serían 248. Este valor supone un 0,56% de incremento de población respecto al actual, valor muy poco significativo para el conjunto de la población. Se podría considerar que el aumento de densidad no es ningún factor problemático con la activación de esta práctica. Sin embargo la incidencia en la mejora del mercado de la vivienda y la actualización de los edificios existentes sí que sería notable.

3.6. Aproximación a la metodología constructiva

A fin de que estas renovaciones urbanas se lleven a cabo, se necesita un modelo de inversión, por lo que la práctica de construcción en las azoteas de los edificios, es una posible solución: áticos a cambio

de rehabilitaciones. Sin embargo, hay que tener en cuenta la forma de intervención, ya que existen dos actuaciones claramente diferenciadas. Por un lado, hay que plantearse la mejora de las condiciones de los edificios existentes y, por otro, pensar en la vivienda nueva (Millán Delgado, 2018).

En primer lugar, se debe realizar una exploración de los edificios existentes para localizar los puntos a desarrollar. Normalmente, las deficiencias corresponden a obras de rehabilitación y mejora como: incorporación de ascensor, actuaciones en escaleras, eliminación de barreras arquitectónicas, renovación de fachadas, actualización de sistemas y mantenimiento general del edificio. Todas estas medidas se acuerdan con los propietarios, que también obtendrán una revalorización de sus viviendas.

En cuanto a la sobreelevación, ya sea de una o varias plantas, vendrá determinada por las circunstancias del edificio que afecten a su materialización y diseño. Para empezar, la estructura del edificio preexistente, al ser capaz de soportar mayores cargas, verá incrementado su peso. Aunque esto es posible, no puede hacerse indefinidamente, por lo que la nueva estructura debe tener unos requisitos mínimos de peso. Esto conduce a una estructura ligera. Otra cuestión que hay que tener en cuenta de la estructura existente es su posición definida. En consecuencia, la nueva estructura se adaptará a una geometría y tipología determinadas empleando elementos ligeros y componentes especiales como vigas durmientes, elementos de celosía, etc.

Hasta ahora hemos hablado de los elementos materiales. Sin embargo, no hay que dejar de lado el factor humano, ya que la existencia de vecinos es otro factor clave en esta modalidad de construcción. De ahí que, los trabajos en la obra deben minimizarse al máximo. Aunque la duración de las obras de rehabilitación tiene un plazo establecido, los inconvenientes ocasionados por la sobreelevación pueden mitigarse, a partir de sistemas modulares industrializados. Esta tipología constructiva ofrece la posibilidad de ejecutar la mayor parte de las nuevas viviendas en una fábrica, para luego transportarlas a su ubicación definitiva. De esta forma se atenúan los posibles inconvenientes generados por la construcción de las nuevas viviendas. En consecuencia, la construcción de viviendas en las azoteas de los edificios que aún no han agotado su edificabilidad, debe ejecutarse a partir de sistemas ligeros e industrializados.

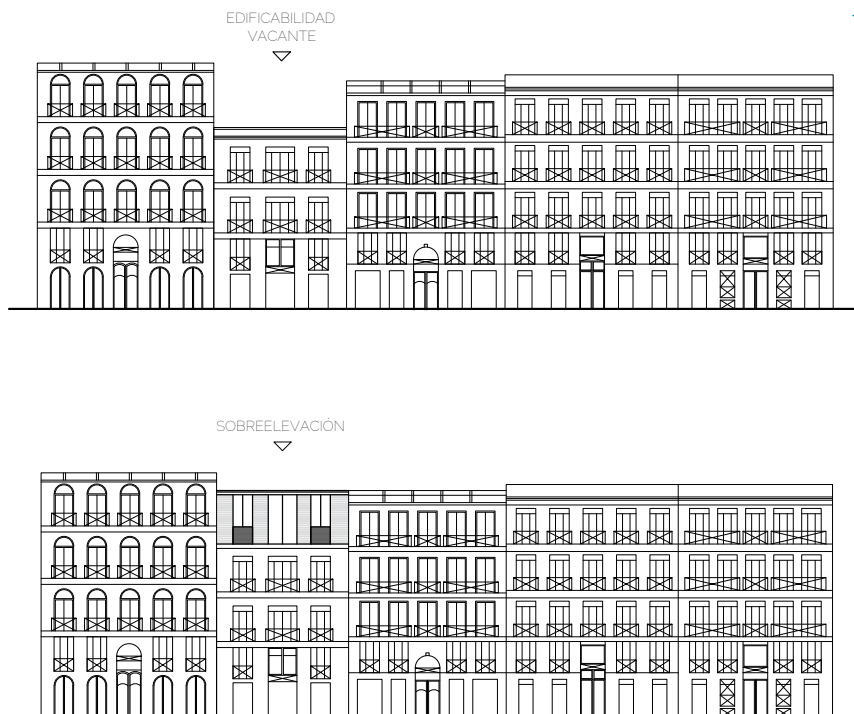
Los aspectos constructivos [◦] 04 del edificio existente

4.1. La sobreelevación como respuesta al contexto urbano

Las ciudades se encuentran en una evolución constante debido a los continuos cambios económicos, sociales y ambientales. Actualmente, todos ellos han creado un contexto urbano definido principalmente por dos peculiaridades. Por una parte, la evidente falta de mantenimiento y actualización de espacios comunes en muchos edificios situados en los centros históricos de las ciudades. Por otro lado, las dinámicas demográficas hacia las urbes generan la necesidad de nuevas viviendas en zonas concretas. En consecuencia, las ciudades se han visto obligadas a ampliarse para cubrir estas necesidades.

Frente a este contexto, se propone una metodología de sobreelevación como una posible respuesta (Fig. 35). Esta práctica consiste en la construcción de módulos ligeros de viviendas en las azoteas de edificios existentes históricos cuando la normativa y las posibilidades constructivas lo hacen posible. A cambio, el promotor realiza una renovación, mejora y actualización del edificio a elevar (Millán Delgado, 2018).

Esta oportunidad de construir viviendas a partir de la edificabilidad es un fenómeno adecuado que debe fomentarse. Para hacer esta práctica una solución atractiva para todos los agentes intervinientes es necesaria una mejor comprensión de esta solución que permita una estandarización y normalización de la tecnología. En atención a lo cual, la identificación de dos cuerpos en la sobreelevación se muestra evidente. Por un lado, se distingue el edificio existente, el cual determina las limitaciones y las bases, como la métrica, carga máxima, puntos de unión, entre otros. Por otro lado, el segundo cuerpo, el cual viene condicionado por la situación del primero, y por las leyes y normas vigentes (Piqueras Blasco & Cabrera i Fausto, 2022). Adicionalmente, la interacción entre los dos cuerpos marcará la compatibilidad y la viabilidad de la propuesta. Por esta razón, en los siguientes apartados se realiza un estudio de los aspectos constructivos del edificio existente, el cual marcará diversos condicionantes para el futuro prototipo.



◀ Figura 35. Ejemplo de alzado frontal anterior y final de una calle tipo que alberga una sobreelevación

4.2. Identificación de los aspectos constructivos existentes

Para la elaboración de los siguientes puntos, se lleva a cabo una identificación de los diferentes aspectos constructivos que influyen en el comportamiento de la estructura de los edificios con opción a suplementación de plantas extraídos del bloque anterior. Se evalúan un total de sesenta y dos muestras. Para ello, es necesario distinguir entre dos partes: el edificio existente y la ampliación. El edificio existente actúa como punto de partida, ya que marca las circunstancias a las que deberá ajustarse la nueva construcción con objeto de no penalizar excesiva e innecesariamente la estructura inferior. Por otro lado, la ampliación que acogerá las nuevas viviendas, como se ha dicho, debe adaptar la métrica de su estructura y distribución de cargas a las del edificio base, que fijará las condiciones tipológicas y constructivo-estructurales para el desarrollo de la futura tecnología.

4.2.1. Tipología arquitectónica

Las ordenanzas locales asignan a esta zona de ensanche un uso predominantemente residencial. Por este motivo, las construcciones que pueden verse son muy similares: bloques de viviendas entre medianeras con patios que, según la normativa, debían alcanzar el 25% de la manzana. Además, la parcela debía tener una longitud mínima de 8 m de fachada y una superficie mínima de 100 m². La altura máxima de los edificios dependía de la importancia de la calle, pasando de 12 m en calles secundarias a 20m en calles de primer orden en los primeros planes. Todas estas reglamentaciones se redactaron en los diferentes planes de ensanche que se aprobaron a lo largo de los años, el primero de los cuales se aprobó en 1844 (Taberner Pastor, 1987).

A partir de los sesenta y dos inmuebles con capacidad de ampliación extraídos del punto anterior se han elaborado unas fichas con cada uno de ellos², donde se recogen distintos parámetros objeto de análisis. En ellas, se realiza una identificación general del edificio donde se anota la dirección, la referencia catastral, el año de construcción, y su uso. A continuación, se determinan datos descriptivos como su ubicación en la manzana, estado, o características arquitectónicas. Asimismo, se detalla la normativa de aplicación y la opción volumétrica permitida, bien sea ampliación vertical o aumento de la profundidad edificable. Finalmente, se aporta una documentación gráfica compuesta por planos y fotografías (Fig. 36).

Figura 36. Ejemplo de ficha elaborada por cada inmueble susceptible de ampliación vertical

| FICHA EDIFICIO | | ID: RN.6.3 |
|---|---|---|
| IDENTIFICACIÓN DEL INMUEBLE | | |
| Ubicación: | C/ Orlio Amoris, 3 |  |
| Referencia catastral: | 6021314295B | |
| Nº manzana: | 6 | |
| Fecha construcción: | 1966 (2013 reformal) | |
| Uso principal: | Ofis y hostelería | |
| DESCRIPCIÓN | | |
| Último periodo: | Estado de conservación: | Tipología: |
| <input checked="" type="checkbox"/> entre medianeras | <input type="checkbox"/> malo | <input type="checkbox"/> 1 |
| <input type="checkbox"/> esquina | <input type="checkbox"/> regular | <input type="checkbox"/> 2 |
| <input type="checkbox"/> aislado | <input type="checkbox"/> bueno | <input type="checkbox"/> 3 |
| Lenguaje arquitectónico: | Estiloidismo académico | |
| Tipología constructiva: | Sistema constructivo de 3 crujeas con muros portantes y pilares de ladrillo con vigas y viguetas de madera y revellón de ladrillo | |
| Nº de alturas: | 16 (-3) | |
| NORMATIVA APLICACIÓN | | |
| Grado de protección: | Protección ambiental (Grado 2) | |
| Nombre normativa: | Plan especial de Protección del Ensanche de Valencia P.E.P. 1 | |
| Alteración del volumen: | <input checked="" type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No | Nº plantas posibles a sobreelevar: 1 |
| | | Profundidad edificable: Sí |
| DOCUMENTACIÓN GRÁFICA | | |
|  |  | |
| Comentarios: Sobreelevar permitida en segunda crujía. Altura máxima 4 metros sobre plano inferior del último forjado existente. | | |

² Las fichas pueden verse en el anexo final.

Realizado el análisis, se han distinguido hasta cuatro tipos según sus características tipológicas (Fig. 37). Estas categorías vienen determinadas por el P.E.P., y por tanto se entiende que son de rigor suficiente para ser utilizadas, puesto que no se ha podido entrar en las viviendas. En esta investigación la clasificación se divide en Tipo 1, Tipo 2, Tipo 3 y Tipo 4, y tiene en cuenta la disposición de las escaleras respecto a las crujiás, los patios y las viviendas. Los tipos son los siguientes:

Tipo 1: Dos viviendas por planta separadas por el núcleo de comunicación en la segunda crujía

Tipo 2: Dos viviendas por planta separadas por el núcleo de comunicación en la primera crujía

Tipo 3: Dos viviendas por planta con mayor profundidad respecto al Tipo 1 y 2. Separadas por el núcleo de comunicación en la segunda crujía, un patio interior en crujiás posteriores, y otro patio intermedio por vivienda adosado a las medianeras de la parcela.

Tipo 4: Dos viviendas por planta con mayor profundidad respecto al Tipo 1 y 2. Separadas por el núcleo de comunicación en la segunda crujía, y un patio interior en las crujiás posteriores.

Del análisis se extrae lo siguiente:

- En todos los tipos, se encuentra la disposición de dos viviendas por planta orientadas perpendicular a la calle y separadas por el núcleo de comunicaciones (S)
- En los tipos 1,3 y 4, la escalera se sitúa en la 2ª crujía
- En el tipo 2, la escalera se sitúa en la 1ª crujía
- En los tipos 3 y 4, se añaden patios interiores debido a la necesidad de ventilación y entrada de luz por tener una mayor profundidad.

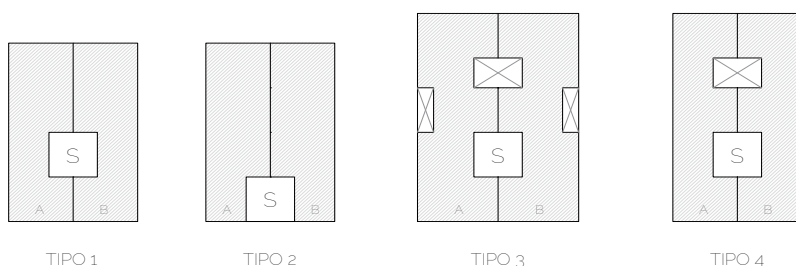


Figura 37. Clasificación de las distribuciones generales de diferentes tipos de edificios residenciales en los barrios de Colón y Russafa en Valencia, España

A continuación, se realiza un análisis de los datos recogidos en las fichas. De esta forma, el objetivo principal de este análisis es identificar y comprender la tipología edificatoria predominante dentro del ámbito de actuación. Dado que la zona de estudio exhibe características homogéneas en términos de diseño y distribución urbana, se espera que la mayor disparidad entre los inmuebles esté en el sistema estructural empleado en su construcción. Este análisis proporciona una visión de los diferentes enfoques arquitectónicos y constructivos utilizados en la zona, lo que permite identificar tendencias y patrones comunes. Además, la comprensión de las características arquitectónicas y constructivo-estructurales de las edificaciones da paso al entendimiento de posibles limitaciones o desafíos que pudiesen surgir durante el proceso de ampliación vertical. Como por ejemplo, consideraciones de la capacidad de carga, resistencia de materiales, o la integración y conexión de la nueva estructura sobre la existente.

Los sistemas estructurales de la zona de estudio son:

- Estructura de muros portantes y pilares de fábrica de ladrillo con vigas y viguetas de madera
- Estructura de muros portantes y pilares de fábrica de ladrillo con vigas y viguetas metálicas
- Estructura reticular de hormigón con vigas y viguetas de hormigón

Tabla 2. ►
Clasificación de viviendas según sistema estructural y otros parámetros

| SISTEMA DE MUROS PORTANTES Y PILARES DE FÁBRICA DE LADRILLO. VIGAS Y VIGUETAS DE MADERA | | | | | | |
|--|---------------------|-------------------------------|-------------------------|----------------------------------|---------------------------|--|
| Id | Nº edificios | Media año construcción | Alturas actuales | Nº plantas sobreelevación | Esquema tipológico | Estilo |
| A | 1 | 1910 | PB + 2 | 1 | 1 | Eclecticismo Académico |
| B | 31 | 1914 | PB + 3 | 1 | 1 | Eclecticismo Académico (27) Modernismo (3) Eclecticismo Neobarroco (1) |
| C | 2 | 1917 | PB + 3 | 1 | 2 | Eclecticismo Académico |
| D | 1 | 1888 | PB + 3 | 1 | 3 | Eclecticismo Académico |
| E | 5 | 1924 | PB + 4 | 1 | 1 | Eclecticismo Académico |
| SISTEMA DE MUROS PORTANTES Y PILARES DE FÁBRICA DE LADRILLO. VIGAS Y VIGUETAS METÁLICAS | | | | | | |
| Id | Nº edificios | Media año construcción | Alturas | Nº plantas sobreelevación | Esquema tipológico | Estilo |
| F | 6 | 1920 | PB + 3 | 1 | 3 | Modernismo (2) Eclecticismo Académico (4) |
| G | 1 | 1910 | PB + 3 | 2 | 3 | Eclecticismo Académico |
| H | 12 | 1927 | PB + 4 | 1 | 3 | Eclecticismo Historicista (3) Eclecticismo Neobarroco (2) Eclecticismo Académico (7) |
| SISTEMA ESTRUCTURAL RETÍCULAR DE HORMIGÓN. VIGAS Y VIGUETAS DE HORMIGÓN | | | | | | |
| Id | Nº edificios | Media año construcción | Alturas | Nº plantas sobreelevación | Esquema tipológico | Estilo |
| I | 3 | 1917 | PB + 3 | 1 | 4 | Eclecticismo Académico |

Identificados los grupos principales según su sistema estructural, se realiza otra distinción teniendo en cuenta los parámetros extraídos de las fichas: edad de construcción, número de alturas, estilo arquitectónico, clasificación tipológica (Tipo 1, 2, 3 o 4), número de plantas posibles a sobreelevar, agrupando aquellos edificios con características similares (T. 2).

Expuesta la tabla, se deduce que la opción predominante en cuanto al sistema estructural es el sistema de muros de carga y pilares de fábrica de ladrillo con vigas y viguetas de madera. Además, destaca notablemente los edificios identificados como B, con un total de 31, esto representa el 50 % del total de las construcciones.

Analizando la tabla general, encontramos valores muy similares. Cabe destacar que la mayoría de las sobreelevaciones corresponden a la ampliación de una planta, a excepción de un edificio en el que la normativa permitiría construir hasta dos plantas más. Otro dato a tener en cuenta es que la edad media de los edificios supera los 100 años. Mencionar que, según el Código Técnico de la Edificación vigente en España, la vida útil de un edificio de viviendas es de 50 años. Sin embargo, con frecuencia comprobamos que la mayoría de los edificios que habitamos en los cascos históricos de las ciudades occidentales han cumplido con creces este requisito (Piqueras Blasco & Fenollosa Forner, 2020). Esto nos hace entrever que los edificios todavía tienen las características de durabilidad necesarias para aumentar esta vida útil. De hecho, comprobamos que los edificios pueden seguir en funcionamiento, a pesar de que tengan más de 50 o 100 años. También cabe mencionar que los costes energéticos, materiales y medioambientales de demoler un edificio y construir uno nuevo son muy elevados, por lo que la rehabilitación de edificios existentes es una buena práctica sostenible, económica y arquitectónica (Anne Lacaton, Frédéric Druot, 2007).

Si nos referimos al estilo arquitectónico, hay que destacar el movimiento por excelencia en España entre 1910 y 1930: el eclecticismo académico. Este se caracteriza por la mezcla y combinación de estilos, detalles ornamentales y elementos estructurales de diversas fuentes. Aunque este rasgo no afectará a las características estructurales, deberá tenerse en cuenta en el diseño del proyecto, para que las fachadas existentes puedan convivir con las nuevas. Por último, subrayar que el esquema de distribución predominante es el tipo 1, seguido del tipo 3. Ambos tienen la escalera situada en la 2ª crujía, pero se diferencian por la inclusión de patios en el tipo 3. Esto se debe al aumento de superficie, tanto en profundidad edificable como en fachada, ya que para incorporar luz y ventilación a las distintas estancias fue necesario introducir huecos con componente esencialmente vertical en todo el edificio.

4.2.2. Tipología constructiva-estructural

La zona de ensanche estuvo determinada por la Revolución Industrial, que transformó los modelos sociales y económicos de la sociedad de la época. Esto también tuvo consecuencias en el modelo de ciudad, y fue a lo largo del siglo XIX y principios del XX donde se produjeron las transformaciones físicas urbanas más importantes en la ciudad de Valencia. Todo este cambio se refleja en los edificios, que se vieron directamente influenciados por los materiales y las técnicas de construcción empleadas. Con el transcurso de los años, estas técnicas han ido evolucionando y se detectan variaciones según el periodo de construcción.

Por este motivo, el siguiente análisis se centra en los edificios de tipo B, detallando las diversas partes que los componen. Este enfoque nos permitirá identificar y conocer los aspectos críticos y las áreas que requieren mayor atención en la aplicación de la tecnología y la adición de módulos para la ampliación de estos edificios.

Cimentación

La cimentación ha sido el sistema constructivo que menos ha variado durante el siglo XIX y principios del siglo XX. Se realiza mediante zapatas corridas bajo los muros de carga del edificio, así como de fachadas y escalera. En algunas ocasiones, cuando se emplean pilares de fundición o bajo los machones de mampostería de los pórticos interiores, también se pueden encontrar zapatas aisladas (Fig. 38). Materialmente, se ejecutan con mampostería en seco, o con algún cemento natural. Su anchura suele ser de unos 150 cm y suele responder a dos o tres veces el espesor del muro de carga a soportar, y su profundidad suele alcanzar uno o dos metros (Fran Bretones, 1990). Ocasionalmente, y cuando el terreno firme no se encuentra en los niveles superiores, se produce un recrecido de los mismos muros a partir de mampuestos o piedras de gran tamaño (Soriano Vega, 2013).

Figura 38.
Fotografías de
zapatas bajo pilares
de fundición de
un edificio del
Ensanche de
Barcelona ▼



Estructura vertical

El sistema estructural vertical de los edificios de la zona de estudio se basa en la disposición de muros de carga paralelos que sirven como fachadas delantera y trasera. En el interior, también se encuentran pórticos dispuestos paralelamente a estas fachadas con una separación de alrededor de tres metros (Fig. 39). Dimensionalmente, estos muros de carga materializados con ladrillo macizo aparejado a sogas, oscilan entre un pie y medio y dos pies de espesor, dependiendo de la altura del inmueble. Es habitual que los muros de las primeras plantas sean de más grosor, y a medida que se asciende de plantas, el grosor de estos muros se reduzca (Fran Bretones, 1990).

En cuanto a los pórticos interiores, según indica José María Fran Bretones en su tesis doctoral, están a medio camino entre un pórtico y un muro de carga, ya que son marcos construidos a partir de pilares de ladrillo macizo de mayor dimensión longitudinal. Así pues, si se encuentran aislados son pilares de gran dimensión en la dirección del pórtico. Por otro lado, los pilares extremos son contrafuertes unidos a las medianeras para dar mayor estabilidad lateral. En esta ocasión, cabe mencionar la introducción en algunos casos de pilares de hierro fundido a partir de 1920. Se puede encontrar como sustitución de los pilares en el primer piso de los locales comerciales, cuando la diferencia económica era realmente rentable en comparación con el aumento de superficie.

Otro elemento que contribuye a la estabilidad de la estructura es el tabique con fines de arriostramiento. También son de ladrillo macizo y de medio pie de espesor. De manera similar, esta tabiquería se dispone perpendicularmente a la fachada y a otros muros de carga y pórticos para conectarlos y enlazar con otras medianeras y cajas de escalera (Soriano Vega, 2013).

Si bien, antiguamente los muros medianeros se compartían entre edificios vecinos, este concepto cambió mucho antes de que se construyeran las tipologías que estamos considerando. Así, cada uno de estos edificios tiene sus propias medianeras de ladrillo macizo de medio pie de espesor sin cámara de aire.

Por último, hay que mencionar que el hueco de la escalera es un elemento rígido que arriostra toda la estructura, ya que está hecho con una mampostería de ladrillo macizo de un pie de grosor construido igual que la fachada.

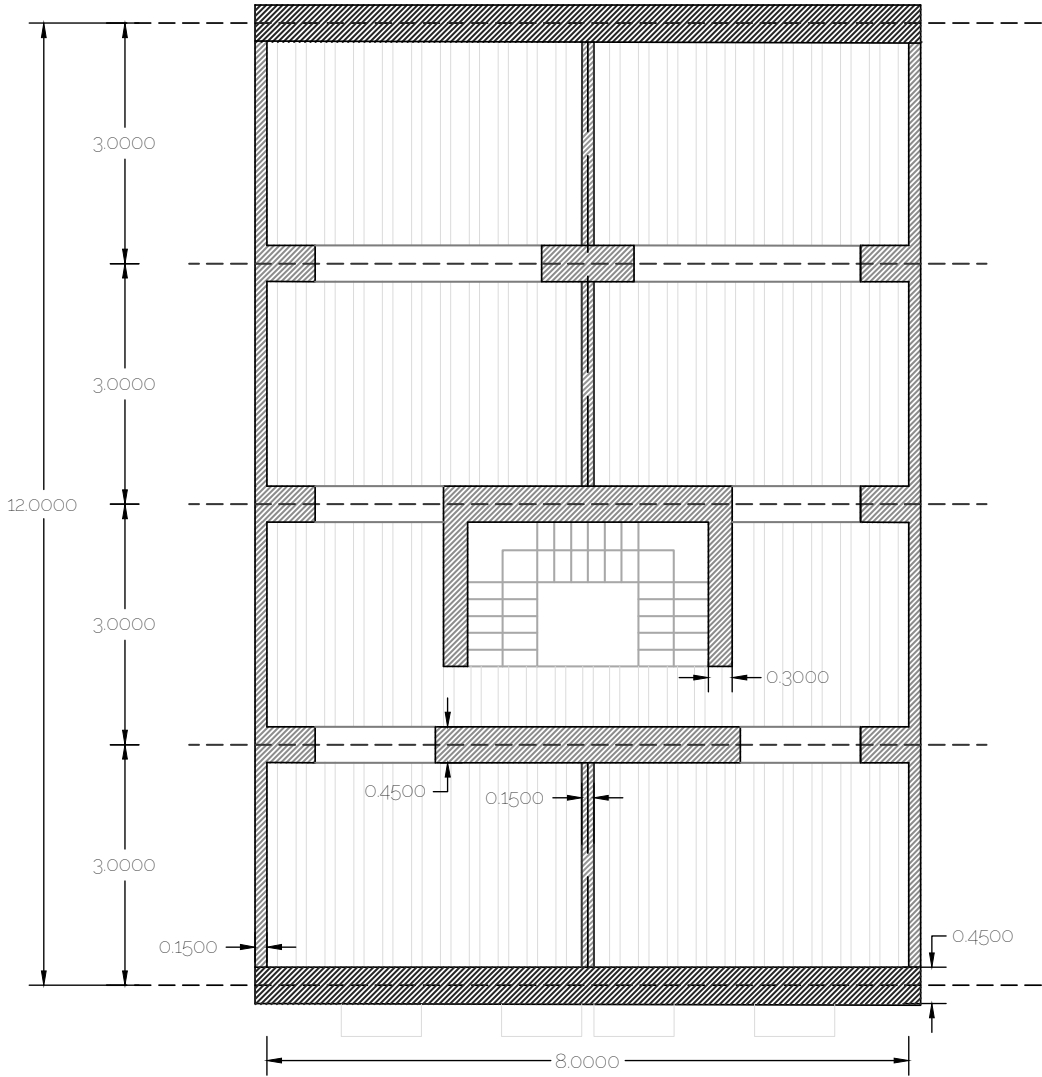


Figura 39. **▲** Esquema de un edificio tipo B que muestra el sistema estructural mediante muros de carga paralelos a la fachada

-  Muros de carga (actúan como fachada delantera y trasera)
-  Pórticos interiores (actúan como elementos portantes)
-  Forjado de viguetas

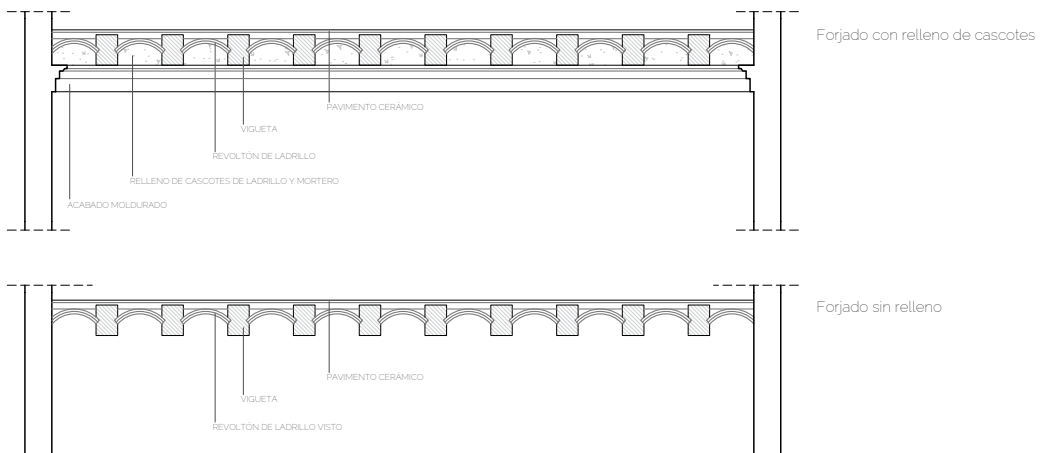
Estructura horizontal

Si anteriormente mencionábamos que la cimentación era el punto que menos había variado en cuanto a técnicas constructivas y materialidad, no puede decirse lo mismo de los forjados. En este caso, la evolución de los materiales y su composición constructiva es evidente en el diseño de los elementos estructurales horizontales.

Así, en los edificios de Colón y Russafa, la mayoría de los forjados son unidireccionales, compuestos por vigas y viguetas de madera. Las viguetas descansan sobre las vigas, mientras que estas últimas se apoyan en los machones de los pórticos interiores. Una peculiaridad que se observa es la forma en que se crea el espacio interno entre los diversos elementos, y su evolución. Inicialmente, para la construcción del espacio entre viguetas, llamado entrevigado, se utilizaban revoltones de ladrillo formando una o dos roscas. En el espacio libre entre los elementos, se empleaban escombros de ladrillo y mortero como relleno para facilitar la nivelación antes de colocar el pavimento cerámico. Con el tiempo, se intentó aligerar el peso de la zona entre la estructura y el suelo eliminando gradualmente los materiales entre la bovedilla y la solera del forjado, hasta que finalmente se eliminó por completo la capa de revoltones. Dimensionalmente, el vigerío que compone el forjado suele tener secciones de 13,9 y 18,6 cm (Fran Bretones, 1990) (Fig. 40).

Como hemos mencionado anteriormente, la estructura horizontal era uno de los elementos que más cambios había sufrido a lo largo de los siglos. Así, más adelante, se empiezan a ver algunos elementos realizados a partir de perfiles de acero laminado (Fran Bretones, 1990). A pesar de este importante cambio material, conceptualmente el sistema se mantiene igual.

Figura 40.
Sección transversal de un forjado típico con entramado de vigas y viguetas con cielo raso moldurado, y de uno sin el relleno de los revoltones



Cubierta

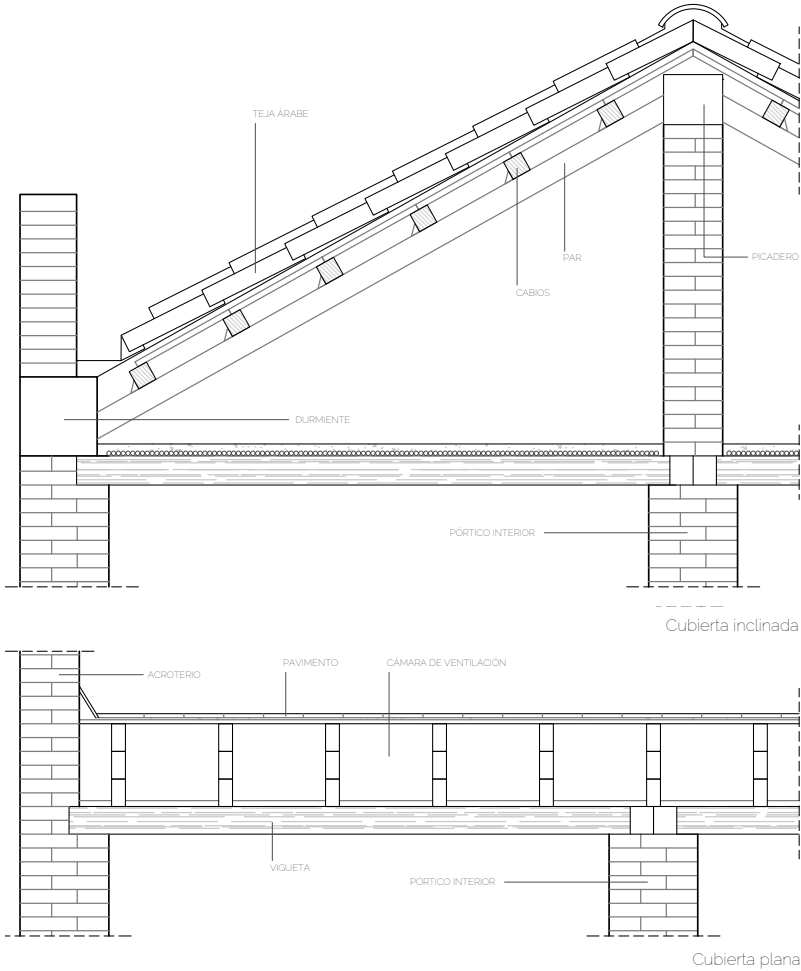
Junto con el forjado, la cubierta ha sido otro de los elementos que más ha evolucionado. Así pues, existen dos tipos principales de cubiertas. En un principio, las cubiertas a dos aguas eran los más comunes, pero poco a poco fueron dando paso a las cubiertas planas ventiladas (Fig. 41). Lo interesante es que, independientemente del estilo de la cubierta, este elemento siempre se ha considerado como separado y diferente al resto de la estructura del edificio (Soriano Vega, 2013). Este enfoque ha permitido una mayor flexibilidad en el diseño y enfoque constructivo de las cubiertas.

En el caso de las primeras, se trata de una cubierta a dos aguas que conducen el agua de lluvia hacia las fachadas delantera y trasera. Constructivamente, se compone de elementos de madera, al igual que el forjado, dispuestos de forma inclinada. En el caso de Valencia, se emplea un sistema que consiste en viguetas que van desde los muros de carga delantero y trasero hasta vigas interiores de madera que actúan como cumbreras, a este sistema se le llama *par y picadero*, siendo el par la vigueta, y picadero la línea de cumbrera. Sobre las viguetas se colocaban escuadrias de menor dimensión que recibían las piezas cerámicas que materializaban la cubierta (Fran Bretones, 1990). Así pues, esta cubierta a dos aguas será una de las mayores dificultades a resolver para la sobreelevación.

Si nos referimos a la cubierta plana, cabe destacar que el tipo de solución de la época era la denominada cubierta plana "a la catalana." Se compone de dos capas diferenciadas que definen e intermedian una cámara de aire ventilada con una altura que oscila entre 40 y 60 cm con el fin de mejorar el confort térmico y evitar la condensación (Artés et al., 2018). Materialmente se compone de varias capas de ladrillos macizos y muy delgados, denominados rasilla, colocados sobre pequeñas fábricas de ladrillo perforadas y también delgadas construidas sobre la capa de compresión del último forjado que forma la cubierta.

Esta nueva solución comenzó a imponerse en la segunda década del siglo XX. Por ello, en la mayoría de los casos, el tipo de cubierta que encontramos es la cubierta plana ventilada, llamada *cubierta a la catalana*. Indicar también que, la definición de cubierta plana no implica una horizontalidad perfecta, ya que, del mismo modo, se perciben pendientes que permiten la evacuación del agua.

Figura 41.
Tipos de cubierta,
inclinada y plana.



4.2.3. Estado de conservación e identificación de los principales daños

El estado de conservación de los edificios parte de la evaluación de diversos factores, tales como su funcionamiento estructural, apariencia y funcionalidad. Para determinar si un edificio está en buen estado, si requiere de reparaciones o si presenta problemas que afecten su integridad estructural, seguridad, habitabilidad o incluso valor patrimonial, la valoración del estado de conservación es esencial. Esta evaluación consta de la inspección de múltiples aspectos que incluyen la estructura, el revestimiento, instalaciones y elementos constructivos. La determinación del estado de conservación es una herramienta que sirve para tomar decisiones informadas sobre el

mantenimiento, reparaciones y mejoras de un edificio, ayudando a prevenir problemas más graves y a mantener el valor del edificio a largo plazo.

Durante la toma de datos de las fichas anteriormente mencionadas de los edificios susceptibles de ampliar verticalmente, se ha indicado también el estado de conservación. Para ello, se ha realizado un listado de condiciones que identifica si el edificio se encuentra en estado de conservación malo, regular o bueno:

Estado de Conservación Malo:

- Daños estructurales graves o problemas que amenacen la integridad del edificio
- Presencia de humedad, filtraciones de agua o deterioro significativo de los elementos constructivos
- Elementos dañados que afecten la seguridad de los ocupantes o la habitabilidad
- Desprendimientos significativos de revestimientos
- Ausencia notable de mantenimiento

Estado de Conservación Regular:

- Desgaste generalizado y necesidad de mantenimiento, pero sin amenazas inmediatas a la seguridad del edificio
- Pequeñas fisuras en paredes y/o techos que no indican problema estructural
- Presencia de revestimientos que muestran signos de envejecimiento, pero no se encuentran gravemente dañados
- Niveles aceptables de mantenimiento

Estado de Conservación Bueno:

- Aspecto general bien cuidado y sin problemas estructurales evidentes
- Ausencia de signos de filtraciones, humedad excesiva y/o deterioro en la estructura y elementos constructivos
- Ausencia de daños significativos en los revestimientos exteriores y elementos estructurales
- Instalaciones, como sistemas de saneamiento, ACS, eléctrico en buen estado de funcionamiento
- Mantenimiento adecuado de todas las áreas del edificio

En base a estos indicadores, los resultados para los sesenta y dos inmuebles con opción de sobreelevar ha sido que el 69% se encuentran en Estado de Conservación Bueno, y el 31% restante en Estado de Conservación Regular, siendo 0 inmuebles con estado de Conservación Malo (Fig. 42).

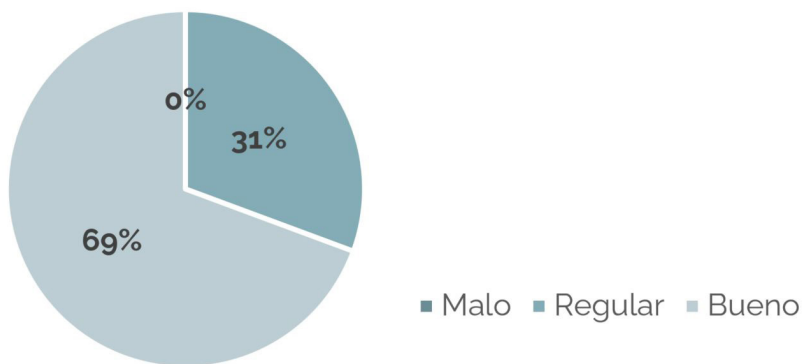


Figura 42. Gráfico de porcentajes del estado de conservación de los 62 inmuebles

Como se observa en el gráfico el estado de conservación de los edificios es mayoritariamente bueno, esto favorece a la ampliación vertical puesto que a nivel estructural se podrá considerar la integridad y funcionalidad de los elementos. A pesar de ello, los edificios del Ensanche de Valencia, al igual que en muchas otras zonas urbanas históricas, han experimentado una variedad de daños debido a la antigüedad, la exposición climática y el propio desgaste natural. Así pues, los principales daños más comunes identificados son:

1. Deterioro de revestimientos: Desprendimiento, descamación y decoloración de revestimientos exteriores a causa de la exposición al intemperie y envejecimiento de los materiales
2. Desgaste de elementos ornamentales: Deterioro de elementos decorativos y ornamentales en fachada, como molduras y detalles arquitectónicos, debido a la exposición ambiental
3. Deterioro de carpinterías: Pérdida de funcionalidad de carpintería
4. Problemas en instalaciones: Obsolescencia y fallos en los sistemas eléctricos, de saneamiento, y/o ACS.
5. Corrosión de elementos metálicos en rejas y barandillas a causa de la exposición a la intemperie y cercanía con áreas costeras en las que es habitual el aire salino.

En ocasiones, y cuando el estado de conservación es regular, los daños más habituales son:

6. Humedad y filtraciones: Signos evidentes de humedad como manchas, moho, deterioro de materiales y corrosión severa de elementos metálicos, que causan daños significativos en el edificio.
7. Desprendimientos de elementos exteriores: Desprendimientos de elementos constructivos como tejas, ladrillos o elementos

de fachada, a causa de la acción del viento o a la falta de mantenimiento.

Por todo lo mencionado anteriormente, los edificios de la zona de actuación cuentan con un estado de conservación bueno con los daños habituales, lo que nos servirá como enfoque para los siguientes análisis de esta investigación. De este modo, para la consideración estructural se considerará la integridad de los elementos, y nos enfocaremos específicamente en considerar las mejoras necesarias y las actualizaciones requeridas para los espacios compartidos, con el objetivo de mantener y actualizar las condiciones generales del edificio.

4.3. Consideraciones para el diseño de la nueva vivienda

Las nuevas viviendas en la sobreelevación deben acogerse a una lista de normas y cuestiones técnicas, no únicamente derivadas de la normativa, sino también del lugar donde se va a construir. De ahí, la importancia de comprender el edificio existente, puesto que marca unos puntos críticos que debemos atender tanto a nivel tipológico, como constructivo-estructural.

Si no referimos a las exigencias tipológicas, se encuentran aquellas que responden a criterios más generales y formales. Según la normativa, la gran parte de las ampliaciones únicamente pueden realizarse de 1 planta, punto que se tratará más adelante en la parte estructural. De igual modo, tan solo se podrán construir una o dos viviendas por planta debido al núcleo de escalera tan predominante a nivel distributivo. Además, se deberán respetar también la ubicación de los patios, así como, las instalaciones que puedan salir a cubierta.

En cuanto a las exigencias constructivo-estructurales, se detallan aquellas que atienden a criterios mucho más delicados. Una de las exigencias más claras y que por tanto condicionarán a las nuevas viviendas es la métrica. La estructura del edificio tiene una clara geometría generada por los muros de carga, los cuales marcarán el ritmo de los puntos de apoyo de la ampliación para que exista una buena transmisión de cargas. Punto que también condicionarán a la distribución interior.

Otro aspecto destacable es la ligereza. Se debe tener en cuenta que, aunque la estructura existente se encuentre en buen estado, el edificio no ha sido pensado para soportar una o dos plantas más. Pero en cambio, la estructura cuenta con las características necesarias para aumentar la carga. Por este motivo, la nueva estructura tendrá que responder a criterios de ligereza para que no afecte a la estabilidad del

edificio. Adelantábamos antes que, la normativa permitía la construcción, mayoritariamente, de una planta frente a dos. Punto que beneficiará también a la ligereza de la ampliación.

Constructivamente, la cubierta será otra cuestión muy significativa, debido a que es el elemento que estará en contacto con la ampliación. Por tanto, marcará la interacción entre ambas. En caso de ser cubierta plana, se eliminaría la capa superior dejando la capa inferior como forjado base de las viviendas. En cambio, si hay cubierta inclinada, se deberá eliminar por completo y, por tanto, esta última planta estaría afectada. En este caso, realizar un acuerdo con el propietario es necesario.

La nueva vivienda prefabricada **05**

5.1. Los sistemas modulares prefabricados para cualquier uso

5.1.1. Definición y características. Principios generales

Los sistemas modulares son una práctica constructiva enmarcada dentro de la construcción prefabricada, debido a su montaje industrializado y ensamblado en taller (Lacey et al., 2018) (Lim et al., 2022) (Díaz Piloñeta et al., 2018) (M. Lawson et al., 2014). Según su grado de prefabricación, existen aquellos módulos que se conforman a partir de elementos individuales, sistemas panelados o unidades volumétricas (Smith, 2010) (Chourasia, Singhal, & Manivannan, 2023). Durante el desarrollo de esta investigación, el estudio y análisis se centrará en comprender y analizar principalmente las unidades volumétricas. Estas unidades servirán como base a la construcción de las nuevas viviendas para la ampliación vertical.

Asimismo, se entiende por módulo prefabricado aquel elemento en que el esquema estructural se repite durante el proyecto. Independientemente de que el proyecto se componga de módulos con diferentes dimensiones o incluso variantes, el diseño constructivo se forma a partir de los mismos elementos y sistemas, los cuales tienden a tener una geometría rectangular (J. L. B. Álvarez, s. f.). Por tanto, la construcción modular se define como la fabricación de componentes estandarizados, que una vez ensamblados en casi su totalidad en un taller externo (*off site*), se transportan e instalan en el emplazamiento final (Lim et al., 2022). Esto significa que la mayor parte del ensamblaje se realiza fuera del sitio de construcción principal. Por ese motivo, es importante realizar un buen estudio del sistema modular base.

Para elaborar el diseño del módulo hay que tener en cuenta dos cuestiones clave: el detalle y el montaje (J. L. B. Álvarez, s. f.). Estos van de la mano, puesto que, si se realiza un buen detalle de los diferentes elementos y uniones, se contribuirá a una correcta construcción de los módulos, y consecuentemente, de su comportamiento estructural. Asimismo, una buena sistematización de los componentes facilitará a la mano de obra su montaje. Todo esto, proporcionará eficacia constructiva y solidez en el mercado. Cada proyecto implica unas particularidades propias, como las dimensiones, condiciones de servicio o programa. Y, para ello, será necesario estudiar los puntos más restrictivos, y aquellos que serán más flexibles.

La construcción prefabricada, por ende, los sistemas modulares, no cuentan con pautas de diseño específicas, y se apoya en las directrices establecidas por la construcción tradicional para llevar a cabo su implementación (Reynolds & Enjily, 2006). Con el fin de promover el

avance, la mejora y el impulso de la industria de la construcción modular es esencial determinar unos aspectos a tener en cuenta (Pearce, 2004):

- Normalización de los componentes de construcción
- Materiales más ligeros y resistentes
- Mayor uso de las tecnologías de la información
- Mayor uso de las instalaciones fuera del sitio (*off site*)
- Mejor diseño para la salud y el bienestar
- Uso más flexible a lo largo del tiempo
- Cadenas de suministro integradas

Todos estos puntos, identificados además en el libro *Design in modular construction*, constituyen los pilares de la construcción prefabricada.

Ventajas y limitaciones

Las ventajas de la construcción modular residen sobre todo en la reducción de plazos, aprovechamiento del material y mejora de la calidad (Rogan, Lawson, & Bates-Brkljac, 2000) (R. Mark Lawson, Ogden, & Bergin, 2012b). Esto se produce debido a que prácticamente todo el proceso se desarrolla en taller, y como consecuencia, el seguimiento del proceso, fabricación y montaje, se realiza de forma más exhaustiva. Esto provoca mejores estándares de calidad y eficiencia durante la producción (Boyd, Khalfan, & Maqsood, 2013) (Díaz Piloñeta et al., 2018). En términos de sostenibilidad, la fabricación en taller de los sistemas modulares prefabricados conlleva una significativa reducción de al menos un 70% en la generación de residuos en comparación con la construcción convencional (R. Mark Lawson, Ogden, & Bergin, 2012a). Una cifra muy elevada, teniendo en cuenta que los residuos tienen un alto impacto ambiental. Asimismo, la rapidez de montaje permite alcanzar el cumplimiento de los plazos hasta un 50-60% más rápido respecto a la construcción tradicional. Existe un gran ejemplo de ello en el montaje de los apartamentos ONEg en Melbourne (Fig. 43), Australia, el cual se ejecutó en cinco días (Boafo, Kim, & Kim, 2016). Aunque no es el único ejemplo que podemos encontrar.

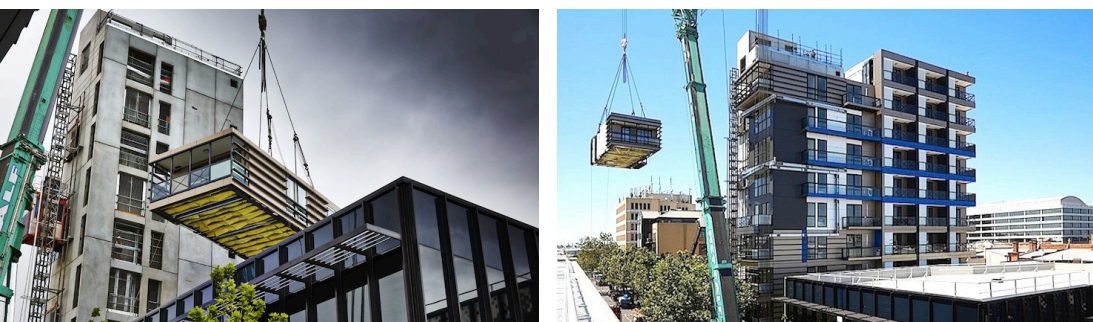


Figura 43. ▲
Torre de
apartamento Oneg
de Hickory Group
en Australia

En cambio, las desventajas se encuentran mayoritariamente en el diseño de sus dimensiones, ya que deben adaptarse a las dimensiones viables para el vehículo de transporte (Lacey et al., 2018) y la maquinaria de colocación. La metodología de construcción *off-site* requiere de un traslado de los módulos desde fábrica hasta el sitio final de obra. Este aspecto, hace se deban ajustar al vehículo de transporte (unos 5,7 m de ancho, y 12 m de largo) (Ferdous, Bai, Ngo, Manalo, & Mendis, 2019). No solo, a nivel de dimensiones encontramos esta limitación, sino que hay que tener en cuenta las vibraciones producidas durante el traslado. Esto hace que estructuralmente deban considerarse y, especialmente, constructivamente evitando materiales y sistemas con alta sensibilidad que pudieran dañarse durante el transporte y la colocación.

A pesar de las numerosas ventajas que ofrece la construcción modular en relación a la metodología constructiva tradicional, existe todavía cierta resistencia a su colocación. De hecho, según estudios, hay suficiente evidencia para demostrar que el sistema modular satisface de una forma más eficiente la demanda constructiva. Un ejemplo ilustrativo es el caso de países como el Reino Unido, donde en el 2004 un 25% de las viviendas sociales fueron ejecutadas utilizando métodos de construcción *off-site* (Boyd et al., 2013).

La razón por la cual no existen más empresas y profesionales que utilicen la construcción modular, no está del todo clara. Aunque bien es cierto que, la falta de técnicos y expertos sobre el tema en las propias fábricas es un impedimento para el posible desarrollo. En Australia, el interés creciente por la construcción modular está propulsando iniciativas para aumentar el porcentaje de edificios desarrollados a partir de esta tecnología. Al igual, que la parte constructora muestra esa distancia con los sistemas modulares, ocurre también con los propios clientes. Por tanto, para mermar esta desconfianza, es necesaria más educación, comunicación, y experiencia sobre esta tecnología (Ferdous et al., 2019).

Objetivos de Desarrollo Sostenible

Los sistemas modulares se encuentran estrechamente vinculados a los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) establecidos por las Naciones Unidas. Esta solución innovadora combina la flexibilidad y la modulación, que junto con conceptos de sostenibilidad ofrecen una metodología constructiva con múltiples ventajas. Por ello, las unidades volumétricas impulsan la consecución de los ODS. A continuación, se exponen los Objetivos de Desarrollo Sostenible relacionados con los sistemas modulares.

- ODS 9. Industria, innovación e infraestructura
Los sistemas modulares ayudan a fomentar la innovación en la industria de la construcción al utilizar tecnologías avanzadas. Además, al acelerar los tiempos de construcción y reducir los residuos de materiales, los sistemas modulares contribuyen a una infraestructura más sostenible y resiliente.
- ODS 11. Ciudades y comunidades sostenibles
La construcción modular promueve el desarrollo de ciudades sostenibles al proporcionar soluciones rápidas y flexibles para el crecimiento urbano. Del mismo modo, la construcción de viviendas asequibles, centros educativos, hospitales y otros equipamientos ayudan a la demanda de la posible infraestructura necesaria.
- ODS 12. Producción y consumo responsables
Los sistemas modulares favorecen la eficiencia en el consumo de recursos y la reducción de residuos en la construcción. La fabricación de componentes en taller optimiza el uso de materiales y minimiza el desperdicio de los mismos.
- ODS 13. Acción por el clima
Los sistemas modulares pueden ayudar a abordar el cambio climático al mejorar la eficiencia energética de los edificios. De igual forma, la reducción de la huella de carbono contribuye a la mejora del planeta.

La combinación de la eficiencia, la sostenibilidad, y la innovación hacen del sistema modular prefabricado una solución viable y beneficiosa para el desarrollo sostenible en la industria, y que favorece al desarrollo y la transformación del planeta.

Usos y aplicaciones en la construcción

La particularidad de los sistemas modulares es la manufacturación casi al completo del volumen, aproximadamente un 80-95% se

realiza en taller, esto hace que las unidades se puedan transportar con cierta facilidad y frecuencia (Boafo et al., 2016). Debido a sus beneficios en cuanto a la reducción de plazos, el uso de la construcción modular tiene más demanda en los sectores y usos que precisan sobretodo de celeridad en el montaje, bien sea por cuestiones de urgencia, o por reducir molestias e inconvenientes durante el proceso de obra (M. Lawson et al., 2014).

Según el libro "Design in modular construction" de los autores M. Lawson, Ogden, y Goodier, las aplicaciones más usuales en la construcción modular son:

1. Residencias de estudiantes, sobre todo de edificios medios y altos
2. Edificios residenciales de mediana altura en zonas urbanas
3. Edificios mixtos residenciales y comerciales
4. Viviendas privadas y sociales
5. Hoteles de 4 a 12 plantas
6. Alojamientos militares, generalmente de 3 a 4 plantas
7. Edificios del sector sanitario, generalmente de hasta 3 plantas
8. Edificios del sector educativo, generalmente hasta 3 plantas
9. Cuartos de baño en hoteles, oficinas, etc
10. Alojamientos de seguridad y prisiones
11. Cuartos de instalaciones y otros servicios, generalmente utilizadas en edificios comerciales y hospitales
12. Ampliaciones de tejados de edificios existentes
13. Nuevos balcones y ascensores adosados a edificios existentes

Sin duda, todo este conjunto de usos pueden agruparse en grandes bloques:

- Residencial
- Equipamientos sanitarios
- Equipamientos educativos
- Pequeños usos

Pero además, lo interesante de toda esta catalogación de funciones reside en la distinción del grado en la rapidez de montaje, o dicho de otra manera, en el nivel de emergencia. De esta forma, se establece la siguiente clasificación (T. 3).

Tabla 3. Clasificación según la emergencia, rapidez de montaje, perpetuidad y uso predominante de las principales aplicaciones de los sistemas modulares

| Emergencia | Montaje | Durabilidad | Uso predominante | Identificación |
|-------------------|----------------|--------------------|-------------------------|---------------------------|
| Alta | Tiempo rápido | Baja-media | Edificios de emergencia | 4, 6, 7 |
| Media | Tiempo medio | Larga | Equipamientos | 4, 7, 8, 9, 10, 11, 13 |
| Baja | Tiempo lento | Larga | Residencial | 1, 2, 3, 4, 5, 10, 12, 13 |

Identificados el grado de emergencia, montaje, durabilidad y uso predominante, se constata que durante esta investigación los módulos prefabricados que se van a diseñar con uso residencial, son aquellos que disponen de un tiempo lento de montaje y una durabilidad larga –siempre bajo el control del período de vida útil normalizado–. Puntualizar que cuando se expresa el tiempo de montaje, hay que tener en cuenta que la construcción modular tiene una rapidez mayor que la construcción convencional, y que por tanto, el tiempo se ajusta a las características de esta tipología edificatoria.

5.1.2. Tecnologías y materiales empleados

Clasificación según el mecanismo de transferencia estructural

Los módulos prefabricados pueden clasificarse según el mecanismo de transferencia estructural, o según el material de la estructura base. Durante este primer apartado se ocupará la primera clasificación, dejando para el siguiente punto el aspecto de materialidad, ya que se extiende más y tiene en cuenta aspectos que competen al comportamiento estructural, y que deben estar clarificados con anterioridad.

La clasificación de la construcción modular a partir del mecanismo de transferencia estructural diferencia tres grandes grupos (H. K. Park & Ock, 2016) (Boafo et al., 2016) (Lacey et al., 2018) (Thai, Ngo, & Uy, 2020) (Chourasia et al., 2023) (Fig. 44):

1. Módulos de soporte continuo (bastidores o panelado)
2. Módulos porticados
3. Módulos sin soporte de carga

Cuando hablamos del primer grupo, nos referimos a los módulos que se conforman a partir de cuatro paredes, bien porque se componen de paneles o porque actúan como tal, estos transfieren las carga gravitatorias a través de las paredes laterales que se comportan como apoyo constante. En aquellos módulos porticados, los cuales se caracterizan por tener unos marcos que abarcan las paredes, la transferencia de cargas ocurre a través de las vigas de borde, y estas a los pilares de esquina. En cuanto a las cargas laterales, producidas por el viento o el sismo, en el caso de la primera tipología de módulos, se transmite a los elementos verticales a través del techo y el suelo. En el segundo tipo, a través del sistema de arriostamiento (R. M. Lawson & Richards, 2010). Finalmente, los módulos sin soporte de carga o no portante, como su nombre indica, son incapaces de transferir cargas.



Figura 44. ▲
 Montaje de los sistemas modulares principales según el mecanismo de transferencia estructural.
 Columna 1: soporte continuo;
 Columna 2: soporte de bastidor o porticado;
 Columna 3: sin soporte de carga

Materialidad y sistemas

Como ya se adelantaba anteriormente los módulos prefabricados también se pueden clasificar según su naturaleza material, y al mismo tiempo, según el sistema. Existen múltiples autores que realizan este tipo de distinción (M. Lawson et al., 2014) (Chen, Khan, Khan, Javed, & Liu, 2021), teniendo en cuenta que cuando se habla del material principal nos referimos al esqueleto base que forma el módulo. Los principales materiales son el hormigón prefabricado, el acero y la madera.

En todos los materiales existen pros y contras. Si nos referimos al peso, el hormigón prefabricado pesa entre 9 y 15 kN/m², en cambio el acero o la madera alrededor de 4 y 6 kN/m² (Pons, 2013). Por otro lado, cuando hablamos de su aplicación los módulos de madera tienden a enfocarse en aquellas edificaciones bajas o medio-bajas. Por el contrario, los de acero y hormigón prefabricado se inclinan hacia la construcción de edificios de gran altura, especialmente en el caso del acero, debido a su menor peso y a su alta relación resistencia-peso (S. English, 2013).

El libro "Design in modular construction" hace una clasificación de los principales materiales y de sus diversos sistemas constructivos. Basándonos en esta clasificación, se ha elaborado una tabla que amplía toda esta información y proporciona una visión mucho más completa de los sistemas y sus aplicaciones (T. 4).

◀ Tabla 4.
Clasificación
según material,
sus principales
sistemas, definición
y aplicaciones

| Material | Sistema | Definición | Aplicación |
|-----------------------|--|---|---|
| Acero | Módulos continuos o de cuatro caras | Se apoyan a partir de sus cuatros caras, bien sea a partir de paneles o de elementos continuos verticales. | Se permite la construcción de módulos más grandes. Se utilizan para diseñar edificios en altura. |
| | Módulos porticados | Se conforman a partir de elementos verticales en esquina, o en puntos intermedios. Estabilidad mediante cruces de San Andrés. | Son utilizados para sectores de uso sanitario y educativo. |
| | Módulos abiertos | Se conforma de bastidores paralelos con el lado longitudinal normalmente cerrado, dejando abiertas las caras de menor superficie. | Con gran estabilidad lateral en caso de fuerza en la dirección longitudinal. |
| | Sistemas híbridos | Sistemas que combinan soluciones anteriores. | Según casos. |
| Hormigón prefabricado | Sistema porticado | Elementos estructurales (vigas, pilares, forjados, escaleras) realizados con hormigón prefabricado. | Utilizados para edificios industriales de una sola planta, aparcamientos, y edificios de oficinas de poca altura. |
| | Construcción con paredes transversales | Muros prefabricados dispuestos en la obra. | Para edificios con necesidad de estabilidad lateral. |
| | Construcción de doble pared | Combinación entre hormigón prefabricados e in situ. Dos paneles delgados exteriores de hormigón prefabricado, y entre ellos hormigón in situ. | Edificios residenciales de varias plantas. |
| Madera | Sistema porticado | Se conforman a partir de elementos verticales en esquina, o en puntos intermedios. | Casos muy limitados. Poca estabilidad |
| | Sistema de bastidores | Se conforma a partir de bastidores y multitud de elementos verticales. | Edificios de varias plantas. |
| | Sistema paneles estructurales | Utilización de paneles de madera contrachapada (MSP) o madera maciza (CLT). | Construcción de unifamiliares o edificios de varias plantas. |

La clasificación de los materiales y sus respectivos sistemas parten de la prefabricación de los elementos y las opciones de industrialización de la materia prima. Para que sea factible la fabricación de los módulos, es necesario acudir a elementos que se puedan reproducir y ensamblar entre ellos de una forma sencilla y operativa. Al mismo tiempo, cuanto más ligero sea el componente, mejor será para su posterior transporte e instalación en el emplazamiento final (Lacey et al., 2018).

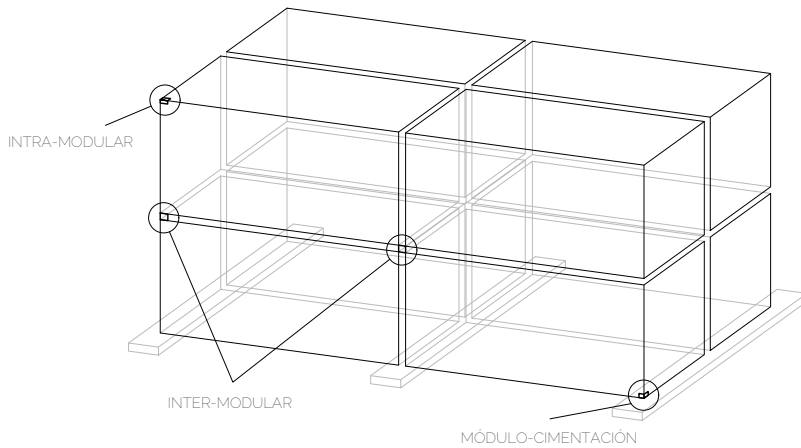
Además de los materiales más usuales, existen algunos estudios con otros materiales compuestos y soluciones técnicas (Manalo, 2013). A pesar de ello, todavía no son muchas las investigaciones, y como consecuencia, tampoco sus aplicaciones.

5.1.3. Conexiones de los módulos

Para que exista una buena transmisión de cargas y un buen comportamiento estructural, es necesaria una buena comprensión de las conexiones existentes en los sistemas modulares. Las conexiones son las encargadas de ensamblar diferentes elementos independientes y transformarlos en uno solo. Es decir, estos enlaces se encargan de transmitir entre los diferentes elementos las cargas, para que el módulo, y en consecuencia el volumen al completo, actúe como elemento único basado en la robustez de la unión (Chourasia et al., 2023). Esto produce que la seguridad, capacidad, resistencia y estabilidad del conjunto del volumen esté influenciado por la resistencia, rigidez y ductilidad de las conexiones (Srisangeerthan et al., 2020) (Chen et al., 2021). Además de proporcionar y garantizar una buena transferencia, deben tener en cuenta los movimientos debidos a cambios volumétricos de los efectos térmicos, tensiones, o cualquier otra causa (Singhal et al., 2019).

Sin duda, la construcción modular e industrializada se caracteriza por la rapidez de montaje, esto se debe extrapolar también a las uniones y conexiones. Para ello, es necesaria la búsqueda de soluciones tipo en todos los aspectos relacionados en los sistemas volumétricos y sus conexiones. Cada vez que encontramos un enlace, encontramos una interrupción, y por tanto el diseño y la funcionalidad deben dar solución a estos problemas (J. L. B. Álvarez, s. f.).

Principalmente, las conexiones se agrupan en tres tipos: inter-modular, intra-modular y módulo-cimentación (Fig. 45). A continuación, se exponen las principales características de cada una de ellas (Lacey et al., 2018) (Srisangeerthan et al., 2020) (Chen et al., 2021).



◀ Figura 45.
Tipo de conexiones
en la construcción
modular

Inter-modular

Se trata de la conexión entre los distintos módulos adyacentes. Acoge tanto las conexiones horizontales, como las verticales en caso de que se apilen. Estas conexiones pueden ser desmontables, de esta forma permite una separación y reconfiguración de los módulos en su totalidad. Estructuralmente, garantiza la estabilidad en su conjunto y la buena transmisión de cargas entre módulos.

Intra-modular

Incluye las conexiones dentro de un mismo módulo. Forman la unidad modular volumétrica, y se define a partir de las uniones entre los elementos individuales, bien sean verticales y/u horizontales. Por ejemplo, las conexiones pueden ser entre paneles verticales, viga-panel, pilar-panel, viga-pilar, etc. A nivel estructural, garantiza resistencia individualmente evitando la deformación en cada módulo.

Módulo-cimentación

Se trata de la conexión entre el módulo y la cimentación. Normalmente se ejecuta a partir de una placa base incorporada al módulo, la cual se ancla a una cimentación. Esta conexión es clave para garantizar una buena respuesta frente al sismo.

5.1.4. Consideraciones de diseño estructural

En los últimos años, la construcción prefabricada, y en concreto los sistemas modulares, han incrementado su popularidad. Sobre todo, esto se debe a su eficacia y flexibilidad, al mismo tiempo que, la fabricación en

entornos controlados y las múltiples ventajas en conceptos como la sostenibilidad han potenciado todavía más su uso. No obstante, la comprensión de la respuesta estructural es necesaria para hacer un buen uso y un aprovechamiento óptimo. Los edificios construidos a partir de sistemas modulares puedan experimentar múltiples riesgos, como sismo, incendio, viento, explosión o incluso actividad del transporte (Gardoni & LaFave, 2016). Cada uno de estos peligros tiene unas cargas asociadas, y se refleja en el edificio de una manera. La forma en la que los sistemas modulares se comportan, y la transmisión de las cargas entre las conexiones fomentan diferentes respuestas estructurales. Por ello, el comportamiento de los módulos viene determinado por diferentes riesgos, los cuales tienen asociados múltiples criterios de diseño y estrategias de mitigación (Lacey et al., 2018). Seguidamente, se presentan los principales factores de riesgo, y los mecanismos de fallo que afectan a la estructura modular. De tal forma que, se puedan establecer unos criterios de diseño en base a la estabilidad, resistencia y a la capacidad de servicio.

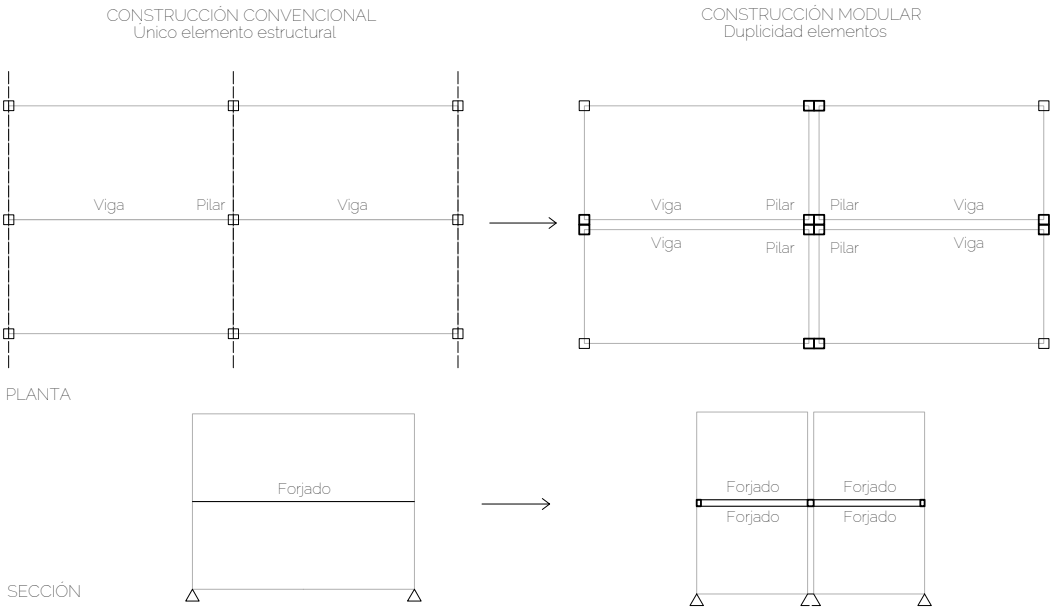
Factores de riesgo para la estructura

Para el análisis estructural de los sistemas modulares es fundamental estudiar los factores de riesgo que pueden afectar a la integridad de la estructura. Las cargas, bien sean cargas verticales u horizontales, permanentes, variables o accidentales, al igual que las condiciones ambientales influyen en la resistencia y la capacidad de soporte. Comprender y abordar estos factores de riesgo es esencial para garantizar la seguridad y la durabilidad de las construcciones modulares.

La resistencia es la capacidad de una estructura para soportar cargas y tensiones sin sufrir deformaciones excesivas ni colapsar. Viene determinada por la forma y por la materialidad de la estructura. De modo que, para garantizar una buena resistencia es necesario el desarrollo de un diseño adecuado, el cual está determinado por la geometría y las conexiones estructurales. De esta forma, lo que se pretende a través de la configuración de los módulos es una óptima distribución de cargas. Asimismo, el desafío que se plantea en la ampliación vertical es la utilización de materiales ligeros, sin comprometer a la resistencia de la estructura preexistente del edificio base.

Para determinar la resistencia de los módulos, hay que tener en cuenta que, un módulo individual tiene que tener la suficiente estabilidad y resistencia por sí solo. Pero también hay que tener en cuenta que ocurre cuando se ensamblan varios módulos. Una característica particular de la arquitectura modular, a diferencia de la construcción convencional, es la duplicidad de los elementos estructurales. Es decir, en el momento que se unen varios módulos, tanto los elementos verticales como los horizontales, se multiplican. Esta característica es nombrada como viga-agrupada

o pilar-agrupado (Ye et al., 2021). En la figura se observa como un pilar convencional se transforma en cuatro pilares cuando se agrupan diferentes módulos (Fig. 46). A pesar de ello, los diferentes pilares deben comportarse como uno solo.



▲ Figura 46. Esquema comparativo entre la construcción convencional y la construcción modular donde se aprecia la duplicidad de elementos

En la sobreelevación habrá que tener en cuenta los elementos verticales, ya que generalmente solo se realiza la ampliación de una planta. En el caso que se apilen varios módulos sí que se deberán contemplar los elementos horizontales.

Por todo ello, para determinar la demanda estructural de los elementos habrá que tener en cuenta las diferentes cargas aplicadas.

a. Transporte, manipulación y logística

El transporte y la manipulación de los sistemas modulares son un aspecto crítico para el diseño de la estructura. Los módulos están pensados para ensamblarse en el taller, trasladarse hasta el sitio de obra, e izarse a su emplazamiento final. Todo este proceso, desde la planificación logística hasta la coordinación en el sitio de construcción, presenta desafíos específicos que deberán abordarse.

En cuanto al transporte, hay que tener en cuenta factores como las restricciones de carga, las dimensiones de los módulos para el desplazamiento, y el embalaje. En el transporte por carretera, la carga viene determinada a partir de coeficientes de aceleración. Normalmente, estos coeficientes suelen ser de 0,8g hacia adelante, 0,5g hacia atrás y 0,5g transversalmente (Lacey et al., 2018). Estos valores reproducen las aceleraciones previstas teniendo en cuenta el movimiento y la fuerza a la que se expone la estructura durante el trayecto. Como ya se ha comentado anteriormente, el módulo debe ajustarse al vehículo de transporte, generalmente a unos 5,7 m de ancho, y 12 m de largo (Ferdous et al., 2019). Para dotar de rigidez al sistema durante el transporte y fortalecer el marco estructural se utilizan métodos de arriostramiento.

Referente a la manipulación y el izado a su lugar final, los sistemas tridimensionales se elevan y posicionan con precisión. A este proceso se le llama *remonta*, y se realiza mediante una grúa. Este izado se ejecuta mediante unos cables que van de la grúa a los puntos de elevación. Por tanto, es necesario garantizar que la manipulación no comprometa a la seguridad estructural, y que los puntos y el número de elevación sean los indicados. Normalmente, los puntos y el posicionamiento se establecen en función de criterios de deformación para no comprometer a los elementos más frágiles, y se ubican en los extremos (Lacey et al., 2018). De esta forma, se logrará una adecuada distribución de las cargas.

b. Viento

Sin duda, un factor crucial que afecta a los módulos es la carga lateral de viento. Esto se debe a las fuerzas significativas que puede generar sobre los sistemas modulares, pero también de forma específica sobre los elementos de conexión. Por ello, es necesario considerar este efecto y aplicar los criterios de diseño específicos para el cálculo y la mitigación de los efectos generados por la carga.

La aplicación de los criterios de diseño considera la estabilidad, la resistencia y la capacidad de servicio (Mendis et al., 2007), y se basa en las deformaciones, entre plantas y de todo el edificio, y las vibraciones. Según el Documento Básico de Seguridad Estructural, los límites de desplazamiento horizontal se sitúan en 1/500 de la altura total del edificio cuando hablamos de desplome total, o 1/250 de la altura de la planta cuando hablamos de desplome local. Por tanto, lo que se pretende es asegurar una estructura estable que no exceda las limitaciones de deformación, y que evite vibraciones que puedan llegar a molestar a los usuarios y al funcionamiento.

En el caso de la ampliación vertical, el edificio existente oscila entre 3 y 4 plantas, es decir, unos 13 m de altura aproximadamente, que,

junto con la adición de una nueva, puede llegar a alcanzar los 16 m. De esta forma, se puede realizar un análisis estático, ya que se sitúa por debajo de los 50 m (Mendis et al., 2007), aunque según otras referencias el límite se situaría mejor en los 30 m (Gunawardena, 2016).

La fuerza lateral de viento ejerce una presión significativa, esto puede generar momentos, esfuerzos cortantes y deformaciones. Cuanto más alto sea el edificio, más importancia recaerá. Por todo ello, será imperativo tener en cuenta la carga y dimensionar los componentes y conexiones para asegurar la seguridad.

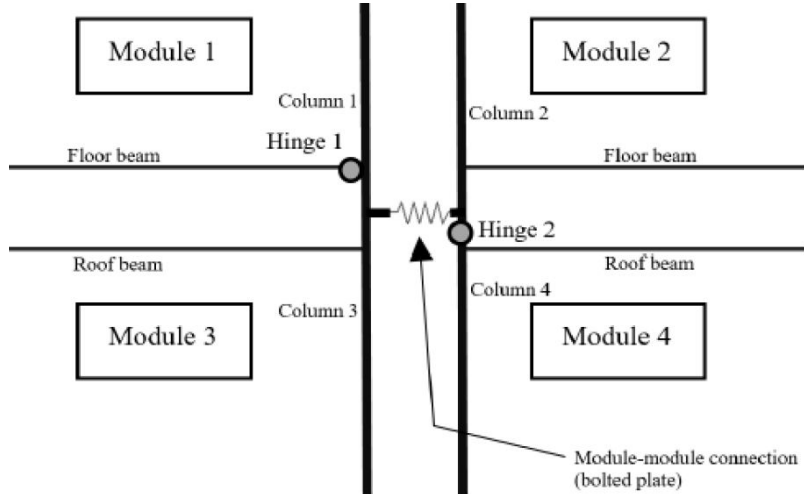
c. Sismo

Las cargas sísmicas representan un desafío importante en cuanto a cargas accidentales, que sumado a las condiciones del edificio puede llegar a provocar catástrofes si no se tienen en cuenta, sobre todo en las zonas con más propensión a terremotos.

Los terremotos se describen por movimientos en el suelo, los cuales generan excitación en los modos de vibración. Estos desencadenan fuerzas y aceleraciones en diferentes direcciones, lo cual puede provocar colapsos en la estructura. De esta forma, los módulos deben ser capaces de resistir las fuerzas sísmicas manteniendo la estabilidad y seguridad de la estructura. Para ello, hay que tener en cuenta factores como la masa, rigidez, o la distribución de cargas, además del período fundamental, modos de vibración o la ductilidad.

Los edificios conformados a partir de sistemas modulares se componen de múltiples módulos, esto conlleva dos particularidades muy concretas. Por un lado, entre módulo y módulo existe "doble pared", es decir, cada módulo cuenta con su cerramiento lo cual rigidiza el módulo en sí mismo, dotando de estabilidad individual extra, pero también hace de muros de corte al conjunto (Yu & Chen, 2018). Por otro lado, la transmisión de carga entre módulos se concentra en la conexión inter-modular, y por tanto deberá tener la suficiente resistencia para absorber sin dificultad la carga cortante de sismo (Annan, Youssef, & El Naggat, 2009) (Gunawardena, Ngo, & Mendis, 2016). Esta conexión es el nexo entre los distintos pilares que conforman el módulo, y deberá diseñarse para que pueda resistir y transferir las cargas entre los distintos módulos (Fig. 47).

Figura 47. Esquema visual del punto de conexión entre los diferentes módulos



Según Gunawardena, otro elemento importante a considerar es la ductilidad de los pilares en las esquinas. Esto se debe a que, para que puedan resistir de manera efectiva este tipo de fuerzas, es fundamental que los pilares sean dúctiles. De esta manera, no solo se previene el colapso, sino que también se facilita la redistribución de cargas hacia los demás elementos horizontales de los módulos adyacentes.

Para el caso particular de la sobreelevación, la influencia de las fuerzas sísmicas no solo impacta en la seguridad estructural del edificio existente, sino que también tiene efectos significativos en la integridad del nuevo módulo o piso añadido. Cada estructura presenta particularidades específicas en términos de su resistencia sísmica, su masa y su capacidad de disipación de energía ante un movimiento sísmico.

Comportamientos y mecanismos de fallo

La estabilidad atiende a la capacidad de la estructura para mantener su equilibrio, forma y posición sin volcar o desplomarse, bajo diferentes condiciones de carga. La aplicación de cargas laterales tiene una afectación específica sobre los módulos, e influye todavía más a aquellas estructuras cuya relación de esbeltez es superior a 5 (Lacey et al., 2018). En la sobreelevación esta relación no existe como tal, ya que la ampliación suele constar de una o dos alturas, aun así, deben considerarse los efectos de la carga lateral, como la fuerza de viento o de sismo. En este caso, los criterios de diseño se basan principalmente en la estabilidad, la resistencia y la capacidad de servicio, teniendo en cuenta la deformación entre pisos, la deformación general y la vibración (Lacey et al., 2018).

La respuesta particular de los sistemas modulares es el *comportamiento de balanceo*, este efecto se produce cuando se aplican fuerzas laterales que provocan un efecto de balanceo o inclinación (Fig. 48). En el momento que se aplican este tipo de cargas, las responsables de absorber y transferir son las conexiones entre módulos, las cuales deberán tener un buen diseño para garantizar la estabilidad del sistema. Además, la demanda se vuelve mayor para las conexiones entre módulo, es decir, el pilar del módulo deberá resistir la carga de gravedad acumulada de los pisos superiores, en caso que los haya, la carga inducida por el balanceo y la carga lateral externa (Ye et al., 2021).

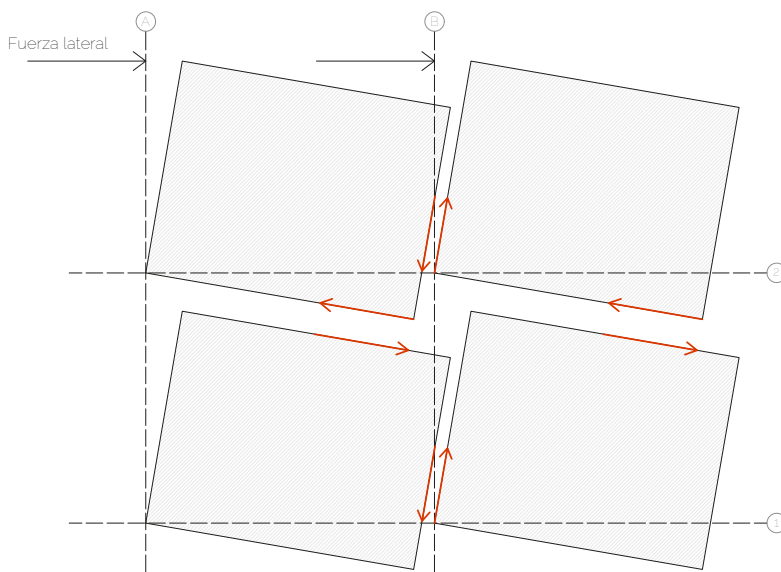


Figura 48. Esquema visual del comportamiento de balanceo

Las conexiones son las encargadas de garantizar la integridad estructural. Para ello, deben tener la suficiente resistencia al corte, al mismo tiempo que deben existir sistemas de arriostramiento (Thai et al., 2020). Esto proporcionará estabilidad al conjunto.

Otro punto a considerar en términos de estabilidad lateral, y especialmente en fenómenos sismorresistentes, es la reducción de la masa. Cuanto menor sea la masa, menor será la magnitud de fuerza que genere, y es que la fuerza sismorresistente es proporcional al peso.

Otro comportamiento que puede llegar al fallo de los sistemas modulares es el *colapso progresivo*, y se refiere a la propagación secuencial de daños y colapso en un edificio o estructura debido a la

incapacidad de una parte de la misma para resistir cargas (Luo, Bai, Hou, & Huang, 2019). Este fenómeno ocurre cuando fallan los componentes verticales que soportan la carga (Thai et al., 2020). Es decir, un daño que inicialmente se produce de forma localizada puede propagarse de forma gradual y desencadenar el colapso global de todo el sistema estructural. Como consecuencia, se produce la pérdida de estabilidad de toda la estructura. Para tal efecto, es necesaria la consideración de criterios de diseño robustos, y unos materiales y conexiones resistentes. Según Thai el colapso progresivo está intrínsecamente relacionado con la idea de diseño de estructuras que sean robustas. Es decir, la robustez de una estructura se refiere a su capacidad para resistir y redistribuir cargas en caso de que una parte de la misma falle, lo que ayuda a prevenir que un colapso inicial se propague a través de la estructura.

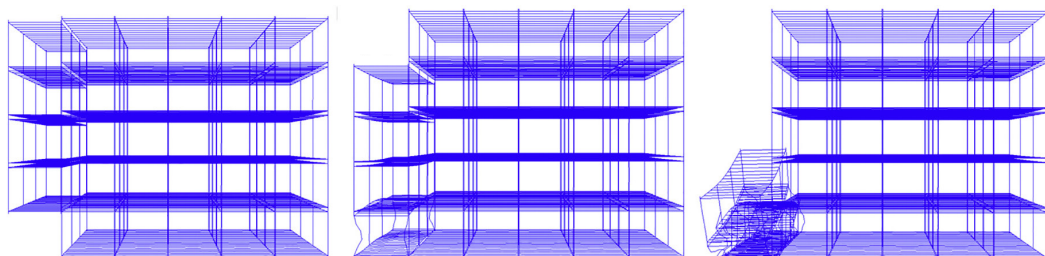


Figura 49. *Proceso de colapso progresivo en una columna de módulos*

El Eurocódigo 1 define la robustez estructural como la capacidad de una estructura para resistir el colapso progresivo. A pesar de la afectación de este fenómeno en los sistemas modulares, los estudios que investigan este mecanismo de fallo lo aplican a edificios de 4 plantas mínimo. Por lo cual, en el caso de la ampliación vertical no debería producirse este efecto, o no de forma tan notable.

5.1.5. Normativa y regulación aplicable

Al igual que la construcción convencional, los sistemas modulares también se rigen por la normativa y las regulaciones aplicables para garantizar la seguridad y calidad de los elementos. Las normas y leyes recogen los criterios técnicos a los que debe acogerse para realizar el diseño y fabricación de los sistemas modulares. Por ello, el cumplimiento de la normativa es fundamental y de obligado cumplimiento. A pesar de que no existe unas regulaciones específicas para la construcción modular, deben tener las mismas garantías que la construcción convencional. A continuación, se exponen las normas que se deben tener en cuenta (T. 5):

| Documento | Descripción |
|---|--|
| Código Técnico de la Edificación (CTE) | Marco normativo principal en España que establece los requisitos técnicos y de seguridad para los edificios |
| Documento Básico de Seguridad Estructural (DB-SE) | Se encuentra dentro del CTE. Establece los criterios y requisitos relacionados con la seguridad estructural de los edificios |
| Eurocódigos (UNE-EN 1990) | Norma europea establece los principios y requisitos para el diseño estructural, incluyendo aspectos como las cargas, la resistencia de los materiales, la estabilidad y la durabilidad |
| Eurocódigo 1 (UNE-EN 1991) | Norma europea especifica las acciones en la estructura de los edificios y las instalaciones, incluyendo las cargas de viento, nieve y otras acciones externas |
| Eurocódigo 2 (UNE-EN 1992) | Establece los requisitos para la ejecución de estructuras de hormigón. Es relevante para los sistemas modulares que utilizan estos materiales |
| Eurocódigo 3 (UNE-EN 1993) | Establece los requisitos para la ejecución de estructuras de acero. Es relevante para los sistemas modulares que utilizan estos materiales |
| Eurocódigo 4 (UNE-EN 1994) | Establece los requisitos para la ejecución de estructuras mixtas de acero y hormigón. Es relevante para los sistemas modulares que utilizan estos materiales |
| Eurocódigo 5 (UNE-EN 1995) | Establece los requisitos para la ejecución de estructuras de madera. Es relevante para los sistemas modulares que utilizan estos materiales |
| UNE-EN 1090 | Establece los requisitos para la ejecución de estructuras de acero y aluminio. Es relevante para los sistemas modulares que utilizan estos materiales |

Estas son las normativas clave que regulan la construcción de estructuras modulares en España, pero es importante tener en cuenta que pueden existir otras normativas específicas dependiendo del tipo de proyecto y la ubicación geográfica.

▲ Tabla 5.
Tabla de normativas aplicables en 2024 en construcción modular

5.2. Particularidades de los sistemas modulares para vivienda

Los sistemas modulares para vivienda representan una alternativa innovadora y eficiente en el campo de la construcción. Puesto que se basan en la fabricación previa de los distintos componentes y elementos estructurales y arquitectónicos en un entorno controlado de taller. De esta forma, luego se transportan al sitio final de emplazamiento y se ensamblan de una forma rápida y precisa.

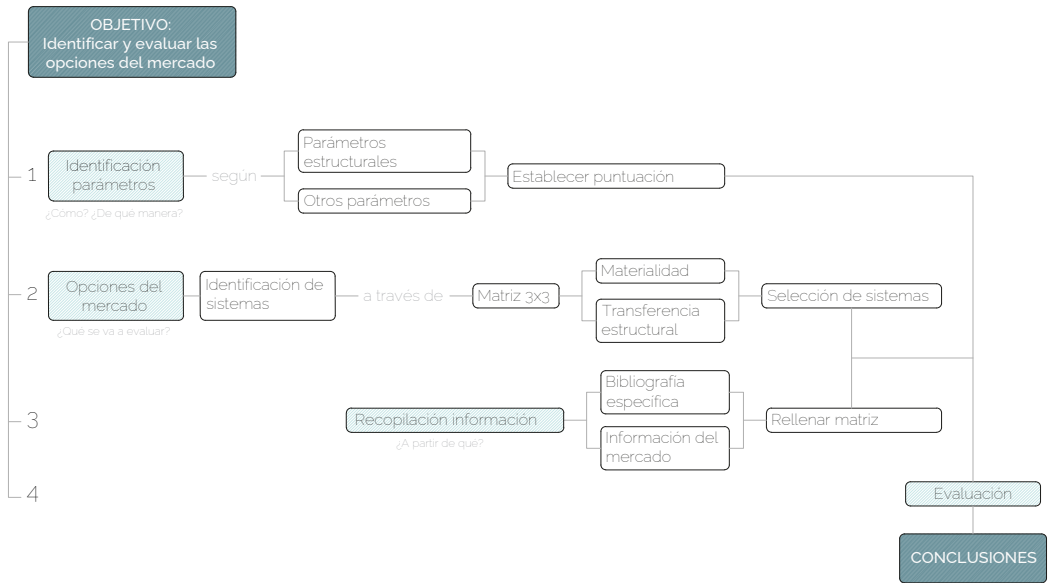
La característica principal de los sistemas volumétricos es su enfoque en la repetición y estandarización de los módulos. De hecho, la aplicación de estos sistemas se centra en aquellos edificios organizados de una forma bastante repetitiva, como proyectos residenciales plurifamiliares, oficinas y centros educativos y sanitarios. De igual manera, la versatilidad de sus combinaciones y su eficiencia hace de este tipo de construcción una opción popular en dichos usos. Su naturaleza de fabricación en taller hace que se puedan crear unidades iguales o similares, en función del programa, y que se puedan apilar o alinear formando así un edificio con coherencia si hablamos de términos de distribución espacial.

En cuanto a referencias, la gran mayoría de casos se han encontrado en la implementación de módulos en edificios de gran altura destinados a uso residencial y de oficina. Esto se debe a que la morfología de los módulos encaja bien con el planteamiento tipo de una distribución uniforme y repetitiva. Bien es cierto, que no existen grandes diferencias entre módulos destinados a vivienda o módulos destinados a otros usos. La característica más visible se basa en la adaptación geométrica para cumplir con los estándares normativos, aunque los estudios más recientes de sistemas modulares están enfocados a los requerimientos y complejidades en la construcción de edificios de gran altura. Esto nos hace suponer que el reto actual se enfoca en los términos de estabilidad de este tipo de arquitectura.

En el caso de esta investigación, los sistemas modulares deben instalarse adicionalmente en el edificio existente. Por ello, la problemática no es la misma que en los casos anteriores. Como consecuencia, en el siguiente apartado se establecen unos criterios a tener en cuenta para escoger el sistema más adecuado en la sobre elevación.

5.3. Los materiales y sistemas modulares para la ampliación vertical. Consideraciones de diseño

El propósito de este capítulo es el análisis de los sistemas modulares y evaluar cuál de ellos es más adecuado para la expansión vertical. Por ello, primero se han establecido unos criterios específicos. A continuación, se han identificado los tipos de sistemas modulares más habituales a partir de la definición de una matriz de 3x3 que considera aspectos como la materialidad y el sistema de transferencia estructural. A partir de dicha matriz y de los criterios se rellenan los datos de cada uno de los sistemas asignando una puntuación. De este modo, lo que se pretende es la identificación de los sistemas más idóneos para la práctica de sobre elevación (Fig. 50).



▲ Figura 50. Esquema de la metodología aplicada

5.3.1. Criterios de selección del sistema modular prefabricado

A la hora de seleccionar un sistema modular para la ampliación vertical es importante tener en cuenta y analizar una serie de criterios y consideraciones. Esto nos permitirá realizar una correcta evaluación, y permitirá determinar qué sistema se ajusta de manera más óptima a las necesidades y requisitos específicos del proyecto. Una evaluación correcta nos evitará tomar decisiones subjetivas, y brindará una base sólida para comparar las opciones disponibles equitativamente.

Para ello, se hace referencia al artículo "Case Studies for Method and Tool Evaluation" de las investigadoras Kitchenham, Pickard, y Pflieger. En el estudio se realiza una investigación acerca de los métodos de evaluación según la tipología del experimento que se vaya a efectuar. En nuestro caso, se está realizando un banco de pruebas fundamentado en un estudio de caso. Este tipo de evaluación determina aspectos como el "cómo", el "porqué", y "cuál es el mejor" (Kitchenham et al., 1995).

El banco de pruebas es una herramienta que sirve para evaluar un determinado sistema. Para hacerlo posible se han establecido una serie de criterios que nos ayudarán a una elección adecuada, a su vez, estos criterios serán evaluados, y así podremos seleccionar el sistema mejor puntuado.

En el contexto de la construcción y de los sistemas modulares, la selección de un sistema constructivo óptimo es de vital importancia para asegurar el éxito del proyecto. Esto nos permite determinar un marco objetivo para evaluar y comparar los sistemas constructivos. La valoración de estos criterios nos posibilita evaluar y confrontar las diferentes opciones con el fin de identificar el que mejor se ajusta a las necesidades y objetivos.

Dicho esto, durante el proceso de evaluación, se utilizará una escala de puntuación que consta de 0, 5 o 10 puntos para evaluar cada uno de los criterios definidos. La escala se distribuye de la siguiente manera:

- **0 puntos:** Indica que el criterio evaluado no cumple con los estándares deseados o que presenta deficiencias significativas.
- **5 puntos:** Representa un nivel intermedio de cumplimiento. Puede indicar un rendimiento aceptable, pero con margen de mejora.
- **10 puntos:** Refleja un rendimiento excepcional y completo del criterio en cuestión. Indica que se han cumplido o superado los estándares establecidos, y que el aspecto evaluado es altamente satisfactorio.

Asimismo, habrá dos niveles de importancia según la relevancia de cada indicador, que se dividen en:

- **Importancia Alta:** se incluyen los indicadores que tienen una influencia significativa en el sistema modular. Estos criterios recibirán puntuaciones de 0, 5 o 10.
- **Importancia Media:** abarca indicadores que, si bien son relevantes, no tienen la misma ponderación crítica que los de importancia alta. Se asignarán únicamente puntuaciones de 0 o 5.

De este modo, se otorgará mayor importancia a los condicionantes que se consideran de mayor relevancia realizando un método de puntuación ponderada. Cada indicador será puntuado en función de su grado de cumplimiento y comparado entre todos los sistemas, otorgando la máxima puntuación si se acomete de forma correcta, o una puntuación más baja en caso contrario.

La siguiente tabla muestra la importancia de los indicadores, junto con la puntuación máxima que cada criterio puede alcanzar. A continuación, se muestran los criterios que serán objeto de análisis, agrupados en dos categorías: los de naturaleza estructural y otros aspectos a considerar (T. 6).

| | CRITERIOS | Imp. Media | Imp. Alta | Puntuación máx. |
|--|--|------------|-----------|-----------------|
| Criterios estructurales | A. Comportamiento resistente | | | 30 |
| | 1. Resistencia frente a Cargas gravitatorias | | X | |
| | 2. Transferencia a la estructura preexistente | | X | |
| | 3. Arriostramiento | | X | |
| | B. Conexiones estructurales | | | 25 |
| | 1. Resistencia y seguridad | | X | |
| | 2. Diseño | | X | |
| | 3. Flexibilidad y ajuste | X | | |
| | C. Durabilidad y mantenimiento | | | 25 |
| | 1. Resistencia ambiental | | X | |
| | 2. Acceso mantenimiento | X | | |
| | 3. Reemplazo de componentes | | X | |
| D. Compatibilidad estructural con la estructura existente | | | 25 | |
| 1. Compatibilidad de conexión | | X | | |
| 2. Flexibilidad en el diseño | X | | | |
| 3. Movimientos | | X | | |
| Otros criterios | E. Eficiencia energética y sostenibilidad | | | 20 |
| | 1. Materiales sostenibles | | X | |
| | 2. Reutilización | X | | |
| | 3. Certificaciones | X | | |
| | F. Flexibilidad y adaptabilidad | | | 15 |
| | 1. Configuración | X | | |
| | 2. Modificaciones | X | | |
| | 3. Adaptabilidad con otros sistemas | X | | |
| | G. Tiempo de construcción y reducción de plazos | | | 20 |
| | 1. Simplicidad del diseño | | X | |
| | 2. Proceso de montaje | X | | |
| | 3. Necesidad de mano de obra especializada | X | | |
| H. Experiencia del fabricante e identificación cultural | | | 15 | |
| 1. Referencias | X | | | |
| 2. Identificación | X | | | |
| 3. Confianza usuario | X | | | |
| I. Costes | | | 20 | |
| 1. Coste de producción | X | | | |
| 2. Coste instalación | X | | | |
| 3. Rentabilidad | | X | | |

Tabla 6. Tabla de criterios y nivel de importancia para la evaluación de los sistemas modulares en la ampliación vertical

Criterios estructurales

a. Comportamiento resistente

El comportamiento resistente de una estructura tiene en cuenta su capacidad para soportar cargas y fuerzas sin llegar a colapsar. Es decir, es la capacidad de una estructura para mantener su estructura y funcionalidad bajo diferentes condiciones de carga. Se trata de un aspecto esencial en cualquier estructura, ya que garantiza la resistencia y la estabilidad del conjunto.

En cuanto a los aspectos a considerar en el comportamiento resistente de una estructura, es esencial tener en cuenta la resistencia frente a cargas gravitatorias. Existen cargas que, independientemente del sistema, van a ser las mismas, como por ejemplo la sobrecarga de uso. Pero en cambio, las cargas permanentes debidas al peso propio de la estructura pueden repercutir significativamente en la reducción total del peso. Este tipo de cargas tienen una implicación directa en la capacidad y resistencia del sistema. Esto se debe a que, cualquier estructura debe ser capaz de soportar sus cargas permanentes sin exceder los límites de resistencia y deformación, y evitar problemas como la sobrecarga o la fatiga estructural. Un sistema demasiado ligero puede conllevar problemas para soportar ciertas cargas, mientras que un sistema demasiado pesado podría ocasionar cargas excesivas que tampoco son adecuadas. Por ende, es primordial escoger un sistema que equilibre la relación resistencia-peso. En el caso de la ampliación vertical, un punto esencial que ya se ha comentado con anterioridad, es la necesidad de un sistema y/o material con bajo peso, debido al inevitable añadido de peso a la estructura del edificio preexistente.

Otro punto a analizar es el sistema de transferencia a la estructura preexistente, es decir, la distribución de cargas sobre la estructura inferior. Cualquier estructura está diseñada para distribuir adecuadamente las cargas. Esto lleva implícito la redirección de las cargas hacia los elementos estructurales resistentes, de forma que evite las concentraciones de esfuerzos en aquellos puntos más débiles. Dependiendo del tipo de transferencia, las cargas actuarán de una u otra manera. Por ejemplo, en un sistema de paneles, la resistencia estructural y su capacidad de carga dependen de la rigidez, y las cargas se transmiten de forma continua. Por el contrario, en un sistema porticado, los pilares en esquina crean una importante carga puntual. Por lo que, una adecuada y repartida distribución de cargas sobre los elementos portantes del edificio preexistente favorecerá a la ampliación vertical. Todo esto implica la evaluación de la capacidad de transferencia estructural del sistema y la consideración de aspectos como la resistencia y rigidez. No solo de los elementos individuales que componen el sistema, sino también de su

conjunto y de las conexiones. De esta forma, se asegura una transferencia efectiva y fiable para garantizar la estabilidad y resistencia global.

Asimismo, las fuerzas laterales, como el viento y el sismo, representan una carga particular en las estructurales modulares. Dichas cargas generan fuerzas que actúan de forma perpendicular a la dirección vertical del elemento, lo cual provoca una presión lateral. Por ello, resulta indispensable la identificación y comprensión de las particularidades de estas fuerzas a fin de dimensionar adecuadamente los elementos, y evitar la deformación excesiva, el desplazamiento o el colapso. En el caso del viento, las cargas variaran en función de la ubicación geográfica del edificio, la altura y la exposición a vientos dominantes o rachas fuertes, lo cual repercutirá en la velocidad, la dirección y la presión. En el caso del sismo, estos generan movimientos laterales en la estructura que requerirán de un análisis detallado. Dependerá de la ubicación geográfica, la actividad sísmica de la zona y las características del suelo.

Un elemento crucial a la hora de considerar la resistencia ante cargas laterales es el arriostramiento, es decir, la incorporación de elementos o sistemas de refuerzo en la estructura para aumentar proporcionar estabilidad lateral frente este tipo de cargas, así como para restringir la traslacionalidad. Cuando una estructura está expuesta a cargas laterales, tiende a deformarse y desplazarse lateralmente. Estos movimientos laterales pueden generar esfuerzos y tensiones adicionales, lo que pone en riesgo la estabilidad y la integridad de la estructura. Por ello, el objetivo del arriostramiento es contrarrestar dichos movimientos y distribuir las cargas de una forma más uniforme.

Existen diversos sistemas de arriostramiento, los más usuales son las diagonales y los muros de corte. Al seleccionar un sistema modular, es importante evaluar la presencia y la eficacia del arriostramiento dentro del diseño. En múltiples ocasiones, se confía en que el propio sistema lleva consigo arriostramiento. Esto se debe a la propia configuración del modelo, como por ejemplo contenedores marítimos. Aun así, es importante evaluar la posibilidad de una fácil incorporación o no de arriostramiento en los sistemas, o si estos los llevan incluidos en la propia configuración.

En atención a lo cual, los indicadores en cuanto al comportamiento resistente que nos servirán para seleccionar el sistema modular prefabricado son:

- Resistencia frente a cargas gravitatorias: generadas por el peso de los elementos estructurales
- Transferencia a la estructura preexistente: reparto equitativo de las cargas, y transmisión adecuada a los elementos principales
- Arriostramiento: existencia de arriostramiento o posibilidad de incorporación en el propio sistema

b. Conexiones estructurales

Las conexiones estructurales, bien sean de tipo intra-modular, inter-modular o cimentación-módulo, aseguran una unión eficiente y segura, al mismo tiempo que transmiten la carga entre las diferentes partes o elementos. La calidad y la eficiencia de las conexiones determinan la integridad estructural, la resistencia y la estabilidad del sistema, formando una estructura cohesiva y capaz de soportar las cargas. Además, las conexiones deben garantizar la transferencia de las cargas a los elementos estructurales primarios.

La seguridad estructural de los sistemas tiene una relación estrecha con las conexiones y anclajes, ya que una conexión deficiente o mal diseñada puede comprometer la estabilidad de la estructura. De esta forma, durante el diseño y dimensionamiento de las conexiones es necesario considerar las cargas y las tensiones a las que estarán sometidas. Un diseño simplificado y eficiente de las conexiones estructurales agilizará el proceso de construcción, pero también garantizará la seguridad final. Puesto que un diseño que sea fácil de ensamblar evitará posibles errores en el montaje.

Además, la simplicidad en las conexiones puede mejorar la versatilidad de los módulos, permitiendo cambios en el diseño o la reubicación de componentes de manera eficiente. Sin embargo, es fundamental equilibrar la simplicidad con la resistencia estructural adecuada para garantizar que las conexiones cumplan con los estándares de seguridad y rendimiento. Junto con ello, la capacidad de flexibilidad y ajuste permitirá la adaptación a posibles imperfecciones geométricas y a la capacidad de adaptación en caso de posibles modificaciones.

En atención a lo cual, los indicadores en cuanto a las conexiones estructurales que nos servirán para seleccionar el sistema modular prefabricado son:

- Resistencia y seguridad: conexiones resistentes para soportar cargas
- Diseño: facilidad en el diseño como contrapartida a posibles errores de montaje
- Flexibilidad y ajuste: capacidad de ajuste para las posibles imperfecciones geométricas y adaptación a las distintas configuraciones (ángulos, alineaciones, longitudes..)

c. Durabilidad y mantenimiento

La elección de un sistema modular implica multitud de factores, pero aquello que asegura una vida útil prolongada y un rendimiento óptimo a largo plazo de cualquier elemento es la durabilidad y mantenimiento. Estos dos aspectos son básicos para garantizar la integridad de la estructura y la funcionalidad de cualquier sistema modular.

La durabilidad tiene relación directa con la materialidad, y es que según el material utilizado tendrá unas características u otras, y como consecuencia diversas afectaciones. La capacidad para resistir los factores ambientales, como por ejemplo la humedad, variaciones de temperatura, radiación ultravioleta o corrosión, lo cual puede debilitar el sistema, viene de la mano del material utilizado. Por ello, los materiales se deben seleccionar cuidadosamente de forma que se garantice resistencia y longevidad. Así, se evitarán problemas como la deformación o la degradación y el desempeño de sus funciones. La aplicabilidad de este parámetro tiene en cuenta tanto los componentes estructurales como pueden ser paneles, vigas o pilares, pero también los elementos de unión como los anclajes y conexiones. Cualquier elemento que pierda su operatividad puede tener consecuencia en el resto de estructura.

Otro rasgo que afianza la operatividad del sistema es el mantenimiento. En múltiples ocasiones, este factor pasa a ser olvidado y en cambio, para continuar asegurando el sistema es necesario considerar dicho requisito. Algunos sistemas modulares pueden requerir un mantenimiento regular. Por tal motivo, es esencial evaluar la facilidad de acceso al mantenimiento, al igual que la regularidad con la que es necesario, ya que un sistema modular prefabricado de bajo mantenimiento puede llegar a tener ciertas ventajas respecto a otros que requieran de más atención. Las ventajas se enfocan sobretodo en evitar interrupciones durante el uso del sistema debido a reparaciones o reemplazo de componentes, y en el rendimiento de la estructura.

En suma, estos dos aspectos de durabilidad y mantenimiento deben considerarse en la elección del sistema modular para la ampliación vertical. De modo que, la elección de un material duradero y de bajo mantenimiento pueda garantizar un rendimiento óptimo durante su vida útil. Evaluar y seleccionar un sistema que cumpla con estos requisitos ayudará a reducir los costos a largo plazo y a garantizar la funcionalidad y la integridad del edificio.

En atención a lo cual, los indicadores en cuanto a la durabilidad y mantenimiento que nos servirán para seleccionar el sistema modular prefabricado son:

- Resistencia ambiental: resistencia a condiciones ambientales
- Acceso mantenimiento: facilidad de acceso para mantenimiento o reparación
- Reemplazo de componentes: viabilidad para reemplazar componentes individuales

d. Compatibilidad estructural con la estructura existente

La compatibilidad de sistema modular con la estructura existente tiene un factor indiscutible en el éxito del proyecto. La incorporación de un nuevo elemento en el edificio existente debe certificar que la integración se realizará de manera segura y que no afectará a la resistencia, ni a la estabilidad de la estructura preexistente. Esta compatibilidad se refiere a la capacidad de los sistemas modulares para interactuar de manera efectiva sobre la estructura inferior. Además, la nueva estructura debe ser capaz de soportar las cargas y de transmitir las de forma adecuada a la estructura preexistente. Por tanto, se debe desarrollar un diseño que sea compatible y que permita la transferencia eficiente de cargas entre los sistemas modulares y la estructura preexistente.

La compatibilidad dimensional y geométrica favorece a la integración del sistema. Esto se debe a que la adaptación de las dimensiones del nuevo módulo al ritmo estructural del edificio existente respalda la buena implementación y reparto de cargas para evitar flexiones indeseadas. Hay sistemas que por su configuración resultan de más fácil ajuste o es más sencillo absorber las variaciones dimensionales, en cambio, hay otros sistemas donde existe más complejidad para resolver estas cuestiones. Por tanto, se deberá considerar la adaptación geométrica y la flexibilidad.

En el momento que se amplía un edificio verticalmente y confluyen dos estructuras diferentes debe considerarse también la compatibilidad de movimiento y de deformaciones. La diferencia de movimientos no debe comprometer la estabilidad del conjunto de la estructura. Los movimientos producidos por las cargas y tensiones pueden generar deformaciones y desplazamientos. Por ende, para lograr esta compatibilidad, el sistema debe ser lo suficientemente flexible para adaptarse a estos movimientos.

En atención a lo cual, los indicadores en cuanto a la compatibilidad estructural con la estructura existente que nos servirán para seleccionar el sistema modular prefabricado son:

- Compatibilidad de conexión: sistema con fácil opción de puntos de unión
- Flexibilidad en el diseño: adaptación de la geometría para adaptarse al ritmo del edificio existente
- Movimientos: movimientos y deformaciones compatibles o no muy diferenciales entre los elementos

Otros criterios

e. Eficiencia energética y sostenibilidad

Los elementos prefabricados destacan por tener un enfoque positivo sobre la eficiencia energética y la sostenibilidad. Como ya se comentó en el apartado de ventajas de los sistemas modulares, se benefician de un proceso de fabricación controlado y eficiente, lo cual hace de este tipo de construcción, una solución más sostenible que la construcción convencional. De igual forma, la fabricación en taller minimiza los desperdicios de materiales y reduce el impacto ambiental. Estos aspectos son cada vez más importantes de acuerdo con la concienciación ciudadana sobre el cambio climático, y por ello debe considerarse en la elección del sistema modular prefabricado.

Para la selección del sistema, se deben tener en cuenta diferentes aspectos. Por un lado, la elección del material estructural principal es fundamental para garantizar un modelo sostenible. Con este objetivo, la utilización de un material con posibilidad de ser reciclado, reciclable y/o reutilizado será preferente a uno que no lo sea. Por otro lado, debe contar con un bajo impacto ambiental. Esto repercute en la evaluación de la huella de carbono como indicador. De esta forma, la decisión de escoger un sistema vendrá determinada por la contribución a la reducción de las emisiones de gases invernadero, y de la capacidad para promover un entorno construido más sostenible.

De la misma manera, la ampliación vertical no está pensada para que sea una arquitectura efímera, y por ello de forma inicial no se contempla el desmontaje de los elementos. Aun así, la capacidad para poder desmontar los módulos sin causar daños ni pérdida de materiales permite un reaprovechamiento, y una reutilización de los módulos si así se desea.

Otro punto destacable es la gestión de residuos. Si comparamos con la construcción convencional, la construcción prefabricada genera menor cantidad de residuos, evitando los sobrantes y la producción de escombros. Además, una buena gestión de los residuos lleva implícita la manera en que se manejan los materiales al final de la vida útil del edificio. Esto ayudará a reducir la cantidad de residuos que se llevan a los vertederos, y a minimizar el impacto ambiental.

En atención a lo cual, los indicadores en cuanto a la eficiencia energética y sostenibilidad que nos servirán para seleccionar el sistema modular prefabricado son:

- Materiales sostenibles: sostenibilidad de los materiales utilizados. Prioridad a materiales de bajo impacto ambiental
- Reutilización: capacidad para desmontarse y reutilizarse en otro lugar
- Certificaciones: opciones de certificar el sistema

f. Flexibilidad y adaptabilidad

Ofrecer una solución versátil y adaptable hará del sistema modular una opción más atractiva para todos los agentes intervinientes. Por ello, se debe evaluar la capacidad del sistema a adaptarse a los cambios en los requisitos de uso, configuración o incluso expansión.

La ampliación vertical brinda a los propietarios la posibilidad de ajustar y redistribuir el espacio disponible para satisfacer las nuevas demandas. Esto permite ajustar y modificar la distribución según las necesidades. Así pues, la flexibilidad en la producción de sistemas modulares ofrece una solución para atender los posibles requerimientos. La capacidad de adaptación y reconfiguración convierte a los sistemas modulares en una opción atractiva, facilitando la combinación, adición o reorganización de los mismos.

La capacidad de diferentes sistemas modulares para integrarse y funcionar de manera conjunta favorece a la flexibilidad y construcción de las nuevas viviendas. Además, esta adaptabilidad no solo facilita la expansión de edificios existentes, sino que también puede promover la reutilización de módulos en diferentes proyectos, lo que resulta en una construcción más sostenible y rentable a largo plazo.

Aunque a día de hoy, la sobreelevación no está pensada para montarse y desmontarse, también se debe considerar la coyuntura de movilidad. Por ello, la posibilidad de desmontar y reutilizar los módulos en otro emplazamiento contribuye a la versatilidad del sistema, al igual que a la sostenibilidad y reducción de residuos.

En atención a lo cual, los indicadores en cuanto a la flexibilidad y adaptabilidad que nos servirán para seleccionar el sistema modular prefabricado son:

- Configuración: adaptación a diferentes configuraciones espaciales
- Modificaciones: facilidad para realizar modificaciones con cambios rápidos y sencillos
- Adaptabilidad: adaptabilidad y compatibilidad con otros sistemas

g. Tiempo de construcción y reducción de plazos

No hay duda que la reducción en los plazos de construcción se ha convertido en un objetivo en cualquier tipo de proyecto. En cambio, en los sistemas modulares se ha convertido en una de las principales ventajas. De hecho, la popularidad en este tipo de construcción viene de la mano de la capacidad para acelerar el proceso constructivo. Al mismo tiempo, la reducción y la rapidez están relacionados con la eficiencia y la productividad, lo que también tiene un impacto en la rentabilidad. La elección de un sistema modular que garantice y marque la diferencia en términos de agilidad tendrá un efecto positivo en otro tipo de aspectos.

La construcción prefabricada está diseñada, entre otras cosas, para acelerar la velocidad durante la etapa constructiva. El ensamblaje en fábrica rectifica los posibles retrasos que pueden ocasionarse durante la obra in situ. Además, si el montaje del sistema es sencillo y no requiere de técnicas o herramientas especializadas, esto también favorecerá en el tiempo de construcción. De igual forma, una mayor facilidad de montaje implica una menor probabilidad de errores. Por tanto, cuánto más estandarizado, y sencillo sea el montaje, más se podrá llegar a reducir el tiempo de construcción del módulo y menos probabilidad de errores habrán.

Lo mismo ocurre con la tecnología de montaje. La forma en que se montan los módulos en el taller también puede influir en la rapidez de construcción. Es por ello que, algunos sistemas utilizan técnicas de montaje más rápidas que otras, por ejemplo, conexiones mecánicas. Esto permite un montaje más eficiente y ágil. Por tanto, un buen diseño de los diferentes componentes y sus conexiones garantizará la eficiencia en el montaje y desmontaje pudiendo ser ensamblados y desmontados, en caso de ser necesario, durante el proceso de construcción, pero también a lo largo de su vida útil. Junto a ello, cabe hablar de la mano de obra especializada, puesto que existen sistemas donde su ensamblaje es más sencillo y no requiere de una formación tan particular y específica como puede suceder en otros.

En suma, la elección del sistema adecuado permitirá acortar en los plazos de construcción, lo cual garantiza una mejor calidad del producto final debido a la estandarización y diseño. Estos puntos marcarán la diferencia en términos de rentabilidad y competitividad en el mercado respecto a otros productos.

En atención a lo cual, los indicadores en cuanto al tiempo de construcción y reducción de plazos que nos servirán para seleccionar el sistema modular prefabricado son:

- Simplicidad del diseño: diseños simples y estandarizados
- Proceso de montaje: fácil y rápido, métodos de montaje eficientes con conexiones estandarizadas
- Mano de obra especializada: necesidad de mano de obra especializada

h. Experiencia del fabricante e identificación cultural

Como ya se ha comentado en otras ocasiones, la ampliación vertical es un fenómeno bastante reciente y no existen productos específicos para ello. A pesar de esto, la construcción prefabricada y modular lleva más tiempo en la industria y los casos de ampliación siempre han existido. Junto a esto, la experiencia constructiva en el territorio serán puntos clave para la selección de un sistema modular que nos garantice seguridad en los casos de sobreelevación.

Al seleccionar un sistema modular, es importante tener en cuenta los casos de estudio previos que nos ayuden a identificar los criterios y los aspectos a mejorar para los siguientes proyectos. Los casos de estudio representan ejemplos reales en lo que se ha implementado el sistema, esto nos ofrece una visión amplia, nos ayuda a tomar decisiones con más precisión, al mismo tiempo que se pueden identificar las ventajas y desventajas de cada uno de los sistemas a evaluar.

Otro punto que se considerará en la elección de un sistema tiene en cuenta los aspectos que se refieren a la identidad cultural. Es decir, la ampliación vertical trata de construir viviendas en las azoteas de edificios existentes de las zonas céntricas. Este patrimonio debe protegerse y preservarse, y con tal efecto, debe escogerse un sistema que refleje la identidad local y cultural y se adapte a la estética arquitectónica. Esto asegurará que el sistema modular se alinee con el entorno y la cultura local, creando un resultado final coherente y armonioso.

Un usuario recurre a un material y/o tipología constructiva cuando existe transparencia en la información proporcionada por fabricantes, certificaciones de estándares de calidad y evidencias a lo largo del tiempo. Es decir, la transparencia se refiere a la accesibilidad y claridad de la información proporcionada por los fabricantes sobre las características, propiedades y rendimiento de sus productos modulares. Además, la presencia de certificaciones de estándares de calidad otorga una validación objetiva a la calidad del sistema. Las certificaciones actúan como garantía de que el sistema cumple con ciertos criterios y estándares reconocidos en la industria.

En atención a lo cual, los indicadores en cuanto a la experiencia del fabricante e identificación cultural que nos servirán para seleccionar el sistema modular prefabricado son:

- Referencias: casos de estudio previos
- Identificación: adaptación a las particularidades culturales y tradiciones constructivas
- Confianza usuaria: existencia de módulos y/o materiales con mayor confianza en el usuario

i. Costes

El sector económico hace de la sobrelevación un atractivo para inversores, esto se traduce en inversiones de capital tanto privadas como públicas, y, por tanto, debe tenerse en consideración.

Generalmente, los sistemas modulares suelen tener costes más predecibles y controlados que la construcción convencional, debido a la fabricación en entornos y condiciones vigiladas, donde se puede tener una mayor supervisión. Además, la fabricación en taller permite tener mejor eficiencia en el proceso de producción, lo cual posibilita mejor control sobre los materiales utilizados. Esto se traduce en evitar desperdicios y optimizar el aprovechamiento de los mismos. Por tanto, un factor a la hora de considerar los sistemas modulares será el coste de producción, lo que lleva implícito la materia prima y su manipulación.

Si bien, el transporte es un punto crítico en cualquier sistema, los gastos asociados al montaje y colocación en el lugar final dependen de la tipología de cada uno. Así pues, la complejidad del proceso de instalación, la duración estimada y los recursos requeridos variaran en función del sistema modular seleccionado.

Se adelantaba en puntos anteriores que la reducción en el tiempo de construcción también tenía efectos en los costes. Por tanto, la utilización de sistemas con procesos estandarizados disminuirá los costes.

Por último, los costes de mantenimiento es otro factor a considerar a largo plazo. Puesto que los gastos que tienen relación con el mantenimiento o las posibles reparaciones, se verán disminuidas en sistemas que ofrezcan soluciones duraderas y rentables a lo largo de su vida útil.

En atención a lo cual, los indicadores en cuanto a los costes que nos servirán para seleccionar el sistema modular prefabricado son:

- Coste de producción: evaluar el coste de la materia prima y mano de obra
- Coste instalación: gastos asociados con el transporte, montaje y colocación
- Rentabilidad: relación entre los costes y beneficios

5.3.2. Tipos de sistemas modulares a evaluar

La elección de un sistema modular determinará la eficiencia, calidad y funcionalidad que más se adapte a los requisitos de la ampliación vertical. Para tomar esta decisión se utiliza una matriz de 3x3 que evalúa los tipos de sistemas según diferentes aspectos clave. La matriz permite comparar y clasificar los sistemas en función de la materialidad y del sistema de transferencia estructural (T. 7).

La primera dimensión de la matriz se refiere al material, y evalúa los principales materiales ligeros como las aleaciones ligeras, la madera y el acero. Estos materiales se caracterizan por su bajo peso y su alta resistencia, y resultan opciones muy eficientes cuando se requiere una carga liviana pero también resistente. En primer lugar, las aleaciones ligeras, como el aluminio y el magnesio, ofrecen ventajas respecto al período de construcción ya que suelen ser sistemas con un grado de industrialización muy elevado, al mismo tiempo que permiten la reubicación del propio módulo final prácticamente al completo sin ningún tipo de adaptación (Hong, 2017). En cuanto a la madera, su principal atractivo se basa en la sostenibilidad ya que se trata de un material renovable y su producción tiene una menor huella de carbono en comparación con otros materiales, del mismo modo que pueden tener función portante y ser considerados como la envolvente del edificio (Loss, Piazza, & Zandonini, 2016). Por último, el acero es ampliamente utilizado debido a su resistencia y durabilidad, además es un material comúnmente introducido en la industria española.

La segunda dimensión se centra en el tipo de transferencia estructural del sistema modular, y se enfoca en cómo se transmiten las cargas y las fuerzas a través del sistema, así como en la capacidad de la estructura para resistir las diferentes cargas. Algunos sistemas modulares utilizan un sistema de transferencia estructural mediante superficies continuas, lo que puede brindar una distribución uniforme de cargas y una resistencia eficiente. Otros sistemas pueden emplear una transferencia a través de bastidores, lo que puede ser más adecuado para proyectos que requieren una mayor resistencia vertical y la capacidad de soportar cargas concentradas. Finalmente, existen otros sistemas porticados que liberan los espacios intermedios para centrar sus esfuerzos en las esquinas.

Una vez establecidas las dimensiones que formarán la cuadrícula, y en función de las opciones que ofrece el mercado para el uso residencial se forma la siguiente matriz:

| | | SISTEMA TRANSFERENCIA ESTRUCTURAL | | | |
|--------------|---------------------------|---|--|---------------------|--|
| MATERIALIDAD | Superficies continuas | | Bastidores | Sistemas porticados | |
| | Aleaciones ligeras | Fuselaje | (Adfer, s. f.), (Vázquez & Fernández, 2019), («Estudiantes aprenden en el Aeropuerto de Castellón a reutilizar fuselaje de aviones para crear viviendas», 2022) (García-Cuevas González, Carreres Talens, & Tiseira Izaguirre, 2018) | - | - |
| | Madera | Sistema panelado de madera contralaminada | (Bhandari et al., 2023), (Reynolds & Enjily, 2006), (Piazza, Zanon, & Loss, 2015), (Shin, Wi, & Kim, 2023) | Ballon frame | (Victoria, Deveci, Musau, & Clubb, 2023), (Tulebekova, Malo, Rønquist, & Nåvik, 2022) |
| | Acero | Contenedor marítimo | (Hong, 2017), ISO/TC 104, (A. C. Álvarez, 2020), (G. Zhang, Setunge, & van Elmp, 2014), (Casagrande, Sinito, Izzi, Pasetto, & Polastri, 2021), (J.-Z. Zhang, Chen, Li, & Yu, 2023) | Steel framing | (Shan & Pan, 2022), (Jellen & Memari, 2018), (Chen et al., 2021), (Thai et al., 2020) |
| | | | | Pórticos madera | (Tulebekova et al., 2022), (Kang, Xiong, Feng, Zhu, & Zhou, 2022), (Cao, Xiong, & Cui, 2022) |
| | | | | Pórticos acero | (Liu, Chen, Liu, Bai, & Zhong, 2021), (Gatheeshgar et al., 2021) structural, fire, and lightweight |

▲ Tabla 7. Matriz que identifica los tipos de sistema modular según su materialidad y sistema de transferencia estructural

La tabla muestra las opciones disponibles para la elección del sistema al cruzar los distintos materiales con el sistema de transferencia estructural. A pesar de que existen posibilidades en casi todos los campos, hay una limitación en los sistemas de bastidores y porticados de aleaciones ligeras. Esto se debe a que no todas las opciones están estandarizadas para aplicaciones residenciales, como es evidente en el caso del fuselaje de aeronaves y de los contenedores marítimos.

Aunque estas alternativas, como el uso de fuselajes de aeronaves o contenedores marítimos, han experimentado modificaciones y adaptaciones para adecuarse a configuraciones de viviendas, aún no han sido plenamente aceptadas como opciones habitacionales convencionales en la sociedad. Ni por parte del usuario y su percepción de desconfianza, ni tampoco por la falta de respaldo normativo en la industria de la construcción.

Por estas razones, la evaluación se centrará en el resto de los sistemas modulares que cuentan con mayor aceptación desde la perspectiva de la confianza del usuario como desde el punto de vista normativo. Esto permitirá analizar y comparar opciones que ya gozan de una mayor aceptación y aplicación en la sociedad y en la industria.

5.3.3. Estudio de los sistemas modulares seleccionados

Como se ha comentado anteriormente, no todos los sistemas están insertados en la sociedad como elección práctica para uso residencial. En esta sección, se llevará a cabo un análisis de los sistemas modulares escogidos como opción viable para la formalización de las viviendas en la ampliación vertical. En consecuencia, los sistemas elegidos para la evaluación son:

- Sistema porticado de madera
- Sistema Balloon Frame
- Sistema panelado de madera contralaminada
- Sistema porticado de acero
- Sistema Steel Framing

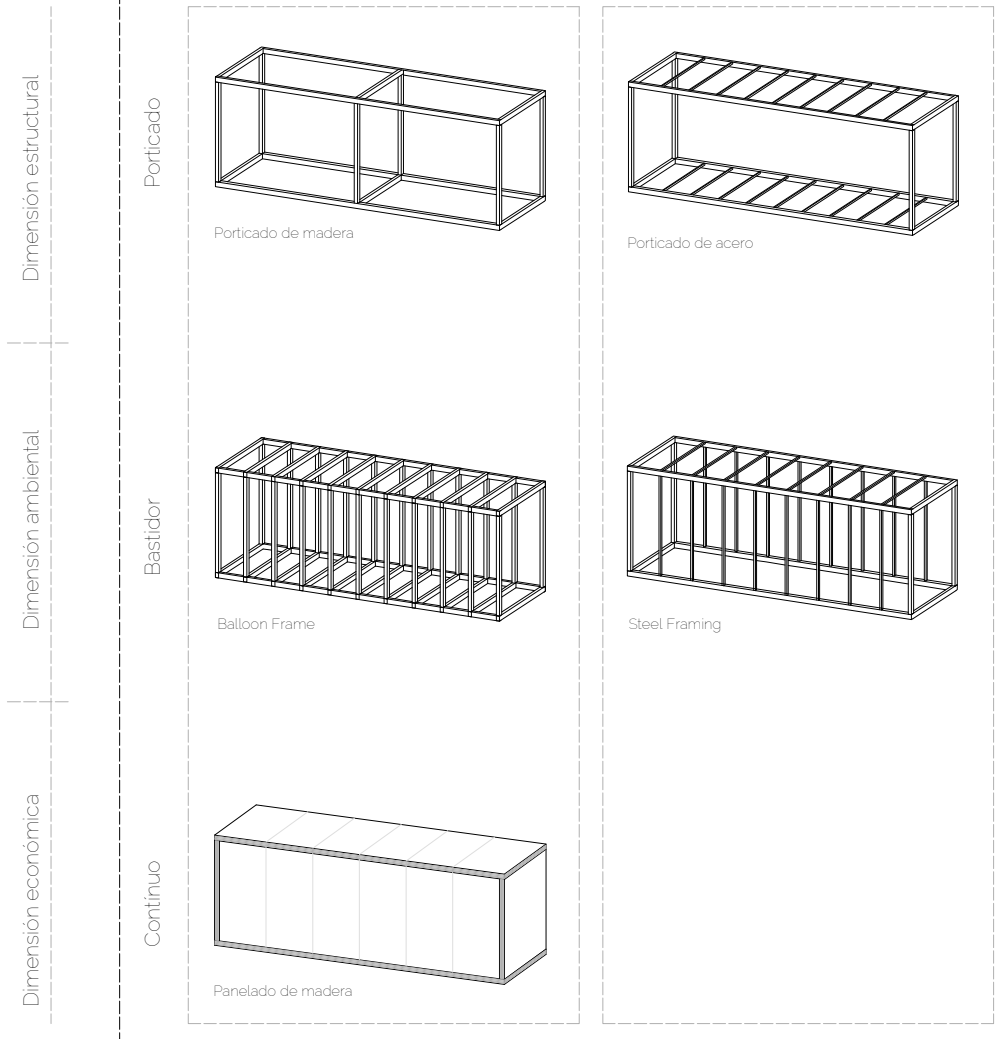
A continuación, se exploran las propiedades de cada sistema a través de un enfoque analítico desde una dimensión estructural, ambiental y económica. La metodología aplicada se centra en dos componentes fundamentales: variables e indicadores. Las variables representan los sistemas bajo escrutinio, identificados y definidos por la matriz previa. Por otro lado, los indicadores forman parte del análisis de cada uno de los sistemas, nos ayudan a medir aspectos y comparar cada sistema según dimensión.

Junto a ello, se va realizar una imagen representativa del sistema modular en cuestión, así como un proyecto que sirva como punto de referencia. Mencionar que, aunque estas representaciones no son construcciones compuestas por elementos individuales modulares, sí plasman la solución constructiva de cada uno de estos ellos. De esta forma, el proyecto de referencia servirá como un ejemplo concreto de aplicación del sistema modular en un contexto específico.

A continuación, se presenta una figura que muestra las variables y los indicadores según su respectiva dimensión, proporcionando así, un marco visual del análisis (Fig. 51).

INDICADORES

VARIABLES



▲ Figura 51. Esquema del análisis según indicadores y variables

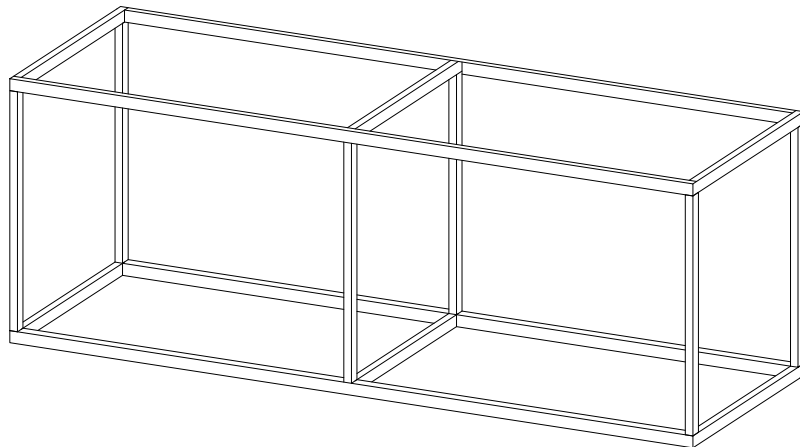
PM | Sistema porticado de madera

Descripción general

Los sistemas porticados de madera son construcciones que se componen de elementos de madera verticales en las esquinas, y de otros elementos horizontales, en caso de ser necesario, interconectados entre sí para formar un volumen. Estos marcos que forman las aristas del volumen se conocen como pórticos y dan nombre al sistema. Estos módulos no solo aprovechan las características inherentes de la madera como material de construcción, sino que también capitalizan la disposición estratégica en las esquinas para lograr soluciones arquitectónicas altamente funcionales.

Una de las principales ventajas de estos módulos es la capacidad para maximizar el espacio interior. La utilización de las esquinas como punto de anclaje libera el máximo espacio disponible, esto permite una disposición interior abierta y flexible tanto dentro del propio módulo como en el caso de adición de módulos. Esto resulta especialmente positivo en contextos urbanos donde el espacio es un bien escaso. Los sistemas porticados de madera ofrecen la oportunidad de crear ambientes interiores abiertos y adaptables para albergar distintos usos, y combinar los módulos de múltiples formas. De esta forma, los arquitectos tienen la libertad de crear estructuras con una estética distintiva y de mantener la esencia creativa.

Figura 52. ▶
Esquema tridimensional del módulo con de sistema porticado de madera



Referencias

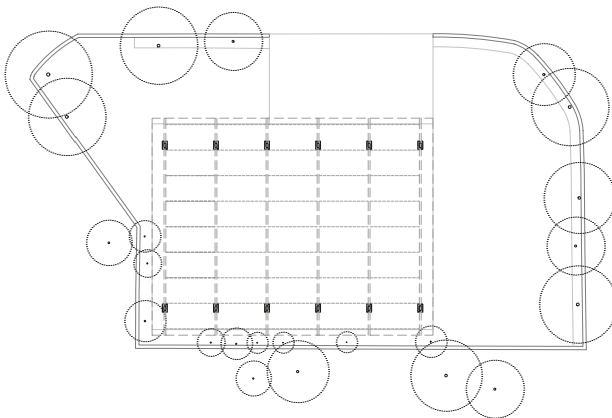
Parque de bomberos, Moyá (2020)

Arquitectos: Josep Ferrando Architecture, Pedro García Hernández, Mar Puig de la Bellacasa, Manel Casellas

Superficie: 760 m²

Presupuesto: 862.000 €

Figura 53.
Documentación
gráfica proyecto
Parque de
bomberos, 2020

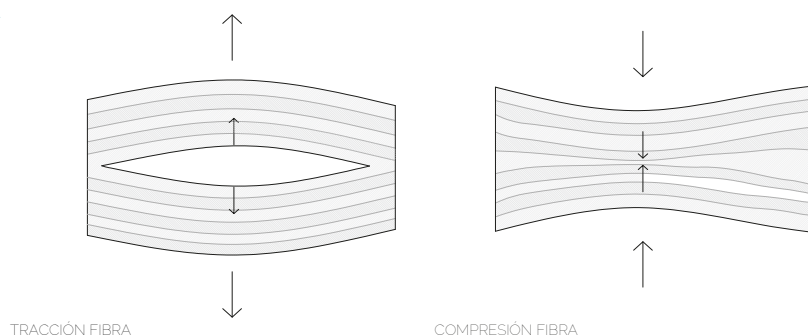


Dimensión estructural

La integridad estructural de estos módulos se rige a través del comportamiento de los marcos de madera en las esquinas, combinando las características intrínsecas estructurales de la madera con la estabilidad propia de los pórticos. Esto permite una distribución efectiva de las cargas verticales como horizontales hacia los puntos de apoyo generando el equilibrio estructural. Aun así, presenta desafíos que deben ser considerados durante la fase de diseño y construcción.

La orientación de las fibras afecta notablemente a la resistencia, la estabilidad y el comportamiento estructural, ya que es un material anisótropo. Es decir, que sus propiedades mecánicas varían en diferentes direcciones. Por este motivo, la dirección en la que las fibras de madera se alinean afecta directamente su resistencia a la tracción, compresión y flexión. Si los esfuerzos son paralelos a la fibra, la resistencia será mucho más elevada que si los esfuerzos son en la dirección perpendicular. En caso contrario, se puede producir un desgarro entre las fibras si hay tracción, o en caso de compresión, un aplastamiento (Fig. 54).

Figura 54.
Fallos de la madera
con esfuerzos
perpendiculares a
las fibras



Dependiendo de la distribución de cargas los sistemas porticados pueden estar sujetos a cargas asimétricas provocando tensiones desiguales en el módulo. Esto puede producir deformaciones no deseadas o incluso desequilibrios en la estructura. Asimismo, dichos sistemas, si se diseñan de la forma correcta, son más estables a fuerzas verticales. En cambio, resisten peor a cargas laterales. Es por ello que, en ciertas situaciones puede ser necesaria la incorporación de elementos de arriostamiento como diagonales o más elementos verticales. Por tanto, según las necesidades proyectuales de geometría y cargas será inevitable añadir elementos que mejoren la estabilidad lateral.

En cualquier sistema modular las conexiones están diseñadas para resistir y transmitir correctamente las cargas. Pero en sistemas

porticados donde el comportamiento resistente depende de los limitados elementos verticales y horizontales, es muy importante realizar un dimensionado exhaustivo de las uniones y conexiones. Puesto que cualquier fallo en un elemento individual puede conllevar el colapso total de la estructura del módulo.

A pesar de que la madera sea un material con gran capacidad de deformación, hay que tener especial atención con las dimensiones de los elementos horizontales, puesto que son aquellos con mayor longitud. Esto puede provocar flexiones indeseadas y podría desestabilizar el conjunto, sobre todo podría afectar a los acabados del módulo.

Dimensión ambiental

La madera es un material renovable y sostenible. Además, su uso en los sistemas porticados contribuye a la reducción de la demanda de recursos no renovables y el impacto ambiental en la industria de la construcción. De la misma manera, su huella de carbono es significativamente menor en comparación con otros materiales de construcción utilizados más usualmente en la estructura de cualquier edificio, dado que almacena carbono y su procesamiento requiere de menor energía.

No obstante, el uso de la madera en este tipo continuación estructural se limita únicamente a elementos en las esquinas atados por marcos horizontales, o como mucho a algún elemento vertical intermedio. Por lo que, las ventajas ambientales del módulo final se verán reflejadas sobre todo en la utilización de los materiales del cerramiento y acabados.

Dimensión económica

Las ventajas económicas del sistema se limitan prácticamente a los beneficios de la construcción industrializada. Bien es cierto, que la madera es un material más liviano que otros, y por ende más fácil de manipular. Esto conlleva un proceso de construcción más rápido y como consecuencia, un menor costo laboral debido a la reducción en maquinaria pesada y empleados.

Aun así, al igual que en la dimensión ambiental, los elementos de madera están limitados a unos pocos, y por tanto dependerá económicamente del resto de elementos necesarios para finalizar el módulo.

BF | Sistema Balloon Frame

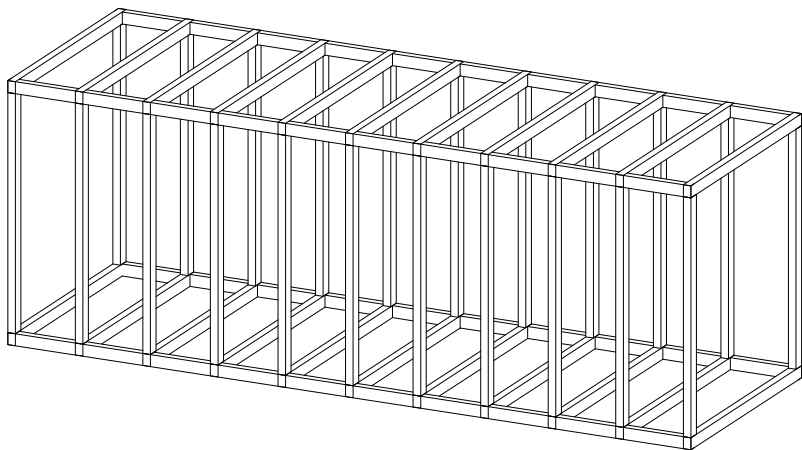
Descripción general

El sistema de construcción realizado a partir de bastidores de madera, llamado *Balloon Frame*, surgió en el siglo XIX para responder a las necesidades de una rápida urbanización y de la creciente demanda de viviendas en EEUU. Este nuevo concepto arquitectónico revolucionó la industria de la construcción, y sus conceptos base siguen siendo utilizados en la actualidad. Llegados a este punto cabe mencionar el sistema *Platform Frame*, donde la principal diferencia entre el anterior consiste en que el forjado interrumpe la continuidad de los pilares, es decir, la estructura se levanta planta por planta, evitando así que, en caso de incendio, las llamas puedan propagarse con facilidad entre la doble piel de madera.

El concepto principal consiste en la construcción de un esqueleto estructural utilizando elementos de madera que se ensamblan con relativa facilidad. A diferencia de otros sistemas, el *Balloon Frame* utiliza elementos más pequeños para formar un armazón. La idea era la construcción rápida y con poca mano de obra de cuerpos tridimensionales. Por tanto, se trata de un sistema fabricado en madera con multitud de listones con poca separación formando una estructura espacial que va desde la base hasta la parte superior. Normalmente, el espesor de los listones oscila entre los 30 y los 80 mm, y separados entre sí a una distancia inferior a 1 m.

Históricamente, el sistema utilizaba uniones muy simples, resueltas con clavos, para que cualquier persona sin excesiva pericia ni herramientas pudiera construir el volumen. Actualmente, las conexiones han evolucionado y se necesita de herramientas más especializadas.

Figura 55. ▶
Esquema tridimensional del módulo con sistema de bastidores Balloon Frame



Referencias

Project 180, Adeje (2023)

Arquitectos: Modular Projects
Superficie: 180 m²
Presupuesto: 234.000 €

Figura 56.
Documentación
gráfica vivienda
unifamiliar Project
180



Dimensión estructural

El sistema *Balloon Frame* se basa en la construcción de un armazón para crear la estructura del módulo, se define como una red de elementos verticales y horizontales que trabajan conjuntamente para soportar las cargas y distribuirlas de forma adecuada. Los listones se disponen de forma equidistante para buscar una descarga de fuerzas uniforme. La misión de los montantes es la de soportar las cargas y transmitir las a los elementos inferiores, por ello están sometidos a esfuerzos de compresión. De hecho, la estructura perimetral formada por estos listones actúa a modo de viga *Vierendeel*, y dependiendo de la sección y disposición de los listones responderá de una manera u otra a las distintas cargas.

Este tipo de estructura de entramado denso, ha sido utilizada en países como Italia y Portugal introduciendo diagonales en forma de cruz de San Andrés para mejorar su resistencia frente a acciones sísmicas siempre y cuando su mantenimiento sea el adecuado (Lukic et al., 2018).

La gran popularidad de este sistema vino de la mano de una fácil instalación y ejecución. Es por ello que, las conexiones son un punto estratégico del sistema. De hecho, la discontinuidad de la madera provoca concentración de tensiones generando puntos de debilidad, especialmente en las juntas. Estas uniones son responsables de controlar el comportamiento en el plano y de influir en la capacidad de disipación (Aejaz et al., 2021).

Dimensión ambiental

Igual que se ha comentado anteriormente, los sistemas de bastidores realizados a partir de madera cuentan con las ventajas de utilización propias de la madera. Este material presenta aspectos favorables en cuando al respecto con el medio ambiente ya que es un recurso material renovable.

Durante su fase de ejecución, existe un ahorro de energía ya que al fabricarse a partir de listones ligeros de madera son prácticamente manipulables por una única persona. Esto hace que no sean necesarias maquinarias específicas o de gran envergadura para su manipulación. Asimismo, el sistema de anclaje sencillo hace que se pueda desarrollar el módulo al completo en el mismo taller.

Dimensión económica

El principal atractivo del sistema es la fabricación del módulo en sí. Esto se debe a su sencilla manipulación ya la necesidad de una mano de obra reducida, lo que hace que la construcción parezca ser una inversión rentable. Como se ha mencionado anteriormente, el sistema permite un ensamblaje y conexión de elementos utilizando herramientas

menos especializadas en comparación con otros sistemas, lo que se traduce en que los trabajadores no necesiten tener habilidades altamente especializadas

Sin embargo, es importante señalar que el sistema consta de una gran cantidad de piezas, lo que alarga el proceso de ejecución, debido a la formalización de todo el esqueleto estructural necesario para completar el módulo.

PC | Sistema panelado de madera contralaminada

Descripción general

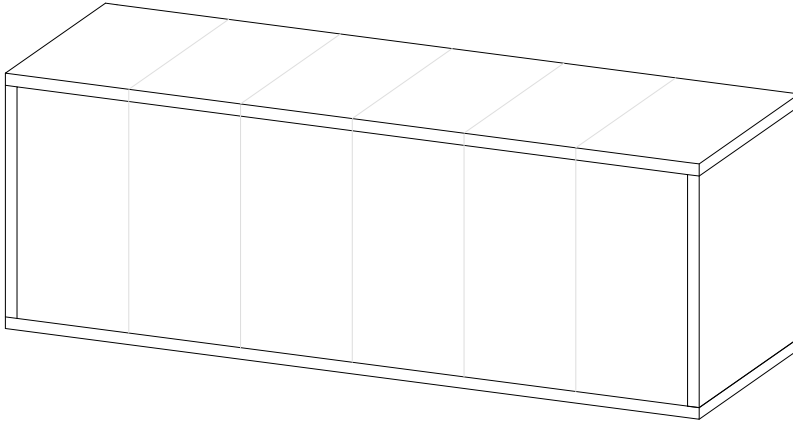
El sistema panelado de madera se compone de la construcción del módulo a partir de madera contralaminada o paneles de CLT (siglas en inglés *Cross-Laminated Timber*). Estos paneles están compuestos por varias capas de tablas de madera adheridas entre sí con adhesivos estructurales. Esto crea una estructura de múltiples capas que proporciona resistencia y estabilidad, dotando de una distribución de tensiones en todas las direcciones.

Por lo general, se utilizan entre tres y siete capas y se posicionan cruzando la orientación en cada una de las capas, de esta forma se contribuye a la resistencia y a la capacidad de carga del panel. El número de capas de madera es siempre número impar y se unen entre sí mediante alta presión, de este modo se producen placas de madera maciza con un gran formato (Fernández Forcada, 2015). Normalmente, el espesor de los paneles de CLT varía de 60 mm a 300 mm o incluso más, dependiendo del fabricante, y se encuentran longitudes de hasta 15 m, y anchos de hasta 3 m (Brandner, 2018). El número de capas puede variar según las exigencias estructurales siendo normalmente capas de 3, 5 o 7, o en casos particulares más, hasta un máximo de 500 mm el total del panel.

En cuanto al proceso de encolado es muy importante la interacción durante la presión, ya que este punto es el que dota de rigidez al conjunto del panel. La gran parte de los adhesivos que se utilizan en la fabricación de CLT son polímeros termoestables, siendo lo más comunes las resinas de poliuretano y las resinas fenólicas.

Los elementos continuos (paneles de CLT) que forman los sistemas modulares pueden funcionar como muros verticales o como losas horizontales. De esta forma, formalizan el conjunto del volumen y dotan de la rigidez y resistencia necesaria.

Los módulos tridimensionales realizados a partir de paneles de madera contralaminada son una aplicación avanzada de este material, ya que se trata de estructuras prefabricadas que utilizan paneles de CLT para crear unidades de construcción completas.



◀ Figura 57.
Esquema tridimensional del módulo con sistema de paneles de CLT

Referencias

Dalston Work, Hackney, Londres (2017)

Arquitectos: Waugh Thistleton Architects

Superficie: 121 viviendas (50 a 100 m²) y 3500 m² de locales comerciales

Figura 58.
Documentación gráfica apartamentos Dalston Work



Dimensión estructural

Cuando nos referimos a un sistema modular compuesto por paneles de CLT, es fundamental ver este sistema no solo como una parte estructural que da forma al volumen, sino también como parte material del cerramiento. Es por ello que, los paneles deben ajustarse al diseño proyectual y formalizar tanto los elementos horizontales, como forjado y cubierta, como los verticales, bien sean interiores o exteriores. Todo esto es considerado un factor esencial en la capacidad de carga a flexión, ya que los paneles se utilizan a nivel vertical y horizontal (Hematabadi et al., 2021).

Como ya se ha comentado anteriormente la estructura de un panel CLT se compone a partir de un conjunto de capas, esto provoca la alternancia en la dirección de las fibras, mitigando las imperfecciones intrínsecas de la propia madera (Van Le et al., 2020). El conjunto de capas transversales dota de resistencia al panel y transfiere cargas fuera del plano en dos direcciones proporcionando rigidez bidireccional a la estructura (Asselstine, Lam, & Zhang, 2021).

Este tipo de sistema modular realizado a partir de elementos continuos están diseñados para distribuir las cargas de forma uniforme, minimizando los puntos de concentración de tensiones. En efecto, una de las principales ventajas de los sistemas modulares en CLT es la uniformidad estructural que ofrecen. Los módulos prefabricados se fabrican en entornos controlados, lo que garantiza una alta precisión en las dimensiones y en la distribución de las capas de madera. Esta uniformidad contribuye a la capacidad de los módulos para resistir cargas de manera predecible y eficiente. Los paneles permiten que las cargas se transmitan al resto de la estructura de manera más homogénea, puesto que se definen caminos claros a lo largo de las cuales las cargas se distribuirán desde los puntos de aplicación hasta la estructura inferior. Esta continuidad estructural asegura que las cargas se distribuyan a través de las conexiones y las uniones.

Los módulos pueden diseñarse según las necesidades del proyecto arquitectónico a partir de la utilización de diversas composiciones para crear tipos abiertos o cerrados. Los módulos cerrados se componen de paneles verticales que cierran todo el perímetro a su alrededor, dotando de mayor resistencia estructural al conjunto. En cambio, los módulos abiertos están diseñados para crear espacios unificados junto a otros módulos. Por tanto, las áreas que no dispongan de paneles deben transferir su carga a los que corresponda. De esta forma, los módulos ofrecen una gran flexibilidad en el diseño, e influyen en la funcionalidad, estética y en el comportamiento estructural del edificio.

Dimensión ambiental

Actualmente, nos encontramos en la búsqueda de soluciones más sostenibles, y el uso de los sistemas modulares de paneles de madera contralaminada (CLT) han surgido como una respuesta innovadora en la industria de la construcción. Existen cantidad de estudios que realzan los beneficios ambientales de los materiales de base biológica, como puede ser este caso (Shin et al., 2023). Al igual que la aplicación de CLT en edificios pequeños, medianos y bajos (Shin, Wi, et al., 2023).

La esencia de los sistemas modulares de CLT radica en la utilización de madera contralaminada, recurso natural y renovable. Esto significa que su extracción y producción tienen un impacto ambiental significativamente menor en comparación con materiales de construcción convencionales. Uno de los aspectos más destacados de los sistemas modulares de CLT, que viene de la mano del propio material, radica en su capacidad para capturar y almacenar carbono, ya que ayuda a reducir las emisiones de carbono del ambiente y contribuye a combatir el cambio climático.

La fabricación de CLT tiene una huella de carbono significativamente bajo a comparación con otros materiales. Dado que, los procesos de fabricación requieren de menos energía, al mismo tiempo que generan menos emisiones de gases efecto invernadero. Además, otra característica es la posibilidad de reutilizar o reciclar los paneles (Younis & Doodoo, 2022).

Otro factor importante, son las propiedades de aislamiento térmico y acústico naturales, lo que puede reducir la necesidad de sistemas de calefacción y refrigeración. Y es que, al ser también parte de cerramiento sus propiedades energéticas ayudan a la reducción en el consumo de energía a lo largo de la vida útil del edificio.

Dimensión económica

Los sistemas modulares fabricados de CLT son una solución que combina flexibilidad en el diseño, construcción rápida y costos optimizados. La fabricación de los paneles en entornos controlados permite una producción precisa y eficiente, lo cual viene ligado a una reducción significativa en los plazos de construcción de hasta el 30%, lo cual reduce los costes de mano de obra (Silva, Branco, & Lourenço, 2013).

A pesar de que los paneles cuentan con dimensiones relativamente grandes, si los comparamos con elementos lineales del mismo material, el CLT es ligero en comparación con otros más

tradicionales. Por tanto, los costes de transporte y logística pueden ser menores. Seguramente, su manipulación en fábrica sí que necesitará de maquinaria más especializada.

Gracias a sus propiedades térmicas y acústicas, no solo existe una rentabilidad para el promotor sino también para el usuario. Estas características producen un ahorro de los gastos operativos a lo largo de la vida útil de la vivienda.

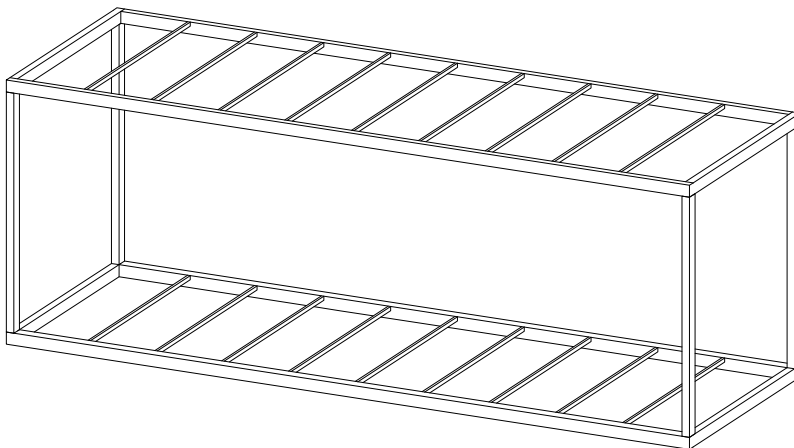
PA | Sistema porticado de acero

Descripción general

Los sistemas porticados de acero se basan en la composición de secciones estructurales prefabricadas realizadas a partir de acero laminado en caliente o incluso de secciones huecas (M. Lawson et al., 2014). Están diseñados para ser ensamblados de manera modular y formar una estructura porticada resistente y versátil, ofreciendo una gran flexibilidad y versatilidad en la parte compositiva y creativa del proyecto arquitectónico (Innella, Bai, & Zhu, 2020).

Sin duda, la gran ventaja de este sistema modular donde únicamente existen postes de esquina, es el gran espacio abierto, la libertad compositiva de las fachadas y la gran conectividad de espacios adyacentes materializados con módulos anexos. Todo ello lo hace extremadamente versátil. La colocación de los módulos puede ser variada, generando una amplia variedad de configuraciones. La eficacia del volumen combina las ventajas del acero, como su alta resistencia y durabilidad, con la flexibilidad y rapidez de construcción.

Los avances en la ingeniería residen en desarrollar conexiones más eficientes y seguras, mejorando las uniones actuales atornilladas y soldadas, y diseñando nuevas a partir de tecnologías más avanzadas como conectores tipo caja o pernos de alta resistencia.



◀ Figura 59.
Esquema tridimensional del módulo con sistema porticado de acero

Referencias

Viviendas wij_land, Amsterdam (2023)

Figura 60.
Documentación
gráfica
apartamentos
Wij_land ▼

Arquitectos: Space&Matter
Superficie: 26 viviendas (52 a 130 m²)



Dimensión estructural

Los módulos porticados de acero se componen de elementos estructurales en marco conectados entre sí. La resistencia de estos módulos se asegura mediante los elementos verticales que se encuentran en las esquinas, así como mediante los elementos horizontales y las conexiones correspondientes. La naturaleza del acero como material estructural soporta una alta resistencia y rigidez a los componentes, lo que permite la creación de estructuras robustas capaces de soportar cargas considerables. La modularidad en el diseño y la fabricación permite la creación de sistemas porticados y de soporte que pueden adaptarse a diversas configuraciones y demandas de carga, lo que es fundamental en proyectos que requieren soluciones estructurales flexibles y confiables.

La estructura de un sistema modular puede no ser tan continua como el de una estructura convencional, ya que cada módulo de forma individualizada es una estructura independiente, esto afecta a la distribución de la carga entre los propios módulos adyacentes, donde las fuerzas se transmiten a través de las conexiones intermodulares. Por ello, las esquinas adyacentes están influenciadas en gran medida por la acción de vuelco y de los efectos de arriostamiento (Shan & Pan, 2022).

Los puntos de encuentro entre módulos deben ser especialmente cuidados, ya que son componentes cruciales no solo por la afectación durante el proceso de ensamblaje, sino también por el impacto en la respuesta estructural del conjunto del edificio (Han et al., 2023). Gran parte de los estudios se centran en las conexiones entre módulos, viga-viga o pilar-pilar, esto determina la importancia de la funcionalidad de las conexiones. Teniendo en cuenta que el comportamiento mecánico está ligado a las conexiones, especialmente cuando nos enfrentamos a cargas laterales (K. S. Park et al., 2016) (Liu et al., 2021).

Al igual que ocurre en otro tipo de sistemas, es necesario garantizar la estabilidad lateral. Por este motivo, según las condiciones externas puede ser esencial incluir elementos que garanticen la estabilidad. Existen estudios que indican que al incorporar sistemas de arriostamiento longitudinales, la capacidad de resistencia del módulo experimenta una mejora sustancial, dando como resultado una rigidez vertical adicional en el plano y mayor capacidad de disipación de energía en caso de pandeo de los elementos involucrados (Luo et al., 2019).

Dimensión ambiental

El gran beneficio de los módulos de acero es su longevidad, esto se traduce en una mayor vida útil de la estructura construida y como consecuencia una menor degradación y deterioro. Además, debido a sus

características de durabilidad no tiene la necesidad de reemplazo y, por ende, de los consumos a largo plazo.

A pesar de que su reutilización no sea muy frecuente, el acero es un recurso reciclable y su reaprovechamiento en la construcción de otros módulos contribuye a la disminución de la demanda de nuevos materiales vírgenes, y a un ciclo de vida extendido. Aun así, la necesidad de energía para su producción es más elevada respecto a otros materiales, por ello hace del material menos sostenible respecto a otros.

Dimensión económica

Los módulos de acero representan una solución económica a considerar en la construcción moderna. La prefabricación en entornos controlados reduce los costos laborales y minimiza los retrasos en el sitio de construcción, lo que acelera la finalización del proyecto. Además, la durabilidad inherente del acero conlleva menores gastos de mantenimiento y reemplazo a lo largo de la vida útil de la estructura, contribuyendo a un mayor retorno de la inversión.

El uso del propio material en estos sistemas es la principal ventaja. Al ser un material muy utilizado en la industria de la construcción se encuentra multitud de oferta en gran parte del territorio. Del mismo modo, existen numerosos estudios que avalan y demuestran la efectividad del material y del sistema, esto ha dado como resultado módulos muy eficientes y experimentados. El cómputo de todos estos factores ofrece una rentabilidad económica considerable.

La velocidad de construcción es uno de los puntos fuertes de los módulos de acero, lo que se traduce en ahorros significativos. Los plazos más cortos no solo reducen los costos laborales, sino que también permiten que las estén disponibles para su uso más rápidamente, lo que puede ser especialmente ventajoso en proyectos de inversión.

Sim embargo, el peso de este material respecto a otros es más elevado, esto se traduce en dificultades en el transporte y manipulación, elevando el precio de esta partida.

SF | Sistema Steel Framing

Descripción general

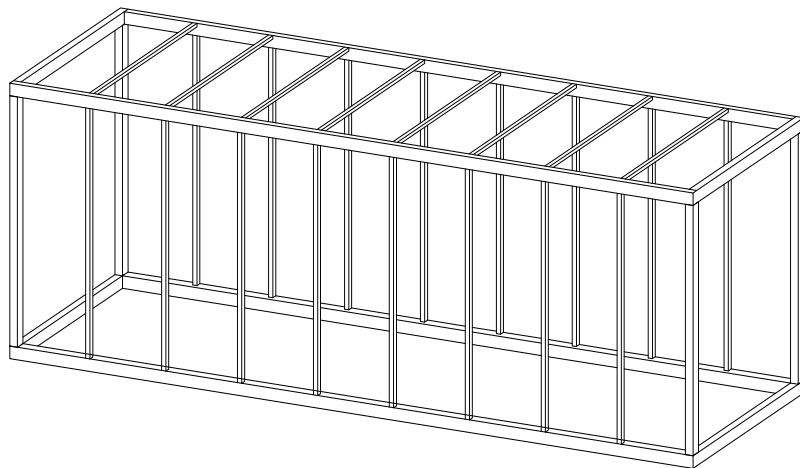
El Steel Framing es un sistema de construcción basado en el uso de estructuras de acero galvanizado para formar el esqueleto de un edificio, en este caso, del módulo prefabricado. Es decir, consiste en un conjunto de perfiles y elementos estandarizados que se ensamblan de manera precisa. Habitualmente, los perfiles verticales o montantes suelen tener forma de C colocados cada 60 cm aproximadamente, que se unen a los elementos horizontales en forma de U. Los montantes actúan como fijación para la instalación del cerramiento, en cambio los horizontales sirven como guía para el ensamblaje de los anteriores, ya que confieren de la estabilidad, rigidez y uniformidad necesaria.

La construcción de los marcos de acero en el sistema de Steel Framing es un proceso que involucra precisión, planificación y cuidadosa ejecución. Comienza con el diseño de la estructura, donde se determinan las dimensiones, la disposición de los módulos y la ubicación de las aperturas para puertas y ventanas. Una vez que se tiene un diseño detallado, se procede a fabricar los componentes de acero que conformarán los marcos.

Las principales ventajas de este sistema parten de la utilización del acero galvanizado como material base, puesto que gracias a sus características tiene una gran resistencia a la corrosión, otorgando así a la estructura una dilatada vida útil. Además, el tipo de secciones facilita la colocación del resto de materiales que necesitan para terminar el volumen final. Junto a esto, la estandarización de todas las piezas y componentes acelera los tiempos de construcción.

La fabricación de los módulos se realiza a partir de medidas exactas que se ensamblan mediante técnicas de unión precisa, normalmente realizadas con tornillos autoperforantes especiales para este tipo de sistemas u otras técnicas de unión.

Figura 61. Esquema tridimensional del módulo son sistema Steel Framing

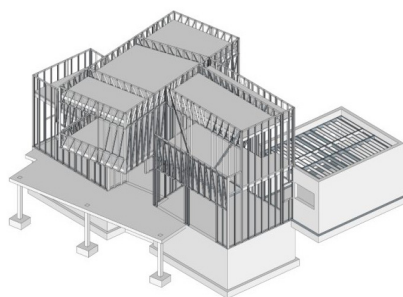


Referencias

Casa ADH, Cambrils (2017)

Arquitectos: Aitor Escudero
Superficie: 2011,60 m²

Figura 62. Documentación gráfica vivienda ADH



Dimensión estructural

La capacidad estructural de los módulos se basa en el ensamblaje de perfiles de acero galvanizado unidos entre sí para formar celdas hasta conformar el volumen completo. Estos perfiles garantizan una resistencia uniforme en toda la estructura.

El acero galvanizado permite la construcción de edificios de distintas plantas con cierta facilidad debido a su estandarizado ensamblaje, lo cual también agiliza el proceso y reduce los márgenes de error. De igual forma, permite una gran adaptabilidad y múltiples configuraciones, sobre todo en lo que atañe a la posibilidad de crear aberturas sin dañar la resistencia estructural.

Un punto delicado en la construcción de edificios de gran altura a partir de módulos se encuentra en la estabilidad lateral, ya que las fuerzas laterales, como viento o sismo, producen mayores fuerzas de corte y también tensión en las conexiones. Por este motivo, los sistemas modulares suelen adaptarse mejor a aplicaciones de baja altura (Dan-Adrian & Tsavdaridis, 2022). Incluso la falta de estudios y nuevas conexiones fiables entre los módulos es una alerta del sistema. Según Corfar y Tsavdaridis esto se debe a la falta de normativa específica para construcción modular de acero. Esto conlleva que los cálculos que se realicen no comprendan otro tipo de escenarios propios de los sistemas estructurales modulares.

Los perfiles que generan el módulo suelen ser elementos en C o U, por este motivo la inercia de las secciones debe ser considerada para el cálculo, ya que según su dirección será más resistente a la flexión y/o deformación.

Dimensión ambiental

Junto con las ventajas de la construcción industrializada, y aunque el acero en sí no es un recurso renovable, el proceso de galvanización le otorga una mayor longevidad, ayudando a la durabilidad y resistencia. Esto prologa su vida útil, y motiva la reciclabilidad del material. Bien es cierto que el contexto de la emergencia climática promueve el nexo entre una economía circular y las posibilidades que ofrecen los módulos prefabricados para la reutilización y el desmontaje (Dan-Adrian & Tsavdaridis, 2022).

Dimensión económica

El beneficio principal del sistema se basa en la contribución de los montantes en la fijación del resto de elementos del cerramiento. Para poder finalizar la envolvente del módulo, y como el sistema se compone de elementos individuales verticales, es necesario la fijación de otros

materiales que cierran el perímetro. Por ello, la facilidad de montaje beneficiará a los recursos invertidos durante la construcción, y por tanto a la parte económica que atañe.

5.3.4. Evaluación de las opciones disponibles del mercado a partir de los criterios establecidos

La elección del sistema modular que mejor se adapta a la ampliación vertical parte de la evaluación individual de cada uno de los criterios establecidos en el apartado 5.3.1, y de los sistemas analizados en el 5.3.3.

Para llevar a cabo esta evaluación de manera efectiva, se ha elaborado una matriz que proporciona una visión completa de las opciones disponibles. En esta matriz, los sistemas modulares se han dispuesto en las columnas, mientras que los criterios de evaluación se encuentran en las filas. Este enfoque permite una comparación detallada de cada sistema en relación con cada criterio.

Junto a esto, los valores proporcionados anteriormente respaldan la evaluación en relación con los parámetros tanto estructurales, como en el resto. Se tratan, por tanto, de una herramienta cuantificada que fortalece la justificación cualitativa.

Siguiendo la tabla de criterios establecida en la tabla 6 del apartado 5.3.1, los datos y el análisis de los distintos sistemas, se han asignado las puntuaciones pertinentes en función de los criterios definidos. Por todo ello, en la tabla 8 se presenta el desglose de las puntuaciones de cada sistema, respaldadas con una breve justificación que destaca las razones detrás de cada calificación otorgada.

| | CRITERIOS | Punt. máx. | | | |
|------------------------------------|---|-----------------------------|---|--|--|
| | | Sistema porticado de madera | Sistema Balloon Frame | | |
| Parámetros-criterios estructurales | A. Comportamiento resistente | 30 | 0 | | 25 |
| | 1. Resistencia frente a Cargas gravitatorias | 10 | 0 | Flexión en elementos horizontales | 10 Gran resistencia debido a los elementos verticales |
| | 2. Transferencia a la estructura preexistente | 10 | 0 | Carga puntual elevada | 10 Distribución de cargas en toda la longitud |
| | 3. Arriostramiento | 10 | 0 | Dificultad de incorporación de elementos de arriostramiento | 5 Estabilidad lateral incorporada en los propios elementos verticales |
| | B. Conexiones estructurales | 25 | 5 | | 5 |
| | 1. Resistencia y seguridad | 10 | 5 | Sistema básico de uniones y opciones limitadas | 5 Sistema básico de uniones |
| | 2. Diseño | 10 | 0 | Limitación de diseños | 0 Limitación de diseños y gran cantidad de uniones |
| | 3. Flexibilidad y ajuste | 5 | 0 | Compleja adaptabilidad entre posibles imperfecciones | 0 Compleja adaptabilidad entre posibles imperfecciones |
| | C. Durabilidad y mantenimiento | 25 | 0 | | 10 |
| | 1. Resistencia ambiental | 10 | 0 | Material poco resistente | 0 Material poco resistente |
| | 2. Acceso mantenimiento | 5 | 0 | Acceso complicado | 0 Acceso complicado |
| | 3. Reemplazo de componentes individuales | 10 | 0 | Compleja restitución de componentes debido a los limitados elementos | 10 Con relativa facilidad debido a la gran cantidad de elementos verticales |
| | D. Compatibilidad estructural | 25 | 10 | | 20 |
| | 1. Compatibilidad de conexión | 10 | 0 | Pocos puntos de unión | 10 Gran cantidad de puntos de unión |
| | 2. Flexibilidad en el diseño | 5 | 5 | Adaptación geométrica | 5 Adaptación geométrica |
| 3. Movimientos | 10 | 5 | Relativa flexibilidad de adaptación a movimientos | 5 Relativa flexibilidad de adaptación a movimientos | |

◀ Tabla 8.
Tabla comparativa
criterios-sistemas

| Sistema panelado de madera contralaminada | | Sistema porticado de acero | | Sistema Steel Framing | |
|--|--|----------------------------|--|-----------------------|--|
| 30 | | 10 | | 25 | |
| 10 | Gran resistencia debido a los paneles | 5 | Flexión en elementos horizontales, resistencia determinada por los perfiles | 10 | Gran resistencia debido a los elementos verticales |
| 10 | Distribución de cargas en toda la longitud | 0 | Carga puntual elevada | 10 | Distribución de cargas en toda la longitud |
| 10 | Estabilidad lateral propia de los paneles | 5 | Fácil incorporación de sistemas de arriostamiento en X | 5 | Estabilidad lateral incorporada en los propios elementos verticales |
| 25 | | 25 | | 10 | |
| 10 | Múltiples uniones dependiendo de la funcionalidad y requerimientos | 10 | Múltiples de uniones dependiendo de la funcionalidad y requerimientos | 5 | Sistema básico de uniones y uniones múltiples |
| 10 | Variedad de diseños y uniones limitadas | 10 | Variedad de diseños y opciones (atornillada, soldada...) y uniones limitadas | 0 | Limitación de diseños y gran cantidad de uniones |
| 5 | Diseño adaptativo a distintas configuraciones | 5 | Diseño adaptativo a distintas configuraciones | 5 | Diseño adaptativo a distintas configuraciones |
| 15 | | 10 | | 20 | |
| 5 | Material limitado frente a factores externos | 10 | Material resistente a factores externos | 10 | Material resistente a factores externos |
| 5 | Facilidad de acceso debido a que los paneles son parte del cerramiento | 0 | Acceso complicado | 0 | Acceso complicado |
| 5 | Con relativa facilidad debido a la estabilidad y cantidad de paneles | 0 | Compleja restitución de componentes debido a los limitados elementos | 10 | Con relativa facilidad debido a la gran cantidad de elementos verticales |
| 15 | | 5 | | 15 | |
| 10 | Gran cantidad de puntos de unión | 0 | Pocos puntos de unión | 10 | Gran cantidad de puntos de unión |
| 0 | Compleja adaptación geométrica | 5 | Adaptación geométrica | 5 | Adaptación geométrica |
| 5 | Relativa flexibilidad de adaptación a movimientos | 0 | Poca flexibilidad de movimiento | 0 | Poca flexibilidad de movimiento |

| | CRITERIOS | Punt. máx. | Sistema porticado de madera | Sistema Balloon Frame |
|------------------|--|--------------|-----------------------------|-----------------------|
| | | | | |
| Otros parámetros | E. Eficiencia energética y sostenibilidad | 20 | 10 | 15 |
| | 1. Materiales sostenibles | 10 | 10 | 10 |
| | 2. Reutilización | 5 | 0 | 0 |
| | 3. Certificaciones | 5 | 0 | 5 |
| | F. Flexibilidad y adaptabilidad | 15 | 15 | 5 |
| | 1. Configuración | 5 | 5 | 0 |
| | 2. Modificaciones | 5 | 5 | 5 |
| | 3. Adaptabilidad con otros sistemas y/o materiales | 5 | 5 | 0 |
| | G. Tiempo de construcción y reducción de plazos | 20 | 15 | 5 |
| | 1. Simplicidad del diseño | 10 | 5 | 0 |
| | 2. Proceso de montaje | 5 | 5 | 0 |
| | 3. Necesidad de mano de obra especializada | 5 | 5 | 5 |
| | H. Experiencia del fabricante e identificación cultural | 15 | 0 | 0 |
| | 1. Referencias | 5 | 0 | 0 |
| | 2. Identificación | 5 | 0 | 0 |
| | 3. Confianza usuario | 5 | 0 | 0 |
| | I. Costes | 20 | 10 | 0 |
| | 1. Coste de producción | 5 | 5 | 0 |
| | 2. Coste instalación | 5 | 5 | 0 |
| | 3. Rentabilidad | 5 | 0 | 0 |
| | | TOTAL | | 65 |

| Sistema panelado de madera contralaminada | | Sistema porticado de acero | | Sistema Steel Framing | |
|---|---|----------------------------|--|-----------------------|--|
| 20 | | 0 | | 10 | |
| 10 | Material sostenible con bajo impacto ambiental | 0 | No sostenible | 0 | No sostenible |
| 5 | Capacidad para desmontarse y reutilización | 0 | Baja capacidad de desmontaje y reutilización | 5 | Baja capacidad de desmontaje y reutilización |
| 5 | Posibilidad de obtener certificaciones | 0 | No contempla, es necesario de elementos adicionales | 5 | Posibilidad de obtener certificaciones |
| 5 | | 15 | | 5 | |
| 0 | Caras cerradas debido a los paneles | 5 | Fácil configuración | 0 | Multitud de elementos verticales |
| 0 | Baja facilidad para realizar modificaciones | 5 | Facilidad para realizar modificaciones | 5 | Facilidad para realizar modificaciones |
| 5 | Posibilidad de adaptación | 5 | Posibilidad de adaptación | 0 | Difícil adaptación |
| 15 | | 15 | | 10 | |
| 10 | Diseño muy estandarizado a partir de paneles prefabricados | 10 | Diseño muy estandarizado a partir de elementos prefabricados | 10 | Diseño muy estandarizado a partir de elementos prefabricados |
| 5 | Reducción en el número de elementos a unir | 5 | Reducción en el número de elementos a unir | 0 | Multitud de elementos verticales |
| 0 | Necesidad de maquinaria y mano de obra | 0 | Necesidad de maquinaria y mano de obra | 0 | Necesidad de maquinaria y mano de obra |
| 5 | | 15 | | 0 | |
| 5 | Material cada vez más utilizado con empresas especializadas | 5 | Material muy utilizado con múltiples referencias | 0 | Casos limitados |
| 0 | Poca tradición de utilización | 5 | Gran variedad de empresas | 0 | Poca tradición de utilización |
| 0 | Baja confianza | 5 | Confianza considerada | 0 | Baja confianza |
| 5 | | 15 | | 0 | |
| 0 | Gran formato de elementos | 5 | Pocos elementos | 0 | Número elevado de elementos |
| 5 | Pocos elementos con necesidad de maquinaria | 5 | Pocos elementos con necesidad de maquinaria | 0 | Gran cantidad de elementos |
| 0 | Sistema poco usual | 5 | Material y sistema económico con gran producción | 0 | Sistema poco usual con poca rentabilidad |
| 135 | | 110 | | 95 | |

Para visualizar mejor el resultado final y las múltiples puntuaciones, se muestra la tabla resumen (T. 9):

Tabla 9. Tabla resumen que puntúa los sistemas modulares

| CRITERIOS | | Sistema porticado de madera | Sistema Balloon Frame | Sistema panelado de madera | Sistema porticado de acero | Sistema Steel Framing |
|------------------------------------|---|-----------------------------|-----------------------|----------------------------|----------------------------|-----------------------|
| Parámetros-criterios estructurales | A. Comportamiento resistente | 0 | 25 | 30 | 10 | 25 |
| | B. Conexiones estructurales | 5 | 5 | 25 | 25 | 10 |
| | C. Durabilidad y mantenimiento | 0 | 10 | 15 | 10 | 20 |
| | D. Compatibilidad estructural con la estructura existente | 10 | 20 | 15 | 5 | 15 |
| Otros parámetros | E. Eficiencia energética y sostenibilidad | 10 | 15 | 20 | 0 | 10 |
| | F. Flexibilidad y adaptabilidad | 15 | 5 | 5 | 15 | 5 |
| | G. Tiempo de construcción y reducción de plazos | 15 | 5 | 15 | 15 | 10 |
| | H. Experiencia del fabricante e identificación cultural | 0 | 0 | 5 | 15 | 0 |
| | I. Costes | 10 | 0 | 5 | 15 | 0 |
| TOTAL | | 65 | 85 | 135 | 110 | 95 |

Como resultado de este proceso de evaluación, se han identificado dos sistemas modulares como los mejor puntuados y más adecuados para la ampliación vertical en cuestión. Estos sistemas son:

- **Sistema panelado de madera:** Este sistema ha obtenido una puntuación de 135, destaca por los máximos puntos en A. Comportamiento resistente, B. Conexiones estructurales, y E. Eficiencia energética y sostenibilidad.
- **Sistema porticado de acero:** Este sistema ha obtenido una puntuación de 110, los máximos puntos han sido en B. Conexiones estructurales, F. Flexibilidad y adaptabilidad, y H. Experiencia del fabricante e identidad cultural.

5.4. Definición métrica

Durante el transcurso de este apartado, nos centraremos en todos los aspectos geométricos, constructivos y normativos que potencialmente podrían influir en la fabricación de los módulos que albergarán las nuevas viviendas generadas. Este enfoque busca encontrar un equilibrio entre la conservación del patrimonio arquitectónico y la necesidad de innovación y adaptación a las demandas actuales. La construcción a partir de estructuras ligeras, sistemas modulares y técnicas constructivas con métricas adecuadas para evitar efectos indeseados, y la normativa actual de vivienda y habitabilidad serán el vehículo de esta investigación.

En las siguientes secciones se realiza un análisis geométrico y dimensional de todo aquello relativo a la construcción de las nuevas viviendas en las azoteas de los edificios. De esta forma, se establecen tres análisis diferenciados:

- métrica de la normativa
- métrica de los materiales y sistemas prefabricados del mercado y su compatibilidad con la normativa
- compatibilidad de los módulos de sobreelevación construibles con las edificaciones existentes en función de los puntos anteriores

El primer punto, nos aporta la validez legal para que cumpla con los estándares de habitabilidad. A continuación, se observan las opciones que ofrece el mercado y cuáles son sus puntos fuertes y débiles. Y finalmente, se comparan los puntos anteriores y la viabilidad para llevar a cabo la construcción de las nuevas viviendas.

5.4.1. Métrica de la normativa

Las normas reúnen las condiciones de habitabilidad que deben tener las viviendas para ser consideradas aptas. Por tanto, es necesario conocer las leyes para poder garantizar viviendas dignas y adecuadas (Jiménez Renedo, 2020). Este estudio se centra únicamente en conceptos métricos como: las dimensiones mínimas de planta, las figuras mínimas inscribibles y la altura libre. No se abordarán otros aspectos como el confort térmico o acústico también incluidos en las normativas de habitabilidad más comunes.

La normativa utilizada en la investigación es, por un lado, la nacional "Orden 29 febrero de 1944", y por el otro lado, la autonómica de la Comunidad Valenciana "Orden de 7 de diciembre de 2009, de la Conselleria de Medio Ambiente, Agua, Urbanismo y Vivienda, por la que se aprueban las condiciones de diseño y calidad en desarrollo del Decreto 151/2009 de 2 de octubre, del Consell".

Las primeras normas en España sobre cuestiones de habitabilidad que debían reunir las viviendas fue la Orden de 1944, éstas regulaban las dimensiones mínimas que debían tener las diferentes estancias de la vivienda, la altura libre, o incluso las estancias mínimas a proyectar (Jiménez Renedo, 2020). Posteriormente, las comunidades empezaron a tener las competencias y se crearon nuevas normas, siendo generalmente, un poco más restrictivas.

De este modo, en las siguientes tablas se muestran los datos recogidos de cada una de las normativas nombradas. En primer lugar, en la tabla 10 se observa que la normativa autonómica define una mayor superficie de vivienda mínima, pasando de 25,5 m² en la nacional, a 30 m². Además, se puede observar la diferencia en el enfoque del programa mínimo, ya que la norma autonómica establece una distinción clara entre vivienda y apartamento, en cambio en la norma de 1944 solo se detalla un tipo de vivienda. En la tabla 11 se muestran las áreas mínimas según los diferentes tipos de estancias o sus combinaciones, destacando que la normativa nacional no considera la opción de agrupar varias estancias juntas. Por ejemplo, la cocina y comedor juntos deben tener al menos 12 m², y en cambio si se separan, la cocina debe tener 5 m² y el comedor 8 m². Otro ejemplo lo encontramos si se agrupan los espacios de cocina, comedor y salón, los cuales deben tener una superficie mínima de 18 m². Si comparamos la altura libre, no se encuentra una gran diferencia, únicamente que la normativa autonómica permite una menor altura en espacios de servicio como baño, aseo y cocina de 2,20 m, respecto a los 2,50 m del resto de estancias.

Tabla 10. ▶
Tabla comparativa según los parámetros de habitabilidad descritos entre las dos normativas

| | Superficie mín vivienda | Programa mínimo | Circulación | Altura libre |
|---|--|--|--------------------|-------------------------|
| NORMATIVA NACIONAL Orden 29 de febrero de 1944 | 25,5 m ² | S+C+K+D+B | Pasillo: 0,80 m | 2,50 m |
| NORMATIVA AUTONÓMICA DC/09 | 30 m ² Apartamento: 24 m ² | S+C+K+D+B Apartamento: (S+C+K+D)+B | Pasillo: 0,90 m | 2,50 m B-A-K: 2,20 m |
| | S: salón | | | |
| | C: comedor | | | |
| | K: cocina | | | |
| | D: dormitorio | | | |
| | B: baño | | | |
| | A: aseo | | | |

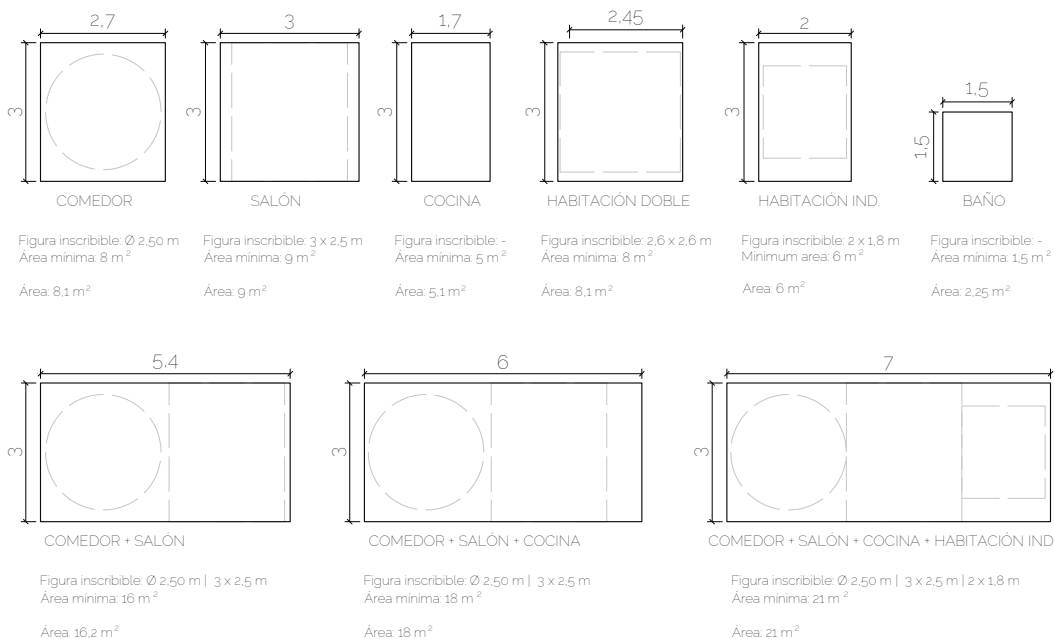
| | NORMATIVA NACIONAL Orden 29 de febrero de 1944 | NORMATIVA AUTONÓMICA DC/09 | |
|-------------------------------|---|-----------------------------------|--------------------|
| Estancias individuales | Dormitorio (individual) | 6 m ² | 6 m ² |
| | Dormitorio (doble) | 10 m ² | 8 m ² |
| | Salón | 10 m ² | 9 m ² |
| | Cocina | 5 m ² | 5 m ² |
| | Baño | 1,5 m ² | 3 m ² |
| | Aseo | - | 1,5 m ² |
| | Comedor | - | 8 m ² |
| Estancias agrupadas | Comedor-salón | - | 12 m ² |
| | Cocina-comedor | - | 12 m ² |
| | Cocina-salón | - | 16 m ² |
| | Cocina-comedor-salón | - | 18 m ² |
| | Cocina-comedor-salón-dormitorio | - | 21 m ² |

◀ Tabla 11. Tabla comparativa de la superficie mínima de las estancias entre las dos normativas

Otra distinción de la norma autonómica son las figuras inscribibles, y es que solo se encuentran en dicha norma. Se trata de figuras con unas dimensiones exactas que deben entrar dentro de cada una de las estancias. Es decir, si el salón debe tener 9 m², además tiene que albergar su figura inscribible de 3 x 2,50 m, no sería suficiente con hacer un espacio de 2 x 5 m, aunque tenga más superficie, puesto que no entraría su figura. Por tanto, a la hora de elaborar los módulos deberá prevalecer la condición que más restrinja, bien la superficie mínima o la figura inscribible. En la tabla 12 se muestran los datos recogidos para cada una de las estancias, dependiendo de si se encuentran solas o agrupando diferentes espacios.

▶ Tabla 12. Tabla comparativa entre las diferentes condiciones de superficie mínima y figura inscribible, según la normativa autonómica

| | COMEDOR | SALÓN | COCINA | HABITACIÓN IND. | HABITACIÓN DOBLE | BAÑO | ASEO |
|-----------------------------|-------------------|------------------|------------------|------------------------|-------------------------|----------------------------|--------------------|
| SUPERFICIE MÍNIMA | 8 m ² | 9 m ² | 5 m ² | 6 m ² | 8 m ² | 3 m ² | 1,5 m ² |
| | 16 m ² | | - | - | - | - | - |
| | 18 m ² | | | - | - | - | - |
| | 21 m ² | | | | | - | - |
| FIGURAS INSCRIBIBLES | Ø 2,50 m | 3 x 2,50 m | - | 2 x 1,80 m | 2,60 x 2,60 m | 2 x 1,50 m / 2,65 x 1,35 m | - |



Por consiguiente, de los datos recogidos se extraen unos módulos descritos geoméricamente que se pueden encajar en las nuevas viviendas. Estos módulos vienen establecidos de la búsqueda del cumplimiento de la normativa, y de una aproximación a la métrica del edificio existente. En consecuencia, para elaborar estos módulos, primeramente, se han dibujado las figuras mínimas inscribibles y la superficie mínima que deben cumplir cada una de las estancias. A continuación, se ha optado por mantener un lado con una dimensión de 3 m, o múltiple, y así poder adaptarse al ritmo estructural del edificio existente. Como consecuencia de estas premisas, se extraen las siguientes figuras, donde se observan pequeños módulos individuales, o bien módulos que agrupan diferentes estancias (Fig. 63).

5.4.2. Métrica de los materiales y sistemas constructivos existentes del mercado para estructuras ligeras y su compatibilidad con la normativa

Durante la fase de diseño se priorizan soluciones eficientes y sostenibles que impulsen la evolución de los sistemas constructivos ligeros. Además, en los tiempos actuales donde el ciclo de vida y el impacto ambiental están presentes en cualquier diseño, es necesario

automatizar los procesos y estandarizar los productos para adaptarse a dicha situación. Del mismo modo, la falta de mano de obra especializada obliga a plantear nuevos retos y formas de construir (Kromoser et al., 2022). Los sistemas modulares, caracterizados por el uso de materiales y tecnologías avanzadas, ofrecen una alternativa versátil y eficaz para ampliar o construir estructuras en áreas urbanas consolidadas (R. M. Lawson & Ogden, 2008). La métrica de los sistemas constructivos existentes del mercado se ha convertido en una herramienta esencial para evaluar la viabilidad y la compatibilidad de estos sistemas con las normativas vigentes.

La construcción *off-site* se puede dividir en tres categorías: las que se realizan a partir de base de paneles (2D), las conformadas por unidades volumétricas (3D), y los sistemas híbridos (Smith, 2010) (Agarwal, Shankar, & Mukund, 2016) (Chourasia et al., 2023). Actualmente, la solución que se utiliza en la sobreelevación se realiza a partir de sistemas volumétricos, es decir, módulos que se ejecutan en taller de forma casi completa, y se transportan al emplazamiento final. Estos módulos tridimensionales, bien se pueden servir de forma individual, o combinar con otros módulos, creando así edificaciones con más superficie (Díaz Piloñeta et al., 2018).

Se ha buscado en el mercado módulos volumétricos de vivienda prefabricada a modo de catálogo para utilizar en la ampliación vertical, pero no se han encontrado sistemas propios que encajen con este tipo de construcción. Aunque sí se han detectado un gran número de empresas constructoras, promotoras, estudios de arquitectura e ingeniería, entre otros, con catálogos e información sobre viviendas prefabricadas listas para poder transportar e instalar en un solar vacío. Esto refleja el interés en la construcción *off-site*, pero falta conocimiento e información para extrapolarlo a la ampliación vertical. Por ello, se han realizado dos tipos de análisis métricos según la materialidad y el uso.

Según la materialidad, se han identificado los dos tipos de sistemas más usuales en la construcción de módulos y más aptos para la ampliación vertical, con la finalidad de analizar los materiales utilizados y comparar sus métricas, posibilidades de utilización y viabilidad con la normativa. Los dos tipos de sistemas que se adaptan mejor a las características necesarias para la ampliación vertical son los sistemas porticados de acero y los sistemas de superficies continuas realizado a partir de paneles de madera contralaminada (Fig. 64). Esto se debe a que son los sistemas, y respectivas materialidades, que más se utilizan en la fabricación de módulos y en la construcción prefabricada. Junto a esto, las necesidades implícitas de la ampliación, como la ligereza, grado de prefabricación, sostenibilidad y flexibilidad, hace de dichos sistemas los más aptos para la sobreelevación.

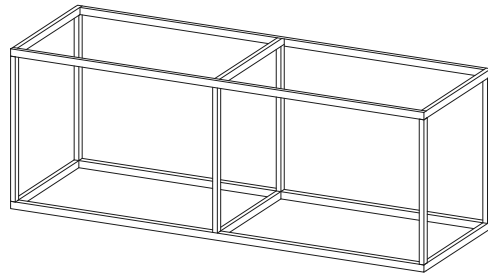
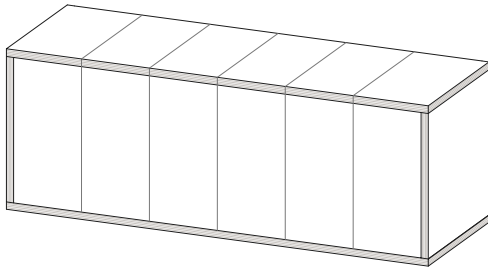


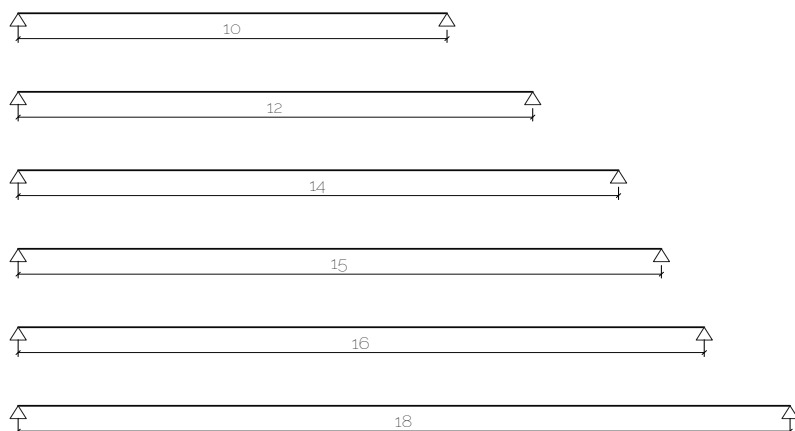
Figura 64. ▲
Esquema tridimensional de los sistemas más habituales en la ampliación vertical. Izquierda: sistema continuo de CLT. Derecha: sistema porticado de acero

Sistema de pórticos de acero

La estructura de pórticos de acero aporta la eficacia de la tecnología industrializada a partir de elementos ya establecidos. El acero es un material muy utilizado en la industria de la construcción, lo cual abre la ventana a una gran variedad de componentes y a una mano de obra muy amplia. Asimismo, no se han encontrado condicionantes en cuanto a las dimensiones de este tipo producto, lo que permite adaptarnos a diversas necesidades de construcción sin limitaciones.

Los perfiles de acero estructural europeos son componentes esenciales utilizados en la construcción y la ingeniería civil, y se fabrican siguiendo las normas europeas EN 10025 y EN 10034. Estas normas especifican las dimensiones y las características técnicas, y se distinguen siguiendo una designación numérica de perfil que indica su altura, ancho de ala, espesor y peso por metro lineal. Debido a su gran variedad de dimensiones permite a los profesionales seleccionar el tipo de perfil adecuado según las necesidades estructurales del proyecto. Asimismo, la capacidad para resistir cargas pesadas y proporcionar una estructura sólida y confiable los ha convertido en una opción fiable y muy utilizada en múltiples sectores. Además, los pórticos de acero permiten crear extensiones verticales sin comprometer la estabilidad de la estructura existente, ya que cuenta con una gran rigidez y resistencia, lo que permite su adaptabilidad y facilidad de ajuste para ajustar la forma a las necesidades del proyecto.

Las empresas que suministran perfiles de acero estructural suelen presentar una diversidad considerable de dimensiones convencionales. La exploración de alternativas en el mercado ha dado como resultado la disponibilidad de dimensiones estándar que abarcan 10, 12, 14, 15, 16 y 18 metros (Fig. 65).



◀ Figura 65. Dimensiones más habituales de los perfiles de acero

Sistema de superficies continuas de CLT

El sistema de superficies continuas de CLT (Cross-Laminated Timber) combina la ligereza del material con la resistencia del sistema, lo que facilita su instalación en estructuras existentes sin imponer una carga excesiva. Los paneles de CLT actúan como elementos estructurales al mismo tiempo que de cerramiento, esto facilita la construcción completa del módulo, facilitando las conexiones y la aplicación de los otros materiales para la finalización de la vivienda. Asimismo, la madera ofrece un grado de sostenibilidad gracias a su capacidad para absorber carbono, y ser un material sostenible. Además, su versatilidad de diseño y su capacidad para incorporar aperturas y servicios en la estructura son aspectos atractivos para adaptarse a las necesidades cambiantes del espacio.

Por el contrario, en este tipo de sistemas nos encontramos con un panorama diferente al anterior. En este caso, y debido a la naturaleza del CLT, se ha encontrado información mucho más específica, y por ello, no hay tanta libertad de proyectación. La madera contralaminada o CLT es un producto de ingeniería compuesto por varias capas de madera dispuesta en sentido perpendicular y encoladas a alta presión entre sí, aportando resistencia, estabilidad y durabilidad. Analizados diferentes proveedores nacionales de paneles de CLT, se observa que los tamaños máximos son generalmente de un máximo de 14 m de longitud, y de 2,5 m de ancho. A pesar de ello, estas dimensiones no implican la distancia entre apoyos, sino las dimensiones máximas disponibles del panel. Ya que, según la disposición del panel, la carga y el espesor, se recomienda una luz máxima entre apoyos. A continuación, en la figura 9 se muestra un gráfico con algunos ejemplos específicos y su relación carga-luz. Es importante destacar que la distancia entre apoyos de un panel varía no solo en función de la carga, sino también de su disposición vertical u horizontal.

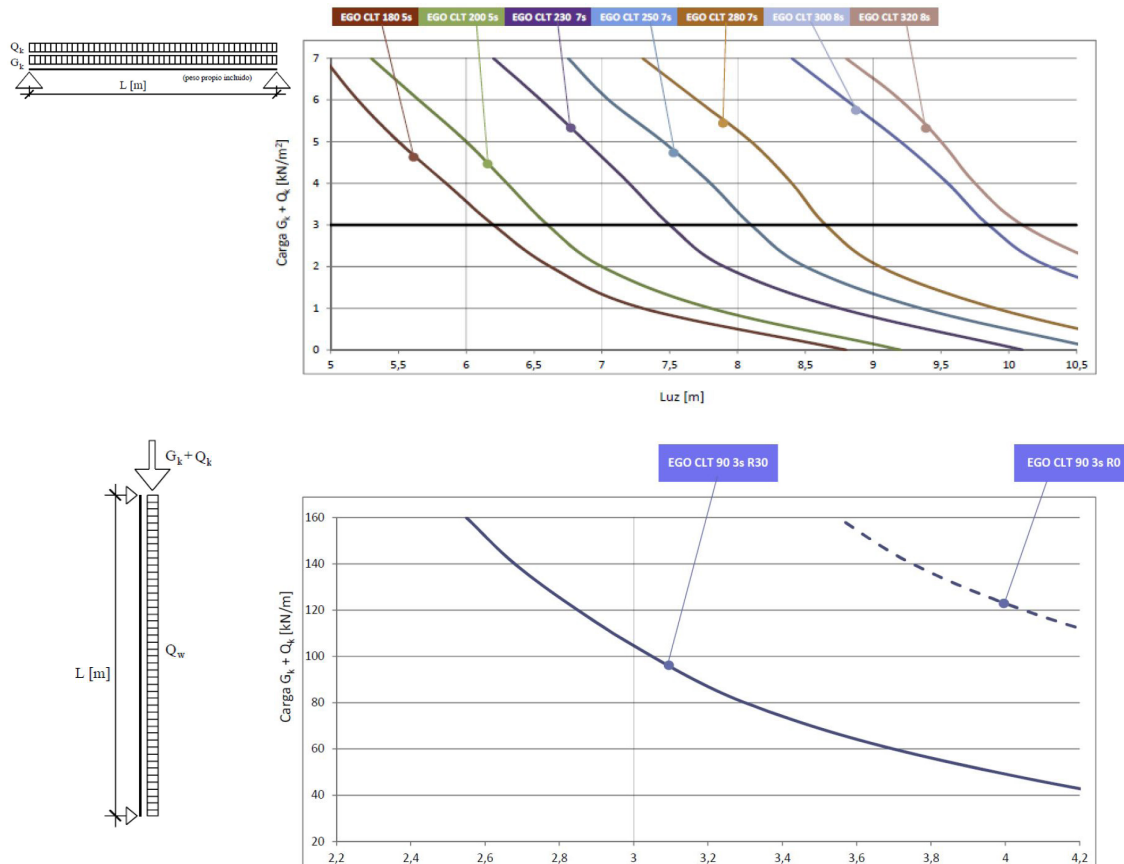


Figura 66. ▲ Gráficos relación carga-luz según catálogo *Ego*in de panel de CLT horizontal (a) y vertical (b)

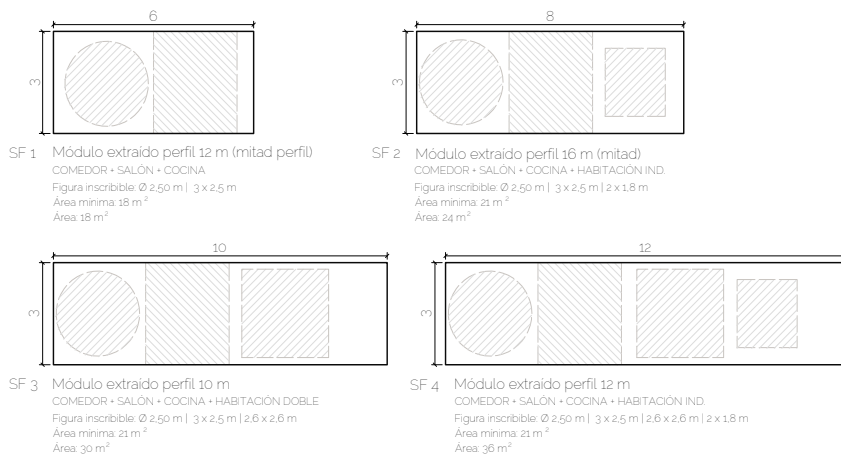
En la figura 66a se observa cómo según el modelo y la carga, existe una luz máxima entre apoyos. Si analizamos el ejemplo EGO CLT 180, para una carga de 3 kN/m^2 la luz máxima debe ser de $6,25 \text{ m}$. Por otro lado, en la figura 66b si observamos una luz máxima de 3 m , ya que sería la altura habitual para la construcción de los módulos, la carga máxima es de 105 kN/m . Con esto, se extrae que, según el grosor, disposición, y requerimientos de carga, la distancia entre apoyos variará. Esto son solo unos ejemplos de la gran variedad de paneles de CLT comercializados.

Por tanto, una vez consultadas y analizadas las opciones materiales que ofrece la tecnología del mercado, se han extraído unos módulos descritos geoméricamente para encajar en las nuevas viviendas. Estos módulos vienen establecidos a partir de la disponibilidad de los proveedores y de las dimensiones estándar. Para elaborar estos módulos,

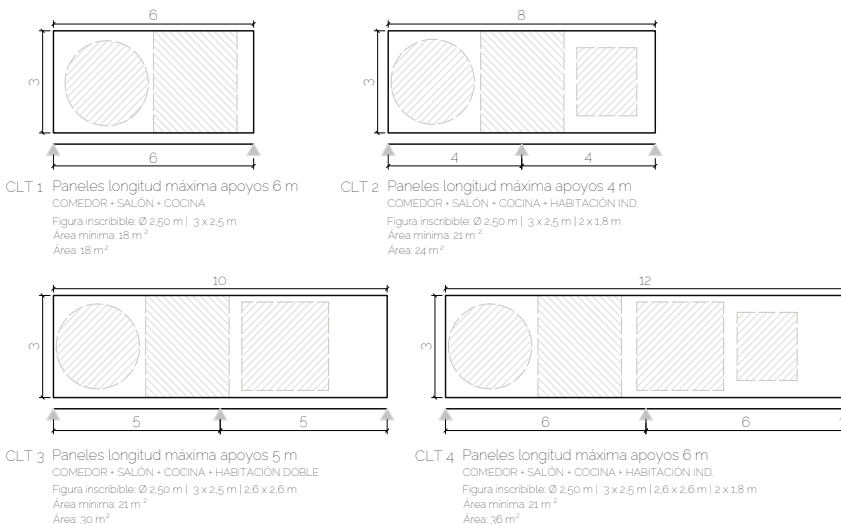
se han dibujado las dimensiones habituales descritas anteriormente, y posteriormente aquellas que parecen ajustarse más a la normativa. Se opta por mantener un lado con una dimensión de 3 m o múltiple, y así poder adaptarse al ritmo estructural del edificio existente. De la misma forma, se han incorporado las figuras inscribibles para cerciorar la viabilidad del cumplimiento de la normativa y comprobar su compatibilidad. Por consiguiente, se muestran los siguientes módulos según su materialidad y sistema (Fig. 67).

Figura 67. Módulos mínimos extraídos a partir de las opciones del mercado según su materialidad y sistema constructivo con las figuras inscribibles de la normativa analizada

SISTEMA PORTICADO DE ACERO



SISTEMA PANELADO DE CLT



Según la segunda clasificación, y en vista de la falta de módulos prefabricados para la sobreelevación ha hecho que se amplíe la búsqueda a otros elementos similares que nos puedan encajar. Por ello, se han buscado sistemas modulares prefabricados, pero de distinto uso. Una vez realizada la búsqueda, los usos mayoritariamente encontrados se agrupan en: sanitario, educativo, e industrial, generalmente casetas de obra. Después de analizar 27 empresas nacionales, se han encontrado un total de 167 productos. De ellos, el 71% son de uso industrial, el 23% educativo, y el 6% sanitario. Aunque, puedan existir más empresas que se dediquen a ello, estos porcentajes nos evidencian una perspectiva amplia del tipo de productos existentes en el mercado.

Presentados los porcentajes se observa que los productos más comercializados son aquellos que corresponden al uso industrial. Se detecta sobre todo la gran variedad de dimensiones disponibles. El siguiente uso más predominante es el educativo, donde se destacan múltiples acabados y gamas, y finalmente se encuentran los módulos de uso sanitario, que normalmente responden a servicios de urgencias y necesidades inmediatas, y por tanto no están enfocados para tener unas condiciones continuas, si no, inmediatez constructiva (Ding et al., 2022).

Es cierto, que estos módulos, tal y como los encontramos en el catálogo no sirven para la sobreelevación debido a que no están diseñados para uso residencial. Pero las empresas que ya disponen de una tecnología de prefabricación podrían realizar una readaptación de los productos que ya poseen. Por tanto, partiendo de los productos disponibles actualmente en el mercado se distinguen:

- Módulos fácilmente adaptables: correspondientes a los módulos educativos
- Módulos con más complejidad de adaptación: correspondiente a los módulos industriales

Por un lado, los primeros están pensados para unirse, principalmente de forma horizontal, aunque también se encuentran con unión vertical. Además, cuentan con un grado de confort térmico y acústico, pese a que las exigencias de habitabilidad son superiores. En contraposición, los segundos están diseñados para utilizarse de forma individual y no apilarse, de igual manera no cuentan con la misma exigencia de confort que los anteriores. Por este motivo, se van a escoger las características de los módulos educativos, pensando en un posible rediseño para utilizarlos en la sobreelevación. No confundir con la utilización de los módulos educativos y trasladarlos a vivienda.

En la tabla 13 se describen algunos de los principales resultados obtenidos de un análisis comparativo de módulos extraídos a partir de la oferta del mercado. Sus características son una muestra representativa de la variedad de productos que existen.

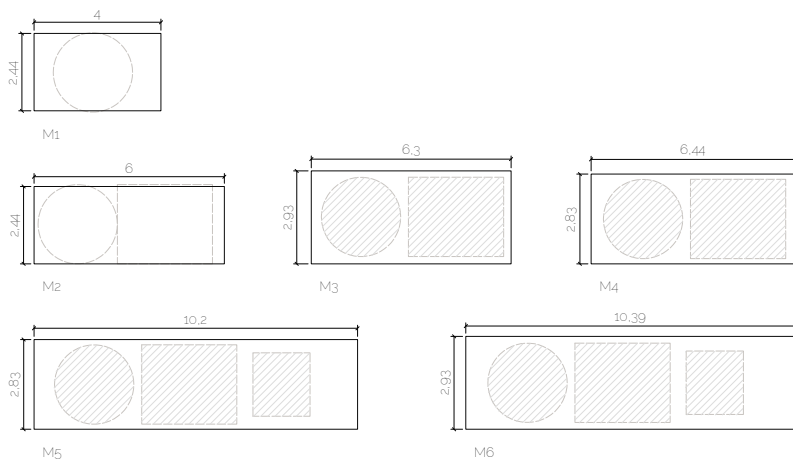
| | M1 | M2 | M3 | M4 | M5 | M6 |
|----------------------------|--|--|--|--|--|--|
| Dimensiones (b x a) | 2,44 x 4 | 2,44 x 6 | 2,93 x 6,30 | 2,83 x 6,44 | 2,83 x 10,20 | 2,93 x 10,39 |
| Altura libre | 2,5 | 2,5 | 2,75 | 2,5 | 2,5 | 2,75 |
| Superficie (m2) | 10 | 14 | 18 | 19 | 30 | 30 |
| Apilable | El fabricante no indica nada | El fabricante no indica nada | Hasta 3 alturas | Hasta 3 alturas | Hasta 3 alturas | Hasta 3 alturas |
| Estructura | Estructura auto-portante con chapas plegadas | Estructura auto-portante con chapas plegadas | Perfiles plegados y tubos de Acero Galvanizado | Perfiles plegados y tubos de Acero Galvanizado | Perfiles plegados y tubos de Acero Galvanizado | Perfiles plegados y tubos de Acero Galvanizado |

▲ Tabla 13.
Características de
módulos ofertados
en el mercado

En la tabla se han escogido 6 muestras de diferentes proveedores con características aportadas por cada una de las empresas que representan gran parte de los módulos comercializados. Se observan así, las dimensiones totales de cada módulo, la superficie, y su altura libre. Además, un dato que no se ha podido recoger de todas las muestras, debido a la falta de información por parte del suministrador, es saber si es posible apilar o no diferentes módulos, y hasta cuantas alturas es posible. En último lugar, se contempla la materialidad de la estructura. En la tabla el gran punto se encuentra en la proporción rectangular entre todos los módulos. Además, el lado transversal es siempre menor a 3 m. En contraposición, el lado longitudinal oscila desde 4 a 10,39 m, teniendo la mayoría 6 m. Respecto a la altura, se observa que todos se encuentran entre 2,50 o 2,75 m. En la sobreelevación, hay ocasiones en las que se muestra la posibilidad de realizar diferentes plantas, por eso, otro punto a tener en cuenta es la opción de apilar módulos. Se puede observar que, en algunas de estas muestras, el fabricante nos ofrece la viabilidad de construir hasta tres alturas.

A continuación, en la figura 68 se muestra la interposición de las figuras extraídas de la normativa de habitabilidad con los módulos que ofrece el mercado. Superpuestas las figuras inscribibles con los módulos, se observa que aquellas figuras sombreadas cumplen con la normativa de habitabilidad considerada, esto representa el 66% de las figuras, ya que existen dos módulos que no llegan a alcanzar el 2,50 m que exige la normativa en muchas de las figuras. Bien es cierto que, si este lado llegase a dicha dimensión, no habría este problema, ya que el lado longitudinal de todos cumple con alguna de las figuras mínimas o superficie mínima, y por tanto sí se observa una compatibilidad entre normativa y módulos del mercado.

Imagen 68. Módulos comercializados y su compatibilidad con la normativa analizada



5.4.3. Compatibilidad de los módulos de sobreelevación construibles con las edificaciones existentes en función de los puntos anteriores

En el punto anterior se han propuesto diferentes módulos a nivel geométrico. Por un lado, aquellos que parten de las dimensiones de los materiales y sus respectivos sistemas, y a continuación módulos comercializados por diferentes proveedores. Normativamente, en los primeros no hay problema de cumplimiento, en cambio, en los segundos es necesaria la adaptación de la dimensión transversal en aquellos módulos que no la cumplen. Si bien, la adaptación del módulo a la normativa es aparentemente viable para las empresas, debemos comprobar que también existe una compatibilidad geométrica a nivel estructural para ambos casos. Por este motivo, se van a superponer algunos módulos anteriores con la planta tipo de los edificios residenciales de la zona estudiada (Fig. 69).

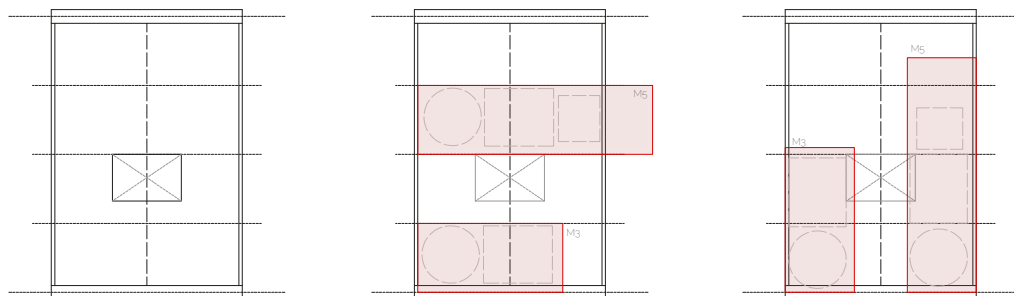
En la figura 69 se han posicionado los módulos en ambas direcciones, tanto paralelamente a los muros de carga como perpendicularmente. Para ello, se han escogido los módulos M 3 y M 5 de los módulos comercializados, y el CLT 1, CLT 2, SF 3 y SF 4 de los determinados por la materialidad. Se han escogido estos módulos porque son los que mejor encajan con la modulación del edificio existente. Dentro de estos 12 casos –6 transversales y 6 longitudinales– se observa que solo 3 encajan a la perfección con el ritmo de la estructura: el CLT 2 horizontal, CLT 1 vertical y el SF 4 vertical, aunque la adaptación del resto no presenta grandes complicaciones.

Analizando la colocación de los módulos horizontales, se aprecia que en todos los módulos el lado corto encaja con el ritmo paralelo de los muros, favoreciendo a la transmisión de cargas a los muros portantes. Por un lado, el M 3 Y CLT 1 no alcanzan la totalidad de la dimensión de la fachada, en

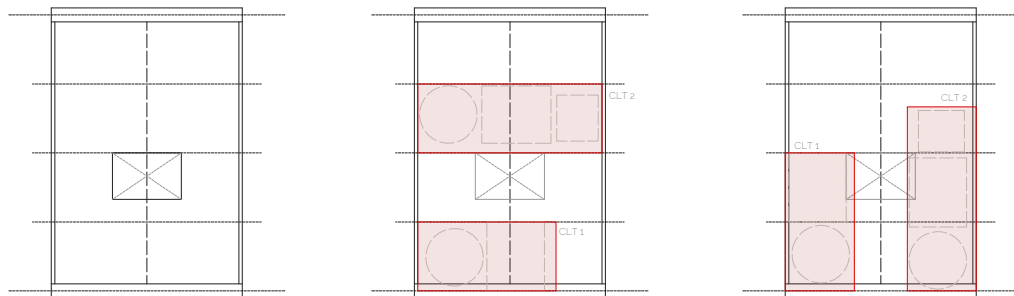
cambio, el M 5, SF 3 y SF 4 exceden de la longitud del edificio. Sería necesaria una adaptación de estas dimensiones para que coincidan con puntos estructurales y se aproveche al máximo la superficie. Perpendicularmente, las opciones que mejor encajan son la CLT 1 que coincide con el muro de carga central, y el SF 4 que acomete de fachada anterior a posterior, con el resto es inevitable una modificación geométrica. En cuanto al hueco de escalera, la posición que mejor encaja es la paralela a los muros, ya que no intercede y se podría realizar un módulo especial para la segunda crujía.

Figura 69.
Interposición de
módulos y su
compatibilidad con
el edificio existente

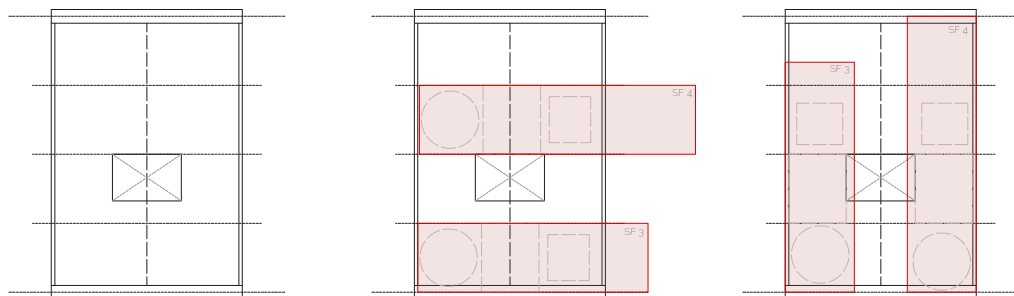
MÓDULOS COMERCIALIZADOS



MÓDULOS PANELADO CLT



MÓDULOS PORTICADO DE ACERO



5.4.4. Condicionantes métricos finales de las nuevas viviendas

Las nuevas viviendas deben ajustarse a diferentes condicionantes. Por un lado, tienen que seguir la normativa de habitabilidad, que en este caso es más restrictiva a nivel autonómico y es la que actualmente está en vigor. Además de esto, las viviendas deben diseñarse utilizando los elementos disponibles del mercado. Esto significa que hay dos líneas claramente diferenciadas que deben considerarse y resolverse al mismo tiempo.

En cuanto a la ley, la normativa autonómica exige una mayor superficie mínima de vivienda, pero a cambio ofrece la posibilidad de diseñar espacios tanto de forma individual como colectiva, combinando diferentes estancias dentro de los apartamentos. Esto permite una mayor versatilidad para la construcción de las nuevas viviendas. Esto se debe a que la geometría de los distintos módulos no viene marcada por cada una de las estancias, sino que, consiste en aprovechar al máximo la modulación del edificio existente y las ventajas de la construcción prefabricada. Por otra parte, la altura libre se mantiene bastante constante en todos los espacios, lo que significa que no hay problema con la utilización de módulos prefabricados.

La fabricación *off-site* ofrece grandes ventajas, no solo a nivel de fabricación, sino también en la sobreelevación. Puesto que se pueden ensamblar todos los elementos en fábrica bajo una supervisión mucho más continua y exigente. Además de evitar las molestias a los vecinos que tendrán que soportar los inconvenientes intrínsecos que supone una obra. Por el contrario, la mayor desventaja se encuentra en el transporte y montaje de los módulos, debido a la compleja gestión del proceso, y a la magnitud de los módulos transportados por la ciudad. Esto hace que la dimensión longitudinal deba tratarse con atención.

En la sobreelevación, la construcción de las nuevas viviendas se realiza a partir de un volumen, a pesar de ello, no existen en el mercado módulos prefabricados de uso residencial para ser utilizado en esta metodología. Debido a la falta de estos módulos, se han buscado soluciones compatibles partiendo de la materialidad de los principales sistemas modulares, y de los módulos que ofrece el mercado, pero de distinto uso, en concreto de uso educativo, puesto que poseen un grado de confort térmico y acústico, del mismo modo que están pensados para agruparse horizontalmente y verticalmente. Una vez realizado el análisis geométrico, con la interposición de las figuras marcadas por la normativa y de los sistemas y módulos del mercado, se puede confirmar que existe una compatibilidad, a pesar de que en el caso de los módulos comercializados sea necesario alguna pequeña modificación. Así pues, sí que sería posible una readaptación del diseño de los módulos del mercado de uso educativo para la sobreelevación.

Analizada la compatibilidad de los productos que ofrece el mercado con la normativa, se pone en cuestión si ocurre lo mismo con la edificación existente. De esta forma, se posicionan los módulos expuesto tanto en sentido paralelo a la estructura como en perpendicular. Esto da como resultado que, la proporción rectangular con la que están diseñados los módulos favorece a la colocación en la estructura existente. Además, el posicionamiento paralelo se ajusta más geométricamente que el perpendicular. Aunque de igual modo, es necesario hacer una adaptación de las dimensiones para adecuar los puntos de apoyo y no desperdiciar superficie.

Definición métrica y material de un prototipo como estudio de caso **06**

6.1. Elección del sistema modular prefabricado utilizado

Según el apartado 5.3.4 anterior "Evaluación de las opciones disponibles del mercado a partir de los criterios establecidos", el sistema modular prefabricado más apto para la sobreelevación es el realizado a partir de paneles de madera contralaminada, seguido del sistema porticado de acero. La puntuación de ambos viene de una decisión que combina diversos parámetros relacionados, tanto con la ampliación vertical, como con aspectos relacionados con la técnica y la sostenibilidad.

El sistema modular de paneles de madera contralaminada es una elección que equilibra la eficiencia estructural con la responsabilidad ambiental. Además, la combinación entre una instalación eficiente, un menor tiempo de construcción y el enfoque medioambiental hace que esta opción sea atractiva también desde un punto de vista financiero. Junto con un enfoque innovador en la construcción y la metodología de la sobreelevación, este sistema demuestra que es posible lograr la expansión de espacios habitables en las ciudades de manera eficaz y consciente.

Por otro lado, el sistema porticado de acero combina la amplia disponibilidad y experiencia en el uso de este material con la eficiencia estructural. La gran cantidad de proveedores, constructores, técnicos y profesionales con un profundo conocimiento de las propiedades y la manipulación del acero contribuye a su popularidad y aplicabilidad generalizada. Esta familiaridad no solo implica la adquisición y la ejecución de múltiples proyectos, sino que también influye en el alto nivel de experiencia y capacidad en la industria de la construcción con estructuras de acero.

A pesar de que las nuevas viviendas se realizarán a partir de la unión de múltiples módulos, en este apartado se utilizará un único volumen como estudio de caso con el fin de simplificar la investigación, y formalizar una única unidad que sea capaz de reproducirse en función de las necesidades funcionales del proyecto. Hay que tener en cuenta que, un solo módulo no cumple con los estándares de vivienda mínima, y es necesario de la unión de múltiples módulos para la formalización de los espacios necesarios exigidos por la normativa de habitabilidad. La decisión de estudiar un único volumen se fundamenta con la idea de crear un prototipo inicial que sirva como base, y comprender de forma más detallada su diseño y comportamiento. A partir de este modelo, se podrán extrapolar y adaptar las conclusiones a proyectos más amplios.

Por tanto, se valorarán ambos sistemas estructuralmente, con el propósito de realizar una comparación. Al investigar estos dos sistemas se podrá evaluar y contrastar su rendimiento en términos estructurales, permitiendo a los arquitectos y profesionales del sector tomar decisiones informadas en función de las necesidades.

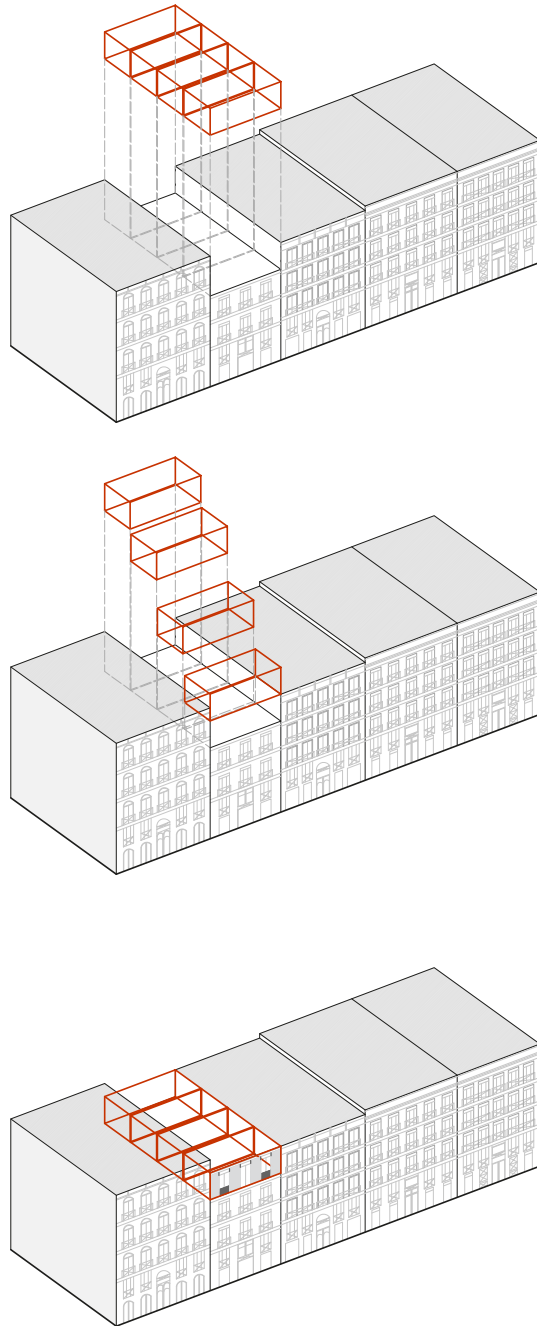
6.2. Justificación y presentación del modelo

Para realizar el cálculo estructural del prototipo es necesario determinar previamente el modelo arquitectónico. Para lograr esto, es fundamental recopilar y definir todos los datos pertinentes que definirán las características del módulo. Esta recopilación sentará las bases y permitirá realizar el posterior análisis estructural con precisión. No obstante, es crucial comprender que este proceso de modelización arquitectónica no solo implica la representación visual del prototipo, sino que también abarca detalles técnicos, como dimensiones, materiales, e incluso distribución espacial.

Dado que este proyecto sigue unos criterios predefinidos, el primer paso es recuperar los condicionantes del edificio existente. Asimismo, hay que tener en cuenta que, durante esta investigación, se está desarrollando un objeto arquitectónico. Por lo tanto, en primer lugar, se va a detallar arquitectónicamente el modelo. Este proceso permitirá crear una modelización estricta a lo largo del capítulo.

En la figura 70 se refleja la planificación de los módulos que conformarán la vivienda o viviendas nuevas junto al edificio existente justificando la viabilidad del módulo y su encaje dentro de la estructura del edificio preexistente. Este diseño se caracteriza por un posicionamiento que respeta el ritmo arquitectónico, posicionando así, los módulos en paralelo a la fachada y a los muros portantes del edificio principal. Esta disposición estratégica asegura una armoniosa integración estética al mismo tiempo que funcional, maximizando el espacio disponible y facilitando el acceso y ejecución de la nueva estructura. Por tanto, la ampliación vertical se materializa mediante la incorporación de 4 módulos prefabricados.

Figura 70. ►
Secuencia visual
de los módulos
posicionados en
dirección paralela a
la fachada junto con
edificio existente



6.2.1. Definición y justificación arquitectónica

Ubicación

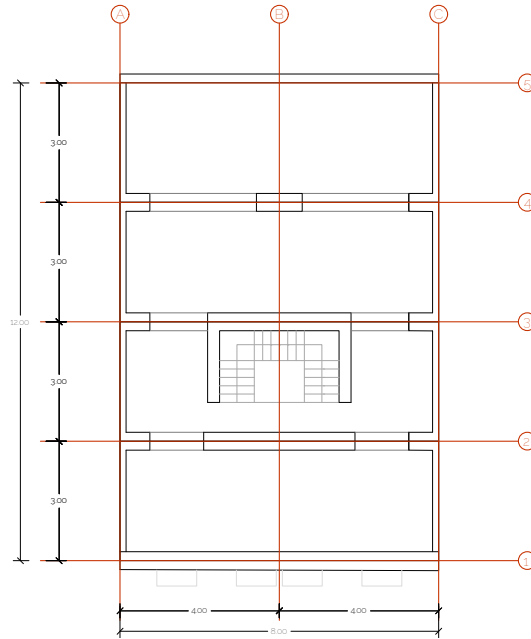
La conexión entre el edificio existente y las nuevas viviendas se realiza en la superficie de la azotea del primero. En capítulos anteriores, donde se detalla la zona de actuación y sus edificaciones, ya se definió que la tipología de cubierta más extendida es la *cubierta a la catalana*, esto hace que exista una cámara entre ambas capas que la componen. Para facilitar esta unión, generalmente se opta por retirar la capa externa de la cubierta para reducir el peso y ubicar los puntos estructurales necesarios. Este proceso aligera la carga sobre la estructura existente y permite identificar dónde se necesitarán refuerzos o elementos adicionales.

Una vez identificados los puntos clave de la estructura existente, como los ejes de los pórticos, existen dos actuaciones. Por un lado, el refuerzo de los elementos existentes, ya que por el paso del tiempo se pueden detectar patologías que hagan que se haya perdido parte de su capacidad portante. Por otro lado, la construcción de zunchos o elementos de atado ayudan a disminuir la concentración de esfuerzos y garantizan la distribución de cargas más uniformemente.

Después de configurar estos puntos estructurales, se utilizan placas de anclaje para conectar las dos estructuras. Estas placas aseguran una conexión sólida y estable entre la estructura existente y los nuevos módulos, donde se debe garantizar la integridad y estabilidad de la construcción en su conjunto.

Por todo ello, la conexión entre ambas estructuras se realiza por los máximos puntos posibles, teniendo en cuenta la ubicación geométrica de los elementos portantes de ambas construcciones. A continuación, en la figura 71 se muestra una malla geométrica de los posibles puntos de conexión entre ambas estructuras.

Figura 71
Malla geométrica
con puntos de
apoyo



Definición geométrica

Aunque se abordará con más detalle en apartados siguientes, no se puede limitar el diseño a un módulo completamente opaco. El enfoque principal se centra en dotar de verosimilitud al diseño del módulo. Por este motivo, se considerará la inclusión de diversas aberturas que sirvan de puntos de conexión entre las diferentes estancias. Estos huecos añaden validez al diseño puesto que facilitan la necesaria interacción entre los espacios del futuro proyecto arquitectónico.

La ubicación de dichos elementos se ajusta a la imagen arquitectónica de los edificios de la zona de actuación, respetando así la estética del conjunto patrimonial cercano. Este enfoque busca mejorar la apariencia visual del prototipo, además de adaptarlo de manera más fiel a la realidad en el entorno en el que podría ser implementado. De esta forma, existen 4 huecos en total con la misma dimensión, los dos de los extremos separados a 1 metro de distancia de las fachadas colindantes, y los dos huecos centrales, que podrían equipararse a un único hueco de doble tamaño según necesidades funcionales (Fig. 72). Al igual que los huecos de fachada, se consideran dos huecos en la cara opuesta, los cuales nos servirán como punto de conexión entre los diversos módulos o estancias.



◀ Figura 72. Vista frontal de fachada del módulo, con el edificio existente, donde se muestra la composición arquitectónica del conjunto

Justificación arquitectónica

En cuanto a la distribución funcional, se plantean dos viviendas por planta, manteniendo la disposición de los pisos inferiores (Fig. 73). La ampliación cuenta con dos viviendas simétricas, cada una con una superficie de 43,50 m². Incluyen salón, comedor y cocina, generando un ambiente abierto, puesto que se trata de unos apartamentos ciertamente alargados, además de un espacio para oficina, un aseo y una habitación con baño privado. Durante la fase de distribución, se ha separado cuidadosamente cada estancia según módulos. El propósito fundamental de esta disposición es que cada módulo tenga una configuración espacial que permita su uso de manera autónoma, evitando depender de otro módulo para completar su funcionalidad. Esto se logra asegurando que cada módulo tenga las figuras mínimas inscribibles y las superficies mínimas sin necesidad de complementarse con otro módulo adicional (Fig. 74).

Figura 73 ▶
Planta y posible
distribución de las
viviendas

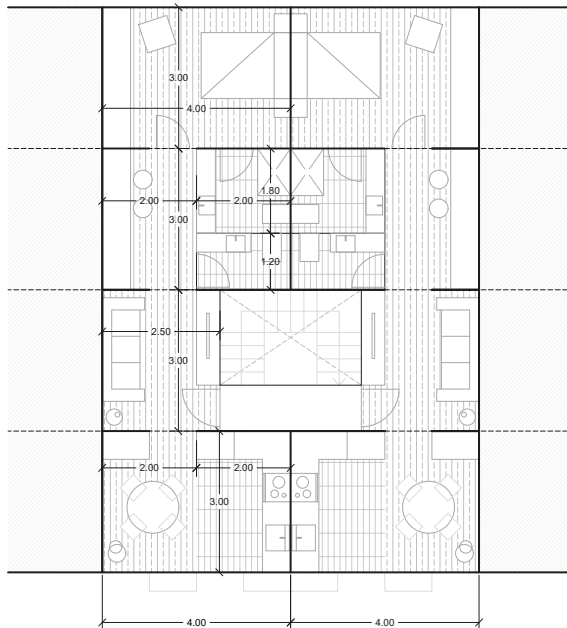
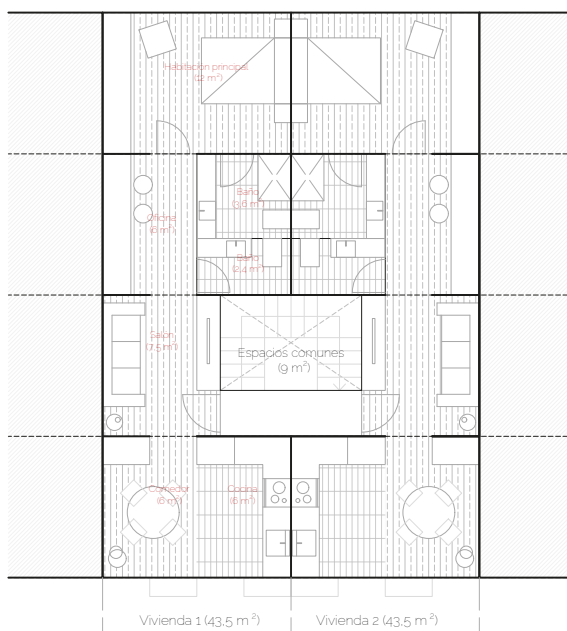


Figura 74 ▶
Usos y superficies
de las estancias



6.2.2. Definición material

Seguidamente se presentan una serie de planos esquemáticos, con la intención de especificar y establecer las características necesarias del modelo arquitectónico. Asimismo, en caso de ser necesario según el apartado, se incluirán detalles constructivos para complementar esta descripción. Se establecen unas premisas previas:

Aplicabilidad para ambos sistemas: Todo lo detallado en los esquemas y los detalles se aplica en los sistemas propuestos. En caso contrario, se indicará por separado en cada sistema.

Organización modular: La organización distributiva y constructiva se ha elaborado teniendo en cuenta un enfoque modular y prefabricado.

Utilización del Catálogo de Elementos Constructivos del CTE: Los detalles incluidos forman parte del Catálogo de Elementos Constructivos (CEC). En caso de que algún detalle no esté contemplado en el CEC, se procederá a buscar alternativas de proveedores.

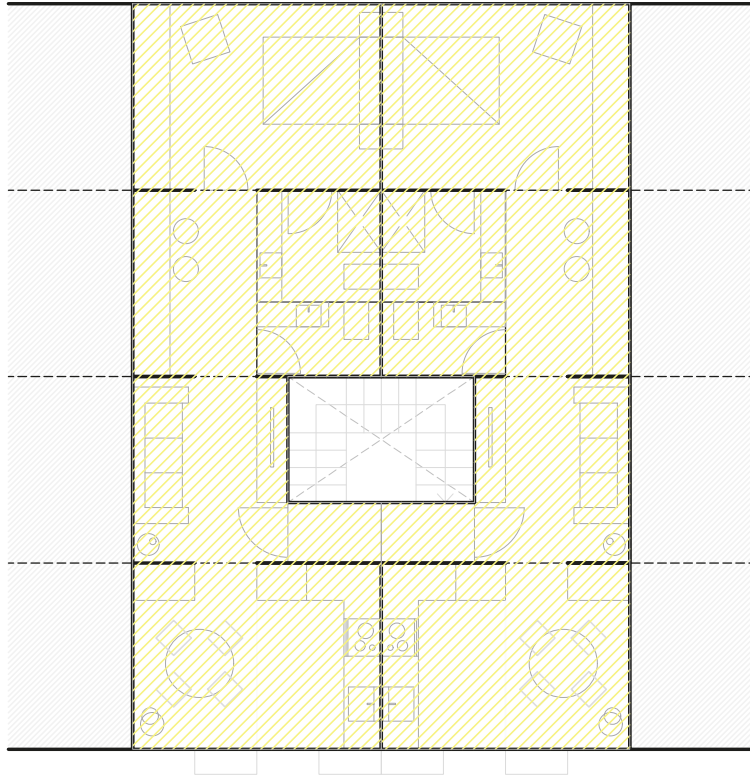
Integración arquitectónica: Se busca una integración armónica de los nuevos elementos con la edificación existente, tanto desde un punto de vista estético como funcional.

A continuación, se va a definir el modelo. Cuando exista información diferente según el sistema modular, se presentará claramente de manera distinta para que sea fácilmente identificable. En cambio, si la información es idéntica en ambos casos, solo se mostrará el apartado una vez para evitar repeticiones innecesarias. Esto asegurará que el proceso sea ordenado y eficiente, presentando solo la información relevante en cada situación.

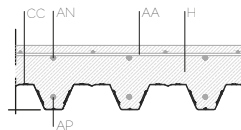
A. Sistema porticado de acero

Plano resistente³

Figura 75. Ubicación del detalle del forjado de chapa colaborante



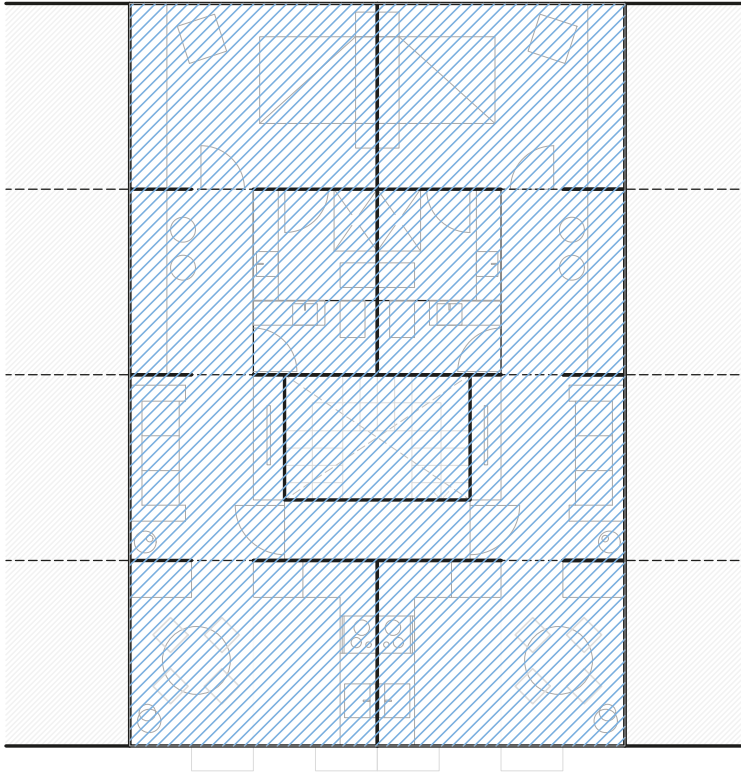
 Forjado chapa colaborante ($g1 \text{ m}^{-2}$)




CC: Chapa colaborante
H: Hormigón
AN: Armadura de momentos negativos
AP: Armadura de momentos positivos
AA: Armadura antisifuración

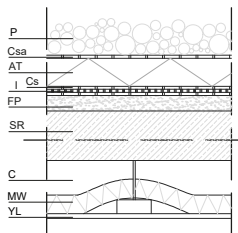
³ Se utiliza la expresión *plano resistente* tanto al soporte de cubierta como al de forjado. En el caso que nos ocupa, el soporte es el mismo para ambas partes ya que la intención que se busca es construir un volumen lo más modular posible. Esto implica también, que los detalles se repitan de manera consciente al máximo posible en todos los aspectos para facilitar la modularidad

Acabados horizontales



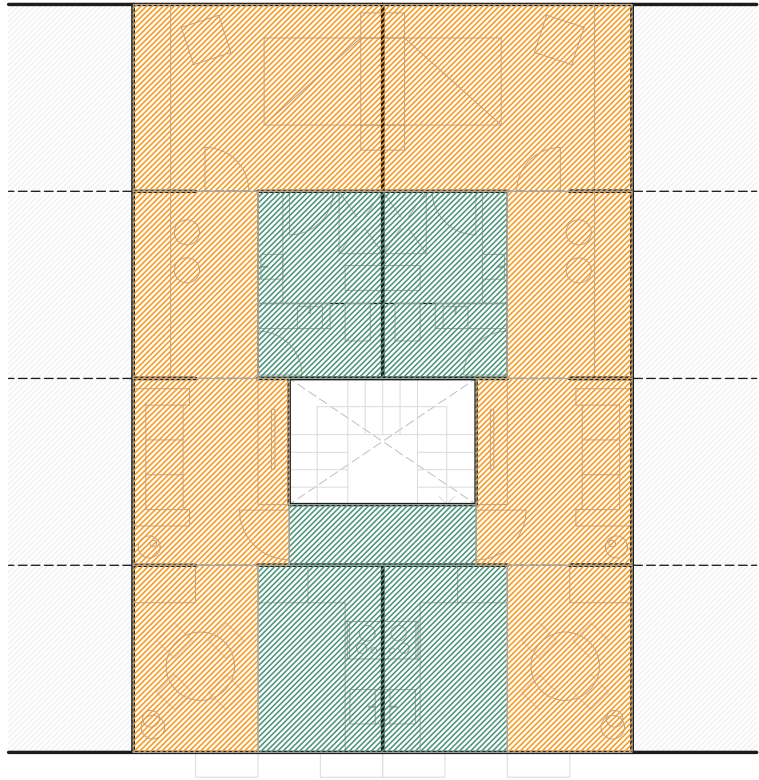
◀ Figura 76. Ubicación del detalle de la cubierta plana no transitible y el falso techo

 Cubierta plana no transitible. Invertida. Acabado grava (93 m²)
Falso techo (93 m²)

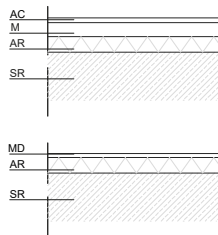


P: capa de protección de grava
Csa: capa separadora antipunzonamiento
AT: aislamiento térmico
Cs: capa separadora
I: capa de impermeabilización fijada mecánicamente
FP: formación de pendiente
SR: losa armada de hormigón
SR: Forjado o soporte resistente
C: Cámara
MW: Núcleo de lana mineral
YL: Placa de yeso laminado

Figura 77
Ubicación del
detalle de los tipos
de pavimento

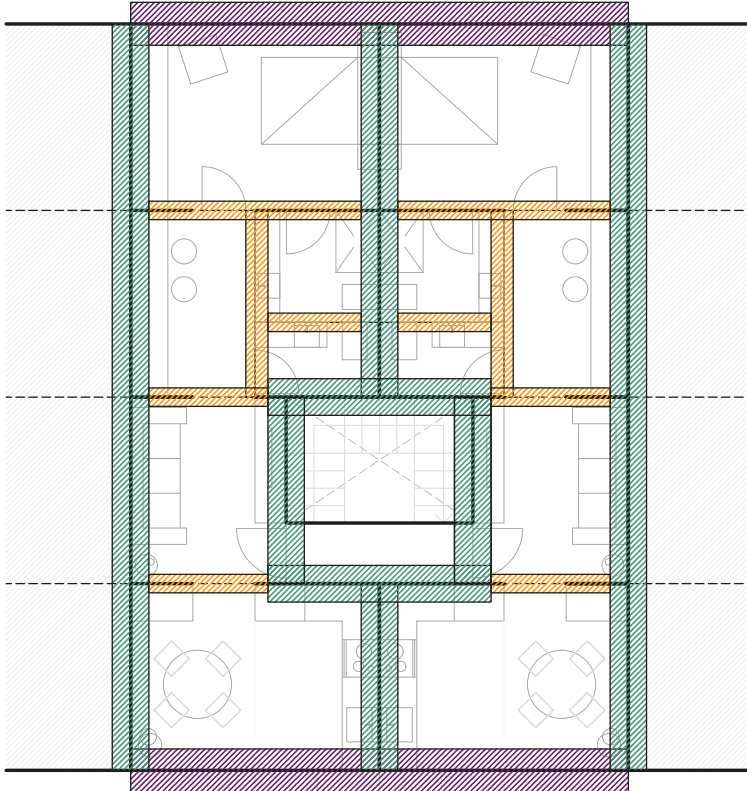


Pavimento de madera (63 m²)
 Pavimento cerámico (27 m²)



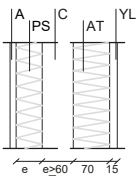
AC: Acabado
 MD: Tablero de madera
 AR: Material aislante de ruido de impactos
 M: Capa de mortero
 SR: Forjado o soporte resistente

Acabados verticales

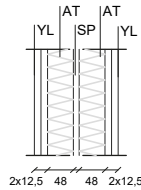


◀ Figura 78. Ubicación de los diferentes tipos de paramentos verticales, tanto de cerramiento, medianera, y partición interior

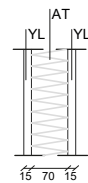
Cerramiento fachada
 Cerramiento medianero
 Partición interior



A: Acabado
 PS: Panel sándwich
 C: Cámara no ventilada
 AT: Aislante
 YL: Placa de yeso laminado



YL: Placa de yeso laminado
 AT: Aislante
 SP: Separación

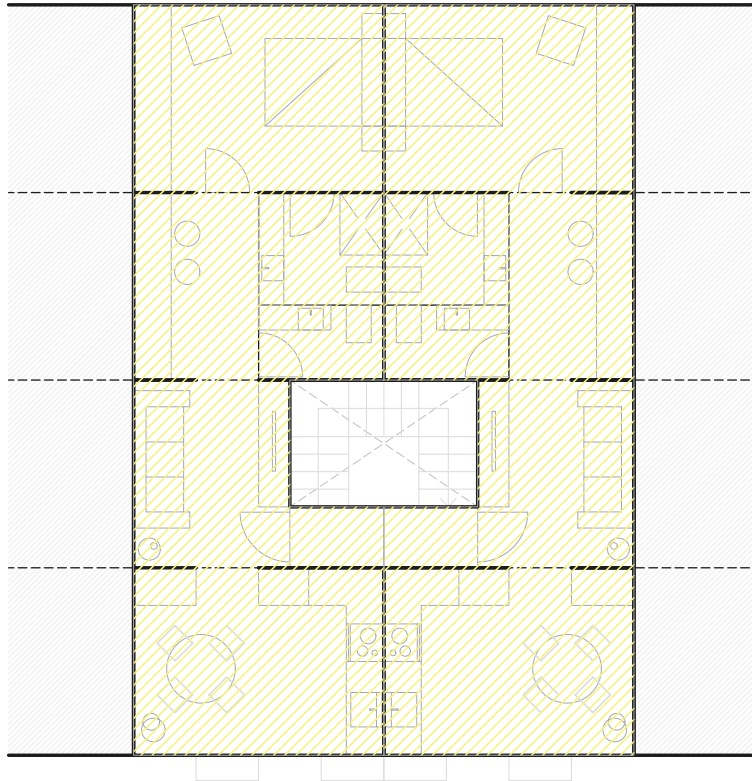


YL: Placa de yeso laminado
 AT: Aislante

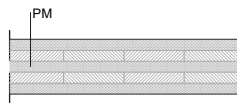
B. Sistema panelado de CLT

Plano resistente

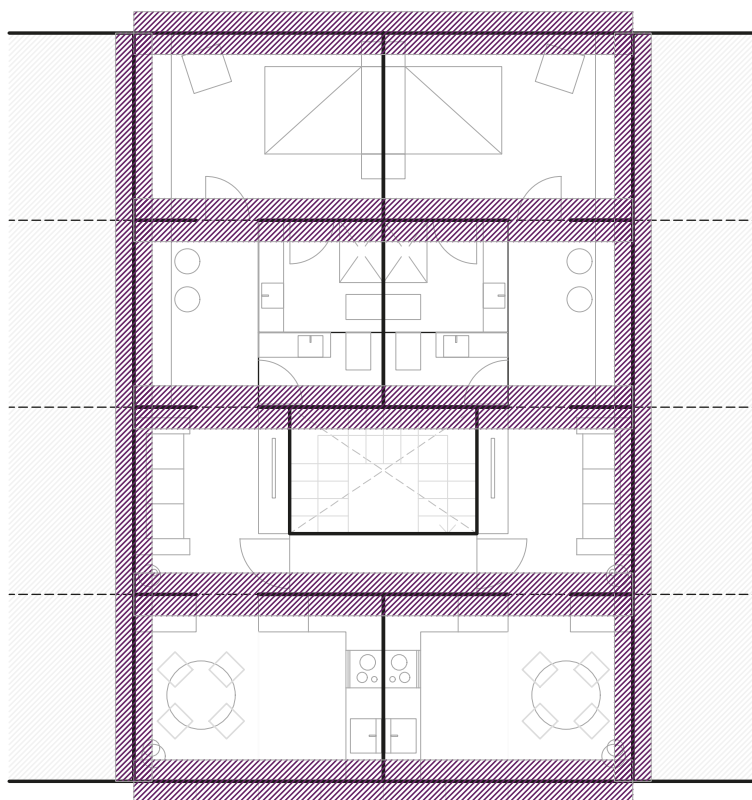
Figura 79. Ubicación del detalle del soporte resistente horizontal realizado a partir de paneles




 Forjado de panel de CLT (91 m^2)

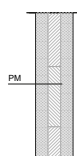


PM: Panel de madera contralaminada



◀ Figura 80. Ubicación del detalle del soporte resistente vertical realizado a partir de paneles

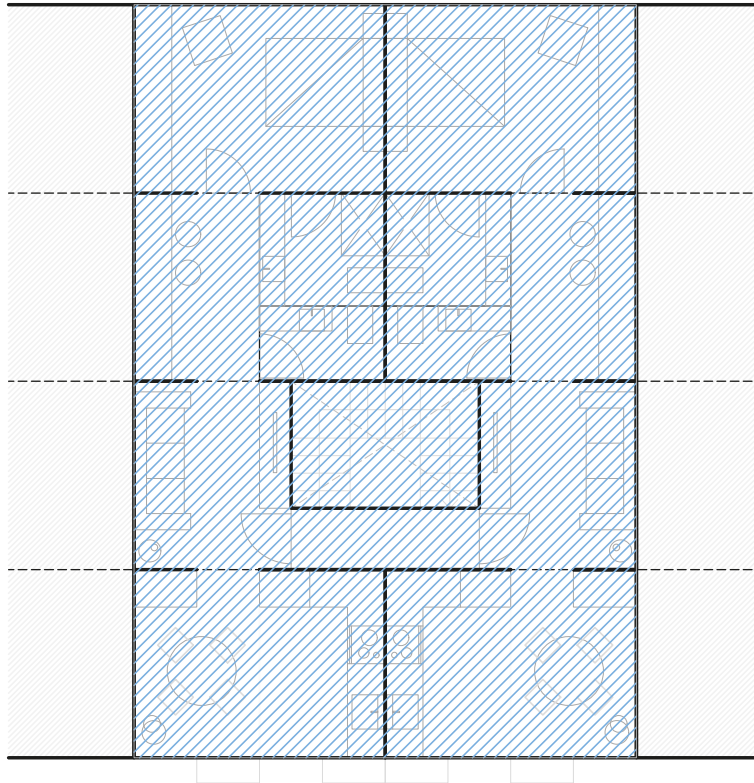
 Soporte resistente vertical




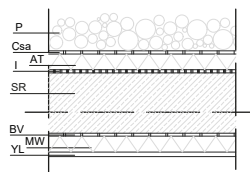
PM. Panel de madera contralaminada

Acabados horizontales

Figura 81. Ubicación del detalle de la cubierta plana no transitable y el falso techo

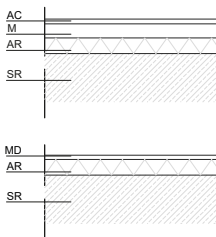
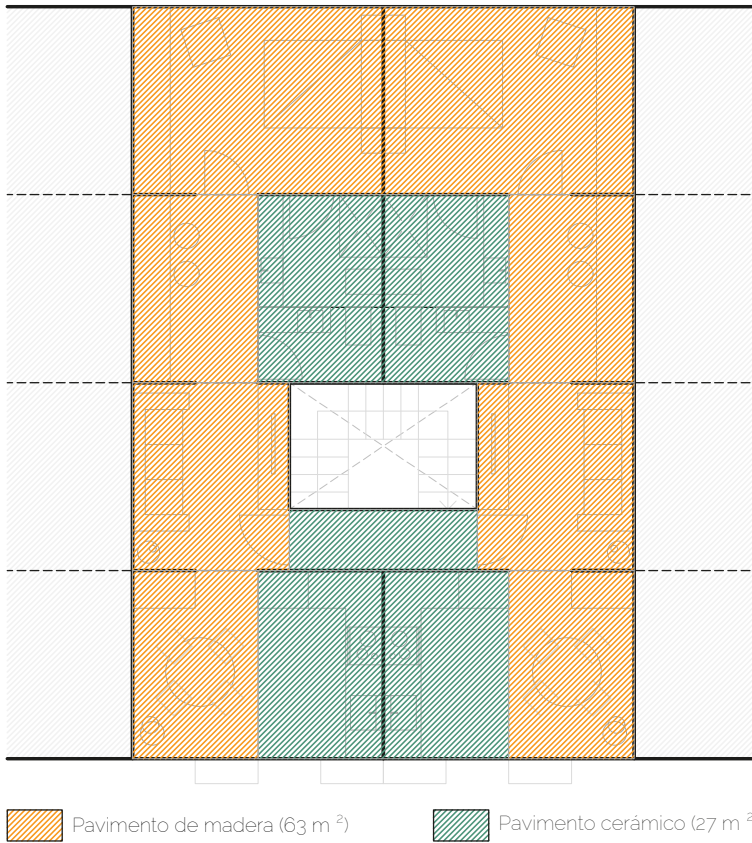


 Cubierta plana no transitable. Invertida (93 m²)
 Falso techo (93 m²)



P: capa de protección de grava
 Csa: capa separadora antipunzonamiento
 AT: aislamiento térmico
 I: capa de impermeabilización fijada mecánicamente
 SR: Forjado o soporte resistente
 BV: Varrera de vapor
 MW: Núcleo de lana mineral
 YL: Placa de yeso laminado

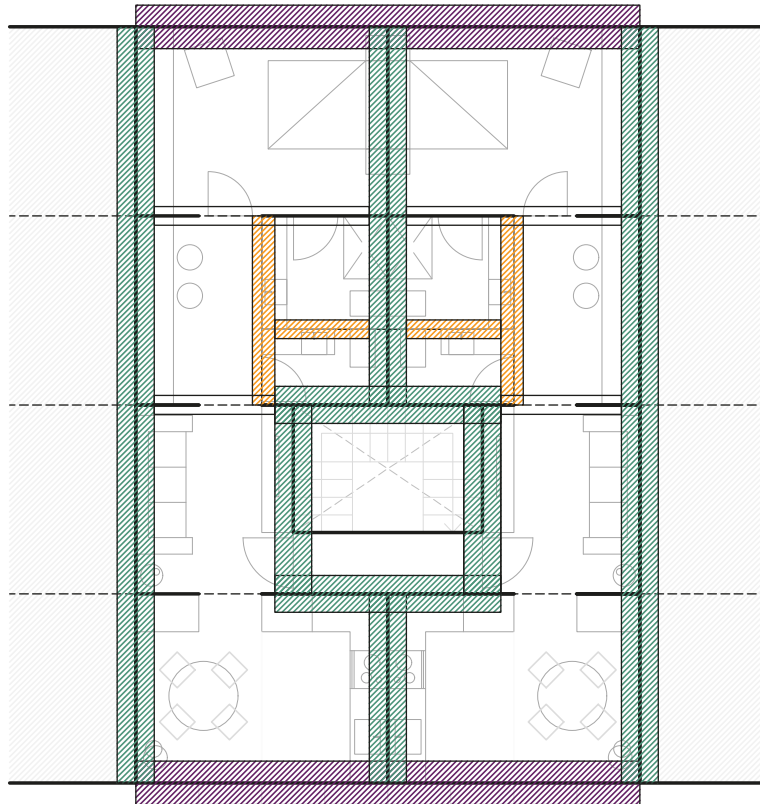
Figura 82.
Ubicación del
detalle de los tipos
de pavimento




AC: Acabado
 MD: Tablero de madera
 AR: Material aislante de ruido de impactos
 M: Capa de mortero
 SR: Forjado o soporte resistente

Acabados verticales

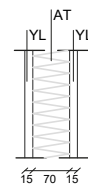
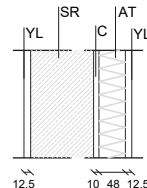
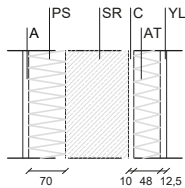
Figura 83. Ubicación de los diferentes tipos de paramentos verticales, tanto de cerramiento, medianera, y partición interior



 Cerramiento fachada

 Cerramiento medianero

 Partición interior



A: Acabado
 PS: Panel sándwich
 SR: Soporte Resistente
 C: Cámara no ventilada
 AT: Aislante
 YL: Placa de yeso laminado

YL: Placa de yeso laminado
 SR: Soporte Resistente
 C: Cámara no ventilada
 AT: Aislante
 CM: Chapa metálica

YL: Placa de yeso laminado
 AT: Aislante

6.3. Del objeto arquitectónico al prototipo modular

Una vez definido el objeto arquitectónico, pasamos a desglosar la vivienda en módulos. De esta forma, el objetivo es realizar un estudio más minucioso del módulo, con la intención de que sirva como prototipo replicable según necesidades.

Así pues, la vivienda se compone de 4 módulos interconectados. Dos de estos módulos conforman las fachadas frontal y posterior, contribuyendo así a la definición del aspecto exterior y la integración contextual del edificio. Otro módulo se sitúa en el interior de la vivienda, aportando espacios habitables y funcionales. Mientras que el último módulo particular aloja el espacio destinado a la escalera proveniente del nivel inferior, garantizando una circulación fluida y segura entre los distintos niveles.

El módulo seleccionado para su consideración es aquel que cuenta con la fachada, dado que es el único que se replica y contiene múltiples aberturas que pueden influir en su estabilidad estructural.

El propósito fundamental de desglosar la vivienda en estos módulos es crear una unidad básica y funcional que, al ser replicada, pueda adaptarse y reorganizarse según las necesidades específicas de cada contexto o usuario. Esta modularidad ofrece flexibilidad y versatilidad en el diseño arquitectónico, permitiendo una respuesta más eficiente y personalizada a las demandas y preferencias de los habitantes.

6.3.1. Métrica estructural

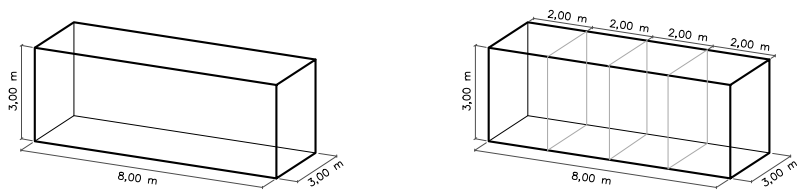
El módulo respeta los parámetros normativos que garantizan su idoneidad para su uso residencial. Asimismo, las dimensiones del módulo se han determinado tras un minucioso estudio de la oferta del mercado y de las características de la estructura del edificio existente, se busca no solo cumplir con las normativas y regulaciones aplicables, sino también optimizar el diseño para que se integre de manera armónica con la estructura existente y cumpla con los objetivos del proyecto. De esta forma, se ha adaptado para que la nueva estructura se ajuste de manera óptima con la disposición estructural del edificio original. De hecho, la integración de la nueva estructura con la geometría y las dimensiones del edificio existente es fundamental para preservar la estabilidad estructural, dado que se evitan cargas innecesarias en la estructura secundaria subyacente, pero también la coherencia arquitectónica.

Según el análisis del punto 5.4 los módulos que mejor encajaban eran aquellos que se posicionaban de forma paralela a la estructura existente. Por ello, las dimensiones del módulo corresponden a 8 metros el lado longitudinal, el cual establece el ancho habitual entre los límites de las parcelas colindantes y a 3 metros el transversal, correspondiente a los muros de carga interiores. La altura total del módulo será de 3 metros también, garantizando sobradamente la altura interior libre exigida.

A. Sistema porticado de acero

En este caso, el prototipo se compone de perfiles de acero dispuestos en todo su perímetro tridimensional que actúan como cuerpo central. Estos perfiles crean una especie de esqueleto con dimensiones de 8 metros de longitud, 3 metros de ancho y 3 metros de altura, abarcando la luz de 8 metros en la dirección longitudinal (y paralela a los pórticos del edificio). Con el propósito de asegurar la viabilidad de instalación de un forjado, se incorporarán tres viguetas con un intereje de 2 metros. Esta separación asegura la incorporación de cualquier forjado unidireccional, especialmente aquellos industrializados como los paneles sándwich o incluso los forjados de chapa colaborante, que son bastante comunes en proyectos de sobreelevación y que posteriormente se detallaran. Asimismo, se incorporan montantes verticales alineados con las viguetas cada 2 metros, reduciéndose así de manera notable la luz de las vigas. La siguiente figura muestra la morfología y métrica del sistema porticado seleccionado y elaborado a partir de los puntos anteriores (Fig. 84).

Figura 84. Morfología y métrica del módulo prefabricado para la ampliación vertical tanto del esqueleto completo, como de los elementos secundarios



B. Sistema panelado de madera

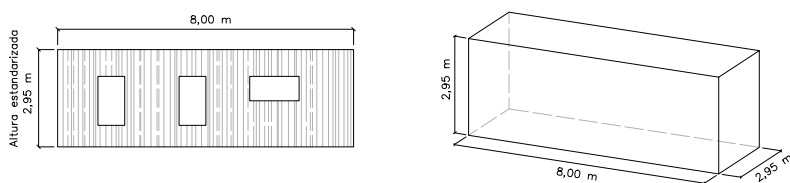
Considerando que las dimensiones totales son las mismas que en el caso anterior, la variable pendiente de determinar en este sistema es la geometría y disposición de los paneles. Después de analizar diferentes proveedores nacionales de CLT, se observa una coincidencia significativa en términos de geometría. Por ello, se presentan los valores comunes identificados (T. 14).

| Descripción | Valores habituales | Unidad |
|-------------|--------------------------------------|--------|
| Ancho | 2,2 - 2,45 - 2,70 - 2,95 | m |
| Largo | 9 - 10 - 11 - 12 - 13 - 14 - 15 - 16 | m |
| Espesor | 60 a 360 | mm |

◀ Tabla 14. Valores habituales de los paneles de CLT según el mercado nacional

Basándonos en estas dimensiones, se plantean dos escenarios para posicionar los paneles, teniendo en cuenta las dimensiones totales ofertadas por el mercado.

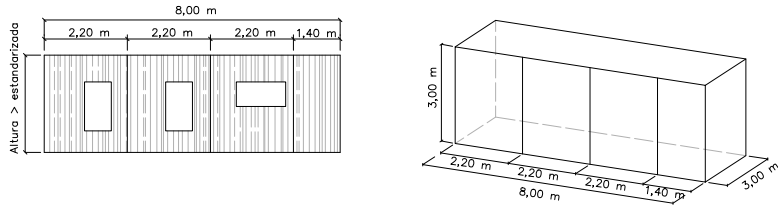
- En el caso 1, si la altura entre forjados se estandariza con los valores habituales de los paneles, el panel se posicionará en horizontal cogiendo toda la longitud de fachada. De esta forma, será un único panel con los respectivos huecos (Fig. 85). Por ello, la altura máxima del panel que abarca los cerramientos según las características geométricas de los proveedores será de 2,95 m.



◀ Figura 85. Caso 1, único panel posicionado en longitudinal abarcando la altura entre forjados

- En el caso 2, en la que la distancia entre los forjados es superior a la altura estandarizada, se colocarán los paneles en posición vertical, conectándolos para abarcar toda la longitud de la fachada (Fig. 86). En este escenario, se supone que la altura supera los 2,95 metros, lo que justifica la disposición vertical de los paneles. Concretamente, se ha optado por un ancho de 2,20 metros para facilitar la manipulación por parte de los operarios, permitiendo la instalación de tres paneles completos, mientras que el restante se adapta a la geometría total del módulo.

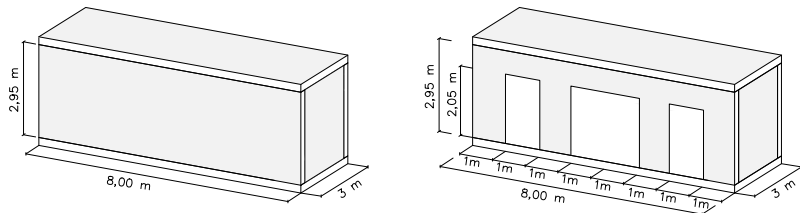
Figura 86. **▶**
 Caso 2, panel
 posicionado en
 vertical superando
 la máxima altura
 estandarizada



Teniendo en cuenta estas situaciones, se busca que el prototipo de esta investigación cumpla con los estándares de altura interior mínima de 2,60 m exigida por la normativa. En ambos escenarios este requisito se cumple sobradamente, pero en el caso 1 se encuentran unas ventajas respecto al caso 2. En el primer escenario, se logra reducir el desperdicio de material, además, al utilizar un único panel en lugar de múltiples más pequeños, se puede lograr una mejor eficiencia estructural y térmica en el edificio, ya que existen menos juntas. De igual forma, en el caso 2 los diversos anchos ofrecidos por el mercado no son proporcionales a las dimensiones de nuestros huecos y, por tanto, son necesarios recortes para realizar las aberturas correspondientes. Por otro lado, si consideramos la manipulación del material, el caso 2 implica que los paneles son más pequeños y, como consecuencia, más fáciles de manejar en comparación con el caso 1. Sin embargo, a pesar de esta ventaja, se decide optar por el caso 1 ya que actualmente las maquinarias están a la orden del día, y los beneficios globales en términos de calidad de construcción, eficiencia, y sostenibilidad, superan las preocupaciones sobre la manipulación del material. Por ende, se utilizará un único panel de CLT que se extenderá a lo largo de la fachada del edificio, sin interrupciones. Únicamente se realizarán los cortes que sean necesarios para abrir los huecos pertinentes.

Por todo ello, el módulo de sistema panelado de CLT quedará de la siguiente forma (Fig. 87).

Figura 87. **▶**
 Morfología y
 métrica de un
 posible módulo
 sin y con huecos
 que constituye el
 proyecto piloto



6.4. Preprocesado

El proceso inicial de preparación de datos, conocido como preprocesado, es una parte crucial en el cálculo estructural y constituye una fase fundamental destinada a preparar y organizar los datos, así como crear los modelos que servirán como base para el posterior análisis.

La etapa de modelado es especialmente relevante. En esta fase, se crea la modelización de la estructura que se va a analizar, puede ser un modelo de barras, de elementos finitos planos o elementos finitos tridimensionales.

En el caso de este prototipo, realizado a partir de dos sistemas diferenciados, se modelizará a partir de elementos de barras en el caso del sistema porticado de acero, y de elementos finitos el sistema de paneles de madera contralaminada.

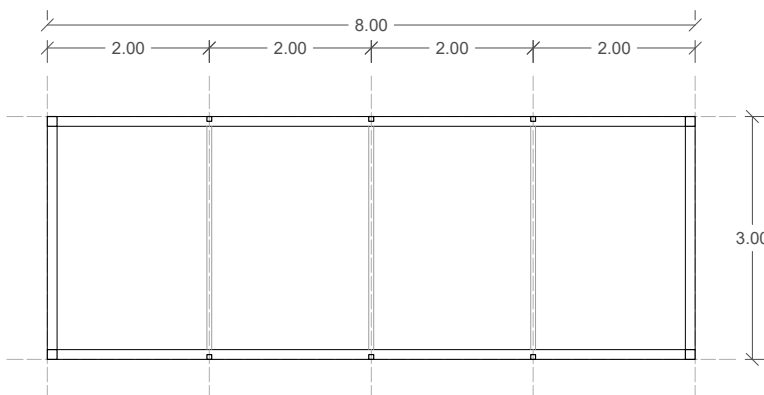
De la misma forma que en el apartado anterior, en caso de que exista información distinta según sistema se identificará individualmente, en caso contrario, se presentará una vez.

6.4.1. Geometría

Tipología y dimensiones

Como ya se comentó anteriormente, los materiales a utilizar para la creación de los prototipos son el acero y la madera contralaminada, debido a sus beneficios y prestaciones en los casos de ampliación vertical.

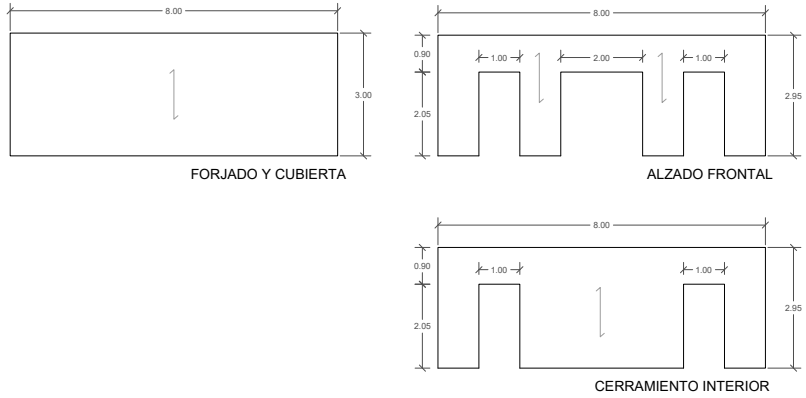
A. Sistema porticado de acero



◀ Figura 88. Esquema estructural sistema porticado de acero

B. Sistema panelado de madera

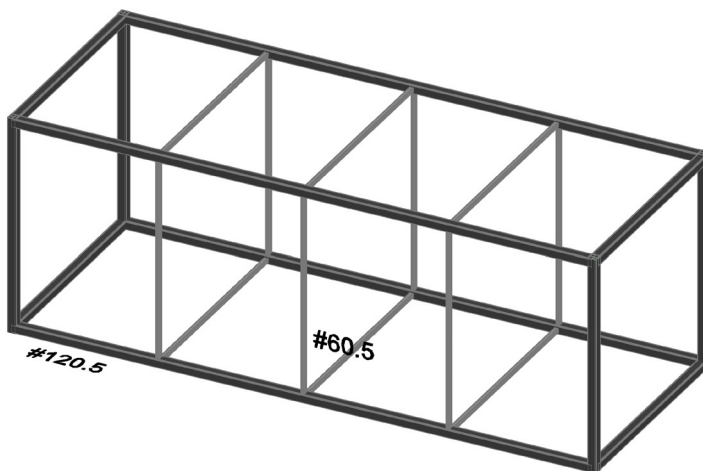
Figura 89. Esquema estructural sistema panelado de CLT



Morfología y dimensiones de las secciones

A. Sistema porticado de acero

El material empleado será el acero S275 por ser el más habitual en nuestro país. Para el conjunto del prototipo se emplearán perfiles de tipo hueco cuadrado, tanto para el cuadro superior e inferior, como para los pilares que cierran el esqueleto, viguetas y montantes. Se opta por utilizar este tipo de sección por facilitar la construcción del módulo, no solo de la estructura, sino también, de los correspondientes cerramientos. El dimensionado de los elementos, será de un #120.5 para el esqueleto completo, y de un #60.5 para las viguetas y montantes verticales. Las secciones se han establecido en función de un proceso de cálculo reiterativo y de comprobación. Seguramente, el mayor problema, lo podremos encontrar en la condensación interna de estos perfiles, para ello, la solución que se propone es de dotar de pequeñas perforaciones para evitar este fenómeno. A continuación, se muestra la figura con la configuración de los perfiles indicados (Fig. 90).



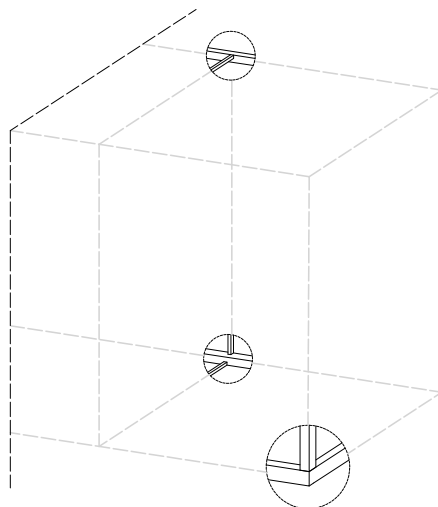
◀ Figura 90.
Modelo
extrusionado del
sistema de acero

A continuación, se define como se unen los cuadros principales, como apoyan las viguetas sobre el esqueleto principal, y la unión de los montantes verticales.

En primer lugar, se define el esqueleto principal. El objeto del módulo es garantizar su estabilidad como elemento tridimensional, por ello, se establece un esquema estructural que se compone de la unión entre el cuadro superior e inferior, y los elementos verticales que sirven de nexo. La uniformidad de sección en todos los elementos simplifica su ejecución y unión, facilitando el proceso constructivo. Hay que tener en cuenta el proceso

constructivo del módulo, por ello, son los elementos horizontales los que se unen primero, para posteriormente atarla mediante los verticales, creando una estructura de ensamblaje (Fig. 91). De igual forma, esto contribuye a que no existan cargas puntuales importantes y se repartan las acciones.

Figura 91. ►
Uniones del sistema
de acero



Seguidamente se detalla como apoyan las viguetas del sistema secundario a los cuadros del sistema primario, existen dos opciones. La primera opción implica que las viguetas apoyen directamente sobre el marco, la segunda opción consiste en alinear la cara superior de las viguetas con la cara superior del elemento principal.

Se escoge la segunda opción, principalmente debido a dos consideraciones. Constructivamente, la materialización del forjado de la primera opción sería más compleja. Además, desde el punto de vista estructural, la segunda opción favorece al pandeo lateral de la viga sometida a flexión. Aunque, es importante destacar que, debido a la sección cuadrada de las viguetas, se espera una mayor oposición a dicho fenómeno.

Finalmente, siguiendo el patrón de las viguetas, los montantes verticales se alinean en la parte exterior de los cuadros principales. De esta forma, en el momento que se deban instalar los cerramientos la superficie de apoyo será continua en todo el recorrido.

En cuanto a la unión material entre elementos, se realizarán todas a partir de soldaduras a tope. Hay que tener en cuenta que se deberá hacer una preparación de bordes, sobretodo en el esqueleto principal donde la sección es la misma.

B. Sistema panelado de madera

El material empleado para el prototipo es el CLT24, con una clasificación de C24 realizado a partir de un tipo de madera de *picea abies*. Después de un proceso de predimensionado basado en los catálogos de diversos proveedores, se ha optado por un panel de 5 capas para el soporte resistente superior e inferior. Cada capa de este panel tiene un grosor de 25 mm, lo que da como resultado un espesor total de 125 mm. Para el cerramiento, se ha elegido un panel de 3 capas, donde cada capa tiene un espesor de 30 mm, sumando un espesor total de 90 mm. Es importante destacar que los paneles elegidos son configuraciones habituales que se encuentran disponibles a través de los proveedores de estos materiales.

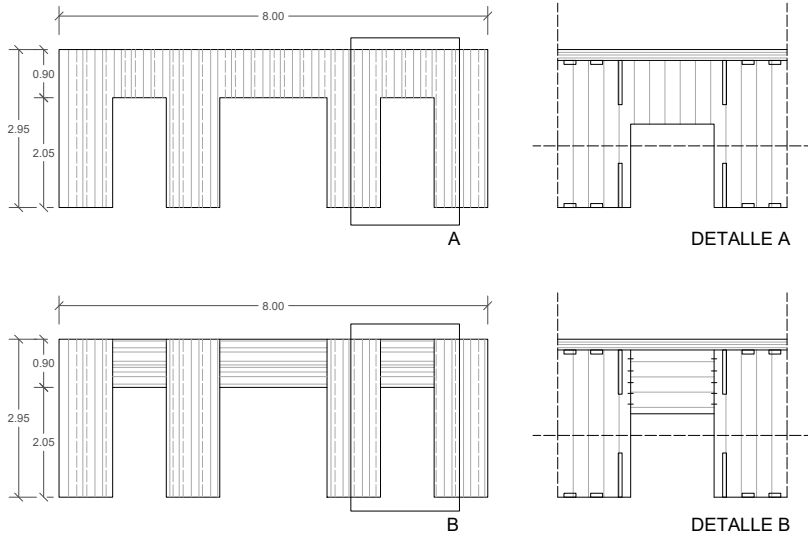
El módulo de CLT se construye de manera ascendente. Por ende, los elementos horizontales forman una base continua sobre la cual se sitúan los elementos de muro. De esta forma, son los muros, que funcionan como cerramiento, lo que se apoyan en el forjado, y a su vez, el elemento de cubierta sobre estos muros (Fig. 92). Esta solución implica interrumpir los elementos verticales, y se conoce como sistema *platform frame*, además, es ampliamente preferida debido a su mayor resistencia al fuego y la capacidad de ejecución de planta por planta.

En cuanto a las uniones entre los elementos, se realizan a partir de placas de anclaje, angulares, y tornillos estructurales, dependiendo de la unión a resolver. Normalmente, los forjados se fijan a las superficies mediante uniones que están espaciadas a intervalos de 500 mm a 1500 mm, en función de los esfuerzos que deben absorber.

Este prototipo consta de seis planos. Estos planos comprenden tanto la parte superior como la inferior del prototipo (techo y suelo), así como las cuatro caras que actúan como cerramiento. De estas caras, las dos laterales transversales son completamente opacas ya que hacen de medianera, mientras que las dos caras longitudinales cuentan con diversas aberturas.

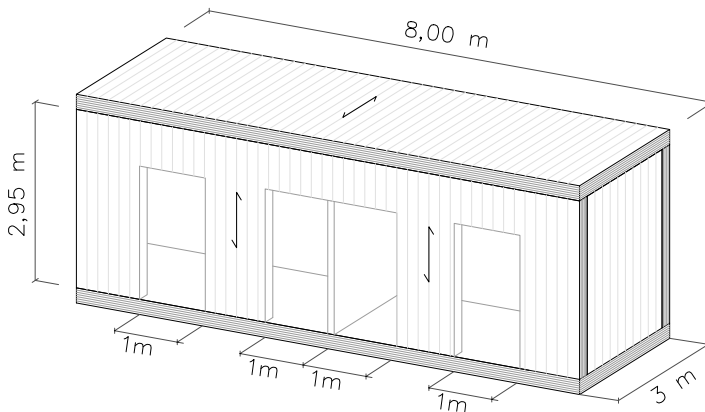
Para poder realizar estas aberturas existen dos maneras distintas. La primera consiste en perforar un panel completo para crear los huecos, y la segunda implica ensamblar múltiples elementos, esto se conoce como "muro de corte monolítico" o "muro de corte ensamblado", respectivamente (Fig. 92). Varios estudios han demostrado que los resultados varían en función del tamaño de la abertura y del ancho del dintel (Ruggeri, D'Arzeno, & Fossetti, 2023). En este caso específico, dado que el dintel será más ancho que 900 mm y deberá salvar una abertura de 1000 mm, la opción escogida será la del "muro de corte monolítico", ya que muestra un comportamiento ligeramente superior en comparación con el "muro de corte ensamblado".

Figura 92. Opciones para realizar los huecos



Seguidamente, se va a escoger la dirección de los paneles ya que según la orientación de las capas tendrá un comportamiento distinto. En el caso de este prototipo, para los forjados se utilizará la dirección que mejor resiste a flexión, es decir, aquella en la que las capas impares son las que trabajan. De esta forma, se consigue dar más resistencia al conjunto y favorecer a la deformación, ya que es la más penalizada. Por otro lado, los cerramientos seguirán la dirección vertical de los paneles vistos, trabajando así a compresión. En la siguiente figura se aprecia el prototipo final con las direcciones escogidas de los paneles (Fig. 93).

Figura 93. Prototipo del módulo de CLT con direcciones de los paneles

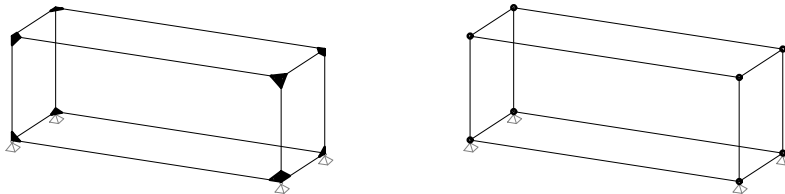


Vínculos internos

La definición del modelo continúa a partir de los vínculos internos. Esto son restricciones o uniones que se aplican dentro de la misma estructura, y se utilizan para simular cómo las diferentes partes de la estructura interactúan entre sí. Del mismo modo, serán diferentes en función de si hablamos del sistema porticado de acero realizado a partir de elementos en barra, o del sistema panelado de madera contraminada y sus elementos finitos. Se detallará más adelante en la descripción de cada sistema.

A. Sistema porticado de acero

La siguiente figura muestra las opciones disponibles para formalizar el esqueleto principal (Fig. 94). La opción A destaca por su mayor ventaja en términos de capacidad de carga, ya que su mayor grado de hiperestaticidad le permite soportar cargas más pesadas en comparación con la opción B, que cuenta con nudos articulados. Sin embargo, la desventaja asociada con la opción A radica en la mayor complejidad durante el proceso de construcción, puesto que hay que asegurar que la soldadura está bien realizada y que se genera el nudo rígido. A pesar de esto, los avances tecnológicos y la implementación de métodos de prefabricación e industrialización en la producción de módulos sugieren que cualquier posibilidad de defectos durante el ensamblaje de las barras se considerará mínima, asumiendo dichos errores. Por todo ello, la opción escogida será la A considerando que los nudos serán rígidos.

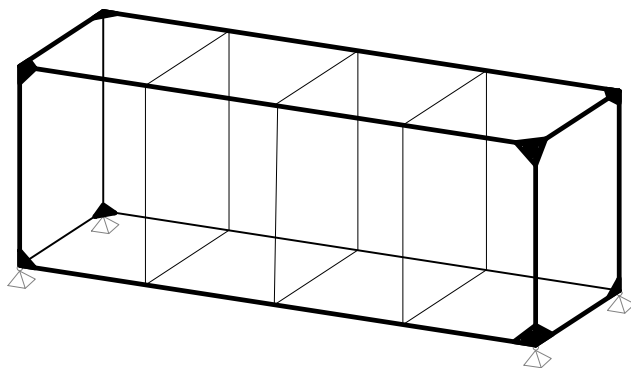


◀ Figura 94. Esqueleto realizado a parte de barras metálicas en función de la naturaleza de sus vínculos internos

A continuación, se plantea la unión de las viguetas con el pórtico principal. La opción constructiva es la de alinear los elementos en la cara superior, disponiendo las viguetas contra el alma del pórtico. Teniendo en cuenta la ajustada sección de los elementos, lo más habitual es realizar una soldadura en todo su perímetro, realizando así viguetas biempotradas. Por otra parte, los montantes verticales se posicionan alineados con las viguetas, manteniendo el mismo intereje, y modelizados también a partir de nudos rígidos. Estos elementos ayudan a distribuir las cargas uniformemente, evitando así la concentración de esfuerzos en los pilares de esquina del módulo. Además, esta disposición ayuda a contrarrestar

el momento torsor que podría afectar a la viga en ausencia de montantes, mejorando así la capacidad de resistir fuerzas torsionales (Fig. 95). Que todo el conjunto se realice a partir de nudos rígidos y elementos bien empotrados ayuda también a la elevación mediante grúa durante las *remontas*. La uniformidad en la conexión de los elementos, al estar completamente empotrados, minimiza los puntos de tensión y proporciona un soporte estructural más equilibrado durante todo el proceso de elevación.

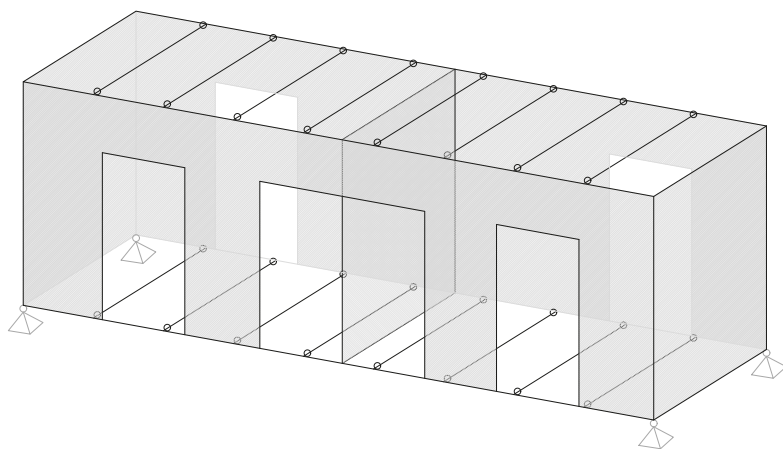
Figura 95. ▶
Esqueleto realizado a partir de barras metálicas en función de la naturaleza de los vínculos internos de las viguetas y montantes



B. Sistema panelado de madera

En el caso de este sistema, la modelización se basará en el uso de elementos lineales para los soportes resistentes horizontales, dotándoles de una sección que abarque toda la superficie horizontal y el espesor del panel. Dada la naturaleza de la unión entre paneles, hay que tener en cuenta que los vínculos internos no pueden considerarse completamente rígidos. Por este motivo, se les incorporarán unas relajaciones en el giro en la misma dirección del panel para simular una unión articulada entre los componentes. Esta particularidad garantiza una representación más precisa del comportamiento estructural del sistema, teniendo en cuenta las características específicas de los paneles.

Por el otro lado, los elementos verticales se modelizarán mediante Elementos Finitos de placa, y no tridimensionales (Malesza & Miedziatowski, 2017). Esta estrategia se basa en la comprensión de que, aunque la madera laminada esté compuesta por capas en varias dimensiones, su comportamiento puede representarse de manera precisa utilizando elementos bidimensionales, simplificando así los cálculos. Al mismo tiempo, hay estudios que han evidenciado que este método bidimensional se asemeja de manera cercana tanto al modelo tridimensional como a la respuesta real del material (Fernández Forcada, 2015). Esta aproximación permite obtener resultados confiables y detallados sobre cómo se comportará el CLT frente a diferentes cargas y condiciones, simplificando la evaluación sin comprometer la precisión de los resultados obtenidos.



◀ Figura 96.
Modelización del prototipo realizado a partir de barras para los elementos horizontales y de EF para los verticales, indicando la naturaleza de los vínculos internos

6.4.2. Vinculos externos

Los vinculos externos son restricciones que se aplican a la estructura en relación con su entorno o condiciones exteriores, pueden incluir apoyos en el suelo, conexiones a otras estructuras o cualquier otra restricción que limite el movimiento o la rotación.

Las condiciones de contorno o vinculos externos están definidas en función de la unión con la cubierta del edificio existente. Según los casos analizados, y como se ha mencionado anteriormente, es habitual acondicionar la cubierta existente a partir de zunchos de coronación metálicos, donde el módulo se apoya mediante placas de anclaje. Dado que tanto la estructura existente como la nueva pueden experimentar movimientos diferenciales debido a las variaciones inherentes al material, se tratarán los apoyos del módulo como rótulas, permitiendo la libre rotación mientras se restringen los desplazamientos. Esta estrategia proporcionará flexibilidad para adaptarse a posibles discrepancias sin generar tensiones excesivas.

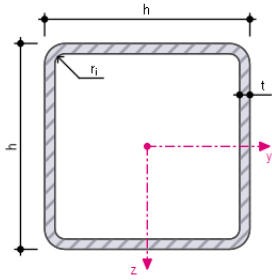
La presencia de rótulas en los puntos de unión permite la libertad de movimientos rotacionales. Esto puede ser beneficioso si consideramos la unión de dos estructuras completamente diferentes, ya que brinda adaptabilidad a la nueva estructura frente a la estructura existente, y a las posibles variaciones en las condiciones de carga.

6.4.3. Materiales estructurales

Establecidos anteriormente los materiales y sus secciones, se pasan a detallar sus características estructurales.

A. Sistema porticado de acero

El material empleado será el acero S275, y se emplean los perfiles tipo hueco cuadrado. Para la estructura principal la sección #120.5, y para la secundaria #60.5. En las siguientes tablas se recogen los datos de todos los elementos (T. 15).



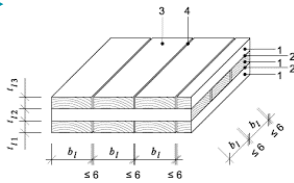
◀ Tabla 15
Geometría y
propiedades de
las secciones del
módulo de acero

| #120.5 | | | |
|--------------------------------|-------------------------|-------------------|-------------------------|
| Propiedades geométricas | | | |
| a | 120 mm | b | 120 mm |
| e | 5 mm | r | 12,5 mm |
| | | P | 0,175 kN/m |
| Propiedades mecánicas | | | |
| A | 2270 mm ² | | |
| I _y | 4980000 mm ⁴ | I _z | 4980000 mm ⁴ |
| W _{el,y} | 83000 mm ³ | W _{el,z} | 83000 mm ³ |
| W _{pl,y} | 97600 mm ³ | W _{pl,z} | 97600 mm ³ |
| i _y | 46,8 mm | i _z | 46,8 mm |
| #60.5 | | | |
| Propiedades geométricas | | | |
| a | 60 mm | b | 60 mm |
| e | 5 mm | r | 12,5 mm |
| | | P | 0,083 kN/m |
| Propiedades mecánicas | | | |
| A | 1070 mm ² | | |
| I _y | 533000 mm ⁴ | I _z | 533000 mm ⁴ |
| W _{el,y} | 17800 mm ³ | W _{el,z} | 17800 mm ³ |
| W _{pl,y} | 21900 mm ³ | W _{pl,z} | 21900 mm ³ |
| i _y | 22,3 mm | i _z | 22,3 mm |

B. Sistema panelado de madera

El material empleado es el CLT, y se emplean para los elementos horizontales un panel de 5 capas, y para los verticales uno de 3 capas. En las siguientes tablas se recogen los datos de los diferentes tipos de paneles (T. 16).

Tabla 16.  Propiedades de los paneles de CLT



| CLT 125 5s | | | |
|--------------------------------|-------------------------|-----------------------|---------------------------|
| Propiedades geométricas | | | |
| Capas | 5 | | |
| E_{capa} | 25 mm | E_t | 125 mm |
| Ancho | 2950 mm | $L_{\text{máx}}$ | 16 m |
| P | 63 kg/m ² | V | 125 l/m ² |
| Propiedades mecánicas | | | |
| $E_{\text{o,g,medio}}$ | 11600 N/mm ² | $E_{\text{90,medio}}$ | 370 N/mm ² |
| $f_{\text{m,k}}$ | 24 N/mm ² | $f_{\text{v,k}}$ | 2,7 N/mm ² |
| $f_{\text{t,0,k}}$ | 14 N/mm ² | $f_{\text{t,90,k}}$ | 0,4 N/mm ² |
| $f_{\text{c,0,k}}$ | 21 N/mm ² | $f_{\text{c,90,k}}$ | 2,5-3,1 N/mm ² |

| CLT 90 3s | | | |
|--------------------------------|-------------------------|-----------------------|---------------------------|
| Propiedades geométricas | | | |
| Capas | 3 | | |
| E_{capa} | 30 mm | E_t | 90 mm |
| Ancho | 2950 mm | $L_{\text{máx}}$ | 16 m |
| P | 47 kg/m ² | V | 90 l/m ² |
| Propiedades mecánicas | | | |
| $E_{\text{o,g,medio}}$ | 11600 N/mm ² | $E_{\text{90,medio}}$ | 370 N/mm ² |
| $f_{\text{m,k}}$ | 24 N/mm ² | $f_{\text{v,k}}$ | 2,7 N/mm ² |
| $f_{\text{t,0,k}}$ | 14 N/mm ² | $f_{\text{t,90,k}}$ | 0,4 N/mm ² |
| $f_{\text{c,0,k}}$ | 21 N/mm ² | $f_{\text{c,90,k}}$ | 2,5-3,1 N/mm ² |

6.4.4. Acciones: evaluación, hipótesis y combinaciones

La evaluación de cargas se ha llevado a cabo siguiendo los contenidos del Documento Básico sobre Seguridad Estructural: Bases de Cálculo y Acciones en la Edificación, Libro 2 del CTE (Ministerio de Fomento. Gobierno de España, 2019).

A lo largo de este apartado ambos prototipos comparten la mayoría de los contenidos. Por ello, si no se indica lo contrario se tomarán los valores para ambos casos.

I. Acciones permanentes

I.A. Pesos propios

I.A.1. Sistema porticado de acero

I.A.1.a. Elementos estructurales

#120.5: 0,175 kN/m

#60.5: 0,085 kN/m

I.A.1.b. Elementos constructivos superficiales

| código | descripción | componentes |
|--------|---|-------------------------------|
| F.01 | Soporte resistente: forjado colaborante | chapa colaborante |
| | | capa compresión |
| | Revestimiento: baldosa gres cerámico | poliestireno extruido XPS |
| | | mortero cemento autonivelante |
| | | baldosa gres porcelánico |

◀ Tabla 17. Desglose de acciones para peso propio de elementos constructivos superficiales

| elementos | fuelle | dimensión e (cm) | peso elementos (kN/m ²) | peso total (kN/m ²) |
|---------------------|----------------------------|------------------|-------------------------------------|---------------------------------|
| forjado colaborante | Incoperfil | 14 | 2 | 2,52 |
| XPS | Danosa | 8 | 0,02 | |
| agarre + baldosa | Tabla C.3 Anejo C DB SE-AE | 3 | 0,50 | |

| código | descripción | componentes |
|--------|---|-------------------------------|
| F.02 | Soporte resistente: forjado colaborante | chapa colaborante |
| | | capa compresión |
| | Revestimiento: parquet | poliestireno extruido XPS |
| | | mortero cemento autonivelante |
| | | parquet |

| elementos | fuelle | dimensión e (cm) | peso elementos (kN/m ²) | peso total (kN/m ²) |
|---------------------|----------------------------|------------------|-------------------------------------|---------------------------------|
| forjado colaborante | Incoperfil | 14 | 2 | 2,32 |
| XPS | Danosa | 8 | 0,02 | |
| agarre + parque | Tabla C.3 Anejo C DB SE-AE | 3 | 0,30 | |

| código | descripción | componentes |
|--------|---|-------------------------|
| F.03 | Soporte resistente: forjado colaborante | chapa colaborante |
| | | capa compresión |
| | Acabado: cubierta plana invertida, no transitable | hormigón áridos ligeros |
| | | impermeabilizante |
| | | aislante térmico |
| | | capa separadora |
| | | grava |
| | Falso techo | placas cartón-yeso |

| elementos | fuelle | dimensión e (cm) | peso elementos (kN/m ²) | peso total (kN/m ²) |
|---------------------|----------------------------------|------------------|-------------------------------------|---------------------------------|
| forjado colaborante | Incoperfil | 14 | 2 | 3 |
| cubierta | Catálogo Elementos Constructivos | 10 | 0,8 | |
| falso techo | Knauf | 10 | 0,20 | |

I.A.1.c. Cerramientos y elementos separadores

| código | descripción | componentes |
|--------|---------------------------------|--------------------------------------|
| C.01 | Fachada principal ligera | hoja exterior panel sándwich |
| | | Cámara no ventilada |
| | | aislante |
| | hoja interior placa cartón yeso | |
| | Fachada vidrio | vidriera armado incluida carpintería |

◀ Tabla 18.
Desglose de acciones para peso propio de cerramientos y elementos separadores

| elementos | fuelle | espesor e (cm) | peso elementos (kN/m ²) | porcentaje % | peso total 3 m (kN/m) |
|-------------------|----------------------------------|----------------|-------------------------------------|--------------|-----------------------|
| fachada principal | Catálogo Elementos Constructivos | 20 | 0,54 | 65,8 | 1,32 |
| fachada vidrio | Tabla C.2 Anejo C DB SE-AE | 0,05 | 0,25 | 34,2 | |

| código | descripción | componentes |
|--------|-----------------------|---------------------------------|
| C.02 | Cerramiento medianero | hoja interior placa cartón yeso |
| | | hoja interior placa cartón yeso |

| elementos | fuelle | espesor e (cm) | peso elementos (kN/m ²) | porcentaje % | peso total 3 m (kN/m) |
|-----------|----------------------------------|----------------|-------------------------------------|--------------|-----------------------|
| medianera | Catálogo Elementos Constructivos | 12 | 0,50 | 100 | 1,5 |

| código | descripción | componentes |
|--------|------------------------|---------------------|
| T.01 | Particiones interiores | tabique cartón-yeso |

| elementos | fuelle | espesor e (cm) | peso elementos (kN/m ²) | porcentaje % | peso total 3m (kN/m) |
|------------|----------------------------------|----------------|-------------------------------------|--------------|----------------------|
| tabiquería | Catálogo Elementos Constructivos | 10 | 0,26 | 100 | 0,78 |

* Según el punto 3 del 2.1 del DB SE-AE, se considerará como peso propio de la tabiquería una carga de 1,0 kN/m²

I.A.2. Sistema panelado de madera CLT

I.A.2.a. Elementos estructurales⁴

P125,5: 0,875 kN/m²

P90,3: 0,6 kN/m²

I.A.2.b. Elementos constructivos superficiales

Tabla 19. ▶
Desglose de acciones para peso propio de elementos constructivos superficiales

| código | descripción | componentes |
|--------|--------------------------------------|-------------------------------|
| F.01 | Soporte resistente: panel CLT | panel CLT 125.5 |
| | Revestimiento: baldosa gres cerámico | poliestireno extruido XPS |
| | | mortero cemento autonivelante |
| | | baldosa gres porcelánico |

| elementos | fuelle | dimensión e (cm) | peso elementos (kN/m ²) | peso total (kN/m ²) |
|-------------------|----------------------------|------------------|-------------------------------------|---------------------------------|
| forjado panel CLT | Egoín | 12,5 | - | 0,52 |
| XPS | Danosa | 8 | 0,02 | |
| agarre + baldosa | Tabla C.3 Anejo C DB SE-AE | 3 | 0,50 | |

| código | descripción | componentes |
|--------|-------------------------------|-------------------------------|
| F.02 | Soporte resistente: panel CLT | panel CLT 125.5 |
| | Revestimiento: parquet | poliestireno extruido XPS |
| | | mortero cemento autonivelante |
| | | parquet |

| elementos | fuelle | dimensión e (cm) | peso elementos (kN/m ²) | peso total (kN/m ²) |
|-------------------|----------------------------|------------------|-------------------------------------|---------------------------------|
| forjado panel CLT | Egoín | 12,5 | - | 0,32 |
| XPS | Danosa | 8 | 0,02 | |
| agarre + parque | Tabla C.3 Anejo C DB SE-AE | 3 | 0,30 | |

⁴ El peso propio del CLT es de 5,0 kN/m³ según DIN 1055-1:2002

| código | descripción | componentes |
|--------------------|---|---------------------------|
| F.03 | Soporte resistente: panel CLT | panel CLT 125.5 |
| | Acabado: cubierta plana invertida, no transitable | capa separadora |
| | | aislamiento poliestireno |
| | | capa separadora |
| | | grava |
| | Falso techo | barrera de vapor |
| | | Aislamiento fibra mineral |
| placas cartón-yeso | | |

| elementos | fuelle | dimensión e (cm) | peso elementos (kN/m ²) | peso total (kN/m ²) |
|-------------------|----------------------------------|------------------|-------------------------------------|---------------------------------|
| forjado panel CLT | Egoín | 12,5 | - | 1 |
| cubierta | Catálogo Elementos Constructivos | 10 | 0,8 | |
| falso techo | Knauf | 10 | 0,20 | |

I.A.2.c. Cerramientos y elementos separadores

| código | descripción | componentes |
|-------------|-------------------|--------------------------------------|
| C.01 | Fachada principal | hoja exterior panel sándwich |
| | | soporte resistente CLT |
| | | aislante |
| | | trasdosado interior cartón-yeso |
| | Fachada vidrio | vidriera armado incluida carpintería |

◀ Tabla 20. Desglose de acciones para peso propio de cerramientos y elementos separadores

| elementos | fuelle | espesor e (cm) | peso elementos (kN/m ²) | porcentaje % | peso total 3m (kN/m) |
|-------------------|----------------------------|----------------|-------------------------------------|--------------|----------------------|
| fachada principal | Egoín | 9 | - | - | 1,20 |
| | Knauf | 15 | 0,48 | 65,8 | |
| fachada vidrio | Tabla C.2 Anejo C DB SE-AE | 0,05 | 0,25 | 34,2 | |

| código | descripción | componentes |
|-------------|-----------------------|---------------------------------|
| C.02 | Cerramiento medianero | hoja interior placa cartón yeso |

| elementos | fuelle | espesor e (cm) | peso elementos (kN/m ²) | porcentaje % | peso total 3 m (kN/m) |
|-----------|----------------------------------|----------------|-------------------------------------|--------------|-----------------------|
| medianera | Catálogo Elementos Constructivos | 10 | 0,50 | 100 | 1,5 |

| código | descripción | componentes |
|-------------|------------------------|---------------------|
| T.01 | Particiones interiores | tabique cartón-yeso |

| elementos | fuelle | espesor e (cm) | peso elementos (kN/m ²) | porcentaje % | peso total 3 m (kN/m) |
|------------|----------------------------------|----------------|-------------------------------------|--------------|-----------------------|
| Tabiquería | Catálogo Elementos Constructivos | 10 | 0,26 | 100 | 0,78 |

* Según el punto 3 del 2.1 del DB SE-AE, se considerará como peso propio de la tabiquería una carga de 1,0 kN/m²

I.B. Pretensado
No procede

I.C. Acciones del terreno
No procede

II. Acciones variables

II.A. Sobrecarga de uso

Tabla 21. Desglose de acciones según la categoría de uso

| código | categoría uso | carga uniforme (kN/m ²) | carga concentrada (kN) |
|----------|---|-------------------------------------|------------------------|
| A | A1. Viviendas y zonas de habitaciones en hospitales y hoteles | 2 | 2 |
| G | G1. Cubiertas con inclinación menor a 20° | 1 | 2 |

Para la sobrecarga de vivienda, teniendo en cuenta el ámbito de carga de 1 m del elemento principal extremo, el momento máximo producido por la carga de uso uniforme es de 0,75 kN/m, y el cortante de 3 kN. Si se considera la carga concentrada, el momento máximo que se produce en centro de vano es de 0,75 kN/m, y el cortante producido en los extremos es de 1 kN. Como estos valores son inferiores a los producidos por la carga uniforme de 2 kN/m², no se tendrá en cuenta la carga de uso en los próximos cálculos.

II.B. Acciones sobre barandillas y elementos divisorios
No procede

II.C. Viento

Todas aquellas acciones que dependen de la ubicación, se considerará que la zona de actuación es la ciudad de Valencia, en los barrios del Ensanche.

$$q_e = q_b \cdot c_e \cdot c_p$$

Según el anejo D del libro 2 del CTE:

$$q_b = 0,5 \cdot \delta \cdot v_b^2 \text{ (Presión dinámica del viento)}$$

Siendo,

$$\delta = 1,25 \text{ Kg/m}^2$$
$$v_b^2 = 26 \text{ m/s (Zona A)}$$

Por tanto,

$$q_b = 0,42 \text{ kN/m}^2$$

$$c_e = 1,9 \text{ (Coeficiente de exposición)}$$

Grado de aspereza IV (Zona urbana en general, industrial o forestal)

Altura del punto considerado 13 m
 c_p (Coeficiente eólico o de presión)

Tabla 22. Valores a considerar para el cálculo de viento

| | Dirección A | Dirección B | |
|-------------------------------|---------------|-------------|------|
| Geometría del edificio | Altura (m) | 3 | 3 |
| | Base (m) | 8 | 3 |
| | Esbeltez | 0,375 | 1 |
| Coefficientes | Presión C_p | 0,7 | 0,8 |
| | Succión C_s | -0,4 | -0,5 |

q_e Dirección A

$$q_e \text{ (presión)} = 0,42 \cdot 1,9 \cdot 0,7 = 0,5586 \text{ kN/m}^2$$

$$q_e \text{ (succión)} = 0,42 \cdot 1,9 \cdot (-0,4) = -0,3192 \text{ kN/m}^2$$

q_e Dirección B

$$q_e \text{ (presión)} = 0,42 \cdot 1,9 \cdot 0,8 = 0,6384 \text{ kN/m}^2$$

$$q_e \text{ (succión)} = 0,42 \cdot 1,9 \cdot (-0,5) = -0,399 \text{ kN/m}^2$$

II.D. Acciones térmicas

Si bien la normativa no establece una exención general para considerar las acciones térmicas basada únicamente en la longitud de los elementos, se debe evaluar la necesidad de considerar dichas acciones en función de criterios más específicos. En este caso, el módulo tiene una longitud de 8 metros, inferior a los 40 metros que se mencionan en la normativa; sin embargo, la decisión de considerar o no las acciones térmicas se basará en criterios adicionales, como indicaciones específicas del fabricante, el tipo de material utilizado y las condiciones particulares de la construcción.

II.E. Nieve

$$q_n = \mu \cdot s_k$$

Siendo,

$\mu = 1$ (Coeficiente de forma de la cubierta según 3.5.3)

$s_k = 0,2 \text{ kN/m}^2$ (Valor característico de carga de nieve sobre terreno horizontal según tabla 3.5.2)

$$q_n = 0,2 \text{ kN/m}^2$$

III. Acciones accidentales

III.A. Sismo

La Norma de Construcción Sismorresistente (NCSE-02) es de aplicación por ser una construcción de nuevo planta, y define la aceleración sísmica como,

$$a_c = S \cdot \rho \cdot a_b$$

Siendo,

a_b (Aceleración sísmica básica definida en 2.1)

ρ (Coeficiente adimensional de riesgo)

Toma los siguientes valores:

Construcciones de importancia normal $\rho=1,0$

S (Coeficiente de amplificación del terreno)

En este proyecto en cuestión, de acuerdo con el mapa de peligrosidad sísmica de la NCSE-02 se comprueba como el municipio de Valencia tiene una aceleración sísmica básica de 0,06g.

La aplicación de la Norma es obligatoria en las construcciones recogidas en el artículo 1.2.1, excepto:

- En construcciones de importancia moderada
- En edificaciones de importancia normal o especial cuando la ab sea inferior a 0,04g.
- En construcciones de importancia normal con pórticos bien arriostrados entre sí en todas las direcciones cuando la ab sea inferior a 0,08g.

Es por ello que, con el riesgo sísmico de la zona, y la estructura planteada (arriostramiento de pórticos en todas las direcciones), se considera la acción del sismo despreciable.

III.B. Incendio

Se considera que la estructura está protegida frente al fuego. Por tanto, no es necesario considerar los efectos como acción.

III.C. Impacto

Se considera que la estructura no es susceptible de recibir ningún impacto, debido a que su ubicación final es la azotea de un edificio de varias alturas.

Según lo recogido en el punto 4 del CTE-BS-SE, las acciones cuantificadas hasta el momento se agrupan entorno a las siguientes hipótesis (T. 23):

Tabla 23. Clasificación de las hipótesis del prototipo

| Clasificación | Descripción | Hipótesis |
|--------------------------|--|-----------|
| Acciones permanentes (G) | Peso propio estructura | HIP_01 |
| | Peso propia cerramientos, tabiques, y acabados | |
| Acciones variables (Q) | Sobrecarga de uso | HIP_02 |
| | Sobrecarga de nieve | HIP_03 |
| | Sobrecarga de viento N-S | HIP_04 |
| | Sobrecarga de viento S-N | HIP_05 |
| | Sobrecarga de viento E-O | HIP_06 |
| | Sobrecarga de viento O-E | HIP_07 |

La HIP_01 "Permanentes" tiene en cuenta los pesos propios tanto de la estructura como de los elementos constructivos y de acabado. En este caso, según el sistema varía. Para poder visualizar mejor las cargas se han separado las figuras según cargas de elementos estructurales y constructivos (Fig. 97, 101).

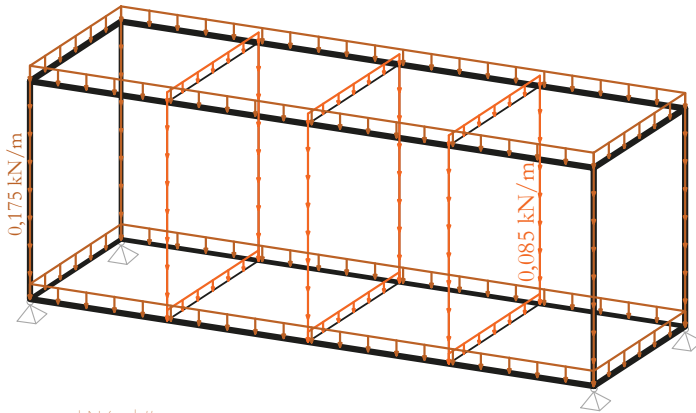
La HIP_02 "Uso" tiene en cuenta las cargas gravitatorias de 2 kN/m² y de 1 kN/m² según los usos correspondientes (Fig. 98, 102). La carga concentrada no se considera por los motivos expuestos anteriormente. A partir de esta hipótesis, los valores son los mismos en ambos sistemas, ya que dependen de la ubicación del módulo.

La HIP_03 "Nieve" tiene en cuenta la carga gravitatoria uniformemente repartida de 0,2 kN/m² aplicada en la totalidad de la cubierta (Fig. 99, 103).

Las siguientes HIP_04 "Viento N-S", HIP_05 "Viento S-N", HIP_06 "Viento E-O", HIP_07 "Viento O-E", tienen en cuenta los vientos en ambos sentidos y ambas direcciones (Fig. 100, 104).

A. Sistema porticado de acero

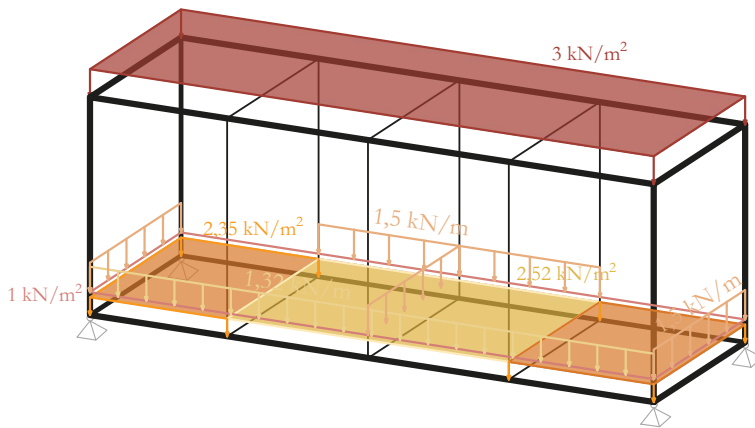
Elementos estructurales



- PH.01 - 0,175 kN/m | #120.5
- PH.02 - 0,085 kN/m | #60.5

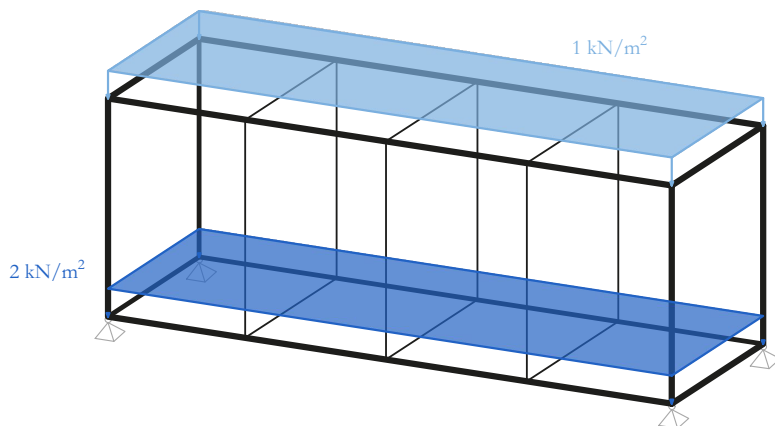
◀ Figura 97. Aplicación de las cargas correspondientes a la HIP_01 del prototipo de acero

Elementos constructivos



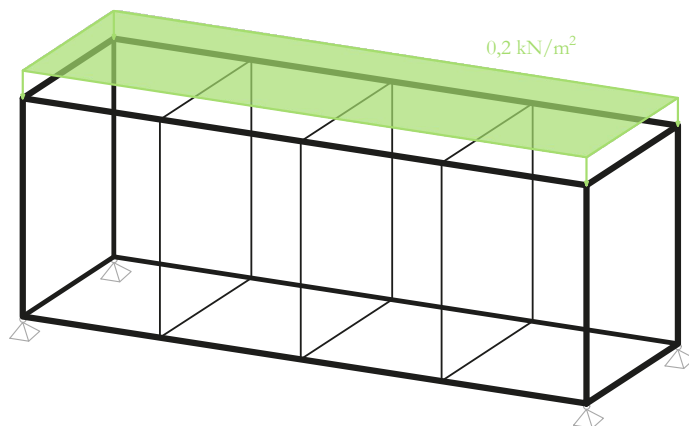
- F.01 - 2,52 kN/m² | forjado chapa colaborante + gres porcelánico
- F.02 - 2,35 kN/m² | forjado chapa colaborante + parquet
- F.03 - 3 kN/m² | cubierta invertida no transitable + falso techo
- T.01 - 1 kN/m² | tabiquería
- C.01 - 1,32 kN/m | fachada ligera (65,8 % macizo - 34,2 % vidrio)
- C.02 - 1,5 kN/m | medianera

Figura 98. ▶
Aplicación de las cargas correspondientes a la HIP_02 del prototipo de acero

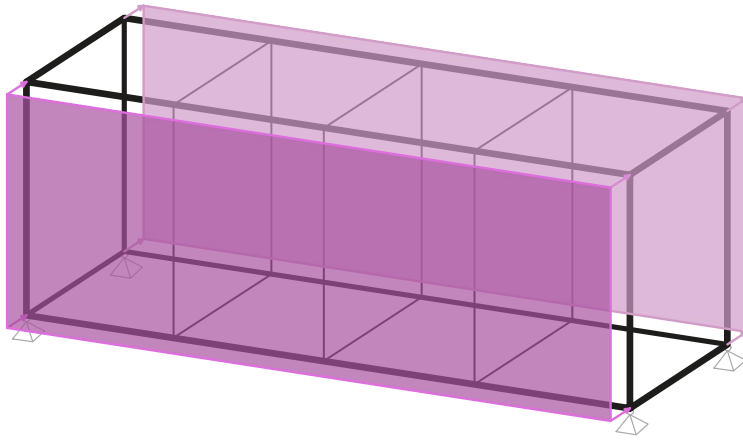


- A1 - 2 kN/m^2 | zona residencial
- G1 - 1 kN/m^2 | cubierta accesible únicamente para conservación

Figura 99. ▶
Aplicación de las cargas correspondientes a la HIP_03 del prototipo de acero

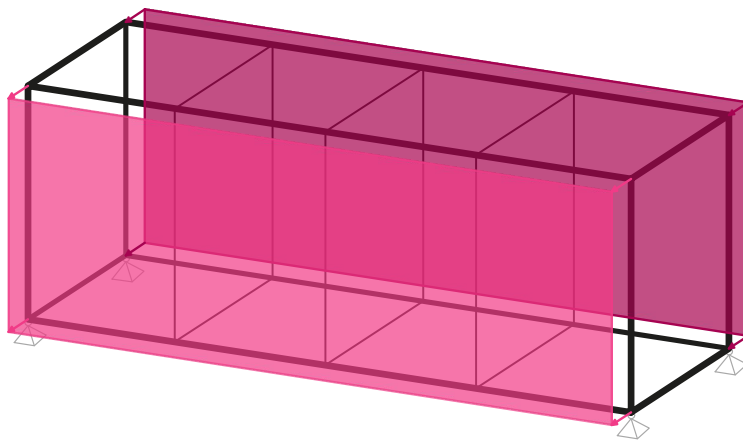


- $Q_n - 0,2 \text{ kN/m}^2$ | nieve

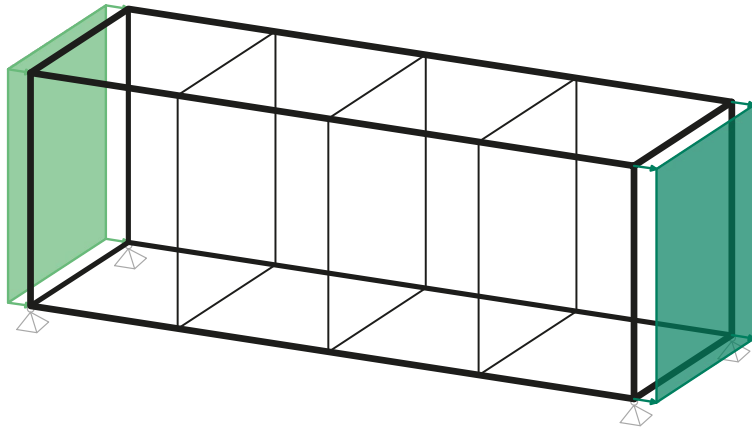


◀ Figura 100.
Aplicación de las cargas correspondientes a la HIP_04, HIP_05, HIP_06, HIP_07 del prototipo de acero

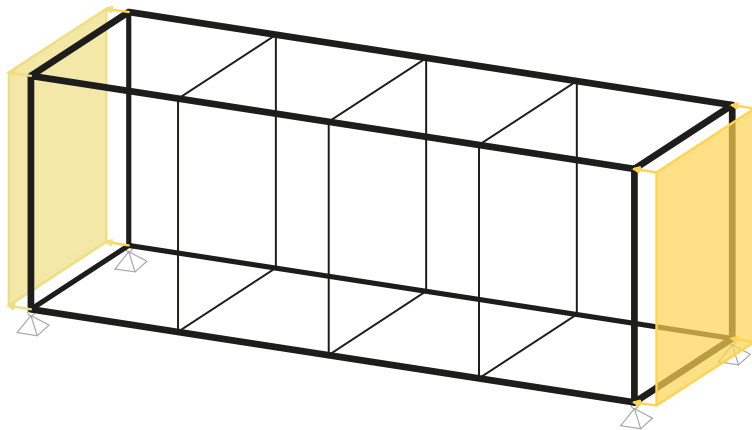
- $Q_e - 0,5586 \text{ kN/m}^2$ | Dirección A viento presión
- $Q_s - (-0,3192) \text{ kN/m}^2$ | Dirección A viento succión



- $Q_e - 0,5586 \text{ kN/m}^2$ | Dirección A viento presión
- $Q_s - (-0,3192) \text{ kN/m}^2$ | Dirección A viento succión



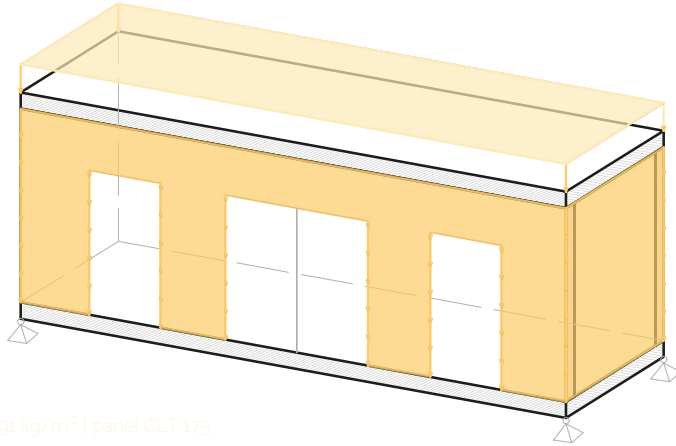
- $Q_e = 0,6384 \text{ kN/m}^2$ | Dirección B viento presión
- $Q_e = (-0,399) \text{ kN/m}^2$ | Dirección B viento succión



- $Q_e = 0,6384 \text{ kN/m}^2$ | Dirección B viento presión
- $Q_e = (-0,399) \text{ kN/m}^2$ | Dirección B viento succión

B. Sistema panelado de madera CLT

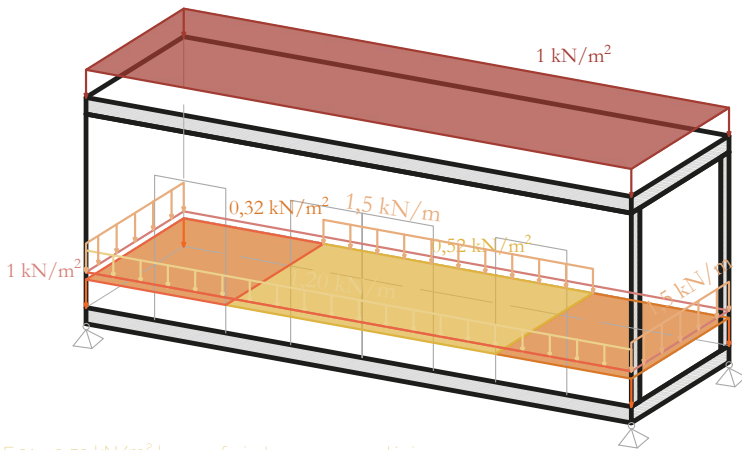
Elementos estructurales



- TC01 - 91 kg/m² | panel CLT 175
- TC02 - 63 kg/m² | panel CLT 120

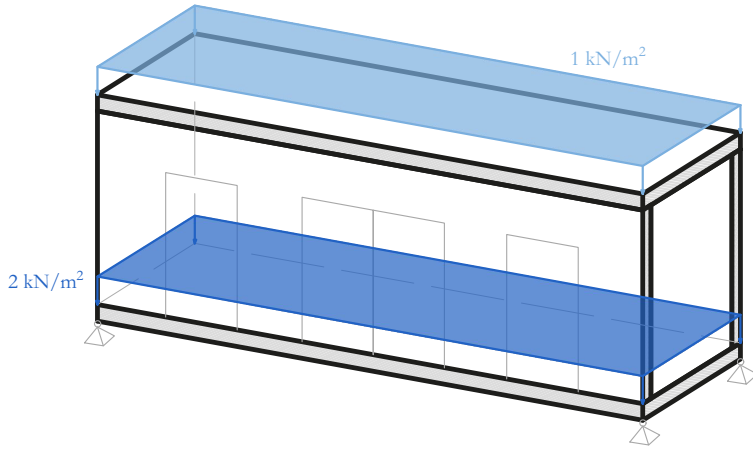
◀ Figura 101. Aplicación de las cargas correspondientes a la HIP_01 del prototipo de CLT

Elementos constructivos



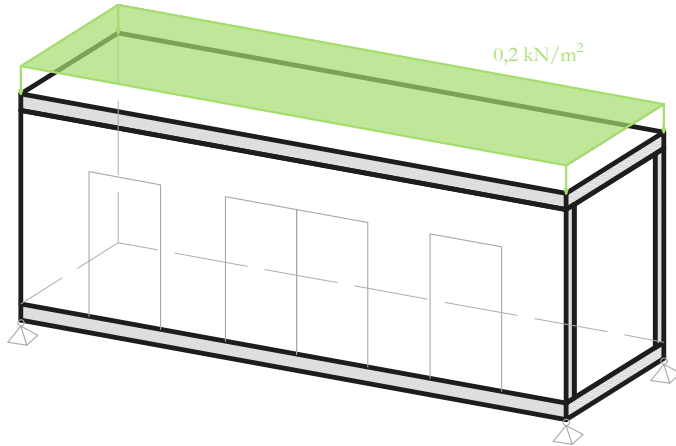
- F.01 - 0,52 kN/m² | capas forjado + gres porcelánico
- F.02 - 0,32 kN/m² | capas forjado + parquet
- F.03 - 1 kN/m² | capas cubierta + falso techo
- T.01 - 1 kN/m² | tabiquería
- C.01 - 1,20 kN/m | cerramiento (65,8 % macizo - 34,2 % vidrio)
- C.02 - 1,5 kN/m | medianera

Figura 102. ▶
Aplicación de las cargas correspondientes a la HIP_02 del prototipo de CLT

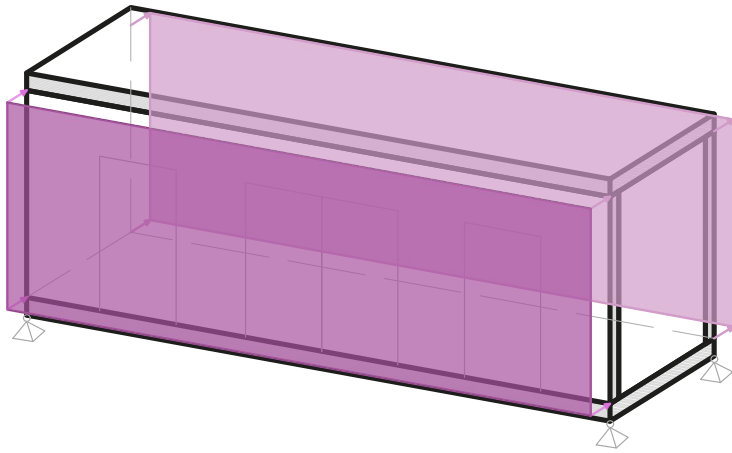


- A1 - 2 kN/m² | zona residencial
- G1 - 1kN/m² | cubiertas accesible únicamente para conservación

Figura 103. ▶
Aplicación de las cargas correspondientes a la HIP_03 del prototipo de CLT

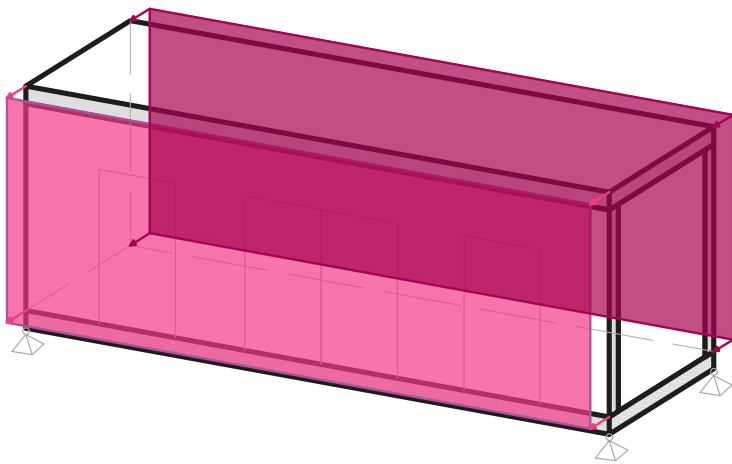


- Q_s - 0,2 kN/m² | nieve

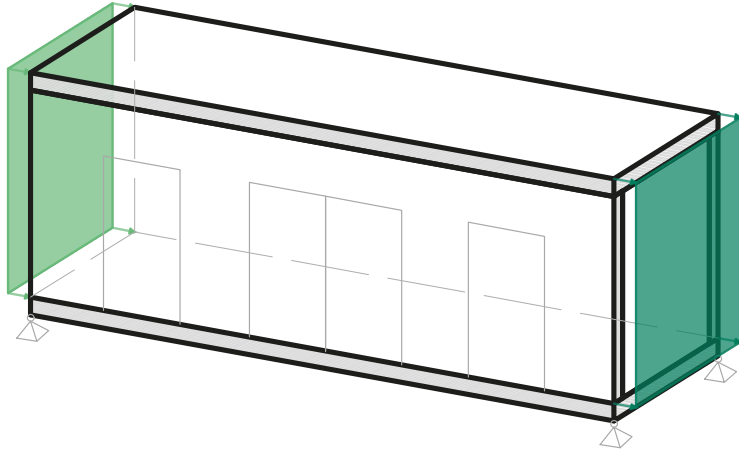


◀ Figura 104.
Aplicación de las
cargas correspon-
dientes a la HIP_04,
HIP_05, HIP_06,
HIP_07 del prototipo
de CLT

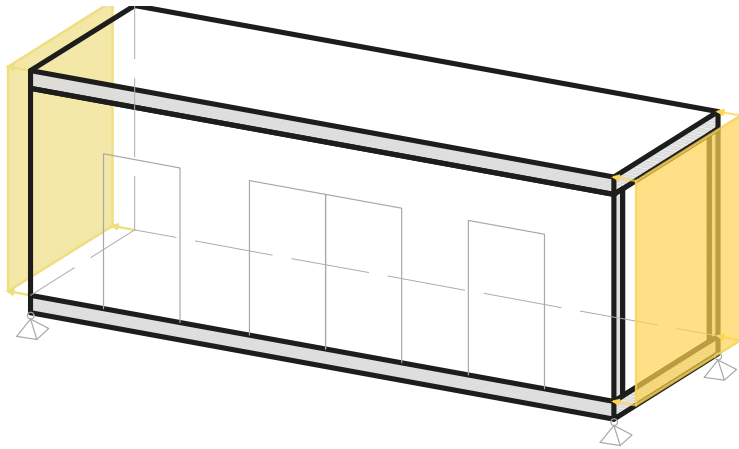
- $Q_e - 0,5586 \text{ kN/m}^2$ | Dirección A viento presión
- $Q_s - (-0,3192) \text{ kN/m}^2$ | Dirección A viento succión



- $Q_e - 0,5586 \text{ kN/m}^2$ | Dirección A viento presión
- $Q_s - (-0,3192) \text{ kN/m}^2$ | Dirección A viento succión



- $Q_e - 0,6384 \text{ kN/m}^2$ | Dirección B viento presión
- $Q_s - (-0,399) \text{ kN/m}^2$ | Dirección B viento succión



- $Q_e - 0,6384 \text{ kN/m}^2$ | Dirección B viento presión
- $Q_s - (-0,399) \text{ kN/m}^2$ | Dirección B viento succión

Identificadas y calculadas las diferentes hipótesis, el siguiente paso trata de establecer las combinaciones de hipótesis para abordar la superposición de cargas en un análisis lineal conforme al Código Técnico de la Edificación. Según marca el punto 4 del Documento Básico de Seguridad Estructural, se utilizan los coeficientes de seguridad detallados en la tabla 4.1, y los coeficientes de simultaneidad de la tabla 4.2 del mismo documento. Estos coeficientes son necesarios para configurar y definir las múltiples situaciones. Este conjunto de combinaciones tiene el propósito de considerar todas las situaciones posibles que pueden actuar en una estructura.

El CTE SB-SE diferencia entre las combinaciones a Estados Límite Últimos (ELU) y las de Estado Límite de Servicio (ELS). Los primeros están asociados al colapso o fallo estructural, y en caso de superarse, representa un riesgo para la seguridad de las personas. Por otra parte, los segundos están vinculados a las deformaciones y vibraciones de la estructura, y si se sobrepasan, afectarían a la comodidad de los usuarios y/o perjudicaría a los diferentes elementos constructivos.

En cuanto a la capacidad portante, y en nuestro caso, el análisis de combinaciones de hipótesis considera tanto las acciones permanentes como las variables, dado que no se presentan acciones accidentales ni aquellas derivadas de eventos sísmicos. Por consiguiente, nos concentramos en abordar únicamente aquellas combinaciones que engloban situaciones persistentes o transitorias, mediante la siguiente expresión:

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}$$

De forma similar, la consideración de hipótesis destinadas a evaluar la estructura en relación con la aptitud al servicio, se rige a partir del punto 4.3.2 de la normativa anteriormente mencionada, haciendo uso de la misma tabla de coeficientes de simultaneidad. Se elabora a partir de la expresión:

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}$$

Debido a lo cual, las combinaciones quedan de la siguiente forma:

Combinación para situaciones **persistentes o transitorias**:

variable principal: **uso**

$$ELU_{01} = 1,35 \cdot H1 + 1,50 \cdot H2 + 0,5 \cdot 1,50 \cdot H3 + 0,6 \cdot 1,50 \cdot H4$$

$$ELU_{02} = 1,35 \cdot H1 + 1,50 \cdot H2 + 0,5 \cdot 1,50 \cdot H3 + 0,6 \cdot 1,50 \cdot H5$$

$$ELU_{03} = 1,35 \cdot H1 + 1,50 \cdot H2 + 0,5 \cdot 1,50 \cdot H3 + 0,6 \cdot 1,50 \cdot H6$$

$$ELU_{04} = 1,35 \cdot H1 + 1,50 \cdot H2 + 0,5 \cdot 1,50 \cdot H3 + 0,6 \cdot 1,50 \cdot H7$$

variable principal: **nieve**

$$ELU_{05} = 1,35 \cdot H1 + 1,50 \cdot H3 + 0,7 \cdot 1,50 \cdot H2 + 0,6 \cdot 1,50 \cdot H4$$

$$ELU_{06} = 1,35 \cdot H1 + 1,50 \cdot H3 + 0,7 \cdot 1,50 \cdot H2 + 0,6 \cdot 1,50 \cdot H5$$

$$ELU_{07} = 1,35 \cdot H1 + 1,50 \cdot H3 + 0,7 \cdot 1,50 \cdot H2 + 0,6 \cdot 1,50 \cdot H6$$

$$ELU_{08} = 1,35 \cdot H1 + 1,50 \cdot H3 + 0,7 \cdot 1,50 \cdot H2 + 0,6 \cdot 1,50 \cdot H7$$

variable principal: **viento**

$$ELU_{09} = 1,35 \cdot H1 + 1,50 \cdot H4 + 0,7 \cdot 1,50 \cdot H2 + 0,5 \cdot 1,50 \cdot H3$$

$$ELU_{10} = 1,35 \cdot H1 + 1,50 \cdot H5 + 0,7 \cdot 1,50 \cdot H2 + 0,5 \cdot 1,50 \cdot H3$$

$$ELU_{11} = 1,35 \cdot H1 + 1,50 \cdot H6 + 0,7 \cdot 1,50 \cdot H2 + 0,5 \cdot 1,50 \cdot H3$$

$$ELU_{12} = 1,35 \cdot H1 + 1,50 \cdot H7 + 0,7 \cdot 1,50 \cdot H2 + 0,5 \cdot 1,50 \cdot H3$$

Combinación para acciones **característica**:

variable principal: **uso**

$$ELS_{13} = H1 + H2 + 0,5 \cdot H3 + 0,6 \cdot H4$$

$$ELS_{14} = H1 + H2 + 0,5 \cdot H3 + 0,6 \cdot H5$$

$$ELS_{15} = H1 + H2 + 0,5 \cdot H3 + 0,6 \cdot H6$$

$$ELS_{16} = H1 + H2 + 0,5 \cdot H3 + 0,6 \cdot H7$$

variable principal: **nieve**

$$ELU_{17} = H1 + H3 + 0,7 \cdot H2 + 0,6 \cdot H4$$

$$ELU_{18} = H1 + H3 + 0,7 \cdot H2 + 0,6 \cdot H5$$

$$ELU_{19} = H1 + H3 + 0,7 \cdot H2 + 0,6 \cdot H6$$

$$ELU_{20} = H1 + H3 + 0,7 \cdot H2 + 0,6 \cdot H7$$

variable principal: **viento**

$$ELU_{21} = H1 + H4 + 0,7 \cdot H2 + 0,5 \cdot H3$$

$$ELU_{22} = H1 + H5 + 0,7 \cdot H2 + 0,5 \cdot H3$$

$$ELU_{23} = H1 + H6 + 0,7 \cdot H2 + 0,5 \cdot H3$$

$$ELU_{24} = H1 + H7 + 0,7 \cdot H2 + 0,5 \cdot H3$$

6.5. Procesado. Análisis estructural

6.5.1. Tipo de análisis

La opción informática utilizada para el diseño, configuración y cálculo del modelo de estructuras es el programa Angle®.⁵

Esta elección se basa en la disponibilidad del programa para su uso investigador, facilitada mediante licencias proporcionadas por el propio autor del programa.⁶

El análisis se centra en llevar a cabo un cálculo en primer orden, elástico y lineal. De esta forma, se parte de la premisa de una geometría inicialmente perfecta, con una relación lineal entre fuerza y desplazamiento. Esto proporciona un marco para el estudio de las propiedades estructurales del prototipo. Las razones por la que se ha escogido este tipo de cálculo son:

- Simplicidad y eficiencia: más simple en comparación con análisis más completos, lo que facilita su implementación y reduce los tiempos de procesamiento. Existe un equilibrio adecuado entre precisión y eficiencia.
- Validez para estructuras lineales: válido para estructuras que se comportan de manera lineal, es decir, las deformaciones son proporcionales a las cargas aplicadas. En muchas aplicaciones prácticas, especialmente para pequeñas deformaciones, las estructuras pueden considerarse lineales con una precisión aceptable.
- Elasticidad de los materiales: el cálculo elástico asume que los materiales de la estructura se comportan de manera elástica, es decir, que vuelven a su forma original después de retirar las cargas.
- Análisis de Primer Orden: se refiere a la consideración de las deformaciones iniciales y las cargas aplicadas sin tener en cuenta deformaciones inducidas por las cargas. Es apropiado para estructuras donde las deformaciones debidas a las cargas son relativamente pequeñas y no afectan significativamente la geometría original.

⁵ Adolfo Durà, Alonso. *ANGLE* (version 2023). Valencia (Spain), ©Universitat Politècnica de València.

⁶ Adolfo Alonso Durà, Profesor Titular del Departamento de Mecánica de los Medios Continuos y Teoría de Estructuras de la Universitat Politècnica de València.

- Análisis preliminar: en las etapas iniciales de diseño, donde se exploran alternativas y se realizan ajustes recurrentes, el cálculo en primer orden proporciona resultados suficientemente precisos para tomar decisiones.
- Interpretación de resultados: la linealidad simplifica la interpretación de resultados, ya que las relaciones entre cargas y deformaciones son proporcionales. Esto facilita la comprensión de cómo la estructura responde frente a condiciones de carga y simplifica la identificación de áreas críticas.

Para proceder al análisis estructural, son necesarios dos entornos. El primero se implementa sobre un programa de CAD, en este caso sobre AutoCAD 2023®, y a partir del menú y comandos propios de la aplicación Angle® se genera la modelización de la estructura.

Durante esta investigación se van a realizar dos modelos, el modelo de acero mediante estructura de barras, y el modelo de madera contralaminada a partir de barras para los elementos horizontales y de EF2D para los muros, ambos como estructura rígida espacial.

Seguidamente y continuando con el entorno de CAD, se aplicarán las cargas, en el caso de las cargas superficiales se ha realizado mediante la creación de áreas de reparto. En estas áreas se aplican las cargas superficiales de peso propio, uso y cargas de nieve, sin considerar el peso propio del material estructural, ya que éste se considera por el propio programa. Las cargas restantes se introducen mediante la aplicación de acciones gravitatorias.

Con objeto de modelizar las hipótesis de viento, en el caso del prototipo de acero, el programa ofrece la opción de incorporar el viento mediante una ventana donde puede escogerse la zona, entorno y alturas. Una vez introducidas las condiciones del lugar, se aplica la dirección, profundidad y altura. A su vez, y mediante la barra de comandos se indican las opciones a barlovento y sotavento. En el caso del modelo de CLT se ha realizado a partir de la aplicación de cargas perpendiculares, distinguiendo ambas direcciones según sea de presión o succión.

En cuanto a los apoyos, se han incorporado rótulas en seis puntos del módulo. Estos puntos se encuentran estratégicamente ubicados en los extremos y en el punto medio de módulo. Representan los puntos de conexión más favorables entre el módulo y la estructura inferior.

El segundo entorno se trata de la propia interfaz del programa, y es donde se realiza el análisis y posterior comprobación y peritación.

En esta etapa, se definen las variables de análisis, tales como el tipo de cálculo, junto con las normativas aplicables para llevar a cabo las verificaciones necesarias. A partir de este punto, las diversas opciones del programa permiten visualizar todas las reacciones, tensiones y deformaciones en función de las combinaciones y ejes definidos. Esta capacidad de visualización facilita una comprensión profunda del comportamiento estructural del prototipo en estudio. Una vez realizadas estas visualizaciones, se procede a la verificación de los elementos estructurales del prototipo, o por el contrario no cumplen con alguna comprobación de la normativa. En caso de incumplimiento, se procede a corregir y ajustar la estructura.

6.5.2. Modelo de cálculo

A. Sistema porticado de acero

La modelización de este sistema se ha realizado a partir de elementos de barra de material S275 (T. 24) y consta de:

nodos_20
 barras_36
 vínculos_6
 nº ecuaciones_102

| Propiedades | S-275 |
|----------------------------|--------------|
| Módulo de Deformación MPa | 210.000 |
| Coefficiente Poisson | 0,3 |
| Módulo transv. MPa | 80770 |
| Densidad kg/m ³ | 7850 |

◀ Tabla 24. Propiedades elásticas e inelásticas del material S-275

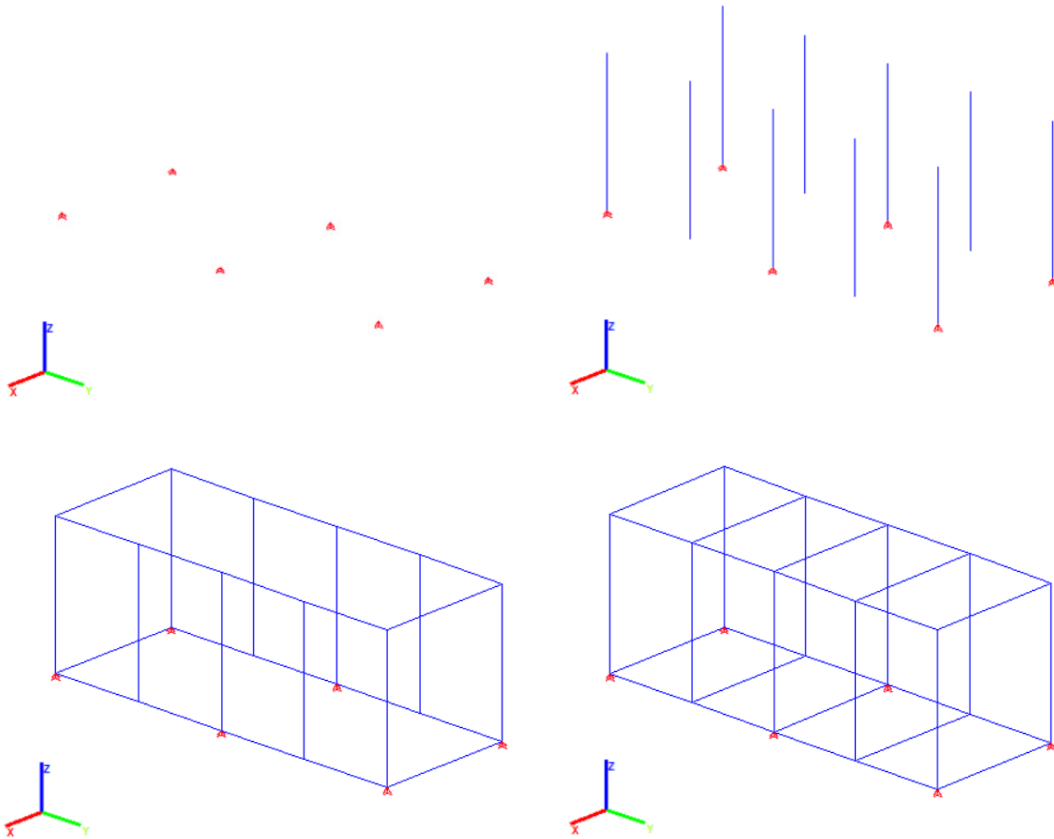
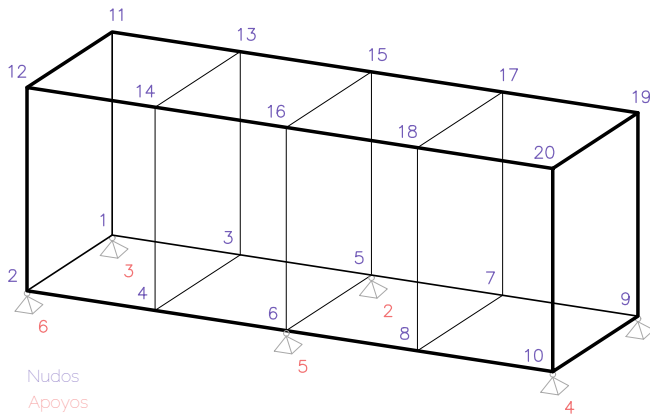
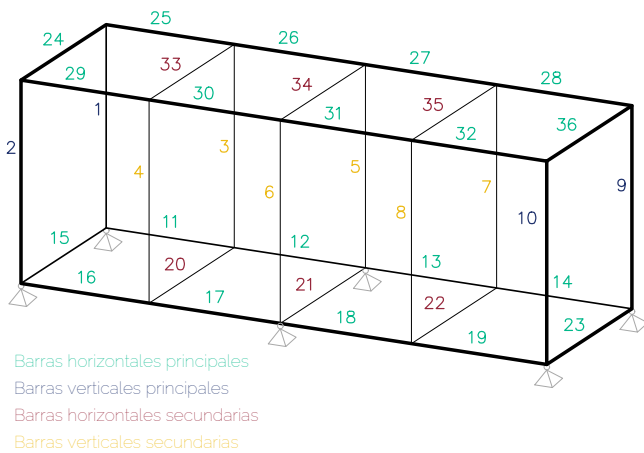


Figura 105. ▲
Configuración del
modelo de acero

Para el posterior análisis, comprobación y peritación de los elementos que integran la estructura, es necesario iniciar con la identificación de los apoyos, nudos y conjunto de barras. La nomenclatura viene predefinida por el programa utilizado, de esta forma, no habrá lugar a posibles confusiones. A continuación, en la figura 106 se reúne la nomenclatura de los múltiples elementos proporcionando una referencia visual para facilitar su identificación:



◀ Figura 106. Nomenclatura de los nodos, apoyos y barras del modelo estructural de acero



B. Sistema panelado de madera CLT

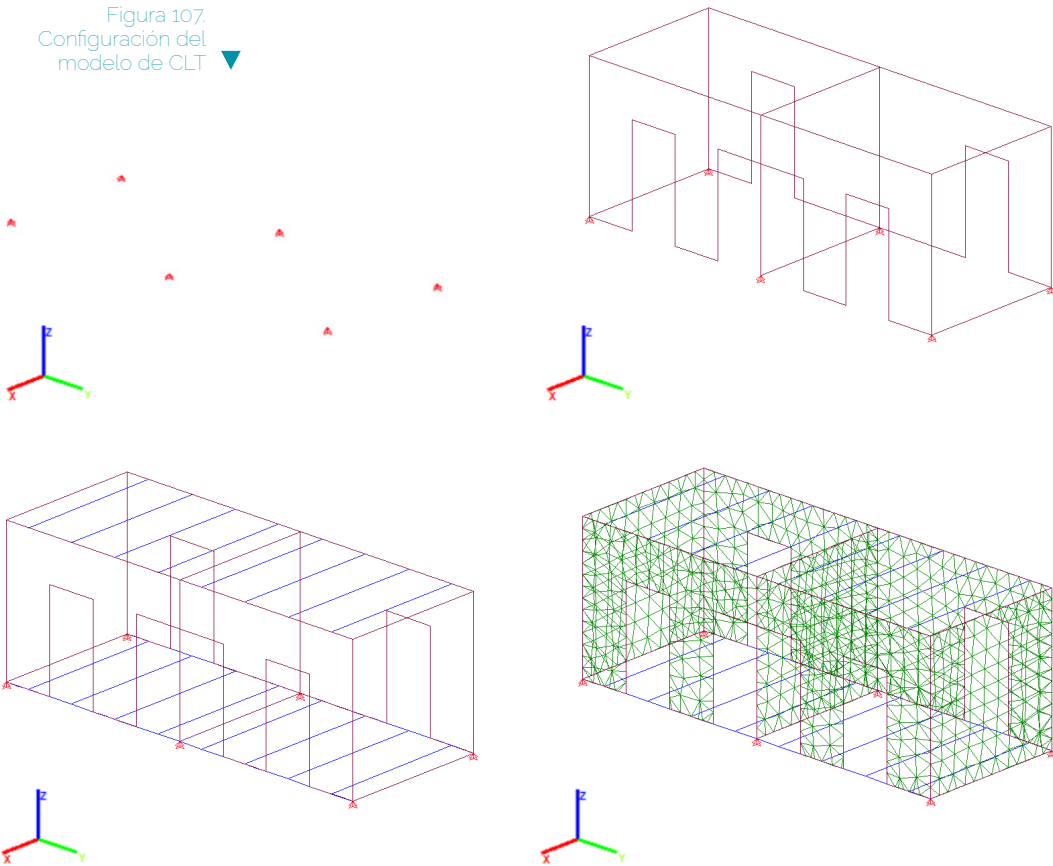
La modelización de este sistema se ha realizado a partir de elementos de barra para los componentes horizontales, y de elementos finitos para los verticales, ambos de material CLT24 (T. 25) y consta de:

nodos_849
 barras_57
 vínculos_6
 láminas_1351
 nº ecuaciones_5076

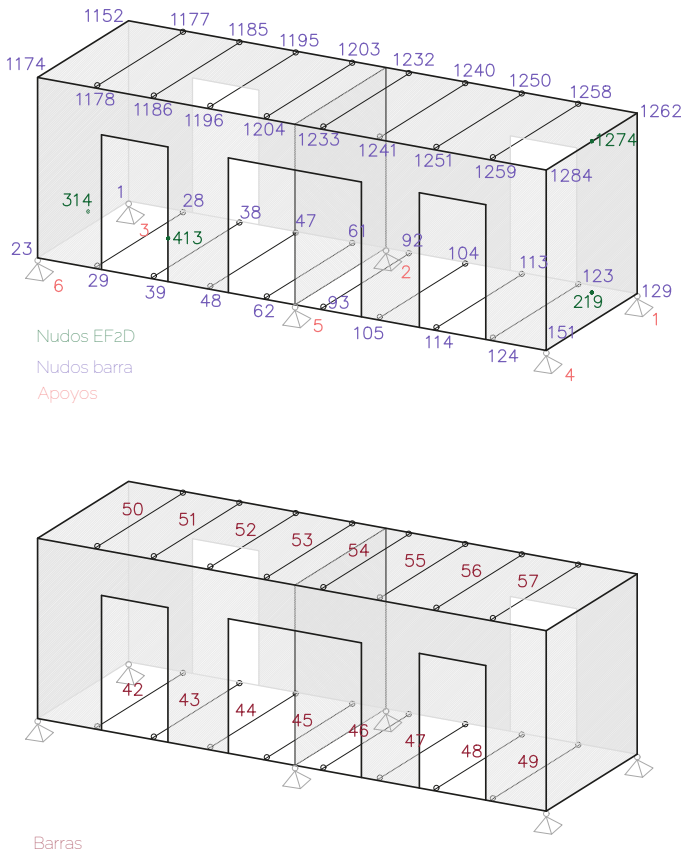
Tabla 25. Propiedades elásticas e inelásticas del material CLT24

| Propiedades | CLT-24 |
|----------------------------|--------|
| Módulo de Deformación MPa | 11.000 |
| Coefficiente Poisson | 0,4 |
| Módulo transv. MPa | 630 |
| Densidad kg/m ³ | 420 |

Figura 107. Configuración del modelo de CLT



Al igual que con el modelo anterior, es necesario iniciar el análisis con la identificación de los apoyos, nudos en barra, nudos en EF2D y conjunto de barras. La nomenclatura viene predefinida por el programa utilizado, de esta forma, no habrá lugar a posibles confusiones, sobre todo en lo que atañe a los nudos. A continuación, en la figura 108 se reúne la nomenclatura de los múltiples elementos proporcionando una referencia visual para facilitar su identificación.



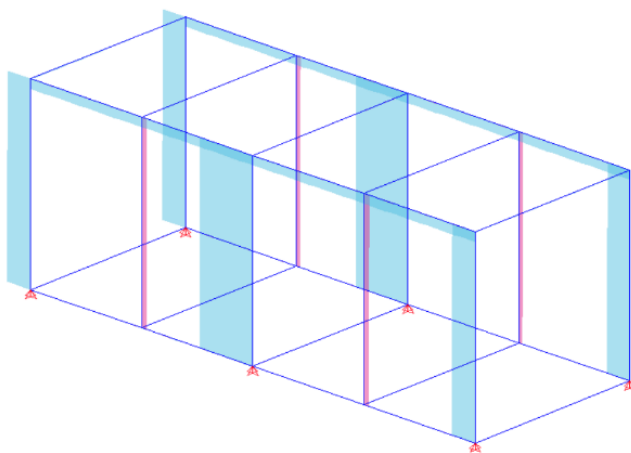
◀ Figura 106. Nomenclatura de los nudos, apoyos y barras del modelo estructural de acero

6.5.3. Extracción de resultados

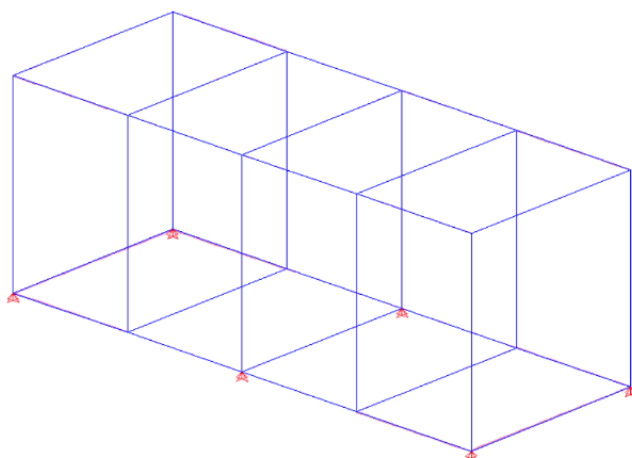
A. Sistema porticado de acero

Figura 109. ►
Esfuerzos en barra
del sistema de
acero para ELU-c1

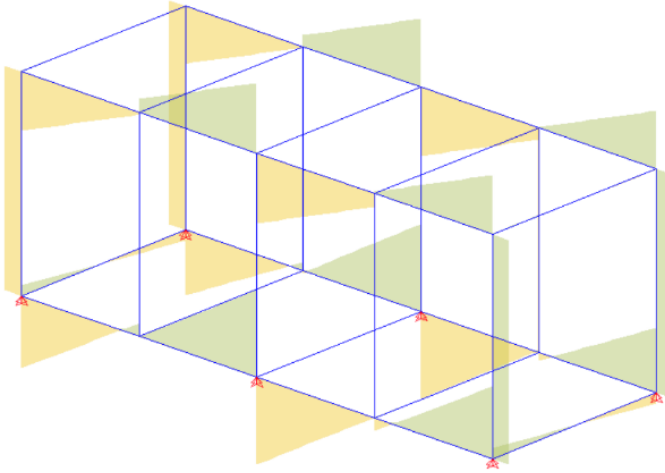
Axil N_x



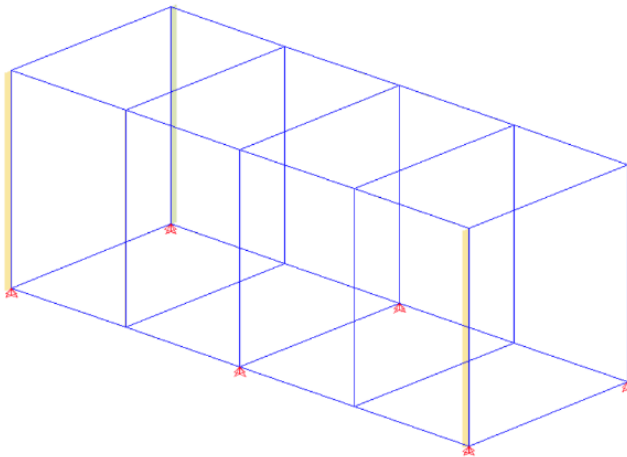
Torsor M_x



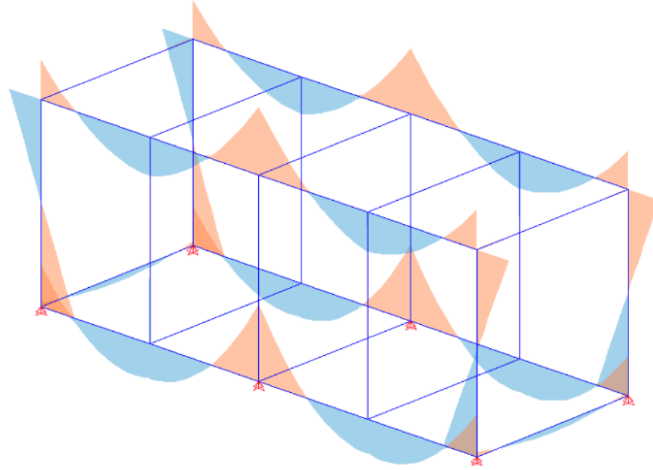
Cortantes Vy



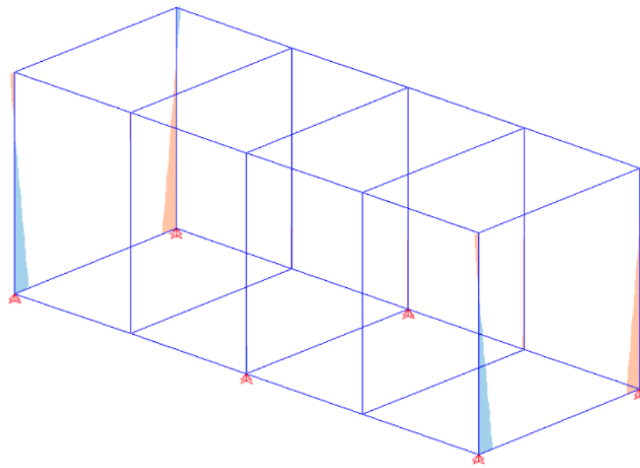
Cortantes Vz



Flectores Mz



Flectores My



A continuación, se muestran el conjunto de tensiones en los ejes x, y, z para la primera combinación en ELU (T. 26). Tras una revisión de todas las combinaciones posibles, se ha determinado que esta configuración exhibe los mayores esfuerzos entre todas. Además, se presentan los valores de esfuerzos de tres barras particularmente significativas. Estos valores son fundamentales para comprender cómo se distribuyen las fuerzas y tensiones a lo largo de las barras:

- Barra 6: montante central del módulo y punto medio de apoyo entre ambas estructuras
- Barra 17: viga inferior central izquierda del módulo, forma parte del cuadro inferior
- Barra 10: pilar de esquina del módulo y punto extremo de apoyo

| | | ELU- c1 | | | | | |
|---------------------|------|---------|--------|----------|--------|----------|--------|
| | | Barra 6 | | Barra 17 | | Barra 10 | |
| | | Inicio | Final | Inicio | Final | Inicio | Final |
| Axil Nx | kN | 43,27 | -42,95 | 0,07 | -0,07 | 16,83 | -16,13 |
| Cortantes Vy | kN | 0 | 0 | 0,35 | 26,92 | -6,56 | 6,56 |
| Cortantes Vz | kN | -0,4 | 0,4 | -0,18 | 1,86 | -1,84 | 1,84 |
| Flectores Mz | kN-m | 0 | 0 | -8,12 | -18,45 | -10,09 | -9,59 |
| Flectores My | kN-m | 0,59 | 0,62 | 0,7 | 1,35 | 2,42 | 3,11 |
| Torsor Mx | kN-m | 0 | 0 | 0,07 | -0,07 | 0,16 | -0,16 |

◀ Tabla 26. Valores iniciales y finales de esfuerzos en diversas barras en la Combinación 1 a ELU

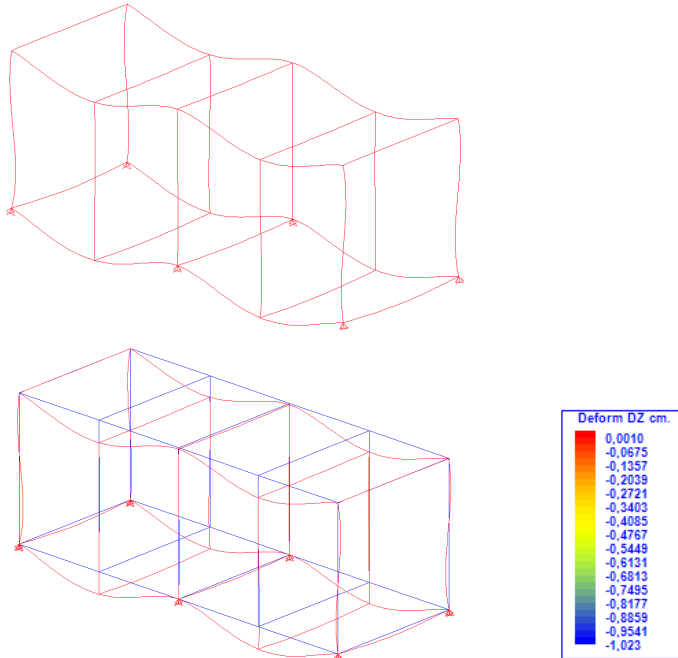
Seguidamente, se detallan las reacciones en los seis apoyos del módulo (T. 27). Dado que los apoyos están diseñados como rótulas, no se generan momentos debido a que los grados de rotación son libres. La ausencia de momentos en los puntos de apoyo con rótulas confiere una mayor flexibilidad y adaptabilidad al sistema estructural frente al existente. Esto implica que la estructura puede adaptarse más fácilmente a las variaciones en las cargas aplicadas o a cambios en las condiciones. Al permitir que los puntos de apoyo se ajusten libremente, se reduce la probabilidad de que se produzcan tensiones excesivas o deformaciones no deseadas.

Tabla 27. ▶
Valores de las reacciones en todos los apoyos en la Combinación 1 a ELU

| | | ELU- c1 | | | | | |
|------------------|------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | | Apoyo 1 | Apoyo 2 | Apoyo 3 | Apoyo 4 | Apoyo 5 | Apoyo 6 |
| Fuerza X | kN | 3,988 | 3,605 | 3,988 | 3,328 | 4,121 | 3,328 |
| Fuerza Y | kN | -6,855 | 0 | 6,855 | -5,952 | 0 | 5,952 |
| Fuerza Z | kN | 47,583 | 98,707 | 47,583 | 40,073 | 96,949 | 40,074 |
| Momento X | kN·m | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Momento Y | kN·m | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Momento Z | kN·m | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

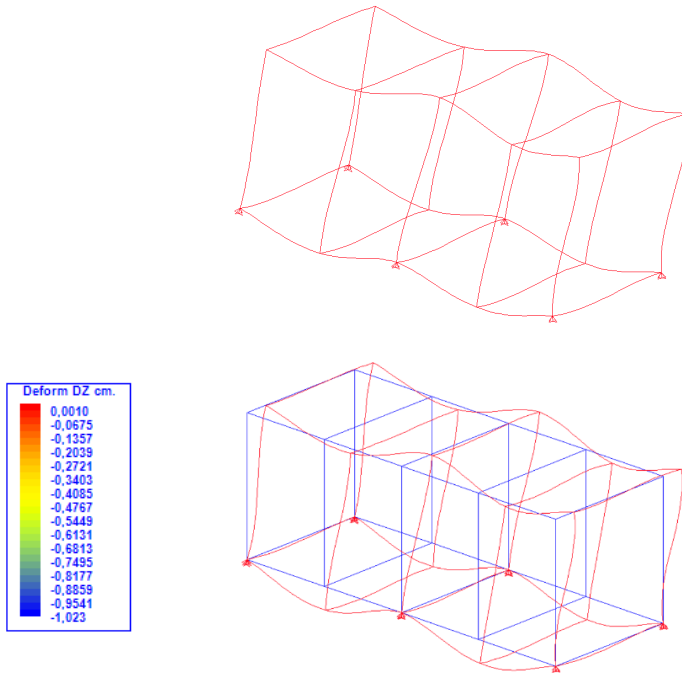
Se presenta un análisis de las deformaciones generadas en el modelo, producidas por diversas combinaciones, e identificando aquellas que generan las mayores magnitudes de deformación. La figura 110 muestra las deformaciones causadas por la Combinación 1 en ELU, acompañadas de una tabla que detalla estas deformaciones. En las figuras 111 y 112 se muestran las deformaciones resultantes de las Combinaciones 9 y 11 en ELU, complementadas con una tabla que indican dichas deformaciones.

Figura 110. ▶
Deformaciones producidas por la Combinación 1 a ELU



| | | ELU- c1 | | | | | |
|-----------------------|-----|-----------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | | Nudo 3 | Nudo 4 | Nudo 15 | Nudo 18 | Nudo 11 | Nudo 20 |
| Traslaciones X | cm | -0,0771 | -0,07752 | -1,74883 | -1,49987 | -1,06504 | -1,06542 |
| Traslaciones Y | cm | 0,00003 | 0,00003 | 0,00001 | -0,00353 | 0,00409 | -0,007 |
| Traslaciones Z | cm | -1,0032 | -1,01548 | -0,06188 | -1,00894 | -0,01368 | -0,01069 |
| Rotaciones X | Rad | 0,001018 | 0,001245 | 0 | -0,000905 | -0,00458 | 0,00459 |
| Rotaciones Y | Rad | -0,001564 | -0,00288 | -0,002449 | -0,002216 | -0,001991 | -0,00164 |
| Rotaciones Z | Rad | -0,000079 | -0,00009 | 0 | -0,002159 | -0,001091 | -0,001136 |

◀ Tabla 28. Valores de las deformaciones producidas por la Combinación 1 a ELU



◀ Figura 111. Deformaciones producidas por la Combinación g a ELU

Figura 112. Deformaciones producidas por la Combinación 11 a ELU

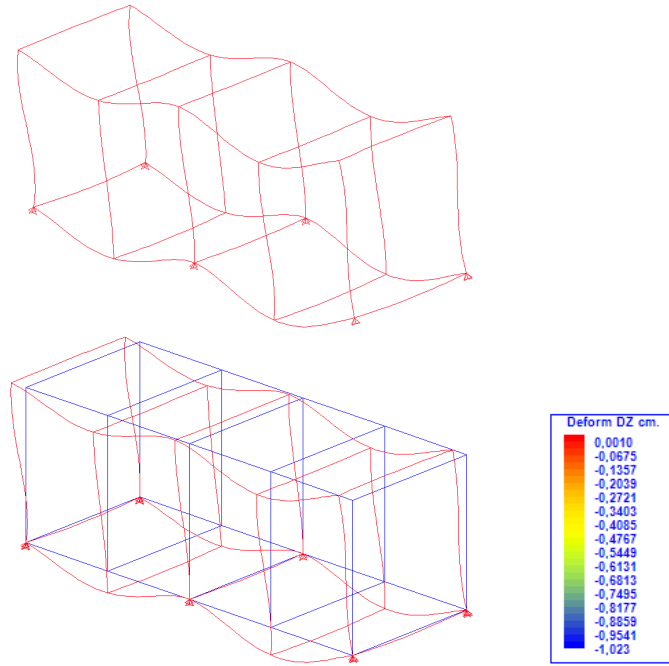


Tabla 29. Valores de las deformaciones producidas por la Combinación 9 y 11 a ELU

| | | ELU- c9 | | | | ELU- c11 | |
|-----------------------|-----|----------|-----------|-----------|----------|-----------|----------|
| | | Nudo 11 | Nudo 13 | Nudo 16 | Nudo 13 | Nudo 12 | Nudo 20 |
| Traslaciones X | cm | -1,77728 | -2,50151 | -2,9185 | 0,00418 | 0,0031 | 0,00289 |
| Traslaciones Y | cm | 0,00268 | 0,00121 | 0 | -0,68062 | -0,6779 | -0,6891 |
| Traslaciones Z | cm | -0,01377 | -0,91455 | -0,05559 | -0,78402 | -0,01167 | -0,01098 |
| Rotaciones X | Rad | -0,0042 | 0,000845 | 0 | 0,000707 | -0,002645 | 0,005811 |
| Rotaciones Y | Rad | -0,0032 | -0,003747 | -0,004201 | 0,000024 | 0,000184 | 0,000184 |
| Rotaciones Z | Rad | 0,001818 | 0,003619 | 0 | 0,000053 | 0,000192 | 0,000414 |

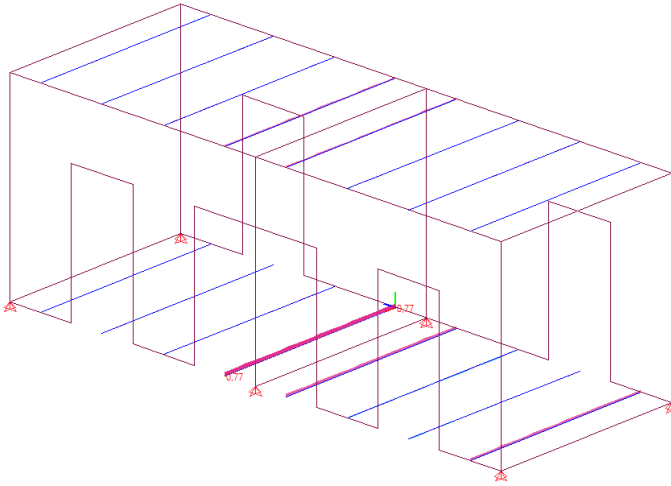
Finalmente, se muestra la flecha de diversas barras en la Combinación 1 y 2 de ELS (T. x).

Tabla 30. Valores de las flechas producidas por la Combinación 1 y 2 en ELS

| | | ELS- c1 | | | | ELS- c2 | |
|----------------------------|----|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| | | Barra 29 | Barra 24 | Barra 33 | Barra 20 | Barra 18 | Barra 35 |
| Extremo inicial | cm | -0,008 | -0,01 | -0,715 | -0,702 | 0 | -0,698 |
| Extremo final | cm | -0,725 | 0,008 | -0,725 | -0,746 | -0,746 | -0,741 |
| Flecha relativa | cm | -0,362 | -0,029 | -0,054 | -0,069 | -0,373 | -0,035 |
| Relación Flecha/Luz | | 1/553 | 1/10284 | 1/5557 | 1/4348 | 1/536 | 1/8565 |

B. Sistema panelado de CLT

Axil Nx



Torsor Nx

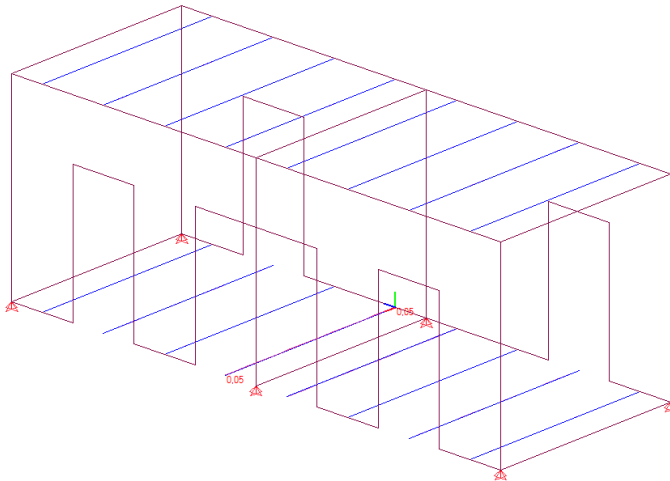
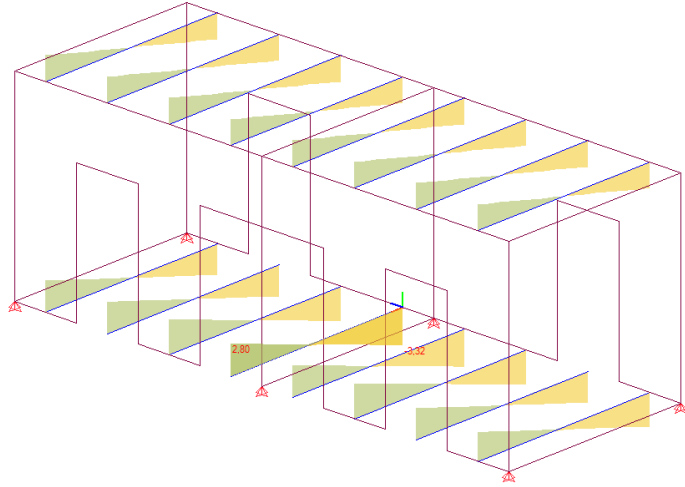
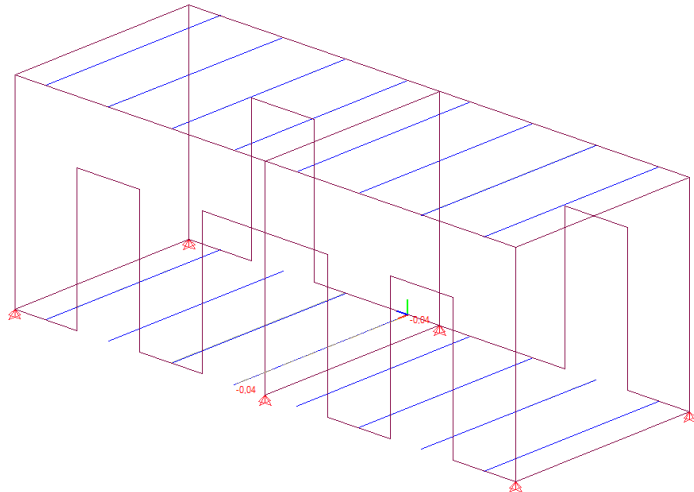


Figura 113. Esfuerzos en barra correspondiente a los soportes resistentes del sistema de CLT para ELU-c1

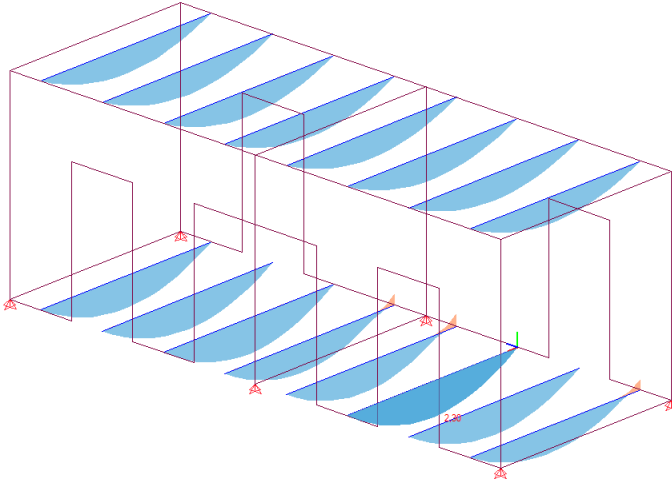
Cortantes Vy



Cortantes Vz



Flectores Mz



Flectores My

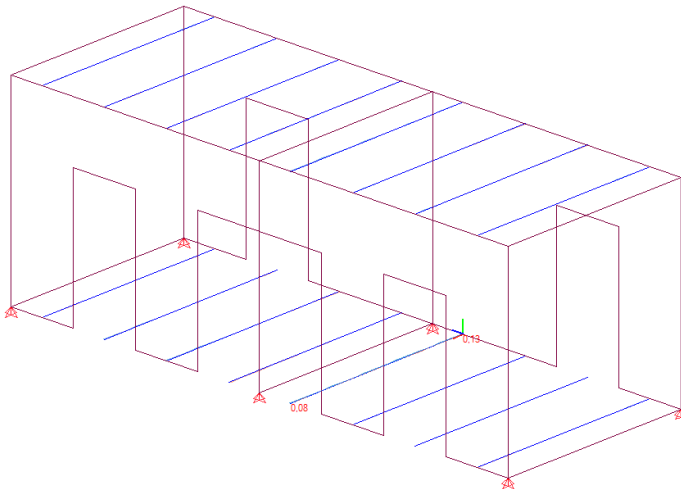
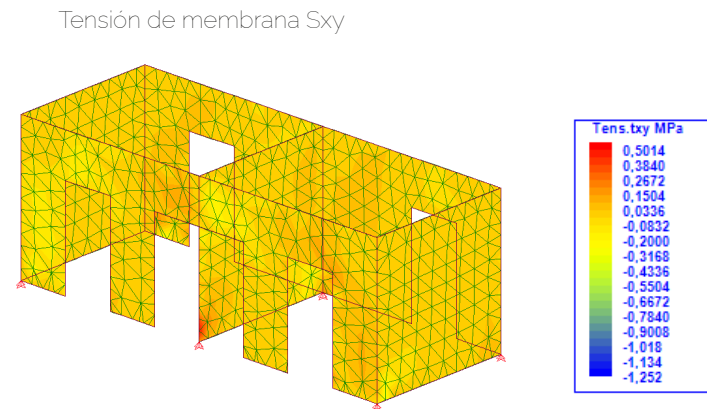
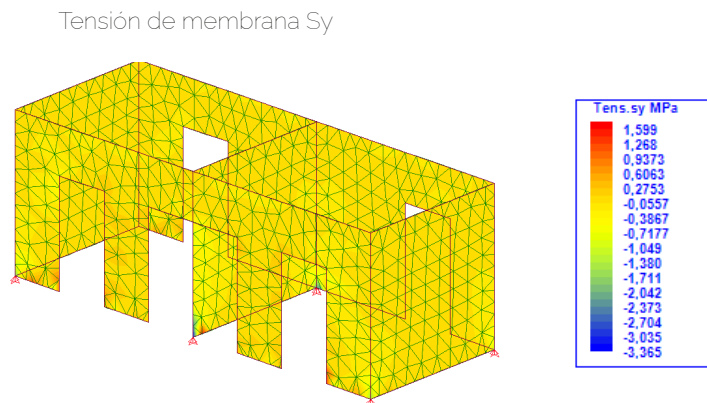
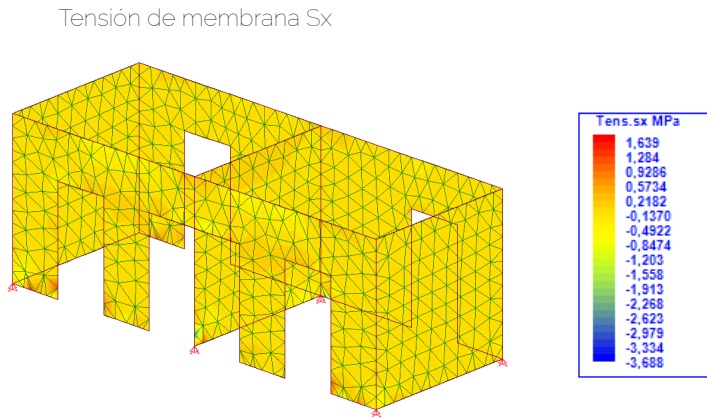
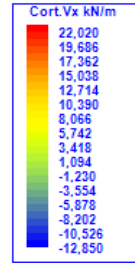
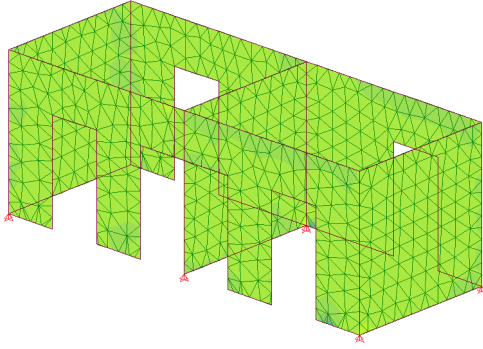


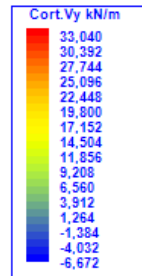
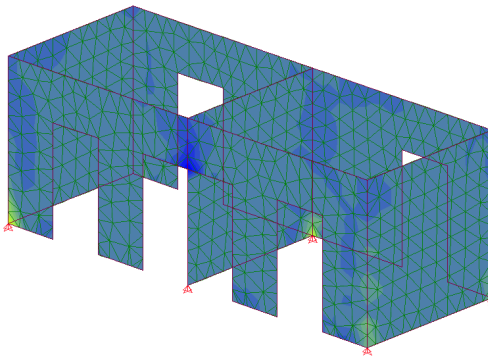
Figura 114. Esfuerzos de láminas de tensión de membrana del sistema de CLT en HIPo1



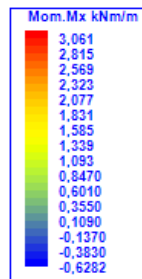
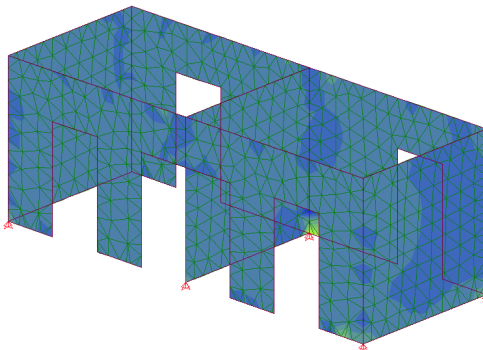
Cortante Vx



Cortante Vy

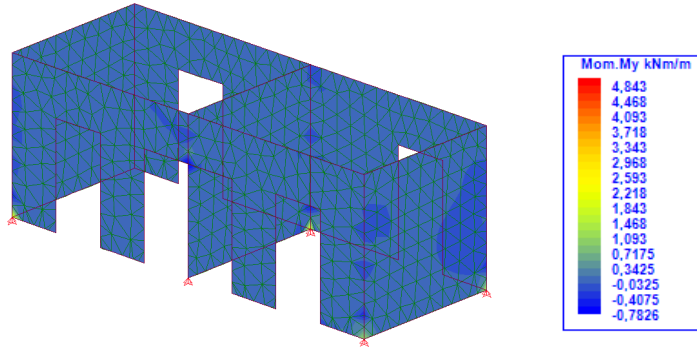


Flexión de placa Mx

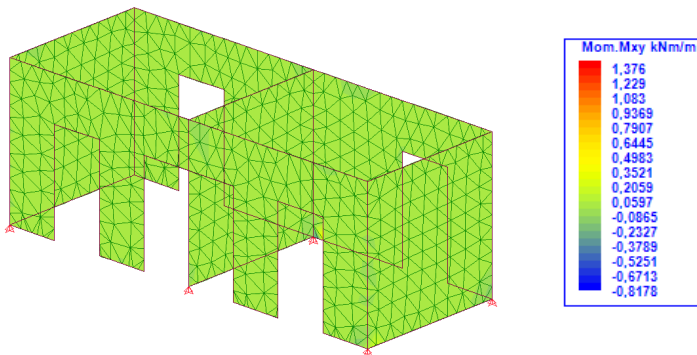


◀ Figura 115.
Esfuerzos de
láminas de flexión
de placa del sistema
de CLT en HIPO1

Flexión de placa M_y



Flexión de placa M_{xy}



Como se ha indicado anteriormente, para la modelización del prototipo de madera contralaminada en el programa, ha sido necesario realizar los elementos horizontales a partir de elementos en barra. A continuación, se muestran el conjunto de esfuerzos en barra para la primera combinación en ELU (T. 31). Al igual que el caso anterior, tras una revisión de todas las combinaciones posibles se ha determinado que esta configuración exhibe los mayores esfuerzos entre todas. Asimismo, se presentan tanto el valor del esfuerzo inicial como del esfuerzo final de tres barras que representan el comportamiento global del módulo.

| | | ELU- c1 | | | | | |
|---------------------|------|----------|-------|----------|-------|----------|-------|
| | | Barra 42 | | Barra 44 | | Barra 45 | |
| | | Inicio | Final | Inicio | Final | Inicio | Final |
| Axil Nx | kN | 0,17 | -0,17 | 0,36 | -0,36 | -1,65 | 1,65 |
| Cortantes Vy | kN | 8,23 | 8,23 | 8,63 | 8,63 | 9,43 | 7,84 |
| Cortantes Vz | kN | -0,19 | 0,19 | -0,11 | 0,11 | -0,05 | 0,05 |
| Flectores Mz | kN-m | 0 | 0 | 0 | 0 | 2,45 | -0,06 |
| Flectores My | kN-m | 0,28 | 0,29 | 0,15 | 0,19 | -0,23 | 0,36 |
| Torsor Mx | kN-m | 0,01 | -0,01 | 0 | 0 | 0,11 | -0,11 |

◀ Tabla 31.
Valores iniciales y finales de esfuerzos en diversas barras en la combinación 1 en ELU

En el caso de este módulo, los elementos verticales se han modelizado a partir de EF, por ello, se muestran los esfuerzos de láminas en dos combinaciones, la combinación 1 y la 4, ambas en ELU (T. 32). En la tabla se aprecian los valores máximos y mínimos, pero también los valores medios, entendidos como aquel valor que predomina en todo el módulo.

| | | ELU- c1 | | | ELU- c4 | | |
|--------------------------------|-------|---------|-------|--------|---------|-------|--------|
| | | Máximo | Medio | Mínimo | Máximo | Medio | Mínimo |
| Tensión de membrana Sx | MPa | 3,948 | -0,1 | -8,226 | 4,078 | 0,05 | -8,338 |
| Tensión de membrana Sy | MPa | 3,703 | -0,1 | -7,268 | 3,63 | -0,05 | -7,622 |
| Tensión de membrana Sxy | MPa | 1,205 | 0,01 | -2,792 | 1,194 | 0,005 | -2,818 |
| Cortante de placa Vx | kN/m | 63,1 | 2,5 | -38,7 | 61,77 | -1,5 | -35,71 |
| Cortante de placa Vy | kN/m | 90,31 | -0,5 | -20,8 | 91,91 | 0,5 | -18,7 |
| Flexión de placa Mx | kNm/m | 8,649 | -0,02 | -1,995 | 8,507 | 0,01 | -1,948 |
| Flexión de placa My | kNm/m | 13,7 | -0,1 | -2,009 | 13,47 | 0,02 | -1,81 |
| Flexión de placa Mxy | kNm/m | 4,08 | 0,02 | -2,387 | 3,876 | -0,02 | -2,464 |

◀ Tabla 32.
Valores máximos, medios y mínimos de esfuerzos de láminas en Combinación 1 y 4 en ELU

Seguidamente, se detallan las reacciones en los seis apoyos del módulo (T. 33). Dado que los apoyos están diseñados como rótulas, no se generan momentos debido a que los grados de rotación son libres. La ausencia de momentos en los puntos de apoyo con rótulas confiere una mayor flexibilidad y adaptabilidad al sistema estructural frente al existente. Esto implica que la estructura puede adaptarse más fácilmente a las variaciones en las cargas aplicadas o a cambios en las condiciones. Al permitir que los puntos de apoyo se ajusten libremente, se reduce la probabilidad de que se produzcan tensiones excesivas o deformaciones no deseadas.

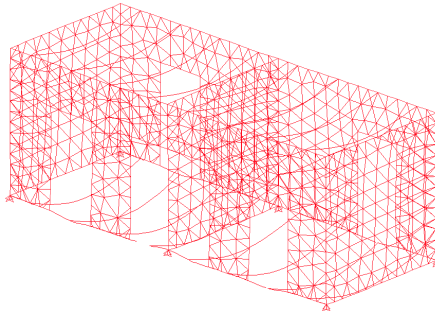
Tabla 33. ▶
Valores de las reacciones en todos los apoyos en la combinación 1 en ELU

| | | ELU- c1 | | | | | |
|------------------|------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | | Apoyo 1 | Apoyo 2 | Apoyo 3 | Apoyo 4 | Apoyo 5 | Apoyo 6 |
| Fuerza X | kN | 13,773 | 27,857 | 13,894 | -10,831 | -21,085 | -10,265 |
| Fuerza Y | kN | -6,342 | 0,4 | 6,319 | -12,846 | -0,089 | 12,558 |
| Fuerza Z | kN | 33,487 | 87,438 | 33,888 | 42,248 | 52,019 | 41,83 |
| Momento X | kN-m | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Momento Y | kN-m | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Momento Z | kN-m | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

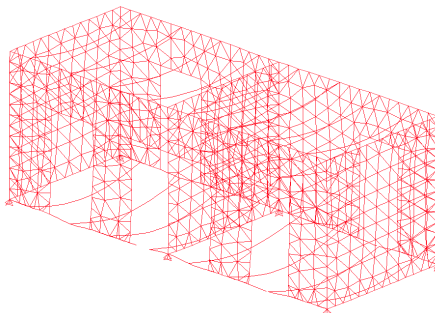
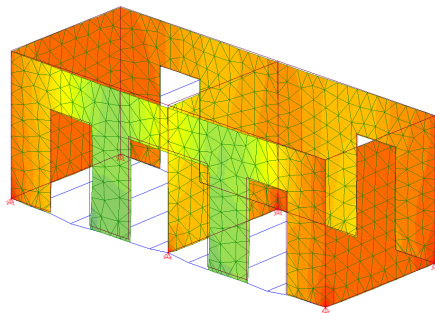
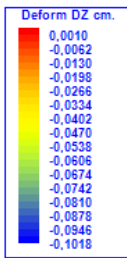
Se presentan las deformaciones generadas en el modelo, producidas por diversas hipótesis, e identificando aquellas que generan las mayores magnitudes de deformación. La figura 116 muestra las deformaciones causadas por la Combinación 1 a ELU, acompañadas de una tabla que detalla estas deformaciones. En las figuras 117 y 118 se muestran las deformaciones resultantes de las Combinaciones 9 y 11 a ELU, complementadas con una tabla que indica dichas deformaciones.

Tabla 34. ▶
Valores de las deformaciones producidas por la Combinación 1 a ELU

| | | ELU- c1 | | | | | |
|-----------------------|-----|-----------|----------|-----------|-----------|----------|-----------|
| | | Nudo 181 | Nudo 564 | Nudo 161 | Nudo 171 | Nudo 32 | Nudo 781 |
| Traslaciones X | cm | -0,04435 | -0,05561 | 0,00006 | -0,00643 | -0,0225 | -0,01279 |
| Traslaciones Y | cm | -0,00211 | -0,0025 | 0,00531 | -0,00096 | 0,00247 | 0,00347 |
| Traslaciones Z | cm | -0,06906 | -0,06018 | -0,01085 | -0,02446 | -0,03028 | -0,06382 |
| Rotaciones X | Rad | 0,000012 | 0,00008 | -0,000046 | -0,000006 | 0,000437 | 0,000105 |
| Rotaciones Y | Rad | -0,000447 | 0,000414 | 0,000006 | 0,000026 | 0,000066 | 0,000223 |
| Rotaciones Z | Rad | 0,000059 | 0,000107 | 0,000087 | 0,000053 | 0,000185 | -0,000216 |



◀ Figura 116.
Deformaciones
producidas por la
Combinación 1 a
ELU



◀ Figura 117.
Deformaciones
producidas por la
Combinación 9 a
ELU

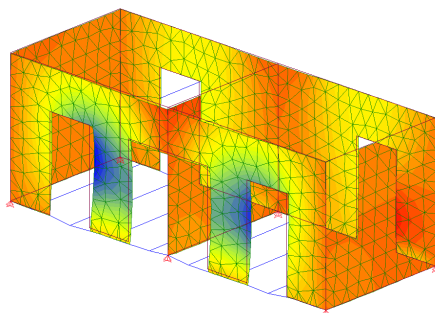
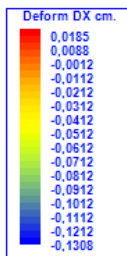


Figura 118. Deformaciones producidas por la Combinación 11 a ELU

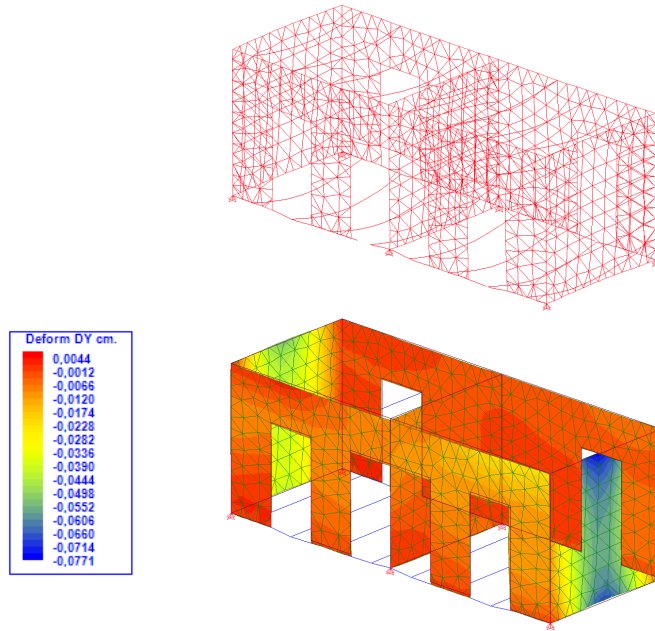


Tabla 35. Valores de las deformaciones producidas por la Combinación 9 y 11 a ELU

| | | ELU- c9 | | | ELU- c11 | | |
|-----------------------|-----|-----------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | | Nudo 405 | Nudo 564 | Nudo 652 | Nudo 118 | Nudo 305 | Nudo 720 |
| Traslaciones X | cm | -0,12902 | -0,09505 | -0,04286 | 0,00037 | -0,00149 | 0,00124 |
| Traslaciones Y | cm | -0,00014 | -0,00238 | 0,00251 | -0,0681 | -0,05734 | -0,04425 |
| Traslaciones Z | cm | -0,05725 | -0,05232 | -0,01856 | -0,00879 | -0,00794 | -0,00776 |
| Rotaciones X | Rad | 0,000033 | 0,000068 | -0,000052 | -0,000282 | 0,0000021 | 0,000131 |
| Rotaciones Y | Rad | 0,000007 | 0,000635 | 0,000095 | -0,000011 | 0,000011 | 0,000007 |
| Rotaciones Z | Rad | -0,000599 | 0,000157 | 0,000095 | 0,000041 | 0,000088 | -0,000211 |

Finalmente, se muestra la flecha de diversas barras en la Combinación 1 y 2 de ELS (T. 36).

Tabla 36. Valores de las flechas producidas por la Combinación 1 y 2 en ELS

| | | ELS- c1 | | | ELS- c2 | | |
|----------------------------|----|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| | | Barra 42 | Barra 45 | Barra 56 | Barra 51 | Barra 53 | Barra 48 |
| Extremo inicial | cm | -0,011 | -0,014 | -0,017 | -0,04 | -0,015 | -0,046 |
| Extremo final | cm | -0,017 | -0,044 | -0,032 | -0,036 | -0,038 | -0,065 |
| Flecha relativa | cm | -0,226 | -0,193 | -0,155 | -0,155 | -0,155 | -0,226 |
| Relación Flecha/Luz | | 1/1326 | 1/558 | 1/1940 | 1/1940 | 1/1940 | 1/1326 |

6.5.4. Análisis y comparación de resultados

En este apartado, se examina el comportamiento estructural de cada sistema, así como la comparativa entre el sistema modular de acero y el sistema de CLT, con el fin de entender mejor sus diferencias, y realizar la ampliación vertical más adecuada.

En cuanto al sistema modular de acero, se evidencia que los montantes centrales soportan las mayores cargas axiales dentro de la estructura. Esta concentración de fuerzas en dichos montantes ocasiona reacciones significativas en la dirección vertical, es decir, a lo largo del eje z, en los apoyos. Estas reacciones tienen implicación directa en la interacción en la ampliación vertical entre la estructura existente, y el módulo. Por lo tanto, se deben considerar estas reacciones al diseñar y planificar la interacción entre los diferentes módulos que componen la ampliación, y la estructura inferior.

Por otro lado, si hablamos del sistema de CLT, al igual que con el sistema modular de acero, las mayores reacciones también se concentran en los puntos intermedios. Pero en contraste, en el caso del CLT, se posiciona en la parte interior central del módulo, donde el apoyo ejerce una influencia significativa y claramente distinguible del resto de los puntos de apoyo. Esta distinción se debe a la conexión entre el cerramiento posterior del módulo y el soporte vertical intermedio, que genera una carga predominante en esa ubicación específica. Por ende, es crucial prestar especial atención a los puntos donde interactúan varios elementos estructurales. Es importante examinar minuciosamente estos puntos de interacción para realizar una conexión estructural efectiva y segura.

Para facilitar la comprensión y permitir una comparación, se han organizado los resultados del cálculo estructural en la siguiente tabla (T. 37). Esta tabla muestra los valores máximos de las deformaciones en las direcciones x, y, z, tanto positivas como negativas, para todas las combinaciones a ELS en ambos sistemas, lo que proporciona una visión global del comportamiento estructural. La información contenida en la tabla refleja los valores obtenidos, ofreciendo un panorama más completo y detallado de la respuesta estructural de cada sistema. En la tabla se han resaltado los valores más críticos de cada deformación, y a su vez, se ha indicado en rojo la mayor deformación. Luego, se ha establecido la relación entre valores a partir del valor equivalente en el sistema contrario. Cuando esta relación se acerca al 100%, los valores son más similares entre sí. En cambio, cuanto más se aleja, mayor es la diferencia entre los valores.

Tabla 37.  Tabla comparativa de deformaciones según combinación

| | | Sistema porticado acero | | Sistema panelado CLT | | Relación |
|-----------------------|----|-------------------------|----------------|----------------------|----------|-----------------|
| | | Positivo | Negativo | Positivo | Negativo | % |
| ELS-C1 | | | | | | |
| Deformación Dx | cm | 0,001 | -1,174 | 0,0245 | -0,0536 | 2.190,30 |
| Deformación Dy | cm | 0,0006 | -0,006 | 0,0128 | -0,0139 | |
| Deformación Dz | cm | 0,001 | -0,7349 | 0,001 | -0,0723 | |
| ELS-C2 | | | | | | |
| Deformación Dx | cm | 1,181 | -0,001 | 0,0616 | -0,0167 | 1.917,21 |
| Deformación Dy | cm | 0,0058 | -0,0058 | 0,0128 | -0,0129 | |
| Deformación Dz | cm | 0,001 | -0,7514 | 0,001 | -0,0733 | |
| ELS-C3 | | | | | | |
| Deformación Dx | cm | 0,0044 | -0,0013 | 0,0221 | -0,0197 | |
| Deformación Dy | cm | 0,001 | -0,2803 | 0,0093 | -0,0321 | |
| Deformación Dz | cm | 0,001 | -0,7874 | 0,001 | -0,0721 | 1.092,09 |
| ELS-C4 | | | | | | |
| Deformación Dx | cm | 0,0044 | -0,0013 | 0,0413 | -0,0199 | |
| Deformación Dy | cm | 0,2803 | -0,001 | 0,0391 | -0,0104 | |
| Deformación Dz | cm | 0,001 | -0,7874 | 0,001 | -0,0737 | 1.068,39 |
| ELS-C5 | | | | | | |
| Deformación Dx | cm | 0,001 | -1,174 | 0,0194 | -0,0523 | 2.244,74 |
| Deformación Dy | cm | 0,0057 | -0,0057 | 0,0115 | -0,0127 | |
| Deformación Dz | cm | 0,001 | -0,6795 | 0,001 | -0,0637 | |
| ELS-C6 | | | | | | |
| Deformación Dx | cm | 1,181 | -0,001 | 0,0586 | -0,0139 | 2.015,36 |
| Deformación Dy | cm | 0,0055 | -0,0055 | 0,0115 | -0,0126 | |
| Deformación Dz | cm | 0,001 | -0,696 | 0,001 | -0,0647 | |

| | | Sistema porticado acero | | Sistema panelado CLT | | Relación % |
|-----------------------|----|-------------------------|----------|----------------------|----------|-----------------|
| | | Positivo | Negativo | Positivo | Negativo | |
| ELS-C7 | | | | | | |
| Deformación Dx | cm | 0,0044 | -0,0013 | 0,0172 | -0,0169 | |
| Deformación Dy | cm | 0,001 | -0,28 | 0,0081 | -0,0322 | |
| Deformación Dz | cm | 0,001 | -0,7321 | 0,001 | -0,0635 | 1.152,91 |
| ELS-C8 | | | | | | |
| Deformación Dx | cm | 0,0044 | -0,0013 | 0,0363 | -0,0172 | |
| Deformación Dy | cm | 0,28 | -0,001 | 0,0385 | -0,0092 | |
| Deformación Dz | cm | 0,001 | -0,7321 | 0,001 | -0,0651 | 1.124,58 |
| ELS-C9 | | | | | | |
| Deformación Dx | cm | 0,001 | -1,958 | 0,0141 | -0,0876 | 2.235,16 |
| Deformación Dy | cm | 0,0063 | -0,0062 | 0,0114 | -0,0125 | |
| Deformación Dz | cm | 0,001 | -0,6672 | 0,001 | -0,036 | |
| ELS-C10 | | | | | | |
| Deformación Dx | cm | 1,965 | -0,001 | 0,0859 | -0,0118 | 2.287,54 |
| Deformación Dy | cm | 0,0061 | -0,0061 | 0,0132 | -0,0141 | |
| Deformación Dz | cm | 0,001 | -0,6947 | 0,001 | -0,0646 | |
| ELS-C11 | | | | | | |
| Deformación Dx | cm | 0,0044 | -0,0014 | 0,0264 | -0,0169 | |
| Deformación Dy | cm | 0,001 | -0,4634 | 0,0056 | -0,0521 | |
| Deformación Dz | cm | 0,001 | -0,7548 | 0,001 | -0,0626 | 1.205,75 |
| ELS-C12 | | | | | | |
| Deformación Dx | cm | 0,0044 | -0,0014 | 0,0421 | -0,0284 | |
| Deformación Dy | cm | 0,4635 | -0,001 | 0,0614 | -0,0067 | |
| Deformación Dz | cm | 0,001 | -0,7548 | 0,001 | -0,0652 | 1.157,67 |

Al observar estos resultados, se muestra que las mayores deformaciones se encuentran en el sistema modular de acero. Sin embargo, no solo son las mayores deformaciones, sino que también abarca todos los valores más desfavorables. Cabe señalar que estas deformaciones se concentran especialmente en el eje x, probablemente incrementado por la acción del viento, tanto de N>S como de S>N. De hecho, el valor máximo se registra en las combinaciones 9 y 10, claramente atribuibles a la acción del viento como variable principal. Estos hallazgos corroboran lo mencionado en el capítulo anterior, donde se destacaba cómo las fuerzas laterales generaban efectos adversos en los sistemas modulares, dando lugar al *comportamiento de balanceo*. Esta revelación subraya la importancia de considerar cuidadosamente los efectos del viento durante el diseño y la planificación estructural, con el fin de mitigar los riesgos asociados y garantizar la estabilidad y seguridad óptimas del sistema.

Se observa una diferencia notable en las deformaciones entre ambos sistemas, con una relación del 1640,98 % en el sistema de acero en comparación con el de madera contralaminada. Sin embargo, es importante abordar esta comparación con cautela, ya que el sistema menos favorable utiliza menos elementos estructurales al estar compuesto por elementos lineales, si consideramos los metros cuadrados de material. En cambio, el sistema más favorecido basa sus componentes en elementos superficiales, lo que naturalmente resulta en una mayor cantidad de elementos que contribuyen al comportamiento y estabilidad estructural. Este tipo de configuración, al basar sus componentes en elementos superficiales, cuenta con una disposición más compleja que distribuye las cargas de manera más eficiente, lo que resulta en deformaciones menores en comparación con el sistema de acero. Esta distinción en la configuración de elementos destaca la necesidad de evaluar no solo las deformaciones, sino también la eficiencia y la resistencia global de cada sistema, considerando el equilibrio entre la cantidad de elementos y su capacidad para proporcionar soporte estructural adecuado.

En relación con esto, resulta necesario examinar la siguiente tabla que detalla el área, volumen y peso de los elementos estructurales y constructivos que componen los respectivos módulos (T. 38).

| | | Sistema porticado acero | Sistema panelado CLT | Relación % |
|------------------------------|----------------|-------------------------|----------------------|------------|
| EF1D | | | | |
| Volumen | m ³ | 0,16 | 6,13 | |
| Peso | T | 1,251 | 2,575 | |
| EF2D | | | | |
| Area | m ² | - | 61,45 | |
| Volumen | m ³ | - | 5,53 | |
| Peso | T | | 2,323 | |
| Peso Total Estructura | T | 1,251 | 4,898 | 391,53 |
| Soporte Resistente | | | | |
| Area | m ² | 48 | - | |
| Peso | T | 8,64 | - | |
| Fachada | | | | |
| Area | m ² | 64,90 | - | |
| Peso | T | 6,49 | - | |
| Peso Total Objeto | T | 16,38 | 4,898 | 334,44 |

◀ Tabla 38.
Tabla comparativa del peso entre los sistemas evaluados

Como se mencionaba anteriormente, el sistema porticado se caracteriza por tener una notable minoría de elementos estructurales en comparación con el panelado. Esta distinción se refleja claramente en el peso total de cada módulo, donde se observa una relación del 391,53% en el peso total del módulo de madera contralaminada en comparación con el sistema de acero. Este aumento se atribuye principalmente a la mayor cantidad de elementos estructurales presentes en el módulo.

No obstante, cuando comparamos dos objetos, como en este caso una estructura de acero y otra de madera contralaminada, no es suficiente comparar únicamente el peso de la estructura en sí, sino que, hay que incluir el peso del soporte resistente horizontal y de la fachada en el sistema de acero. De esta forma, el objeto final es el mismo para ambos módulos. En el caso específico del prototipo de CLT, estos componentes ya están incluidos en su estructura básica. Pero en el de acero, se ha incluido el soporte resistente horizontal, y el elemento de fachada. Los pesos se han extraído de la normativa. Por lo tanto, cuando comparamos el peso total de ambos objetos finales, vemos que el módulo de acero tiene un aumento significativo del 334,44% en comparación con el panelado de CLT.

Este análisis resalta la importancia de considerar no solo el rendimiento estructural, sino también la eficiencia en términos de peso y volumen al evaluar y comparar diferentes sistemas constructivos. Así, aunque el módulo de madera contralaminada pueda tener un peso total mayor, en términos estructurales, el objeto final más pesado es el de acero.

A continuación, se muestra una tabla que analiza los valores de las reacciones en los puntos de apoyo de ambos sistemas (T. 39). En la tabla, se han resaltado los valores más altos de las reacciones, enfatizando que, debido a que los puntos de apoyo se consideran rótulas, los momentos son nulos y, por lo tanto, no se han incluido en el análisis.

Además, se ha calculado y destacado la relación porcentual entre los valores de las reacciones de cada sistema, lo que proporciona una perspectiva clara de las disparidades. Es importante destacar que el enfoque principal no se centra únicamente en el valor máximo de la fuerza en los puntos de apoyo, sino en aquellos valores que muestran la mayor discrepancia porcentual entre los dos sistemas. Lo que se pretende es, identificar las mayores diferencias entre sistemas, ya que, si los valores son elevados, pero similares, la situación de ambos sistemas es la misma.

Tabla 39. ▶
Tabla comparativa
de las reacciones en
los apoyos

| | Sistema porticado acero | Sistema panelado CLT | Relación % | Sistema porticado acero | Sistema panelado CLT | Relación % |
|-----------------|-------------------------------|----------------------------|-----------------|-------------------------------|----------------------------|----------------|
| Apoyo 1 | | | Apoyo 2 | | | |
| Fuerza X | 3,988 kN | 13,773 kN | 345,36 | 3,605 kN | 27,857 kN | 772,73 |
| Fuerza Y | -6,855 kN | -6,342 kN | 108,09 | 0 kN | 0,4 kN | 40,00 |
| Fuerza Z | 47,583 kN | 33,487 kN | 142,09 | 98,707 kN | 87,438 kN | 112,89 |
| Apoyo 3 | | | Apoyo 4 | | | |
| Fuerza X | 3,988 kN | 13,894 kN | 4.877,53 | 3,328 kN | -10,831 kN | -325,45 |
| Fuerza Y | 6,855 kN | 6,319 kN | 108,48 | -5,952 kN | -12,846 kN | 215,83 |
| Fuerza Z | 47,583 kN | 33,888 kN | 140,41 | 40,073 kN | 42,248 kN | 105,43 |
| Apoyo 5 | | | Apoyo 6 | | | |
| Fuerza X | 4,121 kN | -21,085 kN | -511,65 | 3,328 kN | -10,265 kN | -308,44 |
| Fuerza Y | 0 kN | -0,089 kN | 8,90 | 5,952 kN | 12,558 kN | 210,99 |
| Fuerza Z | 96,949 kN | 52,019 kN | 186,37 | 40,074 kN | 41,83 kN | 104,38 |

En términos globales, se observa que alrededor de un 40% de los valores de las reacciones en los puntos de apoyo son similares entre los dos sistemas estructurales, con una relación que oscila en torno al 110%. Sin embargo, aproximadamente un tercio de los valores muestran una relación de más del 300% entre ambos sistemas.

Junto a ello, se destacan dos cuestiones. En primer lugar, se aprecia que la fuerza en la dirección x es la que muestra la mayor diferencia entre el sistema de acero y el de CLT. Esto se puede deber a la presión que ejercen los paneles en esta dirección, es decir, el intermedio y los dos medianeros, haciendo el efecto de viga de gran canto y por tanto, incrementando los esfuerzos en los puntos de apoyos. Para contrarrestar este efecto, se deberían cambiar los apoyos articulados por rótulas con libre desplazamiento en un lado. Sin embargo, esto provocaría que todo el esfuerzo lateral lo absorbiese el apoyo articulado, lo que podría sobrecargarlo y penalizarlo. Es decir, aunque esta modificación podría reducir los esfuerzos en los apoyos, también podría aumentar la carga sobre un único punto, lo que necesitaría ser cuidadosamente considerado y evaluado.

La segunda, es que los mayores esfuerzos se producen en la direccional vertical z en el sistema de acero. Esto sugiere que el sistema porticado de acero tiene una mejor capacidad para transmitir los esfuerzos horizontales, como los provocados por el viento o el movimiento lateral, probablemente debido a la mayor rigidez proporcionada por las uniones rígidas del propio módulo, y a las viguetas que realizan la función de arriostamiento en sentido horizontal. En cambio, también significa que el peso propio de la estructura de acero ejerce una carga significativa sobre ella misma.

6.6. Postprocesado. Dimensionado, comprobación y peritación

6.6.1. Cumplimiento del dimensionado

El dimensionado final de los módulos, se ha establecido tras un proceso de cálculo y verificación en el que se han realizado ajustes de forma iterativa. Por ello, todos los cálculos cumplen con los estándares establecidos por la normativa correspondiente. Este proceso asegura que los módulos están diseñados de acuerdo con los requisitos y especificaciones técnicas adecuadas, garantizando su seguridad y funcionalidad.

A. Sistema porticado de acero

La comprobación de barras se ha realizado conforme la normativa del DB-SE-A del CTE. Para poder contrastar y analizar los resultados obtenidos de forma detallada, se van a exponer las comprobaciones de todas las barras siguiendo un orden lógico. Por ello, se presentarán los resultados en el siguiente orden: cuadro inferior, cuadro superior, pilares de esquina, montantes verticales y viguetas inferiores y superiores. Además, se destacarán visualmente aquellos casos en los que los porcentajes de resistencia se encuentren cercanos al límite, o por el contrario lejanos, utilizando una codificación de colores para facilitar su identificación. Para ello, se establece la siguiente jerarquía:

- Verde oscuro: optimización elevada del perfil (80%-100%)
- Verde claro: optimización media del perfil (60%-79%)
- Amarillo: optimización baja del perfil (0%-59%)

Seguidamente, se presentan las múltiples tablas con el cumplimiento del dimensionado de todos los perfiles (T. 40-44).

Tabla 40. ►
Comprobaciones
del cuadro inferior
del módulo de
acero

| Cuadro inferior (PHC 120x120x5) | | | | |
|--|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| | Barra 16 | Barra 15 | Barra 11 | Barra 23 |
| Tens. Max. Vmises | | | | |
| Valor | 254,51 | 104,42 | 253,95 | 104,42 |
| Porcentaje | 97,18% | 39,87% | 96,96% | 39,87% |
| Coef. Resistencia | 0,96 | 0,4 | 0,95 | 0,4 |
| Compr. Pandeo Lateral | ok | ok | ok | ok |
| Compr. a Flecha | ok | ok | ok | ok |
| Comb. ELS 1 | | | | |
| Flecha | 7,360775 mm | 0,97953 mm | 7,22963 mm | 0,97953 mm |
| f/L | 1086,842 | 3062,662 | 1106,556 | 3062,664 |
| Comb. ELS 4 | | | | |
| Flecha | 7,888165 mm | 0,841103 mm | 7,592826 mm | 0,84095 mm |
| f/L | 1014,177 | 3566,742 | 1053,626 | 3567,353 |
| Comb. ELS 12 | | | | |
| Flecha | 7,560437 mm | 0,841 mm | 7,265099 mm | 0,84093 mm |
| f/L | 1058,14 | 3567,166 | 1101,155 | 3567,479 |
| Flecha Instantánea | 2535,444 | 8917,915 | 2634,065 | 6415,688 |
| Flecha Activa | 2253,728 | 7927,036 | 2341,392 | 5702,834 |
| Flecha Total | 1193,15 | 4193,666 | 1239,56 | 3019,147 |

| Cuadro superior (PHC 120x120x5) | | | | |
|---------------------------------|-----------|------------|-------------|------------|
| | Barra 29 | Barra 24 | Barra 25 | Barra 36 |
| Tens. Max. Vmises | | | | |
| Valor | 227,51 | 119,3 | 223,57 | 119,3 |
| Porcentaje | 86,87% | 45,55% | 85,36% | 45,55% |
| Coef. Resistencia | 0,86 | 0,45 | 0,84 | 0,45 |
| Compr. Pandeo Lateral | ok | ok | ok | ok |
| Compr. a Flecha | ok | ok | ok | ok |
| Comb. ELS 1 | | | | |
| Flecha | 7,2004 mm | 0,3959 mm | 7,08364 mm | 0,3959 mm |
| f/L | 1111,036 | 7577,161 | 1129,363 | 7577,175 |
| Comb. ELS 4 | | | | |
| Flecha | 7,7185 mm | 0,0598 mm | 7,458829 mm | 0,0598 mm |
| f/L | 1036,464 | 50161,77 | 1072,554 | 50041,21 |
| Comb. ELS 12 | | | | |
| Flecha | 7,4096 mm | 0,05973 mm | 7,145146 mm | 0,05998 mm |
| f/L | 1079,673 | 50217,8 | 1118,892 | 50016,63 |
| Flecha Instantánea | 2591,161 | 11977,75 | 2681,386 | 11977,76 |
| Flecha Activa | 2303,254 | 10646,89 | 2383,454 | 10646,9 |
| Flecha Total | 1219,37 | 5636,587 | 1261,829 | 5636,594 |

◀ Tabla 41.
Comprobaciones
del cuadro superior
del módulo de
acero

| Pilares esquina (PHC 120x120x5) | | | | |
|---------------------------------|---------|---------|---------|----------|
| | Barra 1 | Barra 2 | Barra 9 | Barra 10 |
| Tens. Max. Vmises | | | | |
| Valor | 196,27 | 202,84 | 196,27 | 202,84 |
| Porcentaje | 74,94% | 77,45% | 74,94% | 77,45% |
| Coef. Resistencia | 0,75 | 0,77 | 0,75 | 0,77 |
| Coef. Pandeo | 0,32 | 0,33 | 0,32 | 0,33 |

◀ Tabla 42.
Comprobaciones
de los pilares de
esquina del módulo
de acero

Tabla 43. Comprobaciones de los montantes verticales del módulo de acero

| Montantes verticales (PHC 60x60x5) | | | | | | |
|------------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | Barra 3 | Barra 4 | Barra 5 | Barra 6 | Barra 7 | Barra 8 |
| Tens. Max. Vmises | | | | | | |
| Valor | 67,26 | 69,14 | 115,56 | 116,28 | 67,26 | 69,14 |
| Porcentaje | 25,68% | 26,40% | 44,12% | 44,40% | 25,68% | 26,40% |
| Coef. Resistencia | 0,26 | 0,26 | 0,44 | 0,44 | 0,26 | 0,26 |
| Coef. Pandeo | 0 | 0 | 0,35 | 0,35 | 0 | 0 |

Tabla 44. Comprobaciones de viguetas inferiores y superiores del módulo de acero

| | Viguetas inferiores (PHC 60x60x5) | | | Viguetas superiores (PHC 60x60x5) | | |
|------------------------------|-----------------------------------|----------|----------|-----------------------------------|----------|----------|
| | Barra 20 | Barra 21 | Barra 22 | Barra 33 | Barra 34 | Barra 35 |
| Tens. Max. Vmises | | | | | | |
| Valor | 50,6 | 55,56 | 50,6 | 85,67 | 58,36 | 85,67 |
| Porcentaje | 19,32% | 21,21% | 19,32% | 32,71% | 22,28% | 32,71% |
| Coef. Resistencia | 0,19 | 0,21 | 0,19 | 0,33 | 0,22 | 0,33 |
| Compr. Pandeo Lateral | ok | ok | ok | ok | ok | ok |
| Compr. a Flecha | ok | ok | ok | ok | ok | ok |
| Comb. ELS 1 | | | | | | |
| Flecha | 0,8782mm | 0,8065mm | 0,8782mm | 0,5893mm | 0,5737mm | 0,5894mm |
| f/L | 3416,015 | 3719,64 | 3415,771 | 5090,223 | 5228,702 | 5089,64 |
| Comb. ELS 4 | | | | | | |
| Flecha | 0,6805mm | 0,4967mm | 0,6805mm | 0,3157mm | 0,1926mm | 0,3158mm |
| f/L | 4408,217 | 6039,716 | 4408,193 | 9500,066 | 15575,25 | 9499,674 |
| Comb. ELS 10 | | | | | | |
| Flecha | 1,1767mm | 1,1306mm | 1,1767mm | 0,8874mm | 0,9049mm | 0,8874mm |
| f/L | 2549,464 | 2653,437 | 2549,419 | 3380,552 | 3315,147 | 3380,496 |
| Flecha Instantánea | 6373,659 | 6633,592 | 6373,548 | 8451,381 | 8287,867 | 8451,239 |
| Flecha Activa | 5665,474 | 5896,527 | 5665,376 | 7512,339 | 7366,994 | 7512,213 |
| Flecha Total | 2999,369 | 3121,691 | 2999,317 | 3977,12 | 3900,173 | 3977,054 |

B. Sistema panelado de CLT

La comprobación del prototipo de madera contralaminada se ha realizado conforme la normativa del DB-SE-M del CTE, y del Eurocódigo 5. Se presentan los datos de las barras, las cuales modelizan el soporte resistente horizontal. En los resultados se detalla el cumplimiento a Resistencia y a Flecha, al igual que los diferentes índices que muestran el cumplimiento de dichas comprobaciones. Además, se destaca el grado de cumplimiento a partir de una codificación de colores, se establece la siguiente jerarquía:

- Verde oscuro: optimización elevada del perfil (0,8-1)
- Verde claro: optimización media del perfil (0,6-0,79)
- Amarillo: optimización baja del perfil (0-0,59)

Seguidamente, se presenta la tabla con el cumplimiento del dimensionado de las barras (T. 45-46).

| | Soporte resistente inferior (P125.5) | | | | Soporte resistente superior (P125.5) | | | |
|-----------------------------|--------------------------------------|---------|---------|---------|--------------------------------------|----------|----------|----------|
| | Barra 3 | Barra 5 | Barra 7 | Barra 9 | Barra 11 | Barra 13 | Barra 15 | Barra 17 |
| Compr. a Resistencia | ok | ok | ok | ok | ok | ok | ok | ok |
| Compr. a Flecha | ok | ok | ok | ok | ok | ok | ok | ok |
| Comb. ELU 1 | | | | | | | | |
| kmod | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 |
| lflex | 0,14 | 0,14 | 0,12 | 0,14 | 0,09 | 0,09 | 0,09 | 0,09 |
| lcort | 0,06 | 0,06 | 0,07 | 0,06 | 0,04 | 0,04 | 0,04 | 0,04 |
| ltors | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Comb. ELU 4 | | | | | | | | |
| kmod | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 |
| lflex | 0,14 | 0,14 | 0,12 | 0,14 | 0,09 | 0,09 | 0,09 | 0,09 |
| lcort | 0,06 | 0,06 | 0,07 | 0,06 | 0,04 | 0,04 | 0,04 | 0,04 |
| ltors | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Comb. ELU 10 | | | | | | | | |
| kmod | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 |
| lflex | 0,11 | 0,12 | 0,10 | 0,10 | 0,08 | 0,08 | 0,08 | 0,08 |
| lcort | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,03 |
| ltors | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

◀ Tabla 45. Comprobaciones del módulo de los elementos horizontales de CLT

| Comb. ELS 1 | | | | | | | | |
|--------------------|------|------|------|-------|------|------|------|------|
| Flecha | 2,26 | 2,39 | 1,84 | 2,27 | 1,55 | 1,55 | 1,55 | 1,55 |
| f/L | 1325 | 1258 | 1630 | 1324 | 1940 | 1938 | 1937 | 1939 |
| Comb. ELS 9 | | | | | | | | |
| Flecha | 1,91 | 2,03 | 1,57 | 1,191 | 1,37 | 1,37 | 1,37 | 1,37 |
| f/L | 1571 | 1476 | 1912 | 1568 | 2190 | 2185 | 2183 | 2188 |

Tabla 46. ▶
Comprobaciones
del módulo de los
elementos verticales
de CLT

| Soporte resistente vertical (P90.3) | | | | | | | |
|--|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|----------------|
| | ELU c1 | ELU c2 | ELU c4 | ELU c6 | ELU c8 | ELU c9 | ELU c11 |
| Tens. Max. Vmises | ok | ok | ok | ok | ok | ok | ok |
| Valor | 9,566MPa | 9,086MPa | 9,59MPa | 8,087MPa | 8,644MPa | 8,697MPa | 6,801MPa |
| Porcentaje | 62,24% | 59% | 62,43% | 52,65% | 56% | 56,62% | 44,28% |
| Compr. a Resistencia | ok | ok | ok | ok | ok | ok | ok |
| kmod | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 |
| lflex | 0,62 | 0,59 | 0,62 | 0,53 | 0,56 | 0,57 | 0,45 |
| lcort | 0,6 | 0,61 | 0,6 | 0,52 | 0,51 | 0,5 | 0,44 |
| Compr. a Flecha | ok | ok | ok | ok | ok | ok | ok |

6.6.2. Redimensionado

A. Sistema porticado de acero

Comprobado el cumplimiento de los perfiles del módulo, y teniendo en cuenta su porcentaje, se procede a optimizar al máximo posible cada uno de ellos. De esta forma, lo que se pretende es aligerar al máximo la carga estructural y comprobar si realmente existe una variación significativa en el peso total. Se inicia así un proceso para maximizar el rendimiento estructural.

Este proceso implica analizar cada perfil, buscando reducir su sección, esto conlleva la reducción del peso total de la estructura, intentando alcanzar un equilibrio entre la carga que debe soportar la estructura y las secciones del módulo. La tabla que se presenta a continuación muestra una comparación entre el perfil original y el perfil optimizado y los respectivos rendimientos, lo que permite visualizar las modificaciones realizadas durante el proceso de optimización (T. 47):

◀ Tabla 47.
Redimensionado optimizado de los perfiles y coeficiente de optimización

| | | Anterior | | Redimensionado | |
|-----------------------------|-----------------|---------------|-------------|----------------|-------------|
| | | Perfil | Rendimiento | Perfil | Rendimiento |
| Cuadro inferior | Barra 11 | PHC 120x120x5 | 0,95 | - | - |
| | Barra 15 | PHC 120x120x5 | 0,40 | PHC 80x80x5 | 0,97 |
| | Barra 16 | PHC 120x120x5 | 0,96 | - | - |
| | Barra 23 | PHC 120x120x5 | 0,40 | PHC 80x80x5 | 0,97 |
| Cuadro superior | Barra 24 | PHC 120x120x5 | 0,45 | PHC 80x80x6 | 0,96 |
| | Barra 25 | PHC 120x120x5 | 0,84 | - | - |
| | Barra 29 | PHC 120x120x5 | 0,86 | - | - |
| | Barra 36 | PHC 120x120x5 | 0,45 | PHC 80x80x6 | 0,96 |
| Pilares esquina | Barra 1 | PHC 120x120x5 | 0,75 | PHC 100x100x6 | 0,95 |
| | Barra 2 | PHC 120x120x5 | 0,77 | PHC 100x100x6 | 0,98 |
| | Barra 9 | PHC 120x120x5 | 0,75 | PHC 100x100x6 | 0,95 |
| | Barra 10 | PHC 120x120x5 | 0,77 | PHC 100x100x6 | 0,98 |
| Montantes verticales | Barra 3 | PHC 60x60x5 | 0,26 | PHC 40x40x3 | 0,92 |
| | Barra 4 | PHC 60x60x5 | 0,26 | PHC 40x40x3 | 0,94 |
| | Barra 5 | PHC 60x60x5 | 0,44 | PHC 45x45x4 | 0,91 |
| | Barra 6 | PHC 60x60x5 | 0,44 | PHC 45x45x4 | 0,92 |
| | Barra 7 | PHC 60x60x5 | 0,26 | PHC 40x40x3 | 0,92 |
| | Barra 8 | PHC 60x60x5 | 0,26 | PHC 40x40x3 | 0,94 |
| Viguetas inferiores | Barra 20 | PHC 60x60x5 | 0,19 | PHC 40x40x4 | 0,91 |
| | Barra 21 | PHC 60x60x5 | 0,21 | PHC 40x40x4 | 0,99 |
| | Barra 22 | PHC 60x60x5 | 0,19 | PHC 40x40x4 | 0,91 |
| Viguetas superiores | Barra 33 | PHC 60x60x5 | 0,33 | PHC 40x40x4 | 0,98 |
| | Barra 34 | PHC 60x60x5 | 0,22 | PHC 40x40x3 | 0,80 |
| | Barra 35 | PHC 60x60x5 | 0,33 | PHC 40x40x4 | 0,98 |

Expuesta la tabla, se observa que en el modelo anterior se utilizaban únicamente 2 tipos de perfiles, mientras que en el nuevo modelo redimensionado hay un total de 7 secciones diferentes. Además, se optimizaron 20 de las 24 barras disponibles. En cuanto al rendimiento de las nuevas secciones, todas, excepto una, tienen un rendimiento superior al 0,91, siendo de un 0,80 la restante.

Si bien, el nuevo diseño es más ligero para la ampliación, presenta algunos desafíos constructivos. La gran variedad de tipos de perfiles puede complicar la ejecución y su proceso constructivo, ya que cada tipo de perfil requiere una atención específica durante la instalación, lo que podría aumentar la complejidad y el tiempo necesario para completar el proyecto. En la tabla 48 se muestra el porcentaje de reducción conseguido mediante la optimización de los perfiles, consiguiendo una reducción del 18,705% del peso total respecto al modelo inicial. Si bien esto puede parecer significativo inicialmente, es importante considerar cómo esta reducción de peso podría repercutir en el coste final del proyecto. Ya que es probable que el aumento en la complejidad constructiva y el tiempo requerido para la instalación de los diferentes perfiles puedan afectar el presupuesto final.

Así pues, es necesario evaluar la capacidad estructural del edificio existente para comprobar la respuesta a la ampliación. Esto ayudará a determinar si el aumento en la complejidad constructiva del nuevo diseño es justificado por los beneficios obtenidos en términos de reducción de peso. O si, por el contrario, el edificio existente admite ese incremento de peso y se facilita la solución constructiva del modelo.

Tabla 48. ▶
Tabla comparativa del peso entre el modelo anterior y el redimensionado en modelo acero

| | | Anterior | Redimensionado | Reducción % |
|-------------------|----------------|----------|----------------|---------------|
| EF1D | | | | |
| Volumen | m ³ | 0,16 | 0,13 | |
| Peso | T | 1,251 | 1,017 | |
| Peso Total | T | 1,251 | 1,017 | 18,705 |

B. Sistema panelado de CLT

Comprobado el cumplimiento de los elementos horizontales y verticales del módulo de madera contralaminada, y visto el porcentaje de rendimiento se procede a la optimización de los diferentes elementos. Así, lo que se busca es aligerar al máximo la carga de la estructura y comprobar si existe una variación significativa del peso total. La tabla que se presenta a continuación muestra una comparación entre el elemento original y el optimizado, y los respectivos rendimientos (T. 49).

| | | Anterior | | Redimensionado | |
|------------------------------------|--------------------------|----------|-------------------|----------------|-------------------|
| | | Panel | I _{flex} | Panel | I _{flex} |
| SopORTE resistente inferior | Barra 3 | P 125.5 | 0,14 | P 90.3 | 0,24 |
| | Barra 5 | P 125.5 | 0,14 | P 90.3 | 0,25 |
| | Barra 7 | P 125.5 | 0,12 | P 90.3 | 0,20 |
| | Barra 9 | P 125.5 | 0,14 | P 90.3 | 0,24 |
| SopORTE resistente superior | Barra 11 | P 125.5 | 0,09 | P 80.3 | 0,2 |
| | Barra 13 | P 125.5 | 0,09 | P 80.3 | 0,2 |
| | Barra 15 | P 125.5 | 0,09 | P 80.3 | 0,2 |
| | Barra 17 | P 125.5 | 0,09 | P 80.3 | 0,2 |
| SopORTE vertical | Fachada principal | P 90.3 | 0,47 | P 75.3 | 0,55 |
| | Fachada trasera | P 90.3 | 0,62 | - | - |
| | Laterales | P 90.3 | 0,52 | P 75.3 | 0,6 |
| | Intermedio | P 90.3 | 0,59 | P 75.3 | 0,7 |

◀ Tabla 49. Redimensionado optimizado del modelo e índice de flexión

Vista la tabla, se observa que no hay un gran cambio con el prototipo redimensionado, puesto que el índice de flexión no se acerca a valor 1 para una completa optimización del modelo. Y sin embargo, los paneles se encuentran penalizados para la comprobación a flecha. En caso de querer optimizar al máximo las secciones, en lugar de 2 tipos de paneles, se utilizarían 3 tipologías.

En la tabla 50 se muestra cuánto se ha reducido el peso total al optimizar al máximo los paneles, consiguiendo una reducción del 22,76% del peso total en comparación con el peso inicial del modelo. Al igual que con el caso anterior, a pesar de esta reducción, el nuevo diseño está al límite en otras comprobaciones. Y junto al aumento en la complejidad constructiva, se deberían valorar estos factores antes de proceder.

| | | Anterior | Redimensionado | Reducción % |
|-------------------|----------------|----------|----------------|--------------|
| EF1D | | | | |
| Volumen | m ³ | 6,13 | 4,40 | |
| Peso | T | 2,575 | 1,847 | |
| EF2D | | | | |
| Area | m ² | 61,450 | 61,45 | |
| Volumen | m ³ | 5,530 | 4,61 | |
| Peso | T | 2,323 | 1,936 | |
| Peso Total | T | 4,898 | 3,783 | 22,76 |

◀ Tabla 50. Tabla comparativa del peso entre el modelo anterior y el redimensionado en modelo CLT

6.6.3. Decisiones finales sobre el prototipo a considerar

En un escenario donde se busca equilibrar la eficiencia estructural y la simplicidad constructiva, la decisión entre un módulo optimizado y otro con homogeneización entre los diferentes elementos presenta un dilema.

Si hacemos referencia a los ODS, por un lado, la optimización de los perfiles y paneles puede conducir a una reducción del peso total del módulo, lo que contribuye al ODS 12 (Producción y consumo responsable) al disminuir el consumo de recursos energéticos durante la producción industrial. Además, la reducción de peso puede mejorar la movilidad y el transporte del módulo, alineándose con el ODS 9 (Industria, innovación e infraestructura) al facilitar la implementación de soluciones tecnológicas en áreas remotas o de difícil acceso.

Sin embargo, esta optimización aumenta la complejidad constructiva y, en algunos casos, puede llevar el diseño al límite en cuanto a resistencia estructural se refiere. Conjuntamente, el ensamblaje de los diversos elementos, y debido a este aumento en la complejidad, podría requerir procesos más intensivos en energía y recursos, contrarrestando parcialmente los beneficios ambientales antes planteados.

Por otro lado, la homogeneización de los elementos en el diseño, simplifica el proceso de fabricación y reduce la complejidad constructiva, lo que mejora la viabilidad económica y facilita la integración entre los agentes intervinientes. De igual modo, facilita el mantenimiento y la gestión del ciclo de vida del módulo, debido a la uniformidad en los módulos y estandarización en los procesos, desde la producción de los componentes base, hasta el ensamblaje final.

Así pues, para poder decidir que tipología modular es más adecuada para la sobreelevación, se van a utilizar los prototipos inicialmente planteados con el fin de estudiar la interacción entre la estructura existente y la nueva adición. De esta forma, este proceso permitirá evaluar si, a pesar de este incremento de peso, la capacidad de carga del edificio existente es suficiente para soportarlo o si, por el contrario, se requiere una optimización máxima de la nueva estructura para garantizar la estabilidad y resistencia de la estructura existente.

Interacción entre el edificio existente y el nuevo volumen **07**

7.1. Relevancia del estudio de interacción

La interacción entre el edificio existente y el nuevo volumen modular plantea cuestiones y desafíos sobre la capacidad de la estructura preexistente y, en consecuencia, de su potencial vulnerabilidad. Nos enfrentamos así a interrogantes que debemos responder. ¿Cómo se comporta la estructura del edificio existente?, ¿puede soportar cargas adicionales sin comprometer su estabilidad?, ¿qué diferencias hay entre ambas opciones? Estas preguntas, forman el hilo conductor del capítulo, y permiten discernir entre la posibilidad de agregar nuevos volúmenes en la parte superior del edificio en cuestión y no poder hacerlo.

Para realizar este estudio de interacción es fundamental comprender el comportamiento del edificio existente realizado, en el caso de estudio escogido, mediante fábrica de ladrillo. Esta comprensión nos proporciona las bases para establecer precauciones, tanto en términos de peso, como de geometría. Asimismo, comprender como está la estructura inferior y cómo actúa, nos servirá de base para marcar unas limitaciones en las nuevas ampliaciones.

Dado que las estructuras de fábrica de ladrillo pueden ser sensibles a cambios en carga y geometría, es importante evaluar la capacidad de la estructura para soportar nuevos elementos. La adición de nuevas plantas introduce cargas adicionales que podrían poner en riesgo la estabilidad del edificio. Por lo tanto, este análisis debe incluir un examen detallado de cómo la estructura existente distribuye y resiste estas cargas. El análisis de la interacción estructural entre el edificio existente y el nuevo volumen implica una evaluación detallada de varios aspectos, como la compatibilidad de rigidez entre las diferentes partes de la estructura, la transferencia adecuada de cargas, o la posible redistribución de esfuerzos para garantizar un comportamiento seguro y eficiente del conjunto.

Destacar que el aspecto constructivo entre la estructura existente y las nuevas construcciones queda fuera del alcance de este estudio. Sin embargo, el enfoque estructural es clave para garantizar que cualquier interacción entre la antigua y la nueva estructura no comprometa la seguridad. Este estudio de caso se centra, por lo tanto, en identificar posibles afectaciones estructurales y en proporcionar soluciones adecuadas para mitigar riesgos.

7.2. Introducción al cálculo

Uno de los principales condicionantes en la construcción de las nuevas viviendas era la necesidad de minimizar al máximo el peso adicional. A pesar de que los edificios existentes se encuentren en un estado favorable, la estructura original no fue diseñada inicialmente para soportar una planta adicional. Además, los cálculos estructurales del momento no tienen en cuenta las variables ni los coeficientes de seguridad que actualmente se manejan. Si se tienen en cuenta las normativas actuales, la vida útil de los edificios existentes puede considerarse ya cumplida. Por tanto, será necesario un primer análisis del edificio existente antes de considerar la adición del nuevo volumen.

Para poder desarrollar el capítulo, se emplearán tanto el análisis lineal como el análisis no lineal. El primero de ellos, nos da una visión inicial y aproximada de cómo responde el edificio existente ante cargas gravitatorias, permitiéndonos comprender su comportamiento general bajo condiciones estáticas.

Sin embargo, la materialidad de la estructura de dichas edificaciones hace recomendable también un análisis no lineal ya que, dada su naturaleza y comportamiento, ciertamente condicionado por potenciales fenómenos de fisuración, la respuesta más ajustada de este tipo de estructuras se obtiene mediante dicha opción. De hecho, son múltiples los estudios que recomiendan este tipo de cálculo para estas estructuras (Aşıkoğlu et al., 2020) (Lourenço et al., 2011) (Saloustros et al., 2019). Además, el método empleado será el modelo de daño, el cual nos permite estudiar cómo evoluciona el deterioro de la estructura.

7.2.1. El comportamiento inelástico

El análisis elástico lineal es un método comúnmente empleado para evaluar el comportamiento de estructuras de acero y hormigón. Esta metodología es ampliamente aceptada y utilizada, con abundante respaldo en la literatura. Se basa en la relación lineal entre las fuerzas aplicadas y las deformaciones resultantes. Sin embargo, cuando se trata de estructuras compuestas por elementos de fábrica, este enfoque no tiene la misma validez ni aceptación. La razón principal es la naturaleza del material, sobre todo cuando hablamos de los valores de tensión en tracción bajos. Esto significa que cuando se aplican fuerzas que tienden a separar o estirar el material, los elementos de fábrica son propensos a agrietarse o romperse mucho antes de alcanzar el nivel de deformación que se esperaría en estructuras de acero u hormigón bajo el mismo análisis elástico lineal.

A lo largo de los últimos años, las investigaciones acerca de los métodos de cálculo no lineal han experimentado un notable crecimiento. Este auge está impulsado por los avances en aplicaciones informáticas, que permiten realizar cálculos complejos con mayor rapidez. Los métodos de cálculo no lineal son esenciales para entender el comportamiento real de las estructuras, ya que consideran las complejas relaciones entre cargas y deformaciones que no siguen patrones estrictamente lineales.

Uno de los métodos que ha ganado popularidad gracias a estas mejoras es el método de los elementos finitos (MEF). Este enfoque numérico divide un sistema físico continuo en un conjunto finito de elementos discretizados, lo que facilita el análisis de su comportamiento bajo diversas condiciones. Cada elemento puede tener propiedades y comportamientos distintos, y al juntarlos, se obtiene un modelo aproximado del sistema completo.

En el análisis de estructuras de fábrica, como es nuestro caso, se utilizan dos enfoques principales para modelar y describir su funcionamiento: el macro-modelado y el micro-modelado. Ambos enfoques ofrecen distintas perspectivas sobre cómo representan el comportamiento de estos elementos.

En el macro-modelado, se trata a la estructura de fábrica como un conjunto, es decir, como un material homogéneo y uniforme equivalente, simplificando su composición interna y considerando un comportamiento ortótropo. En lugar de modelar individualmente cada componente, como ladrillos o sillería, y el mortero que los une, el macro-modelado asume propiedades globales para toda la estructura. Esto permite realizar análisis más rápidos y con menos recursos computacionales. Es útil para estudios generales de comportamiento, como la resistencia global del muro, su estabilidad frente a cargas laterales o su reacción ante fuerzas externas como el viento o sismos. Este enfoque es especialmente adecuado para proyectos de gran escala donde el detalle fino no es crítico.

En el micro-modelado, a diferencia del anterior, entra en detalles mucho más precisos. Este enfoque implica modelar cada elemento individualmente, capturando las interacciones específicas entre estos componentes. El micro-modelado proporciona un análisis mucho más detallado y preciso, permitiendo estudiar cómo las tensiones y deformaciones se distribuyen a nivel microscópico dentro de la estructura. Este nivel de detalle es útil cuando se necesitan estimaciones exactas de la resistencia, la formación de grietas o el comportamiento ante fallos locales.

7.2.1. El modelo de daño

El modelo de daño se basa en la idea de que los materiales pueden experimentar un deterioro progresivo bajo el efecto de las cargas aplicadas. Dicho deterioro se puede manifestar en forma de fisuras, grietas o en un debilitamiento de la resistencia del material. Estos daños realizan cambios en su estructura interna, los cuales pueden afectar a la forma en que el material responde a las tensiones a medida que los valores de estas aumentan. El objetivo principal del modelo de daño es capturar este proceso de deterioro y predecir cómo afecta a la capacidad de carga. Es decir, se centra en la evolución de una variable de daño a lo largo del tiempo. Durante el análisis, el modelo de daño se utiliza para calcular cómo evoluciona esta variable de deterioro y pérdida localizada de capacidad resistente frente a las cargas aplicadas. Esto puede incluir cargas estáticas, como el propio peso de la estructura o cargas externas, así como cargas dinámicas, o las generadas por eventos sísmicos o impactos.

En el programa Angle®, mencionado anteriormente y el cual va a ser utilizado a continuación, se ha implementado una aplicación del modelo de daño isótropo desarrollado por Oller (1991), Oller (2001), Oliver (1991), Oñate et al. (1996), y Hanganu (1997). Este se basa en los tres conceptos necesarios para una correcta modelización del comportamiento no lineal:

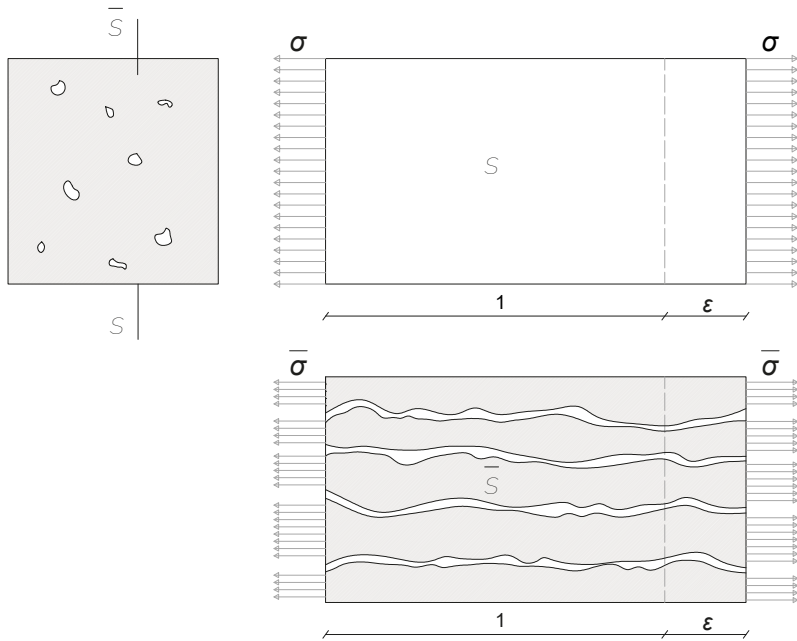
- Diferencia de comportamiento en compresión y tracción
- Degradación de la rigidez por causas mecánicas (nivel tensional)
- Efecto respuesta en función del tamaño de malla de los EF

El daño se define como el nivel de deterioro del material. Es decir, cuando se forman grietas o vacíos en el material, este deterioro se refleja como huecos en el material. Estos vacíos son lo bastante grandes para tenerlos en cuenta, pero lo suficientemente pequeños para considerarse como puntos dentro de un material homogeneizado (Roso, 2015). De esta forma, podemos definir la variable de daño como:

$$d = \frac{S - \bar{S}}{S} = 1 - \frac{\bar{S}}{S}$$

Donde S es la superficie total considerada, y \bar{S} el área resistente efectiva, dando como resultado que d es el área ocupada por los huecos (Fig. 119). Este índice nos proporciona una medida del grado de deterioro del material, donde 0 indica que el material se encuentra no dañado hasta 1 cuando existe pérdida completa del área resistente ($0 \leq d \leq 1$).

Figura 119. Superficie dañada y tensión efectiva $\bar{\sigma}$



De esta forma, se trabaja con la tensión efectiva, lo que equivale a distribuir la sollicitación sobre el área efectiva, en lugar de sobre el área del material no dañado (o tensión estándar de Cauchy). Esta relación se calcula mediante las ecuaciones de equilibrio:

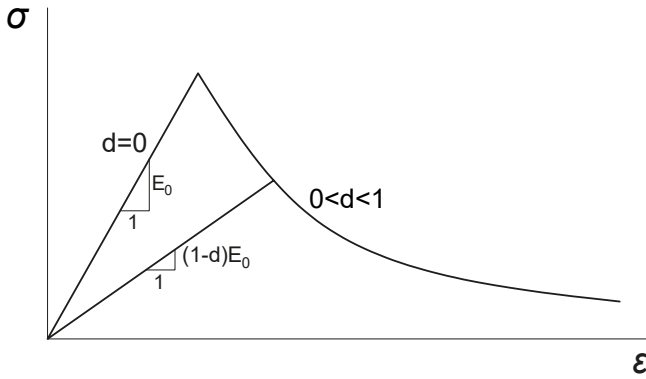
$$N = S\sigma$$

$$N = \bar{S}\bar{\sigma}$$

$$\sigma S = \bar{\sigma}\bar{S}$$

$$\sigma = (1 - d)\bar{\sigma} = (1 - d)E\varepsilon$$

Así pues, este índice escalar describe adecuadamente el comportamiento de materiales como la fábrica de ladrillo y piedra. Se traduce como una pérdida de rigidez proporcional al daño (Fig. 120).



◀ Figura 120. Relación de la rigidez con el índice de daño

Esta relación puede extenderse a las tres dimensiones, extendiendo la relación a un vector total de tensiones, y se obtiene:

$$\begin{bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \sigma_z \\ \tau_x \\ \tau_y \\ \tau_z \end{bmatrix} = (1-d)|D| \begin{bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \varepsilon_z \\ \gamma_x \\ \gamma_y \\ \gamma_z \end{bmatrix}$$

Siendo D la matriz de elasticidad de un material isotrópico:

$$D = \frac{E(1-\nu)}{(1+\nu)(1-2\nu)} \begin{bmatrix} 1 & \frac{\nu}{(1-\nu)} & \frac{\nu}{(1-\nu)} & 0 & 0 & 0 \\ \frac{\nu}{(1-\nu)} & 1 & \frac{\nu}{(1-\nu)} & 0 & 0 & 0 \\ \frac{\nu}{(1-\nu)} & \frac{\nu}{(1-\nu)} & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1-2\nu}{2(1-\nu)} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1-2\nu}{2(1-\nu)} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1-2\nu}{2(1-\nu)} \end{bmatrix}$$

La obtención del daño en cada instante del proceso de carga y deformación de la estructura se evalúa mediante la comparación de la norma del tensor de deformaciones, con un valor umbral r_0 .

La expresión para la norma r_n es:

$$r_n = (1 + \theta(n + 1)) \sqrt{\sum_{i=1}^3 (\sigma_i^{p,0})^2}$$

Siendo la relación entre las resistencias a compresión y a tracción uniaxial del material:

$$n = \frac{f_c}{f_t}$$

Que, a su vez, y para considerar el comportamiento a tracción o compresión se usa la expresión:

$$\theta = \frac{\sum_{i=1}^3 |\sigma_i^{p,0}|}{\sum_{i=1}^3 |\sigma_i^{p,0}|}$$

Siendo las tensiones no dañadas, y la función de Macaulay de las tensiones principales no dañadas $\bar{\sigma} = D\varepsilon$.

El criterio de daño se determina mediante los índices r_n y El daño empieza a aparecer cuando el índice r_n supera el valor de r_0 . Siendo el umbral:

$$r_0 = \frac{f_t}{\sqrt{E}}$$

El valor actual del parámetro r se toma como el máximo histórico durante todo el proceso de carga:

$$r = \max\{r_0, r_n\}$$

Por lo que, el índice de daño se traduce en:

$$d = G(r_n) = 1 - \frac{r_0}{r} e^{A(1-\frac{r_0}{r})}$$

Donde el parámetro A es la energía disipada por unidad de volumen en un proceso de tracción uniaxial, determinada por un ensayo de Simo y Ju (Oller, 2001):

$$A = \left(\frac{g_f n^2 E_0}{(\sigma_c)^2} - \frac{1}{2} \right)^{-1}$$

Donde:

$$g_f = \frac{G_f}{l_c}, \quad l_c = \sqrt[3]{V}$$

Siendo G_f la energía de fractura, y l_c la longitud característica del dominio del punto que se analiza en la malla de EF, y determinada por V.

El modelo de daño resulta sencillo, ya que se basa en un conjunto reducido de variables, como son:

- Módulo de deformación
- Coeficiente de Poisson
- Resistencia de compresión y tracción
- Energía de fractura

7.3. Presentación de los casos de interacción para la sobreelevación

Durante este capítulo se realizará un ejemplo de aplicación de la ampliación vertical. Se plantean dos modelos diferentes según lo discutido en el capítulo anterior.

El primer modelo de cálculo se corresponde con el sistema porticado de acero. Como se ha descrito anteriormente, cuenta con el cuadro inferior, superior y pilares de esquina con una sección más grande, y el resto de elementos, los montantes verticales, y las viguetas, con una sección más reducida.

El segundo modelo de cálculo realizado a partir de paneles de madera contralaminada, se compone de dos secciones, los elementos horizontales son la mayor, y los verticales cuenta con una sección menor. En cuanto a la geometría, los paneles forman un cerramiento completo con los huecos asociados a la configuración estética del conjunto.

A diferencia del capítulo 6 donde se realizaba el cálculo de un solo módulo, durante esta sección se van a considerar los cuatro módulos que forman las viviendas al completo. Puesto que, la intención es aplicar la acción total de los módulos sobre el edificio existente.

Por tanto, los ejemplos de aplicación se resumen en:

Opción A. Sistema porticado de acero

Opción B. Sistema panelado de madera contralaminada

Hay que tener en cuenta diversas consideraciones durante el proceso. En primer lugar, se procederá a modelizar el edificio existente sin tener en cuenta posibles daños. Esto implica recrear con precisión no solo la geometría, sino también las características estructurales del edificio. En el capítulo 4 titulado "Los aspectos construidos del edificio existente" se realizó un análisis que reveló un estado de conservación favorable en las edificaciones de nuestra zona de actuación. Es por este motivo, que se modelizará su estructura sin tener en cuenta posibles deterioros constructivos y estructurales. Por tanto, la decisión de modelar la estructura sin considerar posibles desperfectos se fundamenta en esta evaluación positiva. De igual forma, la geometría utilizada para la modelización seguirá el análisis del mencionado capítulo, y el análisis de los resultados en las etapas posteriores del estudio.

Después de completar la modelización del edificio existente, se realizará la modelización de la ampliación vertical según los casos mencionados anteriormente. En este proceso, continuaremos utilizando el programa Angle®, el cual hemos empleado hasta este momento. Esta decisión nos permite mantener la coherencia y consistencia en nuestro trabajo, al utilizar el mismo prototipo que desarrollamos en el capítulo anterior sin introducir ningún tipo de modificación. Esto facilitará la comparación directa entre los diferentes modelos de ampliación vertical que estamos evaluando.

El cálculo se centrará en el comportamiento del modelo estructural frente a cargas gravitatorias. Se compararán los resultados obtenidos para cada caso, considerando aspectos como la resistencia, estabilidad y comportamiento ante diversos escenarios de carga. El análisis permitirá determinar si el edificio existente es capaz de soportar las nuevas estructuras

de ampliación o si, por el contrario, presenta limitaciones significativas en su capacidad estructural. Además, nos permitirá comparar ambos casos, y determinar cuál de estos sistemas modulares es más apropiado para llevar a cabo la ampliación vertical de los edificios existentes en la zona del Ensanche de Valencia.

7.4. Modelo estructural del edificio existente

7.4.1. Análisis numérico. Modelo de cálculo

Basándonos en el capítulo 4 donde se extrae la geometría del que será objeto de estudio el edificio base y sus características constructivas, se establece la metodología de análisis que se ha seguido para evaluar el comportamiento estructural, y su posterior interacción con la ampliación vertical. Por ello, el proceso que se ha seguido es:

- Se procede a realizar el modelo tridimensional del edificio existente mediante el Método de Elementos Finitos, modelando un mallado específico para los muros de fábrica y los forjados de vigas y viguetas de madera
- Se lleva a cabo un *Análisis estático lineal* para evaluar las tensiones generadas en la estructura y comprender su comportamiento
- Se realiza un *Análisis estático no lineal* utilizando la técnica por empujes incrementales, lo cual permite analizar el comportamiento progresivo según el tipo de acciones aplicadas

Para elaborar el modelo numérico, en primer lugar, se han dibujado los contornos que generan los muros de carga paralelos, al igual que los muros de escalera, medianería, pórticos interiores de arriostamiento, y los pilares en el sentido del pórtico. Estos contornos han servido de base para realizar el mallado utilizando triángulos. Además, para asegurar una correcta precisión de los datos, el tamaño de malla ha sido otro factor determinante. Y es que, a menor tamaño, mayor precisión, aunque esto ha implicado un tiempo de cálculo algo más prologando dentro del entorno del programa utilizado.

Materialmente, todos los muros se consideran como un material homogéneo de fábrica de ladrillo, modificando el espesor según componente estructural. Para los cálculos, las principales propiedades mecánicas introducidas se han posicionado del lado conservador, siendo ajustadas a partir de la bibliografía consultada. Después de un vaciado de múltiples investigaciones, se han adoptado aquellos valores donde los estudios analizan edificios con características muy similares a los de

Tabla 51. ►
Propiedades de los
elementos murarios

nuestra zona de actuación. En concreto, estos valores se han extraído de estudios realizados en edificios del Ensanche de Barcelona, que comparten una época y tipología constructiva muy similares (Bonett, 2003) (Moreno González, 2006), y han sido ajustados adicionalmente conforme a informes técnicos. Las propiedades son las recogidas en la tabla 51.

| Propiedades | Fábrica de ladrillo |
|----------------------------|----------------------------|
| Módulo de Deformación MPa | 1.800 |
| Coefficiente Poisson | 0,20 |
| Módulo transv. MPa | 750 |
| Densidad kg/m ³ | 1.800 |
| Resistencia compresión MPa | 1,5 |
| Resistencia tracción MPa | 0,1 |

Los datos utilizados en estudios relacionados con la tracción en fábrica de ladrillo suelen estar del lado conservador. Esto significa que se adoptan valores que tienden a subestimar la resistencia del material, proporcionando un margen de seguridad adicional. Además, se ha demostrado que las tensiones por tracción pueden afectar significativamente a estos elementos, lo que hace que su influencia sea crucial para comprender la respuesta global del edificio. A partir de la bibliografía consultada, los valores se han ajustado hasta obtener unos datos que manifiesten el posible comportamiento del edificio.

También se han modelado como barras aquellos elementos de naturaleza lineal, tales como vigas, viguetas y zunchos, todos ellos contruidos con madera de mobila según la nomenclatura tradicional valenciana. A pesar de revisar numerosa literatura especializada, se han encontrado dificultades a la hora de encontrar valores propios de esta forma tan específica de construcción. Además, dada la naturaleza de la madera, que tiene propiedades que varían según la dirección de las fibras, esta búsqueda ha sido aún más compleja. Por lo tanto, hemos realizado una estimación basada en los datos disponibles, y junto al programa de cálculo se han ido ajustando dichos valores. Las propiedades se pueden observar en la tabla 52.

| Propiedades | Madera |
|----------------------------|---------------|
| Módulo de Deformación MPa | 11.000 |
| Tension de rotura MPa | 20 |
| Densidad kg/m ³ | 700 |

◀ Tabla 52.
Propiedades de los
elementos lineales
de madera

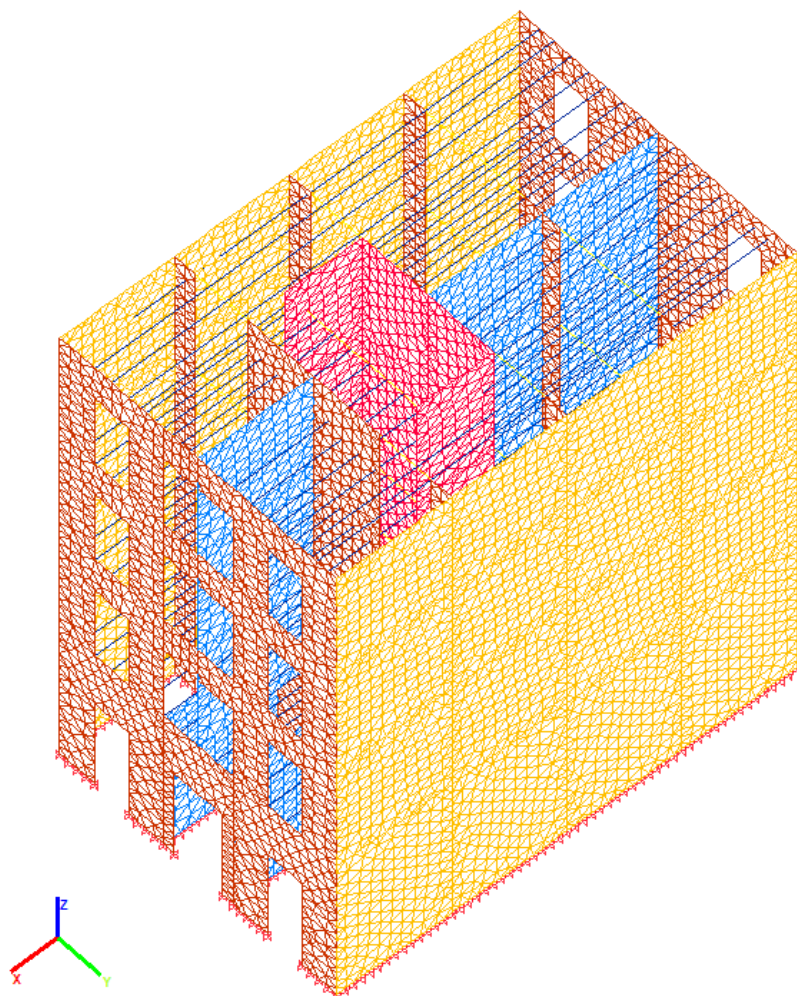
Del mismo modo y para evitar que la estabilidad y rigidez del edificio dependan exclusivamente de los muros de fábrica como elemento estructural principal, se han incluido en el modelo los forjados. Se ha modelizado una capa de 20 mm de espesor con material de ladrillo para emular la rigidez diafragmática de las bovedillas de ladrillo.

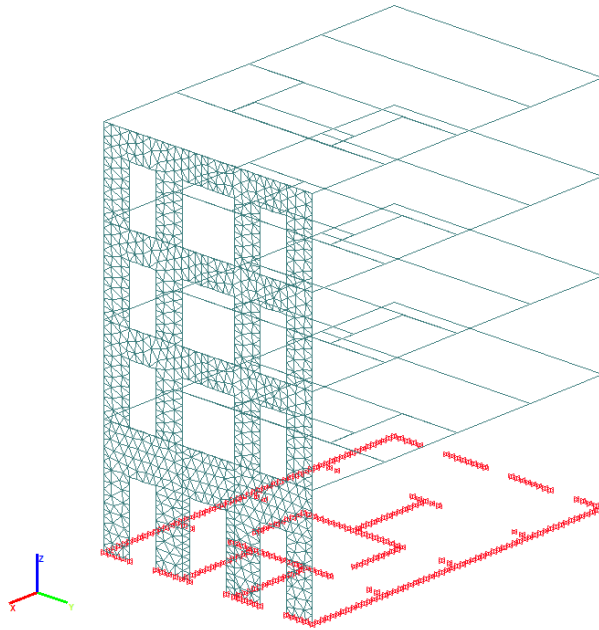
Finalmente, por hacer referencia a las condiciones de contorno, el edificio se ha fijado tanto a traslación como a rotación en todas las direcciones de los puntos de apoyo de la base.

Por ello y una vez modelizado, el edificio existente consta de los siguientes elementos:

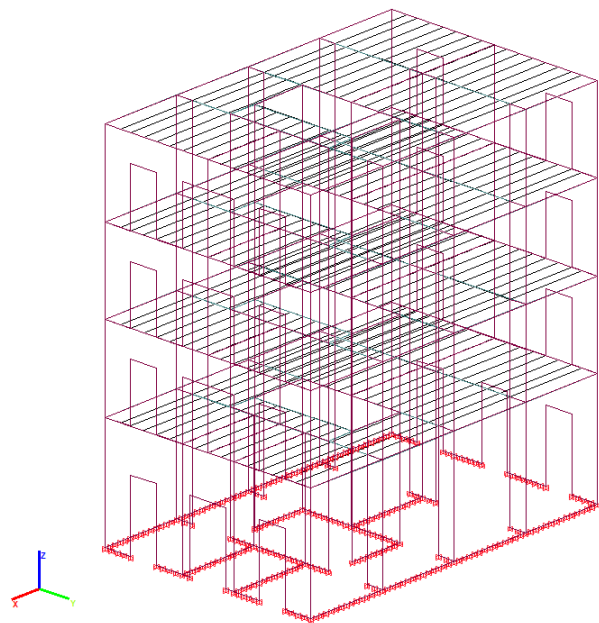
nodos_9808
barras_622
vinculos_270
láminas_18181
nº ecuaciones_57228

Figura 121. ▶
Vista del conjunto
por colores
según elemento
estructural





◀ Figura 122.
Visión global del conjunto con vista del muro de carga de fachada



◀ Figura 123.
Visión global del conjunto con vista de los elementos de forjado

Figura 124. ►
Alzado del conjunto

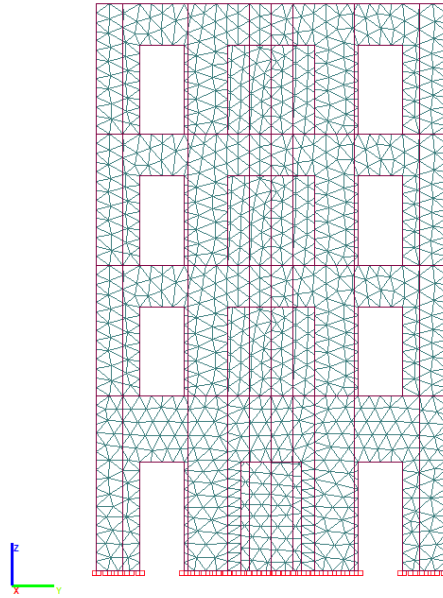
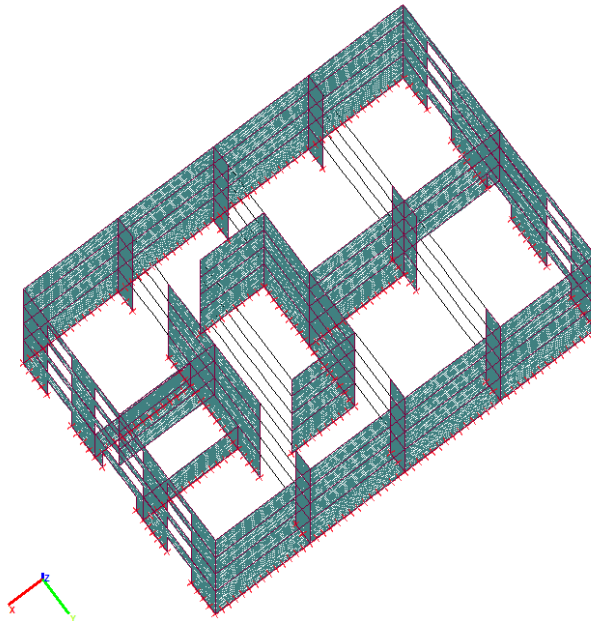


Figura 125. ►
Planta axonométrica del conjunto



Comportamiento del conjunto frente a cargas verticales

Modelado el conjunto del edificio se realiza un análisis mediante el MEF, siendo una malla estructural de un tamaño medio de elementos de 0,30 m, utilizando como características materiales la tabla 51. El modelo se ha analizado frente a cargas verticales de peso propio (H1) y sobrecarga de uso (H2), trabajando únicamente con una combinación (T. 53). Por ende, todas las gráficas que se mostraran son para dicha combinación. En primer lugar, se ha realizado un análisis lineal, seguidamente un análisis no lineal para comprobar la resistencia frente al comportamiento progresivo de cargas verticales.

| Descripción | Carga (kN/m ²) |
|---|----------------------------|
| Sistema estructural del forjado (viguetas de madera y revoltones cerámicos) | 2,50 |
| Particiones interiores | 1 |
| Sobrecarga de uso (vivienda) | 2 |

◀ Tabla 53.
Cargas utilizadas en el modelo numérico

En general, y teniendo en cuenta que el valor de las cargas no es de alto nivel, ya se adelanta que las tensiones que se producen no van a ser altas. Asimismo, el modelo de daño no va a presentar grandes puntos problemáticos. Esto será favorable para la ampliación vertical que se ajustará más adelante.

Modelizada la estructura del edificio existente, se muestra el análisis realizado centrándose en los esfuerzos de láminas causados por cargas gravitatorias (Fig. 126, 127, 128). En la tabla 54 se presentan los valores máximos y mínimos, pero también los valores medios, entendidos como aquel valor que predominante. Al evaluar las tensiones, se observa que las tensiones de membrana a lo largo de los ejes x e y (S_x , S_y) muestran una uniformidad en todo el edificio, sin resaltar ninguna zona problemática. Por norma general, si comprobamos los valores medios, las tensiones se encuentran en relativo equilibrio con valores cercanos al 0. Sin embargo, es importante señalar que en el cortante (V_y), se identifican algunas áreas con una acumulación mayor de tensiones. Estas áreas se encuentran en el extremo del muro que cierra el hueco de la escalera.

| | | Positivo | Medio | Negativo |
|--|-------|----------|-------|----------|
| Tensión de membrana S_x | Mpa | 0,4168 | 0,03 | -0,2756 |
| Tensión de membrana S_y | Mpa | 0,3349 | -0,05 | -0,8707 |
| Tensión de membrana S_{xy} | Mpa | 0,2823 | 0,02 | -0,2857 |
| Cortante de placa V_x | kN/m | 13,32 | 0,3 | -11,56 |
| Cortante de placa V_y | kN/m | 25,10 | 0,5 | -19,24 |
| Flexión de placa M_x | kNm/m | 2,199 | -0,02 | -2,057 |
| Flexión de placa M_y | kNm/m | 3,678 | -0,05 | -7,683 |
| Flexión de placa M_{xy} | kNm/m | 2,971 | -0,03 | -1,753 |

◀ Tabla 54.
Valores máximos, medios y mínimos de esfuerzos de láminas para cargas gravitatorias de peso propio

Figura 126. Tensiones de membrana Sx y Sy del modelo del edificio existente

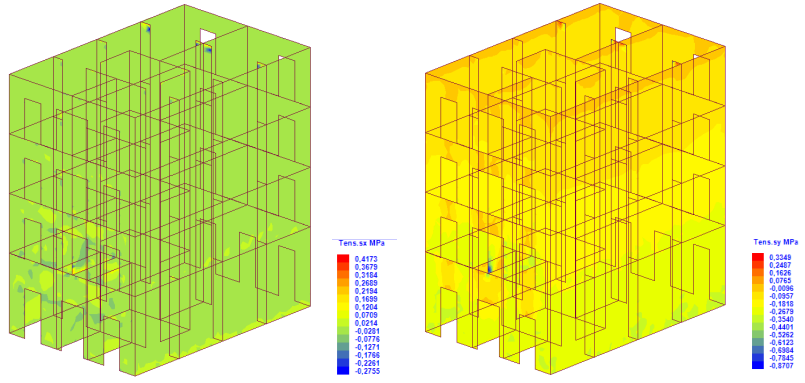


Figura 127. Cortantes Vx y Vy del modelo del edificio existente

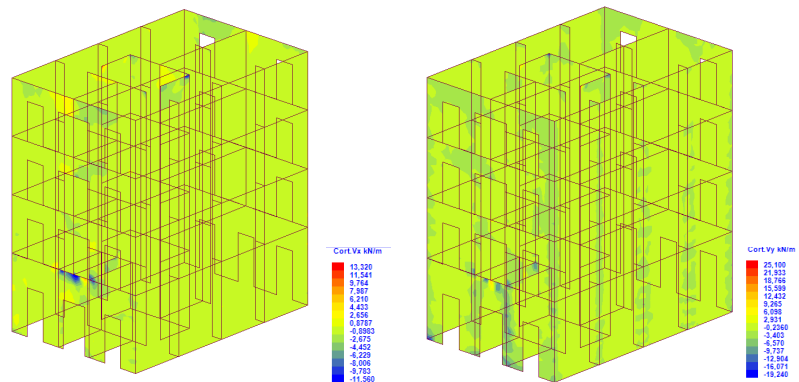
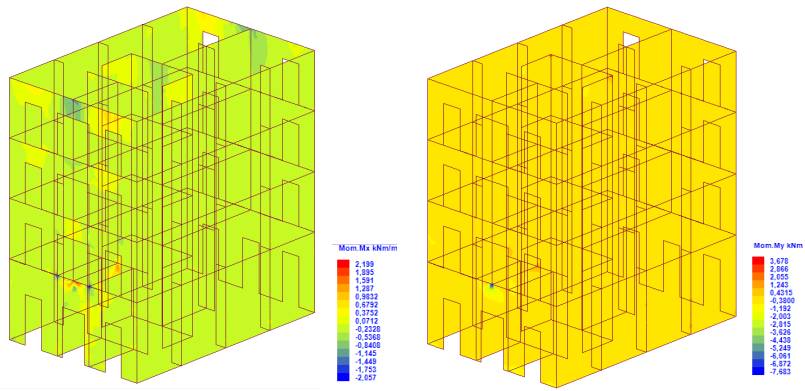


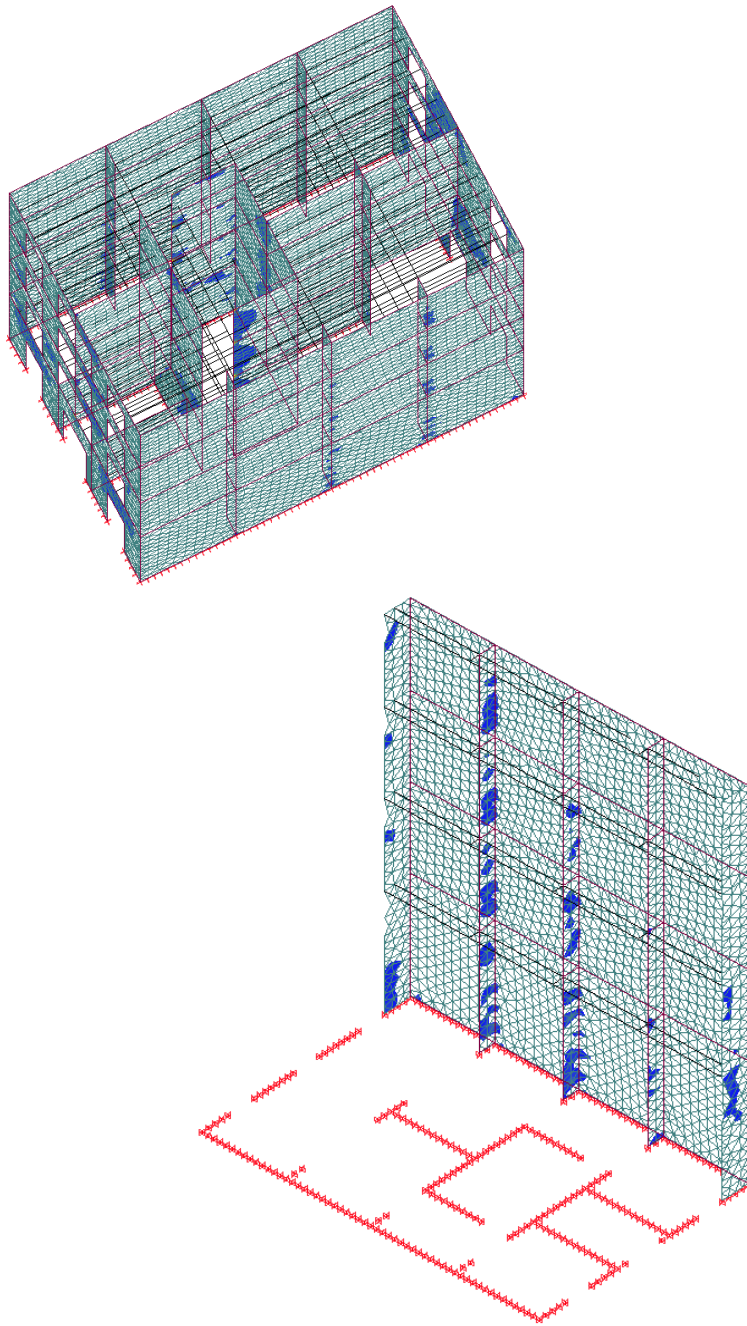
Figura 128. Flexión de placa Mx y My del modelo del edificio existente



Si analizamos los valores de tracción y compresión, observamos que tanto en S_x los valores de compresión de 0,30 MPa se encuentran lejos de la resistencia límite de la fábrica. En cambio, los valores de tracción suponen una amenaza, ya que se encuentran valores máximos de 0,40 MPa. Aun así, y analizando con más detalle la estructura, estos valores se encuentran en los puntos en contacto con la madera y por tanto se pueden despreciar, ya que no son reales, y hay que considerar también la resistencia de los elementos lineales. Por norma general, los valores a tracción oscilan alrededor de 0,03 MPa. En S_y , y al igual que pasaba con el otro eje, los valores de compresión se encuentran por debajo del límite. Por el contrario, con los valores de tracción, y sin considerar los valores extremos, se sitúan alrededor de 0,05 MPa en las zonas altas y en zonas en contacto con los huecos. Se podría decir que los valores de tracción suponen peligro no solo en caso de realizar una ampliación, sino también en el propio edificio. Aun así, reafirmar que los valores escogidos se encuentran del lado conservador.

La acumulación de tensiones en las zonas mencionadas se puede atribuir a la presencia de discontinuidades estructurales y cambios geométricos que generan puntos de concentración de fuerzas (Fig. 129). Por ejemplo, en el muro que cierra la escalera en cada planta, los cambios bruscos en la geometría a causa de las esquinas e intersecciones donde convergen los distintos elementos estructurales, genera concentraciones de tensiones debido a la redistribución de cargas. De igual forma, en la fachada lateral se observan tensiones que se acumulan a lo largo del pilar que se une con la medianera. Este tipo de conexión entre elementos estructurales puede generar puntos de concentración de fuerzas debido a la transferencia irregular de cargas entre ellos.

Figura 129. ►
Zonas con
acumulación de
tensión según V_y



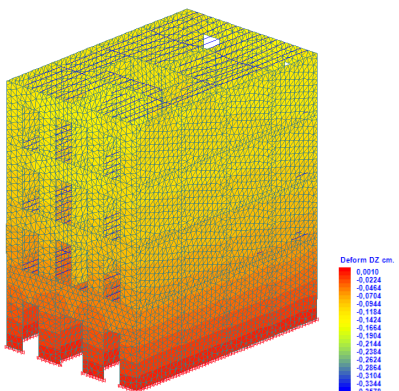
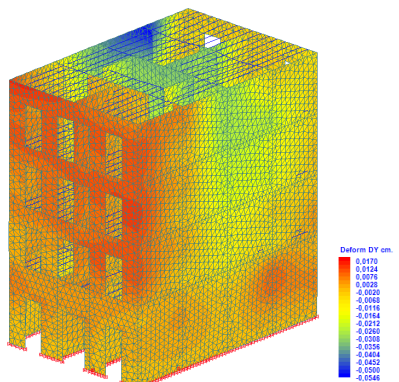
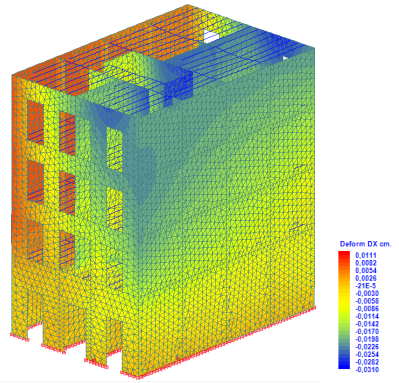
Después de analizar las deformaciones en los tres ejes x, y, z, se observa que no se registran valores significativos en ninguno de ellos. Esto indica que las deformaciones son mínimas. En la tabla siguiente, se puede apreciar cómo los valores de deformación son cercanos a 0, lo que sugiere que es una estructura con valores de rigidez bastante aceptables, ya que la deformación total es inferior a 1 cm en cualquiera de sus ejes. Es decir, la estructura apenas se deforma bajo carga, lo que resalta su estabilidad y capacidad para mantener su forma original sin deformaciones notables.

| | | Positivo | Negativo |
|-----------------------|----|----------|----------|
| Deformación Dx | cm | 0,0111 | -0,0310 |
| Deformación Dy | cm | 0,0170 | -0,0546 |
| Deformación Dz | cm | 0,001 | -0,3578 |

◀ Tabla 55
Valores positivos
y negativos de las
deformaciones en
todos sus ejes

Expuestos los datos del comportamiento a cargas verticales, se observa que el edificio existente posee estabilidad y rigidez, demostrando su capacidad para soportar tanto su propio peso como el uso con cierta facilidad. Seguramente, este hallazgo respalda la hipótesis inicial de la investigación, que sugiere que los edificios en la zona de estudio están diseñados para resistir su vida útil prevista de 50 años (la cual han superado ya), e incluso extenderla aún más. Esta conclusión se basa principalmente en consideraciones estructurales, ya que es importante destacar que se necesitan mejoras en términos de accesibilidad e instalaciones para mantener su funcionalidad óptima. Así pues, puede afirmarse que la estructura existente está en condiciones de aceptar más cargas verticales como las que supondría la incorporación de nuevos módulos destinados a vivienda en su azotea.

Figura 130. Deformaciones en eje x, y, z frente a cargas gravitatorias



Con el propósito de continuar estudiando el edificio existente frente a cargas gravitatorias, se ha aplicado el método de cargas incrementales para comprobar el índice de daño. El proceso ha sido establecer dos hipótesis correspondientes al peso propio y al uso (T. 56):

| | Descripción | Valor |
|--------------|----------------------------|---------------------|
| HIP01 | Peso propio | - |
| HIP02 | Sobrecarga de uso vivienda | 2 kN/m ² |

◀ Tabla 56.
Hipótesis aplicadas en el modelo

Durante el proceso de cálculo no lineal, se han considerado dos situaciones de carga distintas para evaluar cómo el edificio reacciona bajo diferentes condiciones. En primer lugar, se ha analizado la respuesta del edificio ante la combinación de su propio peso y la carga de uso actual, sin aplicar ningún coeficiente adicional, lo que nos permite entender su comportamiento frente a las condiciones de carga actuales. En segundo lugar, se han aplicado coeficientes multiplicadores a las cargas existentes para simular condiciones más extremas, además se han ido ajustando hasta alcanzar puntos de rotura. Estos coeficientes incrementan las fuerzas aplicadas al edificio, permitiendo explorar su capacidad y una visión anticipada de las áreas donde la estructura podría empezar a fallar o mostrar signos de debilidad. De esta manera, las combinaciones aplicadas se presentan de la siguiente manera (T. 57):

| | Descripción | Mayoración |
|--------------------------|---------------|--------------|
| Cargas actuales | Combinación 1 | 1,00 · HIP01 |
| | Combinación 2 | 1,00 · HIP02 |
| Incremento cargas | Combinación 1 | 1,35 · HIP01 |
| | Combinación 2 | 1,50 · HIP02 |

◀ Tabla 57.
Combinaciones aplicadas en el modelo

Las hipótesis en ambos casos se han aplicado de forma gradual, aplicando primero el peso propio, y una vez considerada la máxima carga, se ha ido introduciendo la sobrecarga de uso.

Los resultados del primer caso confirman las expectativas iniciales, y es que la estructura del edificio no sufre daños significativos ni durante la carga de su propio peso ni durante su uso normal. Durante la aplicación completa del peso propio, se detectan solo signos leves de deterioro, principalmente en la base de los muros de carga anterior y posterior, así como en algunos puntos basales de los pilares interiores. Además, en cada altura de forjado se detectan daños en los pilares que

se conectan a la pared medianera. Estas zonas afectadas parecen estar relacionadas con el daño producido en las cabezas de las vigas y la presencia de fisuras verticales en las últimas hiladas de los machones de los pilares interiores (Fig. 131a).

Junto a ello, al analizar la estructura bajo la carga total, se observa que estos daños previamente detectados no experimentan cambios significativos en su magnitud, aunque sí se vuelven más evidentes. Esto sugiere que la estructura posee una capacidad de carga adecuada para resistir las cargas aplicadas, pero también indica la existencia de áreas específicas que podrían requerir una atención adicional durante el proceso de evaluación y posible rehabilitación estructural. Destacar que los daños en las zonas inferiores, tanto de los muros de fachada como de las medianeras se han hecho más obvios con la utilización del modelo de daño (Fig. 131b).

En el segundo escenario, el análisis no llega a aplicar la totalidad de la carga, puesto que el edificio llega a una rotura parcial y no deja continuar aplicándola. Por tanto, llega a la totalidad de la carga de peso propio y a un 40% del uso. Cuando hablamos de la aplicación de un peso propio con un grado de mayoración del 35% respecto al peso inicial, los resultados obtenidos nos indican que el edificio continúa siendo capaz de resistir. Pero en cambio, empiezan a aparecer otros daños no solo en las zonas que se observaban en el caso anterior, acentuadas en este caso, sino que se aprecian daños en la planta baja alrededor de las puertas y ventanas. Concretamente, tensiones en diagonal que proceden de los huecos (Fig. 132a). Seguramente causados por las deformaciones producidas en la zona basal del edificio.

En el momento de aplicación de la totalidad de la carga de peso propio, la estructura muestra daños con un valor cercano a 0,2, lo que indica un nivel moderado de tensión y posible desgaste (Fig. 132b). Sin embargo, los daños más significativos se concentran en la zona inferior, especialmente en el punto de contacto con la cimentación. Este resultado es lógico, considerando que las cargas axiales generadas por el peso total del edificio se transmiten hacia la base, aumentando la presión y las tensiones en esa área. En cambio, cuando se aplica la carga relacionada con el uso, además de los daños observados en la zona en contacto con el suelo, comienzan a surgir signos de estrés en el muro de medianera, con una pronunciación mucho mayor.

◀ Figura 131.
Estado de carga 1 (a)
peso propio (b) peso
propio y uso

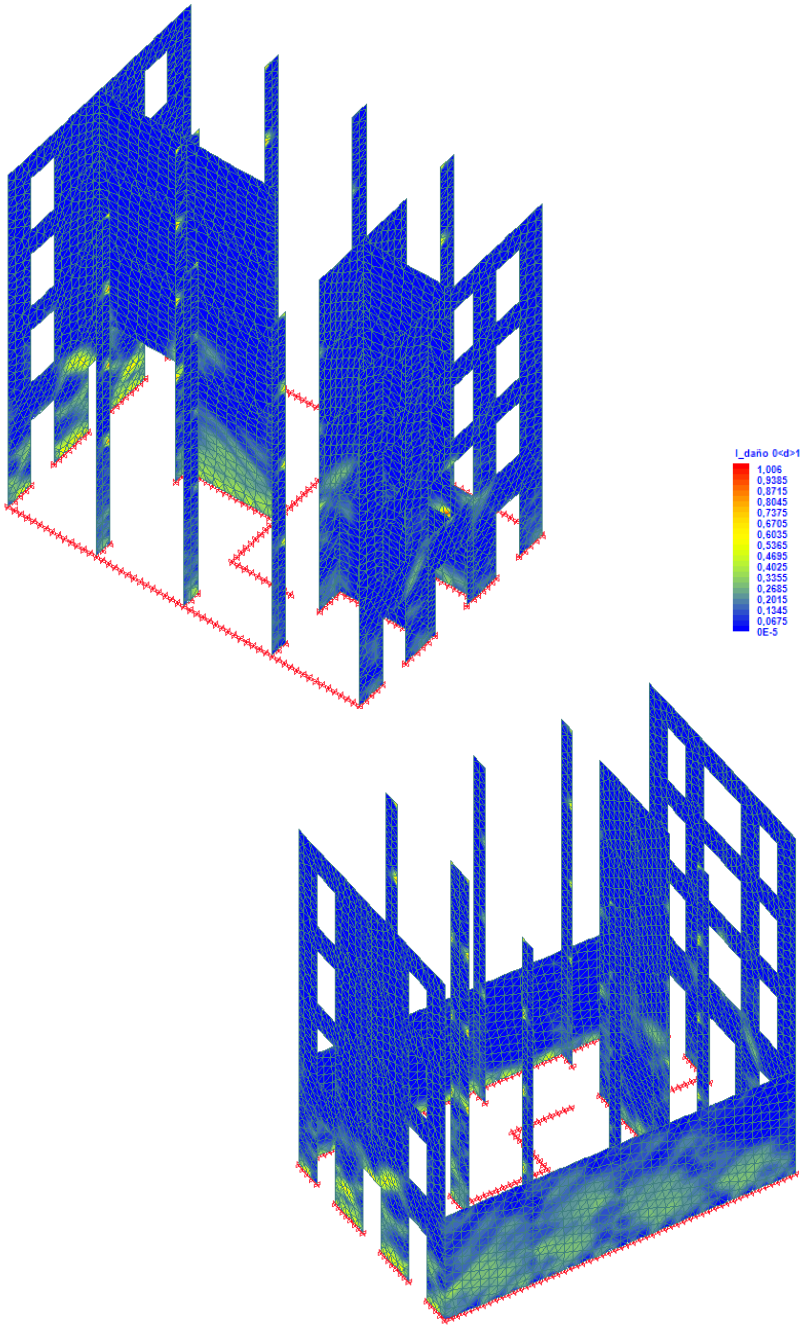
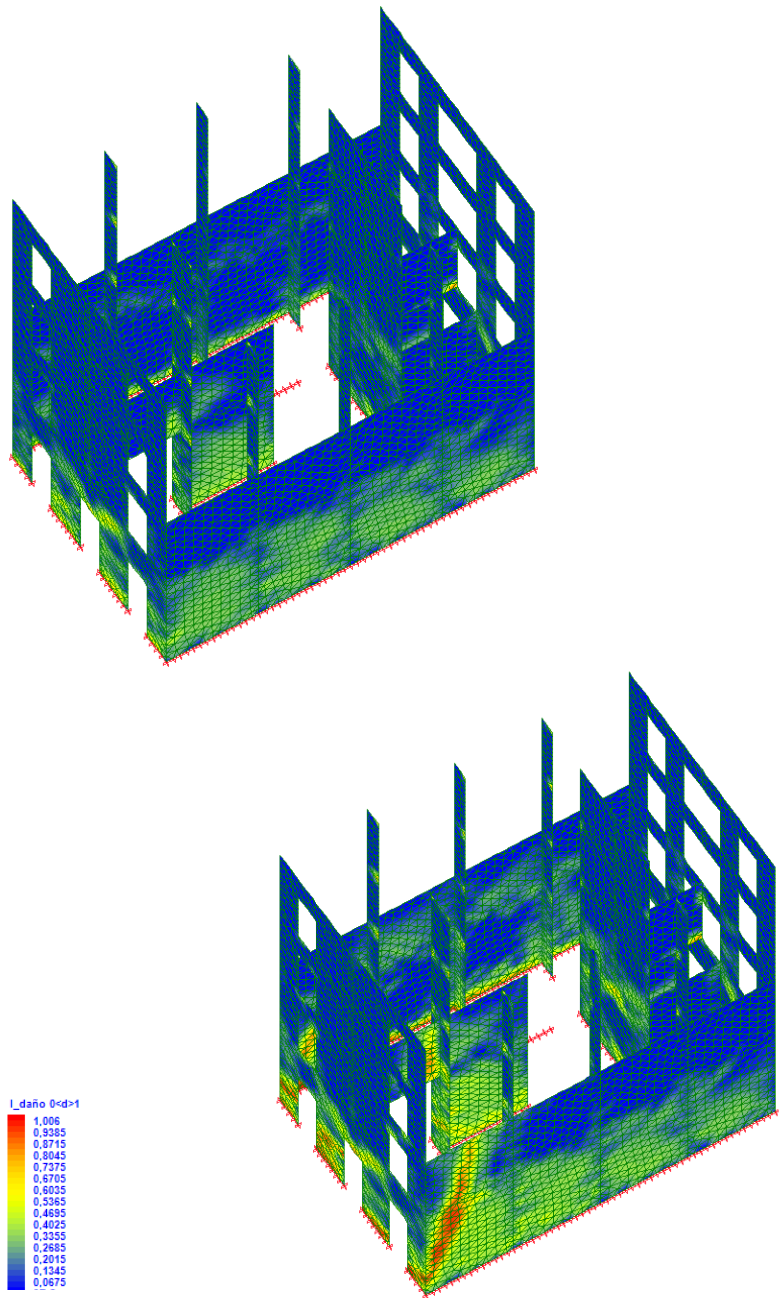


Figura 132. Estado de carga 2.
(a) peso propio (b) peso propio y uso



7.5. Aplicación del modelo para la ampliación vertical

En este apartado, se muestra el modelo estructural con la incorporación de las ampliaciones verticales propuestas para el edificio existente. El primer paso consiste en describir cómo se lleva a cabo la modelización de la conexión entre la estructura existente y los nuevos módulos que se planea añadir.

Tras explicar la modelización de las conexiones, el siguiente paso es analizar la respuesta de la estructura a las cargas verticales. Aunque los edificios están sujetos a diversos tipos de cargas, como viento, sismo y uso diario, este estudio se enfoca principalmente en evaluar la viabilidad de las ampliaciones propuestas frente a cargas gravitatorias. Para ello, se aplican diferentes métodos de análisis estructural que permiten entender el comportamiento del edificio.

Por un lado, el análisis lineal es utilizado para evaluar la respuesta de la estructura cuando las fuerzas aplicadas están dentro del rango de elasticidad. Este tipo de análisis proporciona información sobre cómo el edificio distribuye las cargas y si estas se mantienen dentro de los límites seguros para la estructura. Por otro lado, el análisis no lineal es crucial para entender el comportamiento de la estructura cuando se someten a fuerzas extremas que pueden causar deformaciones permanentes o incluso colapso.

La combinación de estos métodos proporciona un enfoque integral para evaluar la seguridad y viabilidad de las ampliaciones. El análisis lineal permite obtener resultados rápidos y comprender el comportamiento básico de la estructura, mientras que el análisis no lineal ofrece información sobre el rendimiento del edificio bajo continuas situaciones de carga.

7.5.1. Opción A. Sistema porticado de acero

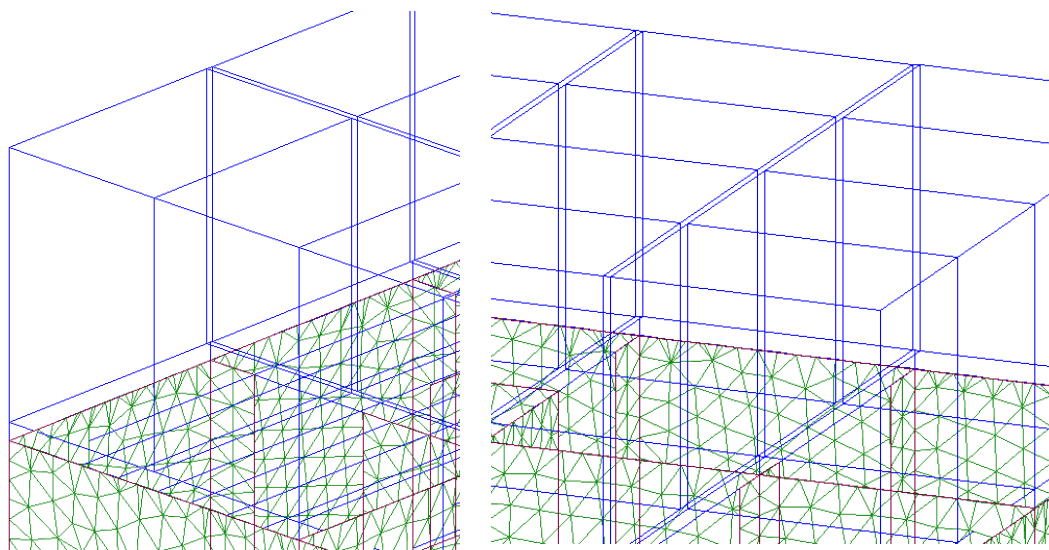
Para modelar la unión entre la estructura inferior y los módulos superiores, se han incorporado elementos lineales que siguen la retícula de los pórticos del edificio, representando a los zunchos que se emplearían en la construcción.

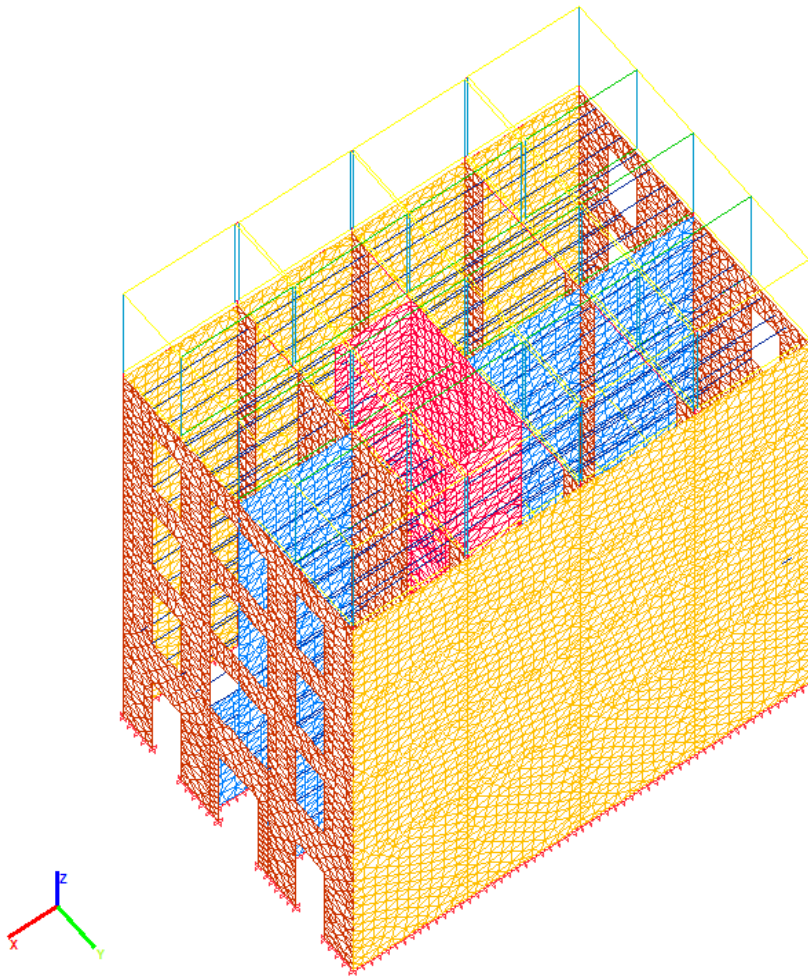
Una característica distintiva de la construcción modular es la duplicación de elementos, lo que significa que cada parte de la estructura puede tener dos componentes. Esta duplicidad se refleja en la figura 133. Para abordar esta particularidad en el programa de modelado, se han tenido que realizar ajustes en los entornos de captura de los diferentes elementos, y simular esta situación de las estructuras modulares.

A partir del modelizado del edificio existente y con el prototipo de acero, el caso de interacción 1 queda de la siguiente manera:

nodos_10008
barras_1000
vínculos_270
láminas_18287
nº ecuaciones_58428

Figura 133:
Detalles de la
sobre elevación
del caso 1 ▼





◀ Figura 134
Vista de la
interacción por
colores según
elemento estructural

Figura 135. ►
Visión global del conjunto

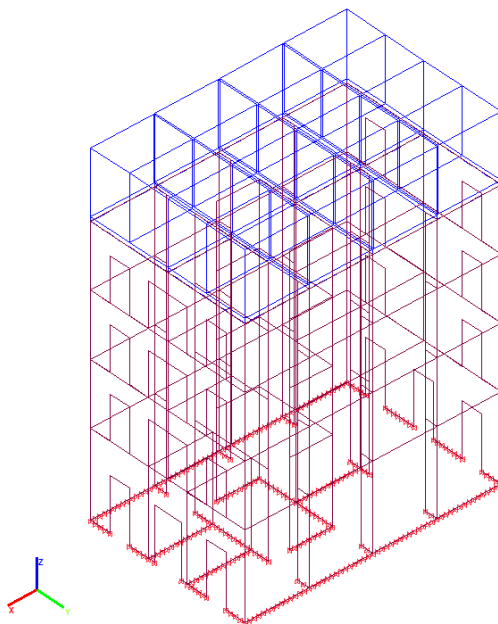
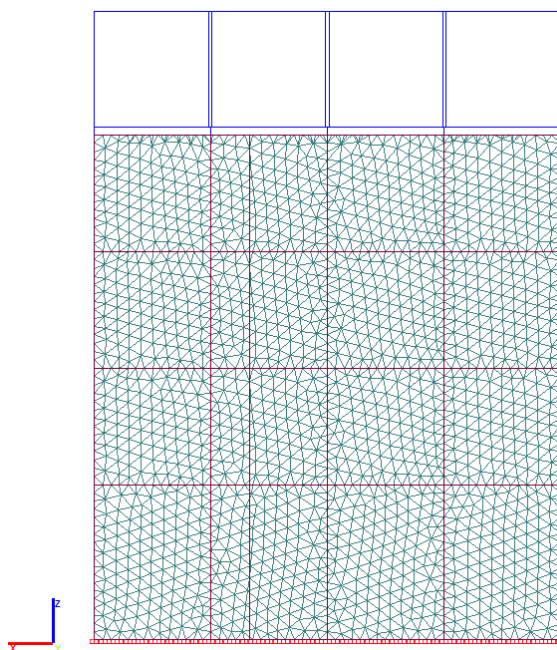


Figura 136. ►
Alzado del conjunto



Respuesta frente a cargas verticales

A lo largo de esta sección se estudia la respuesta del modelo frente a cargas estáticas gravitatorias. Una vez realizada la sobre elevación se comparan los resultados del modelo anterior, refiriéndonos al edificio existente, y de la ampliación vertical propuesta. En los resultados, se indican las tensiones de ambos y el porcentaje de relación respecto a los valores iniciales. A continuación, en la tabla 58 se muestran los resultados obtenidos.

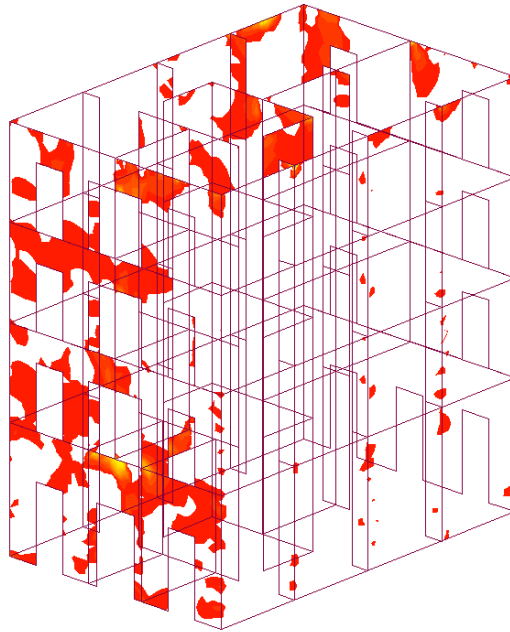
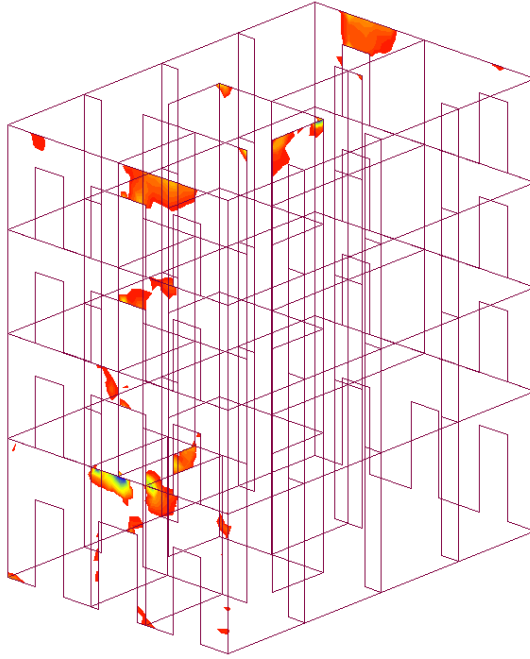
A primera vista, se repara que los valores han aumentado en un promedio del 170%, lo que significa que se acercan al doble del valor inicial. De hecho, se observa que en el caso del cortante Vx, el valor supera el triple. En la figura 137, se muestran las tensiones Vx del edificio existente con y sin la ampliación, acotando los isovalores entre -1,50 kN/m, y el valor máximo. La principal diferencia radica en que los puntos que antes estaban tensionados ahora abarcan más área, y han aparecido nuevas zonas con mayores esfuerzos. Destaca la zona del muro de escalera, la fachada trasera donde ha surgido una tensión pronunciada en la zona central, y en la fachada delantera, la zona adintelada derecha. Una posible causa puede ser la generación de esfuerzos en los puntos de apoyo entre los nuevos módulos y la estructura existente, creando cargas puntuales y altamente localizadas.

Es importante mencionar que, aunque existan valores puntuales que llegan a -35,27 kN/m, estos valores pueden considerarse despreciables, ya que surgen de la interacción entre diferentes elementos y el programa los considera como si estuviesen en contacto por las aristas. Constructivamente, esto no es una representación precisa de la realidad, por lo que es mejor considerar los valores generales de toda la zona. De esta manera, podemos decir que los valores medios se sitúan entre -1,5 y -5 kN/m.

| | | Sin ampliación | | Con ampliación | | Relación |
|--------------------------------|-------|----------------|----------|----------------|----------|---------------|
| | | Positivo | Negativo | Positivo | Negativo | % |
| Tensión de membrana Sx | Mpa | 0,4168 | -0,2756 | 0,3415 | -0,5293 | 192,05 |
| Tensión de membrana Sy | Mpa | 0,3349 | -0,8707 | 0,0651 | -1,113 | 127,83 |
| Tensión de membrana Sxy | Mpa | 0,2823 | -0,2857 | 0,3578 | -0,4367 | 152,85 |
| Cortante de placa Vx | kN/m | 13,32 | -11,56 | 31,28 | -35,27 | 305,10 |
| Cortante de placa Vy | kN/m | 25,1 | -19,24 | 42,81 | -22,56 | 170,56 |
| Flexión de placa Mx | kNm/m | 2,199 | -2,057 | 3,159 | -2,243 | 143,66 |
| Flexión de placa My | kNm/m | 3,678 | -7,683 | 3,69 | -9,845 | 128,14 |
| Flexión de placa Mxy | kNm/m | 2,971 | -1,753 | 3,561 | -2,494 | 142,27 |

◀ Tabla 58. Valores de esfuerzos de láminas y su relación porcentual

Figura 137. ►
Variación de
tensiones en Flexión
de placa Vx (a)
edificio existente (b)
interacción



Teniendo en cuenta los valores de la fábrica para comprensión y tracción, observamos que los valores en tracción en Sx y Sy, han bajado. No podemos decir lo mismo de la comprensión, y a pesar que en Sx el valor todavía se encuentra por debajo, en Sy el valor se sitúa al límite.

Seguidamente, se analizan las deformaciones producidas. Después de estudiar las deformaciones en los tres ejes x, y, z, los resultados no registran valores significativos en ninguno de ellos (T. 59). El valor diferencial más elevado se observa en el eje x.

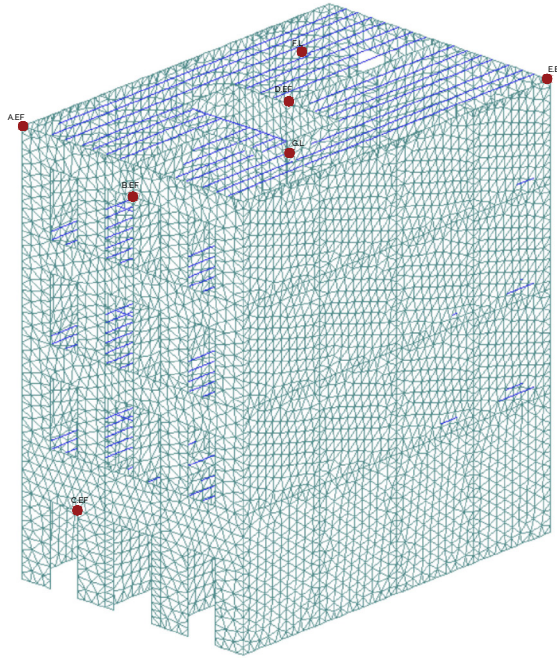
Los valores presentados en la tabla incluyen las deformaciones totales, es decir, abarcando elementos superficiales como muros, pórticos y medianerías, así como elementos lineales como vigas, viguetas y zunchos. Para obtener un análisis más específico, se han establecido puntos de control comparables tanto para el estado original como para la estructura ampliada. Esto permite evaluar los cambios sufridos en la estructura existente debido a las nuevas cargas introducidas por la ampliación. Así, se puede determinar con mayor precisión cómo afectará la sobreelevación al desempeño estructural.

| | | Sin ampliación | | Con ampliación | | Relación |
|-----------------------|----|----------------|----------|----------------|----------|---------------|
| | | Positivo | Negativo | Positivo | Negativo | % |
| Deformación Dx | cm | 0,0111 | -0,031 | 0,0132 | -0,0573 | 184,84 |
| Deformación Dy | cm | 0,017 | -0,0546 | 0,0213 | -0,0573 | 125,29 |
| Deformación Dz | cm | 0,001 | -0,3578 | 0,001 | -0,3567 | 99,69 |

◀ Tabla 59. Deformaciones en los tres ejes y su relación porcentual

A continuación, se muestran los puntos de control establecidos en el edificio existente, seguidos de los valores iniciales y la posterior aplicación de la sobreelevación. En la siguiente figura 138 se identifican un total de siete puntos de control, cinco de ellos corresponden a nodos de los elementos murarios modelizados a partir de EF, el resto son elementos lineales de barra. Se nombran siguiendo dicha naturaleza. Esto nos permitirá analizar que ocurre tanto en los elementos estructurales, como en los elementos lineales que conforman además parte del forjado. A pesar de la naturaleza de las cargas, se estudiarán las deformaciones en los tres ejes.

Figura 138. ►
Identificación de los
puntos de control



Si tenemos en cuenta el total de los puntos de control, las deformaciones han aumentado una media del 153%, siendo la media de los EF un 165%, y de los elementos lineales de un 122% (T. 60). A pesar de que los porcentajes puedan parecer alarmantes, si se analizan los valores absolutos, ninguno de ellos rebasa la unidad de centímetro, por tanto, no existen grandes deformaciones. Asimismo, el bajo número de puntos de control de estos elementos, realza el elevado porcentaje de una de las muestras.

En cuanto a los puntos de control de los EF, se observa homogeneidad de deformación entre todos ellos. Destaca la variación en el punto B respecto al valor inicial. Teniendo en cuenta que este punto de control se sitúa en el centro del piso superior, en contacto con un tabique de arriostramiento, se entiende que la deformación de los tabiques tiene afectación directa con los muros de carga. Por este motivo, es necesario controlar el efecto de tracción que ejercen sobre ellos. Aun así, como ya se presuponia, no existen grandes deformaciones, puesto que se trata de una estructura con gran rigidez y muy estable frente a deformaciones de cargas verticales.

Respecto al resto de elementos, ya se había señalado previamente que se esperaba un alto porcentaje de variación respecto al edificio existente. Aun así, teniendo en cuenta que los elementos analizados son de

madera, un material conocido por su flexibilidad y capacidad para soportar deformaciones significativas sin comprometer su integridad estructural. Por esta razón, un desplazamiento que no llega al 1 cm no debería representar un riesgo para la seguridad del edificio. La madera, a diferencia de otros materiales, puede tener un mayor margen de deformación antes de que surjan problemas estructurales. Esto permite cierta tolerancia en cuanto a movimientos y ajustes naturales en la estructura.

◀ Tabla 60
Deformaciones
de los puntos de
control

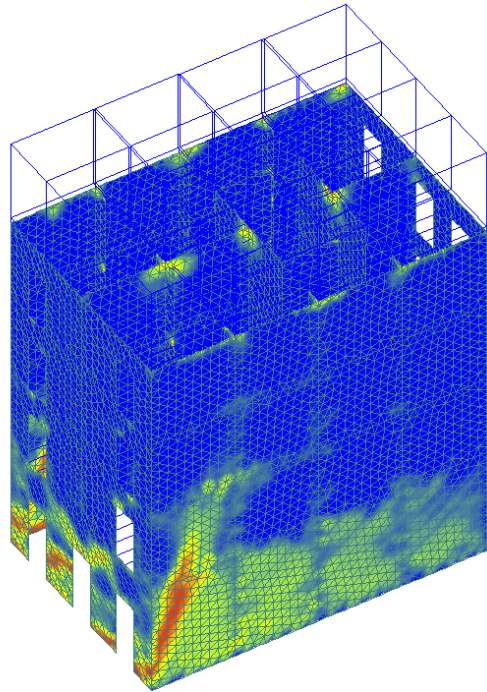
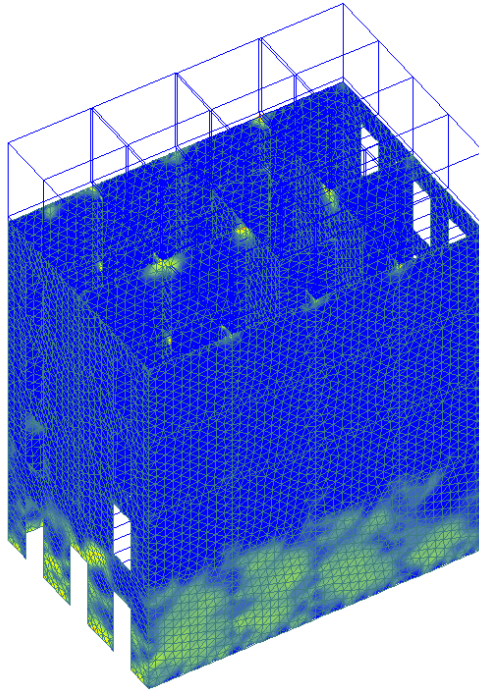
| | | Sin ampliación | | | Con ampliación | | | Relación |
|-------------|----|----------------|---------|----------------|----------------|----------------|----------------|---------------|
| | | Eje x | Eje y | Eje z | Eje x | Eje y | Eje z | % |
| A.EF | cm | 0,00747 | 0,01528 | 0,1202 | 0,008 | 0,01043 | 0,1736 | 144,43 |
| B.EF | cm | 0,01847 | 0,01093 | 0,13497 | 0,03761 | 0,01355 | 0,18649 | 203,63 |
| C.EF | cm | 0,005 | 0,0073 | 0,0413 | 0,0089 | 0,00922 | 0,04948 | 178,00 |
| D.EF | cm | 0,02504 | 0,03249 | 0,12095 | 0,03859 | 0,0396 | 0,19169 | 158,49 |
| E.EF | cm | 0,02135 | 0,00655 | 0,12667 | 0,02679 | 0,00494 | 0,17882 | 141,17 |
| F.L | cm | 0,00567 | 0,04219 | 0,31315 | 0,004966 | 0,0208 | 0,35026 | 111,85 |
| G.L | cm | 0,02427 | 0,00213 | 0,14957 | 0,00442 | 0,00308 | 0,19621 | 131,18 |

Se realiza ahora un análisis no-lineal por incremento de cargas verticales. Se valoran un total de 15 pasos que reproducen el daño causado por las fuerzas introducidas, equivalente al peso propio y al uso. De esta forma, del paso 1 al 5, el programa ha calculado el daño producido por las cargas permanentes al peso propio. Del paso 6 al 15, se ha introducido la sobrecarga de uso.

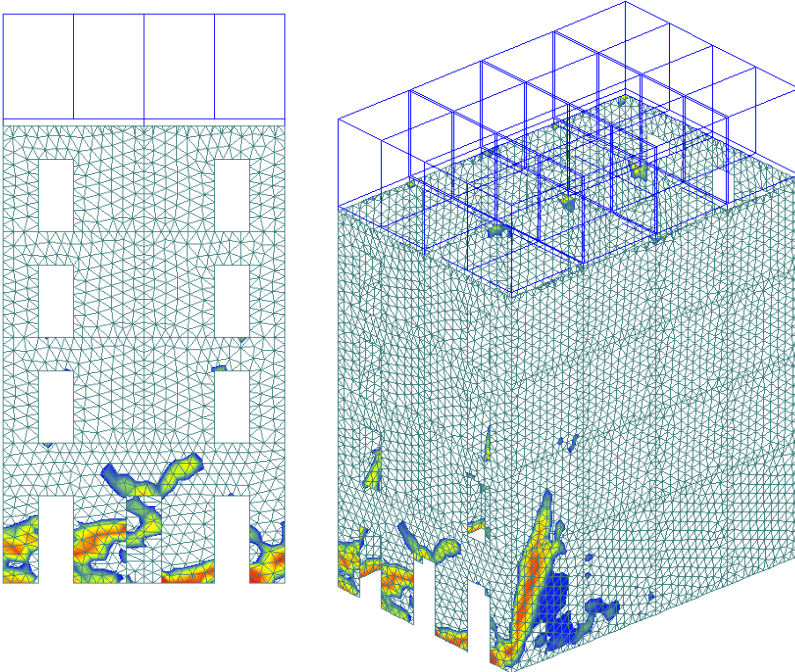
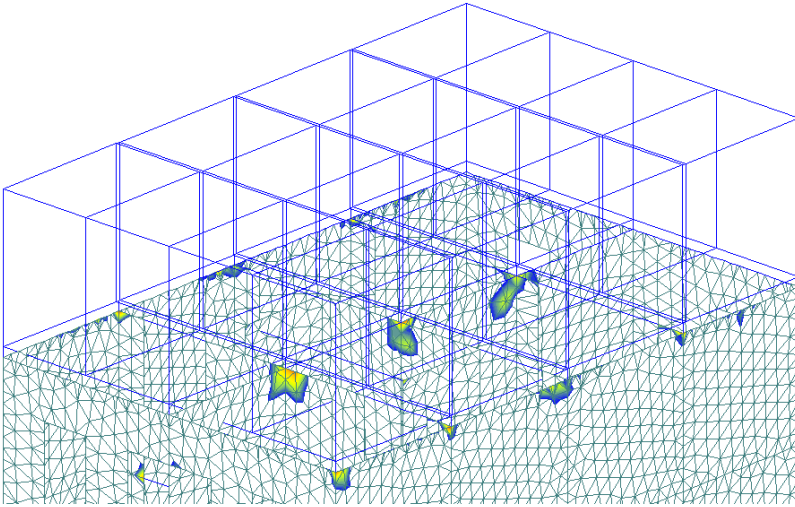
Una vez realizado el cálculo nos encontramos con que el edificio no es capaz de soportar la totalidad de los casos de carga aplicados. Si analizamos paso a paso, la estructura bajo cargas permanentes se manifiesta estable (con un porcentaje de carga del 100%), es partir del momento de aplicación del uso donde se aprecian los puntos por donde fallará. Como ya adelantaba el estudio del edificio existente, las zonas inferiores del contacto con el suelo se mantienen vulnerables, y es por esto punto donde el edificio produce mayor deformación.

Además, en las imágenes se aprecia el daño producido en los puntos centrales de la estructura inferior (Fig. 140). En esta área, y al igual que en el resto de zonas conflictivas, se produce una concentración de tensiones producidas por la carga concentrada que baja de los módulos. El hecho de que los módulos únicamente se conecten por tres ejes de apoyo penaliza gravemente la estructura existente, agravada por la duplicidad de elementos.

Figura 139. ▶
Índice de daño
frente a cargas
gravitatorias a) peso
propio b) peso
propio y uso



◀ Figura 140.
Puntos con índice
de daño mayor a
0,60



Comentarios finales de la opción A

La ampliación vertical realizada a partir de módulos porticados de acero arroja resultados relativamente previsibles. Las cargas provenientes de los elementos estructurales verticales, sobretodo del montante central, tienden a concentrarse en los puntos donde se unen con la estructura existente. Este efecto de concentración de cargas es un punto especialmente crítico, ya que estas fuerzas se transmiten a los elementos murarios de fábrica, los cuales generan unas grandes tensiones difíciles de soportar.

El hecho de que estas cargas generen tensiones elevadas en los muros de ladrillo no es sorprendente; de hecho, era algo anticipado. Y es que, las cargas puntuales en las intersecciones entre los nuevos elementos de acero y la estructura de fábrica de ladrillo existente generan valores que exceden la capacidad del material, y así lo relata el análisis no lineal. El modelo de daño utilizado para analizar esta situación muestra claramente que el edificio, en su estado actual, no puede soportar el peso adicional con un margen de seguridad adecuado. Esto significa que el edificio corre el riesgo de fallar estructuralmente bajo el peso de la ampliación y el uso normal.

Si las cargas puntuales excesivas en los puntos de apoyo son zonas críticas, no es menos la tensión generada en las áreas de planta baja en contacto con el suelo. Estas generan deformaciones excesivas, que hacen que en el edificio se produzcan daños muy visibles.

Para resolver estos problemas, es necesario reconsiderar el diseño estructural de la ampliación. Una solución podría ser aumentar el número de puntos de apoyo para reducir las cargas concentradas. Al hacerlo, se reduce el estrés en puntos específicos, lo que a su vez disminuye el riesgo de daño. Asimismo, constructivamente será necesario reforzar los muros inferiores, y reconsiderar actuar en la cimentación.

7.5.2. Opción B. Sistema panelado de madera contralaminada

La unión entre ambas partes ha sido realizada a partir de una malla de Elementos Finitos que simula el modelo constructivo. Para que el comportamiento del modelo sea lo más realista posible, se ha introducido un coeficiente de flexión del 0,2. Este coeficiente ayuda a imitar la flexibilidad y rigidez de la unión entre el módulo de CLT y el edificio existente.

Los elementos de la malla se han dispuesto siguiendo el patrón definido por la estructura inferior, lo que garantiza que el modelo respete las líneas y geometría del edificio original. Esta disposición busca replicar las características de la unión durante la construcción.

A partir del modelizado del edificio existente y con el prototipo de madera contralaminada, el caso de interacción 2 queda de la siguiente manera:

nodos_13407
barras_816
vínculos_270
láminas_24696
nº ecuaciones_78822

Figura 141.
Detalles de la
sobre elevación del
caso 2

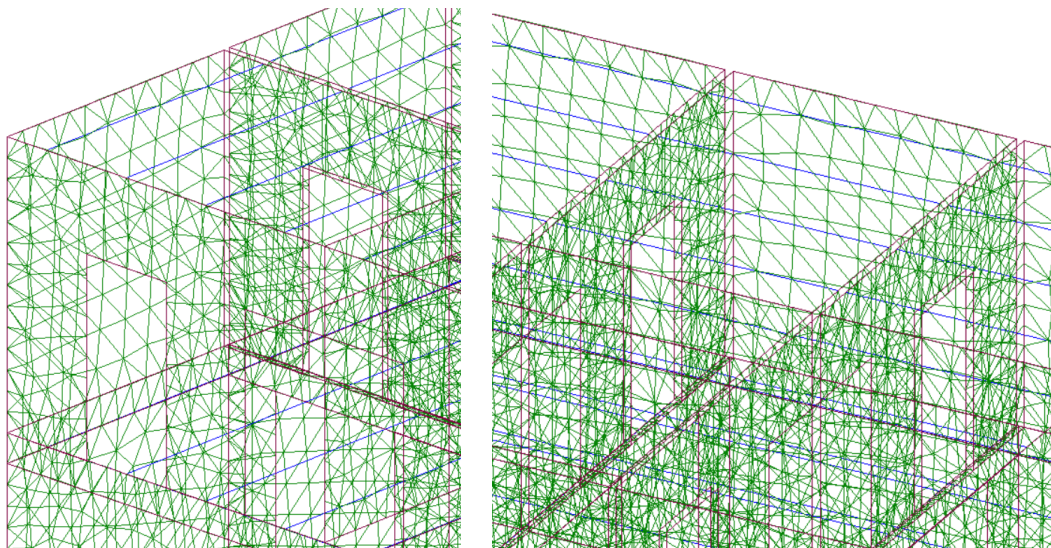
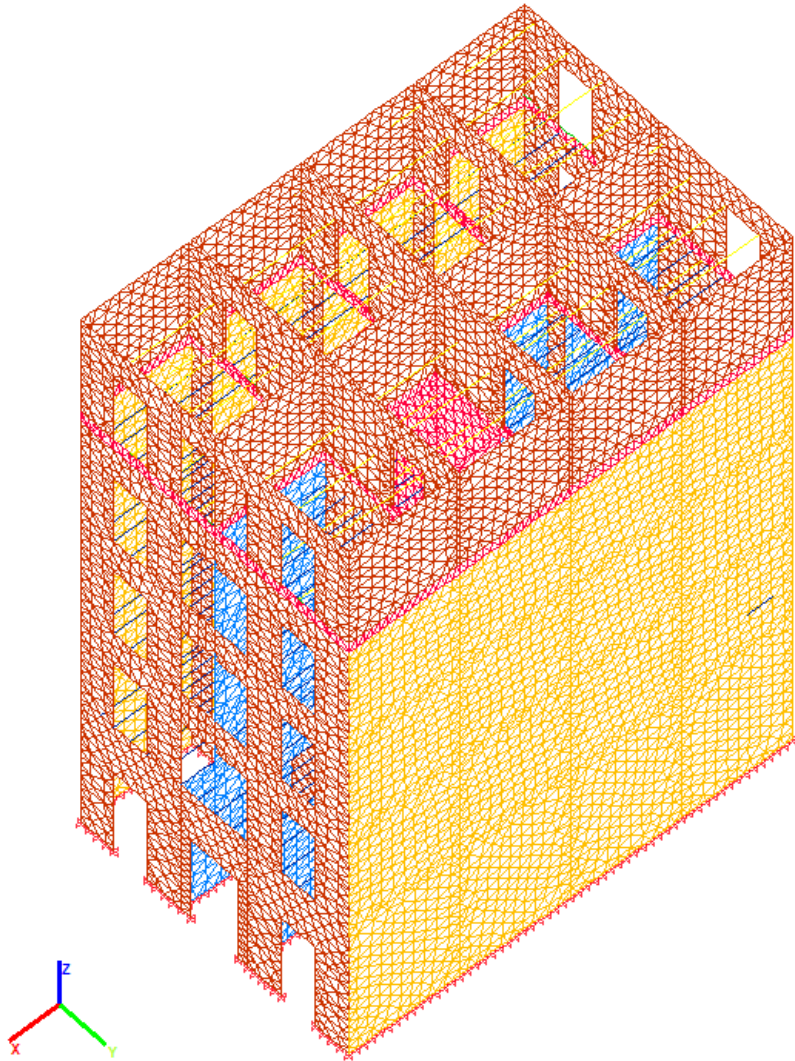
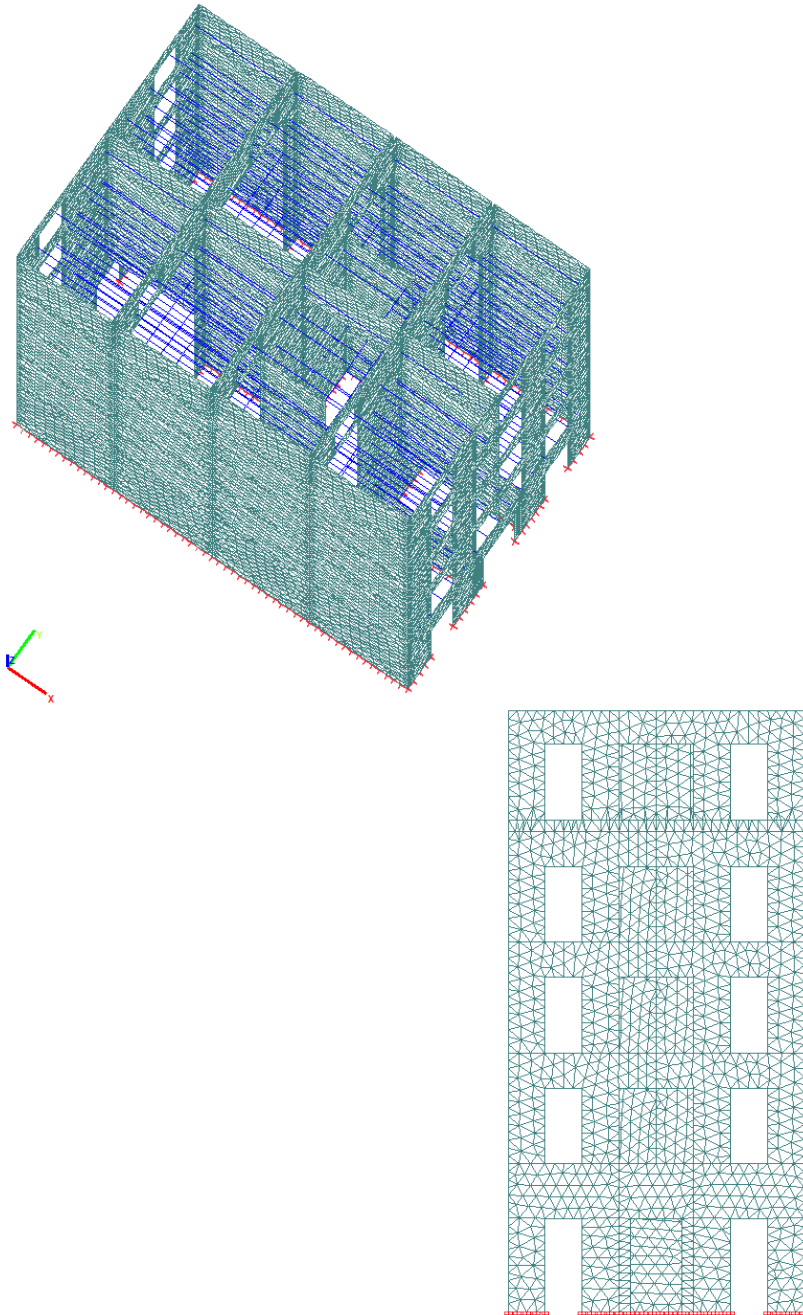


Figura 142. ►
Vista de la
interacción por
colores según
elemento estructural



◀ Figura 144.
Alzado del conjunto



Respuesta frente a cargas verticales

Al igual que con el caso anterior, se estudia la respuesta frente a cargas gravitatorias. Una vez realizada la sobreelevación se comparan los resultados del edificio existente, y de la ampliación vertical propuesta. En los resultados, se indican las tensiones de ambos y el porcentaje de relación respecto a los valores iniciales. A continuación, en la tabla 61 se muestran los resultados obtenidos.

Después de realizar un análisis de todos los datos obtenidos, se observa que los valores presentan un incremento con una media del 122%. Un valor bastante cercano la unidad, lo que sugiere que las tensiones generadas por la nueva ampliación del edificio existente no representan una carga excesiva para la estructura original.

A partir de los resultados, y comprobando aquellas relaciones con mayor porcentaje, se han estado acotando valores para comparar entre el edificio original y la nueva ampliación, y no se han encontrado diferencias entre ambos conjuntos de datos. Esto indica que la sobrecarga derivada de la ampliación no supera los valores que ya provenían de la estructura inferior. Además de que algunos de los valores más elevados podrían ser extremos aislados, posiblemente resultado de puntos de contacto que vienen de la modelización. Por lo tanto, estos valores pueden considerarse atípicos y no reflejan el comportamiento general de la estructura. En consecuencia, se puede afirmar que el comportamiento global del edificio ampliado es muy similar al del edificio original.

Incluso se observan algunos valores inferiores a los del edificio existente. Es probable que esto esté relacionado con las modificaciones en la cubierta. Para construir las nuevas viviendas, la cubierta sufre unas modificaciones, las cuales obligan a retirar parte de las capas superiores y, por tanto, también de carga. Con estas modificaciones, se produce una redistribución de cargas, que como consecuencia generan menos valores extremos.

Tabla 61. Valores de esfuerzos de láminas y su relación porcentual

| | | Sin ampliación | | Con ampliación | | Relación |
|--------------------------------|-------|----------------|----------------|----------------|----------------|---------------|
| | | Positivo | Negativo | Positivo | Negativo | % |
| Tensión de membrana Sx | Mpa | 0,4168 | -0,2756 | 0,3348 | -0,2872 | 104,21 |
| Tensión de membrana Sy | Mpa | 0,3349 | -0,8707 | 0,0624 | -1,048 | 120,36 |
| Tensión de membrana Sxy | Mpa | 0,2823 | -0,2857 | 0,335 | -0,2839 | 118,67 |
| Cortante de placa Vx | kN/m | 13,32 | -11,56 | 22,52 | -15,06 | 169,07 |
| Cortante de placa Vy | kN/m | 25,1 | -19,24 | 29,54 | -21,57 | 117,69 |
| Flexión de placa Mx | kNm/m | 2,199 | -2,057 | 2,472 | -2,148 | 112,41 |
| Flexión de placa My | kNm/m | 3,678 | -7,683 | 2,43 | -9,255 | 120,46 |
| Flexión de placa Mxy | kNm/m | 2,971 | -1,753 | 3,372 | -1,97 | 113,50 |

En esta alternativa, los valores de compresión y tracción se asemejan considerablemente a los del edificio original sin ampliación. Aunque el nivel de tracción experimenta una mejora, se observa un aumento en la compresión. Sin embargo, ambos parámetros se mantienen dentro de los límites aceptables para la estructura.

Continuamos con el análisis de las deformaciones producidas. Al igual que con el caso de ampliación anterior, los resultados no presentan valores significativos en ninguno de los ejes. La mayor relación porcentual se sitúa en el eje x, con un incremento del 138%. A pesar de esto, el desplazamiento real es solo de 0,04 cm, lo que lo convierte en un valor casi insignificante.

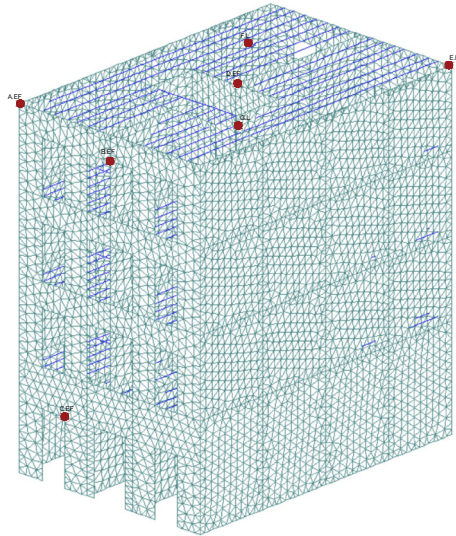
Esta variación en el eje perpendicular a los pórticos puede atribuirse al efecto de tracción que ejercen los módulos sobre la estructura existente. Comentar que durante la modelización del prototipo, ya se detectaron tensiones en esa dirección provocadas por el efecto de viga de gran canto. Por lo tanto, la mayor deformación en el eje x puede explicarse por este fenómeno. Aunque el aumento porcentual parece alarmante, el desplazamiento en términos absolutos es bastante pequeño y no debería causar preocupaciones importantes respecto a la estabilidad de la estructura.

Los valores presentados en la tabla 62, y al igual que lo que pasaba con las tensiones, revelan una diferencia negativa en el eje z. Sorprendentemente, esto puede indicar que las fuerzas que actúan en la dirección gravitacional no están causando deformaciones agravantes en la estructura. Una posible explicación para este comportamiento, y como se ha explicado anteriormente, es que las cargas se están distribuyendo de manera uniforme. El hecho de que no se observen grandes deformaciones en el eje z es un buen indicativo, ya que sugiere que la estructura está soportando adecuadamente las nuevas cargas sin sufrir deformaciones que puedan afectar a su comportamiento. Esta deformación negativa también puede indicar que los elementos de unión entre la estructura existente y la nueva actúan como refuerzo, y ayudan a distribuir las cargas de manera más equitativa.

| | | Sin ampliación | | Con ampliación | | Relación |
|-----------------------|----|----------------|----------|----------------|----------|---------------|
| | | Positivo | Negativo | Positivo | Negativo | % |
| Deformación Dx | cm | 0,0111 | -0,031 | 0,0121 | -0,0427 | 137,74 |
| Deformación Dy | cm | 0,017 | -0,0546 | 0,0196 | -0,0332 | 115,29 |
| Deformación Dz | cm | 0,001 | -0,3578 | 0,001 | -0,3426 | 95,75 |

◀ Tabla 62. Deformaciones en los tres ejes y su relación porcentual

Figura 145. Identificación de los puntos de control



Aunque las deformaciones en este caso no son elevadas, se procede a la comparación de los puntos de control seleccionados. Para garantizar una comparación coherente y precisa, se usan los mismos nodos de referencia que en análisis previos. Al mantener los puntos de control entre diferentes estudios, se obtiene un marco común para el análisis y la comparación.

La media del total de los puntos de control es de 147%, un valor próximo a la unidad. Este resultado está en línea con las observaciones anteriores sobre las deformaciones totales de los elementos. Sin embargo, al desglosar estos datos, encontramos que la media de los EF es del 133%, con un valor máximo alcanzando el 156%. Esto indica que la mayoría de la estructura está respondiendo adecuadamente a las cargas y tensiones introducidas por la ampliación.

Por otro lado, los elementos lineales presentan una diferencia de media del 18%. Aunque si atendemos al valor F, que representa el punto medio de la viga, se observa cómo se corrige la deformación. Esta corrección en la deformación no es inesperada, ya que, como se mencionó previamente, el aligeramiento de la cubierta debido a la eliminación de las capas superiores reduce la carga que soportan estos elementos en comparación con la estructura anterior.

Para comprobar que esta corrección en la deformación es debido al aligeramiento de la cubierta, se ha procedido a consultar los movimientos en las vigas de los pisos inferiores. Los resultados indican deformaciones en el eje z de 0,27 y 0,24 cm, valores cercanos a la deformación del edificio existente antes de la ampliación vertical. Estos resultados confirman nuestra hipótesis de que la eliminación de algunas capas de la cubierta tiene un impacto positivo

en la estructura, especialmente en la planta superior. Al reducir el peso de la cubierta, se disminuye la carga que las vigas de los pisos inferiores deben soportar, como consecuencia se reduce la deformación, sin que la colocación de los nuevos módulos penalice.

| | | Sin ampliación | | | Con ampliación | | | Relación |
|-------------|----|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|---------------|
| | | Eje x | Eje y | Eje z | Eje x | Eje y | Eje z | % |
| A.EF | cm | 0,00747 | 0,01528 | 0,1202 | 0,00617 | 0,01538 | 0,15659 | 130,27 |
| B.EF | cm | 0,01847 | 0,01093 | 0,13497 | 0,02396 | 0,01507 | 0,16849 | 129,72 |
| C.EF | cm | 0,005 | 0,0073 | 0,0413 | 0,0007 | 0,00901 | 0,04775 | 123,42 |
| D.EF | cm | 0,02504 | 0,03249 | 0,12095 | 0,00493 | 0,0092 | 0,15457 | 127,80 |
| E.EF | cm | 0,02135 | 0,00655 | 0,12667 | 0,0225 | 0,01026 | 0,16014 | 156,64 |
| F.L | cm | 0,00567 | 0,04219 | 0,31315 | 0,01286 | 0,02232 | 0,19571 | 226,81 |
| G.L | cm | 0,02427 | 0,00213 | 0,14957 | 0,02987 | 0,00298 | 0,17613 | 139,91 |

◀ Tabla 63. Deformaciones de los puntos de control

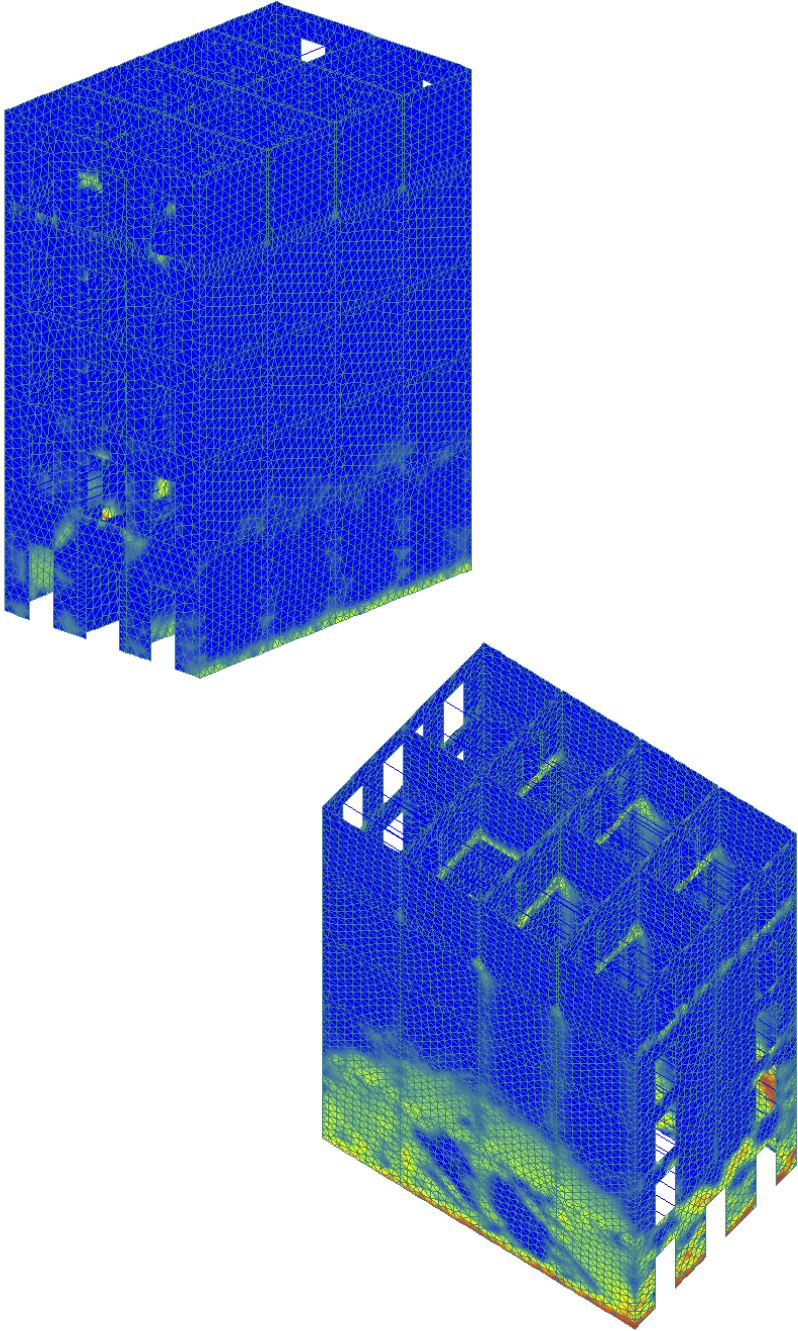
Se realiza ahora un análisis no-lineal por incremento de cargas verticales. Se valoran un total de 15 pasos que reproducen el daño causado por las fuerzas introducidas, equivalente al peso propio y al uso. De esta forma, del paso 1 al 5, el programa ha calculado el daño producido por las cargas permanentes al peso propio. Del paso 6 al 15, se ha introducido la sobrecarga de uso.

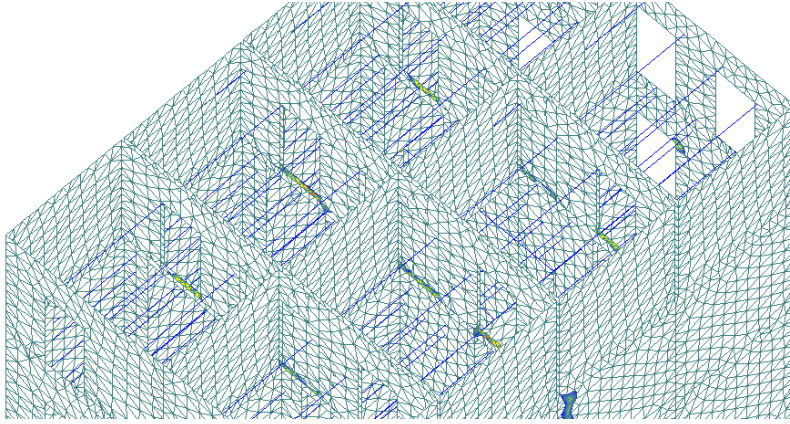
Realizado el cálculo, nos encontramos que en una situación favorable en la que el edificio soporta el 100% de los pasos introducidos. Si se analiza paso a paso, en el momento de la aplicación total del peso propio, el edificio prácticamente no presenta daños, únicamente se intuyen en zonas inferiores en contacto con el suelo y en los elementos de unión entre ambas estructuras (Fig. 147). En el momento de aplicación del 100% del peso propio y del 100% del uso, los daños continúan en las mismas zonas, pero aunque abarcan más área, no se acentúa el valor de daño. Estos daños se sitúan alrededor de 0,3 en una escala del 0 al 1, daño asumible todavía.

Para continuar viendo el daño y comprender por donde fallará el edificio existente, se ha tenido que elevar el porcentaje de carga aplicado. Por este motivo, se va a aumentar el valor del coeficiente de seguridad en ambas hipótesis. Hay que tener en cuenta que, a partir de ahora, la intención de la investigación es comprender el funcionamiento del edificio con unas condiciones más desfavorables.

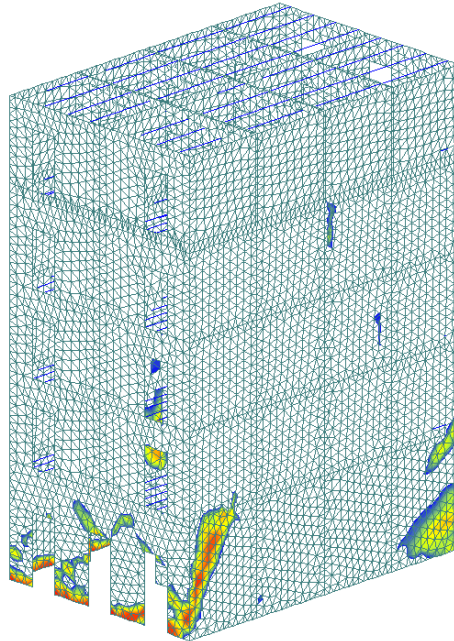
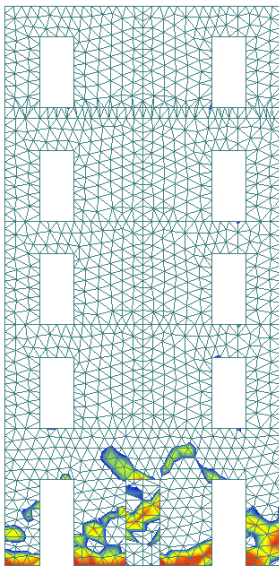
Una vez aplicada la máxima carga que soporta el edificio, se comprueban las zonas con mayores problemas, para ello se sitúa un rango de daño entre el 0,60 y la unidad. Los daños observados se sitúan en planta baja, en las zonas en contacto con el suelo. Además, se asoman daños con un valor del 0,4 en los elementos entre ambas estructuras, aunque muy localizados.

Figura 146. ▶
Índice de daño
frente a cargas
gravitatorias a)
combinación 1 b)
combinación 2





◀ Figura 147.
Puntos con índice
de daño mayor a
0,6



Comentarios finales de la opción B

La ampliación vertical realizada a partir de módulos panelados de madera contralamada muestra resultados de lo más favorables. En este caso, los resultados obtenidos tras la ampliación son significativamente positivos, superando las expectativas iniciales.

Aunque se podía anticipar que esta solución podría ofrecer un buen comportamiento, lo sorprendente es que no solo cumple con los requisitos mínimos, sino que incluso beneficia, según que, a la estructura existente. Y es que, los resultados arrojan que tanto las tensiones como las deformaciones se sitúan en valores muy próximos a los del edificio existente sin ampliación.

Esto significa que la ampliación vertical realizada con madera contralamada no introduce tensiones significativas ni deformaciones excesivas en la estructura existente, demostrando que la configuración y la ligereza de estos módulos son adecuadas para este tipo de proyectos. En otras palabras, el edificio sigue funcionando de manera segura y eficiente tras la ampliación, sin presentar riesgos de sobrecarga o daño estructural.

De igual forma, si se podía adelantar que la transferencia de esfuerzos a lo largo de los elementos de la estructura inferior no iba a suponer problemas, surgieron sorpresas con respecto a la deformación en el eje x, z. La deformación en el eje z, que generalmente implica cambios en la altura o elevación de la estructura, mostró comportamientos positivos, aunque muy próximos. Sin embargo, el eje x, que está relacionado con el desplazamiento horizontal, plantea ciertas preocupaciones debido al efecto de la flexión en vigas de gran canto. Este fenómeno podría causar deformaciones excesivas si no se controla adecuadamente, por lo que requiere atención especial en el diseño y la evaluación.

A pesar de estos problemas potenciales, el análisis no lineal indica que el índice de daño global se mantiene en niveles relativamente bajos, sugiriendo que el edificio tiene un buen comportamiento general a pesar de los daños observados en las zonas más inferiores. No obstante, es crucial tener en cuenta que los elementos de unión entre las estructuras existentes y las nuevas podrían ser también puntos muy vulnerables. Aunque parece indicar que la estructura fallará antes por las zonas inferiores.

7.5.3. Comparación de resultados

Para poder establecer un juicio crítico entre ambos sistemas, es necesario llevar a cabo un análisis comparativo entre el sistema modular de acero y el sistema de madera contralaminada.

En cuanto al sistema modular de acero, tiene la particularidad de generar grandes cargas puntuales debido a la forma en que sus elementos lineales están configurados. Estas cargas concentradas producen tensiones muy altas en los puntos de anclaje, especialmente en las conexiones ubicadas en la parte central del módulo.

En contraste, el sistema panelado de madera contralaminada ofrece un enfoque diferente para la distribución de cargas, ya que reparte la carga de forma uniformemente repartida entre todo el pórtico de la estructura, y esto favorece a la estructura inferior.

Al analizar las tensiones de tracción y compresión (T. 64), se identifica que, en ambas opciones, el factor más desfavorable se encuentra en las tensiones de tracción en el eje x. Para calcular la capacidad de los elementos, se extraerá el índice de agotamiento. El porcentaje extraído es una medida clave para evaluar la capacidad de la estructura frente a las tensiones a las que está sometida. Se calcula como el cociente entre el esfuerzo aplicado a un elemento y su capacidad máxima teórica. Por tanto, un porcentaje alto sugiere que la estructura está operando cerca de su límite y podría ser vulnerable. Por el contrario, un porcentaje de agotamiento bajo significa que la estructura tiene un margen significativo antes de llegar a su capacidad máxima.

| | Sin ampliación | | | Opción A | | Opción B | |
|----------------------|----------------|--------|--------------|----------|--------------|----------|--------------|
| | Límite | Valor | Agotamiento | Valor | Agotamiento | Valor | Agotamiento |
| | MPa | MPa | % | MPa | % | MPa | % |
| Tracción Sx | 0,1 | 0,0599 | 59,90 | 0,0823 | 82,30 | 0,0792 | 79,20 |
| Compresión Sx | 1,5 | 0,2755 | 18,37 | 0,5293 | 35,29 | 0,2872 | 19,15 |
| Tracción Sy | 0,1 | 0,0567 | 56,70 | 0,0651 | 65,10 | 0,0624 | 62,40 |
| Compresión Sy | 1,5 | 0,7044 | 46,96 | 0,8243 | 54,95 | 0,5858 | 39,05 |

◀ Tabla 64.
Valores de Sx y Sy

En la ampliación con estructura de acero, el porcentaje de agotamiento es del 82,30%, mientras que en la ampliación con CLT el porcentaje es de 79,20%. Aunque ambos sean porcentajes muy similares, el sistema porticado está más penalizado. Este fenómeno no se limita solo a las tensiones de tracción en el eje x. De hecho, se observa la

misma tendencia a lo largo del resto de tensiones, tanto en el sentido x como y. La diferencia más notable se encuentra en las tensiones de compresión Sx, donde el sistema con paneles de madera CLT todavía tiene un margen considerable antes de alcanzar los límites de resistencia de la fábrica.

Aunque la tracción en sentido x puede parecer el factor más crítico, las imágenes muestran valores generales de tensión que, en su mayoría, están por debajo de los límites permitidos (Fig. 148, 149). Esto sugiere que, a pesar de las aparentes diferencias en ciertos aspectos, ambos sistemas mantienen una estructura sólida y no superan las restricciones de diseño. No obstante, es importante seguir analizando estas tensiones para asegurar que no evolucionen hacia niveles problemáticos, especialmente en condiciones de carga dinámica o en situaciones de estrés prolongado.

◀ Figura 148.
Valores de S_x
a) edificio sin
ampliación
b) opción A
c) opción B

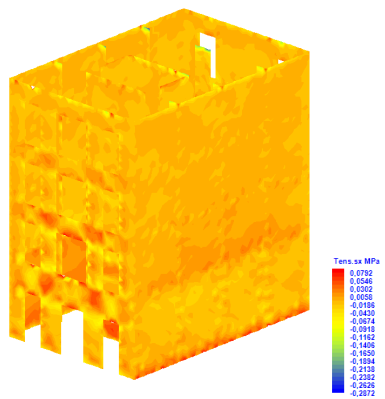
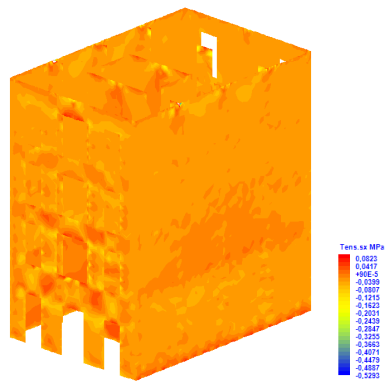
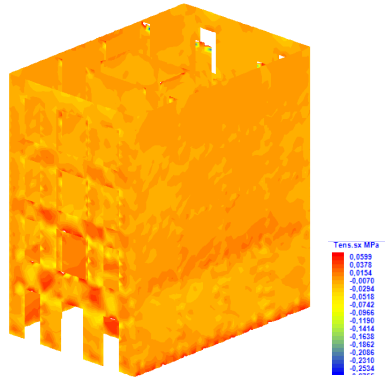

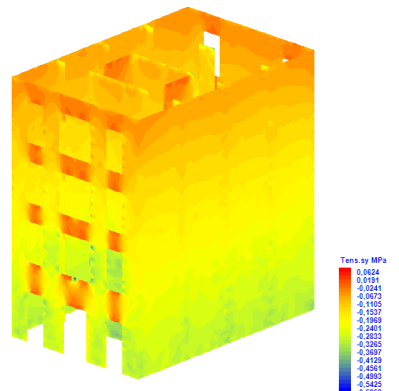
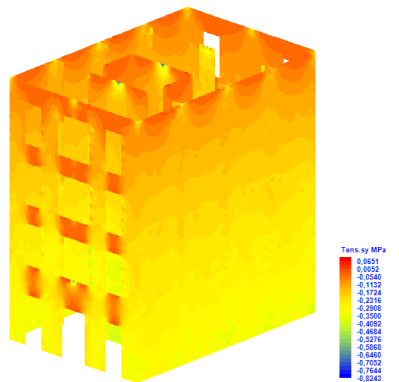
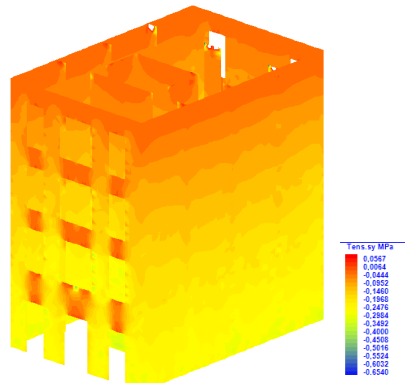


Figura 149.  Valores de Sy
a) edificio sin
ampliación
b) opción A
c) opción B



A pesar de que la estructura inferior cuenta con una gran rigidez debido a su materialidad, a continuación, se presenta una tabla con los resultados del cálculo comparados entre ambos sistemas. La tabla 65 muestra los valores máximos de las deformaciones en las direcciones x, y, z, del edificio existente, proporcionando así una visión global del comportamiento estructural. En la tabla se resaltan los valores más elevados de las deformaciones para cada eje y luego los relaciona con los valores correspondientes del otro sistema. Esto permite identificar fácilmente dónde se producen las mayores deformaciones. La presentación de estos datos en formato tabular facilita la comprensión y el análisis de las diferencias entre los dos sistemas.

◀ Tabla 65
Comparativa entre
sistemas de las
deformaciones

| | | Opción A | | Opción B | | Relación |
|-----------------------|----|----------|----------|----------|----------|----------|
| | | Positivo | Negativo | Positivo | Negativo | % |
| Deformación Dx | cm | 0,0132 | -0,0573 | 0,0121 | -0,0427 | 134,19 |
| Deformación Dy | cm | 0,0213 | -0,0573 | 0,0196 | -0,0332 | 172,59 |
| Deformación Dz | cm | 0,001 | -0,3567 | 0,001 | -0,3426 | 104,12 |

Los resultados muestran valores muy igualados, siendo algo mayores las deformaciones de la ampliación con los módulos de acero. En lo que respecta al eje x, la flexión de los elementos empuja a los muros de fábrica generando mayor deformación. En lo que respecta a la deformación en el eje y, el sistema que más penaliza y con más diferencia respecto al panelado de madera, vuelve a ser el porticado de acero. Esto se debe a la flexión en los elementos horizontales longitudinales. Al flexionarse, estos elementos tienden a generar mayor tracción en los puntos de apoyo de los extremos, lo que a su vez causa más deformación en el eje y. Finalmente, en la deformación del eje z, con un aumento del 104,12%, es el valor más próximo en comparación con el otro caso.

Seguidamente, se presentan los valores de los puntos de control analizados. En este caso, cuando se analizan las deformaciones máximas, se observan diferencias significativas en los porcentajes entre sistemas. Sin embargo, cuando se consideran los valores de los puntos de control, la diferencia es considerablemente menor, alrededor de un 112%. Esta convergencia en los valores se produce especialmente cuando se examinan los nodos en los EF. La mayor diferencia se detecta en el elemento lineal de viga. A pesar de que el módulo panelado tiene una conexión directa con dicho elemento estructural, su configuración ayuda a corregir la flexión, lo que resulta en menores deformaciones. Si las vigas experimentan menos flexión y deformación, contribuye también a una menor deformación en el forjado.

Tabla 66. ▶
Comparativa entre
sistemas según los
puntos de control

| | | Opción A | Opción B | Relación |
|------------------------------|----|----------|----------|----------|
| | | Eje z | Eje z | % |
| Punto de control A.EF | cm | 0,1736 | 0,15659 | 110,86 |
| Punto de control B.EF | cm | 0,18649 | 0,16849 | 110,68 |
| Punto de control C.EF | cm | 0,04948 | 0,04775 | 103,62 |
| Punto de control D.EF | cm | 0,19169 | 0,15457 | 124,02 |
| Punto de control E.EF | cm | 0,17882 | 0,16014 | 111,66 |
| Punto de control F.L | cm | 0,35026 | 0,19571 | 178,97 |
| Punto de control G.L | cm | 0,19621 | 0,17613 | 111,40 |

Las secuencias que se ilustran seguidamente muestran cómo progresa el daño en el edificio existente a lo largo del tiempo. Las figuras superiores representan el daño asociado a la ampliación con módulos de acero (Fig. 150), y las figuras inferiores el daño causado por módulos de madera contralaminada (Fig. 151). Al observar la evolución del daño en el edificio existente, se puede visualizar cómo la estructura reacciona ante las tensiones y las cargas añadidas, permitiendo identificar áreas de alto riesgo y anticipar posibles problemas. En ambos casos está aplicada la misma combinación de carga, y se ilustran los mismos pasos.

En las figuras superiores, correspondientes a la ampliación con módulos de acero, las áreas de daño tienden a concentrarse alrededor de los puntos de unión y anclaje. Debido al peso y la rigidez del acero, estas zonas experimentan tensiones elevadas, lo que lleva a mayores daños. En contraste, las figuras inferiores muestran como el patrón de daño es diferente debido a las propiedades de la madera contralaminada, que es más ligera y tiene una mayor capacidad para soportar y distribuir tensiones. Las áreas de daño tienden a ser menos concentradas y más uniformemente distribuidas.

Analizando la secuencia completa, se observa como en el paso 3 ambos casos muestran un buen rendimiento. El edificio se encuentra en buenas condiciones, y no se detectan puntos significativos con daños. Este resultado indica que, bajo condiciones normales de carga, en ambas situaciones el edificio existente se mantiene estable.

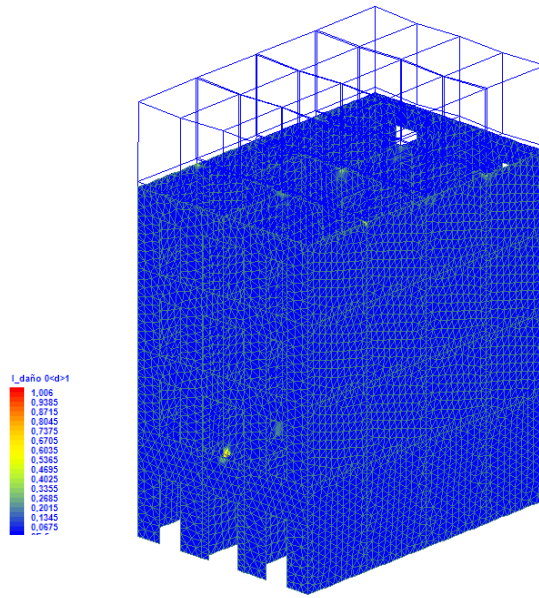
Sin embargo, en el momento que situamos el paso de carga 8, se empiezan a observar diferencias entre las dos ampliaciones. En el caso de la estructura de acero, comienzan a aparecer puntos de daño en la zona baja, con un índice de al menos 0,4 en múltiples áreas. Además, los puntos de unión centrales superiores muestran un índice de daño del 0,4

también. En contraste, cuando se analiza el sistema de paneles de madera contralaminada los elementos más afectados son las conexiones, con un índice de daño de 0,4.

En el paso 20, se observan efectos notables en términos de daño y estabilidad. En el caso del sistema de módulos de acero, al incrementar el paso de carga a estos niveles, los puntos de anclaje comienzan a presentar índices de daño muy elevados, incluso llegando a la unidad. Este nivel de daño es alarmante, pues sugiere que el edificio base no podría soportar la carga generada por la ampliación. La unidad en el índice de daño implica que la estructura está al borde del fallo o la ruptura, indicando una posible necesidad de refuerzos significativos o rediseño para prevenir un colapso. Por otro lado, el sistema de madera contralaminada con el mismo aumento de carga, el edificio base todavía muestra capacidad para soportar la ampliación. Aunque aparecen nuevos daños, los puntos donde previamente se identificaron lesiones no parecen haber empeorado. No obstante, surgen daños nuevos, especialmente en la fachada, los cuales tienden a concentrarse alrededor de los huecos.

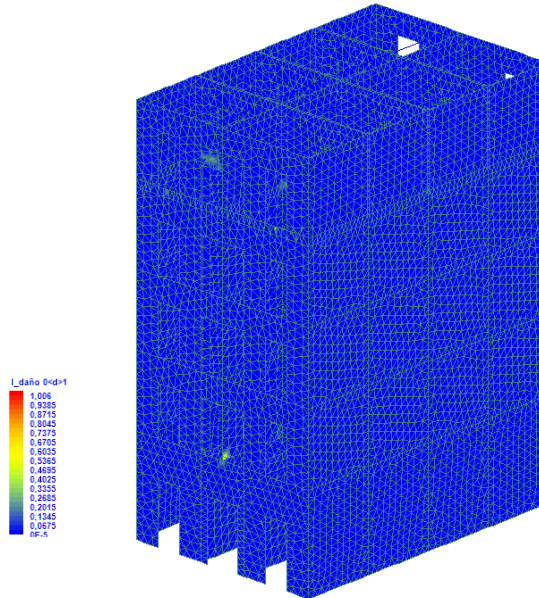
Finalmente, en el último paso mostrado, la ampliación realizada de elementos lineales llega al colapso. Los módulos de acero, con su mayor peso y alta rigidez, ejercen una carga significativa en los puntos de unión y en la estructura inferior. A pesar de que parecía que los daños en planta baja estaban muy presentes, ha sido la segunda crujía quien ha agotado la capacidad del edificio. En cambio, el otro caso, muestra un comportamiento más favorable. A pesar de la carga, la estructura parece ser capaz de soportar la ampliación, aunque se detectan signos de daños más agudos en la planta baja y en los elementos interiores.

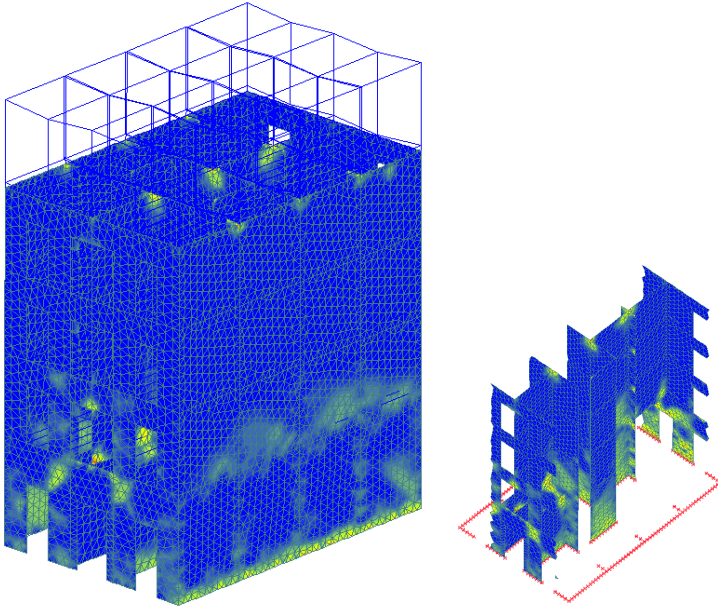
Figura 150. Índice de daño del modelo de acero. Secuencia durante el análisis a cargas verticales



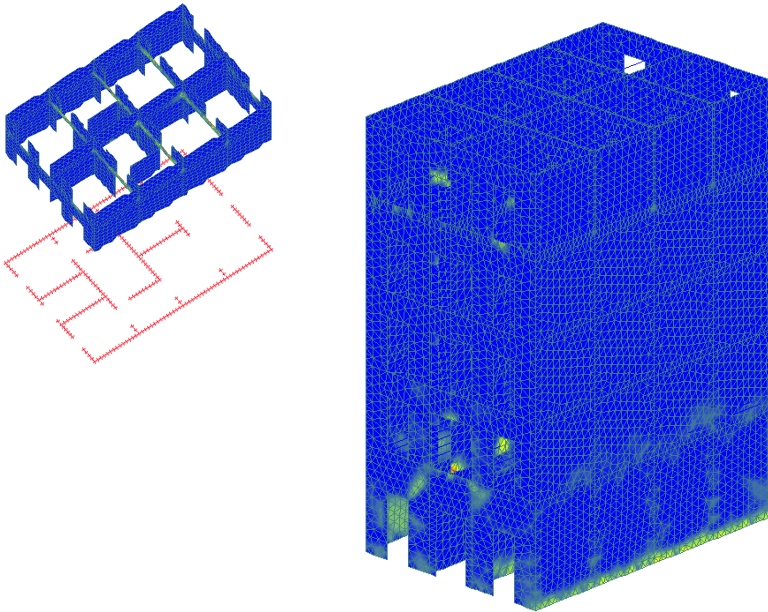
Paso 3

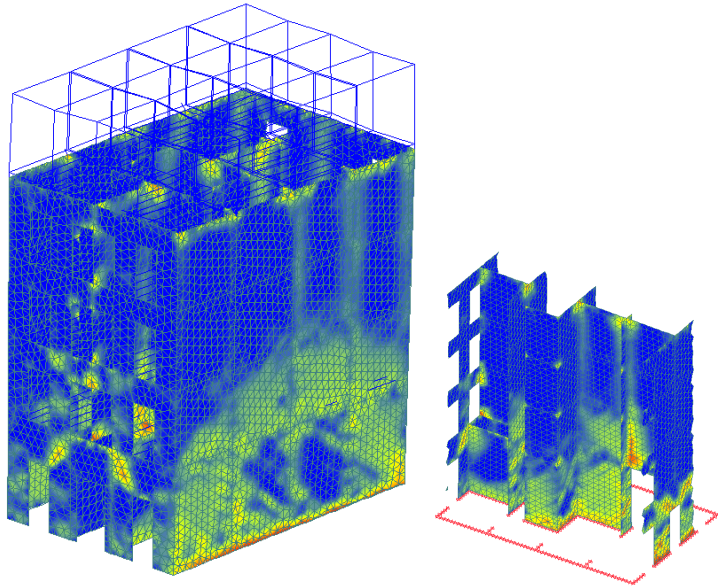
Figura 151. Índice de daño del modelo de CLT. Secuencia durante el análisis a cargas verticales



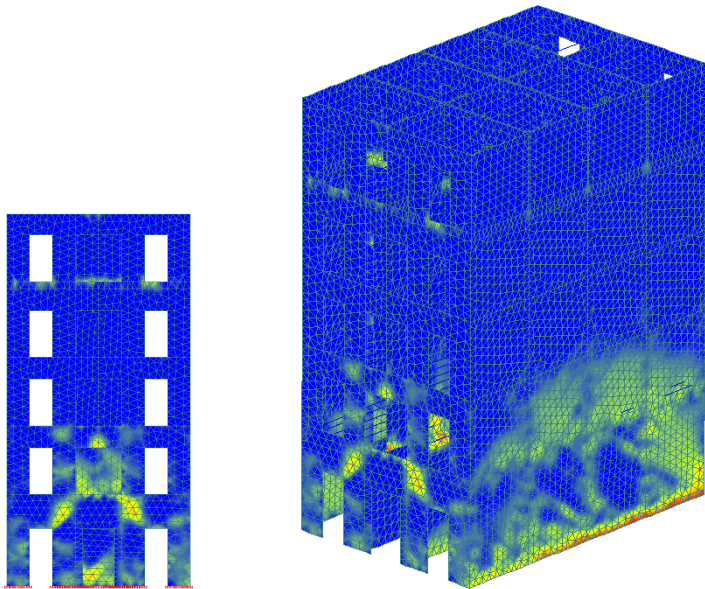


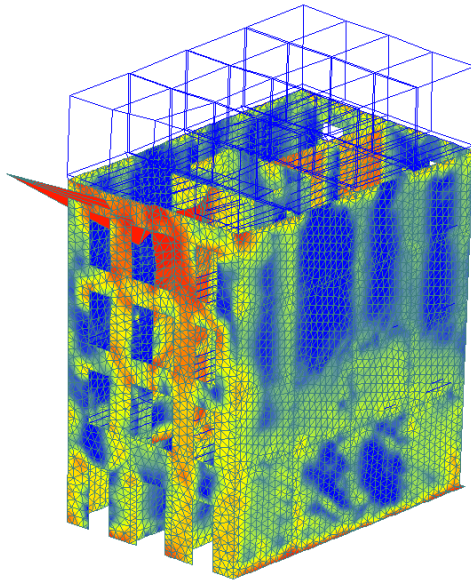
Paso 8



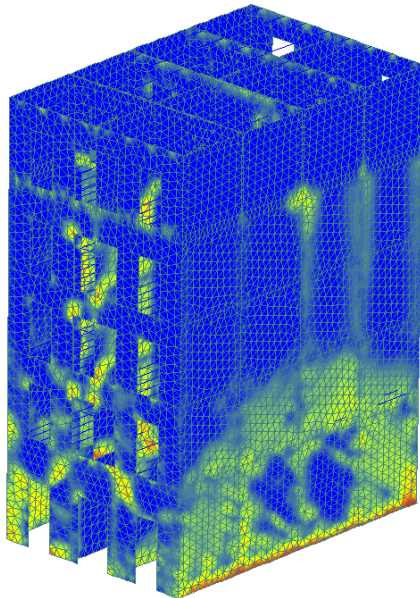


Paso 20





Paso 48



Directrices de diseño para la ampliación vertical **08**

El presente capítulo trata de reunir todas aquellas directrices necesarias para que cualesquiera de los agentes intervinientes tengan conocimiento de cómo realizar y que tener en cuenta en las ampliaciones verticales. Para ello, se han desarrollado directrices específicas según el sistema constructivo elegido. Como resultado, se ha elaborado una guía de buenas prácticas que se basa en los conocimientos obtenidos hasta la fecha en el transcurso de la tesis doctoral.

Esta guía proporciona recomendaciones y sugerencias para ayudar a los profesionales a abordar las ampliaciones verticales de manera eficiente y segura. La guía ofrece un marco sólido para el diseño y ejecución de estos proyectos, permitiendo a los técnicos y demás partes interesadas abordar cuestiones como la estabilidad estructural, la integración con la edificación existente y el cumplimiento normativo.

El objetivo principal es ofrecer orientación sobre dos aspectos clave para la ampliación vertical: la geometría y la elección de materiales. Se pretende que sea una herramienta útil para quienes buscan orientación en las ampliaciones verticales.

Puntualizar que no abarca detalles específicos sobre los aspectos constructivos de las sobreelevaciones. Temas como la conexión entre estructuras existentes y nuevas, o refuerzos estructurales no están dentro del alcance de esta investigación.

A continuación, se presenta la guía de buenas prácticas para consideraciones de diseño en las ampliaciones verticales.

I. Introducción

Objetivo de la Guía. Ofrecer recomendaciones claras y prácticas para la selección de sistemas modulares en proyectos de ampliación vertical, concretamente en edificios residenciales del Ensanche de Valencia. Los sistemas modulares que se abordarán en esta guía incluyen estructuras porticadas de acero y estructuras paneladas de madera contralaminada (CLT).

Contexto. Los sistemas porticados de acero y panelados de CLT son los sistemas modulares más aptos según una evaluación realizada que puntúa parámetros estructurales como, el comportamiento resistente, las conexiones estructurales, la durabilidad y mantenimiento, y la compatibilidad estructural. Pero también otro tipo de parámetros como la eficiencia energética y la sostenibilidad, la flexibilidad y adaptabilidad, el tiempo de construcción y reducción de plazos, la experiencia del fabricante e identidad cultural, y los costes.

II. Consideraciones previas para la elección del sistema modular

Para la elección del sistema modular del proyecto de sobreelevación, es necesario tener en cuenta varios factores que influirán en la viabilidad del proyecto, y en las pretensiones a conseguir. Estas consideraciones previas establecen el marco para una toma de decisiones informada, y aseguran que se seleccione el sistema más adecuado para las necesidades específicas del proyecto.

En esta sección, se exploran las principales cuestiones a tener en cuenta antes de seleccionar un sistema modular. Esto incluye aspectos relacionados con el impacto ambiental y sostenibilidad, los costes y disponibilidad del mercado, y la flexibilidad en el diseño.

Los siguientes aspectos incluyen información relativa a cada uno de los sistemas seleccionados, generando un contexto preliminar y una buena práctica para la elección. La última cuestión trata de despejar dudas al usuario sobre qué sistema escoger. Es decir, la buena práctica está destinada a orientar a los potenciales usuarios de esta guía durante la elección entre el sistema porticado de acero y el panelado de CLT.

1. Impacto ambiental y sostenibilidad

Sistema porticado de acero: Tiene un alto impacto ambiental durante su producción, ya que requiere un proceso de fabricación intensivo en energía. Este proceso, que incluye la extracción de materias primas, fundición y fabricación, resulta en emisiones significativas de carbono y un alto consumo energético.

Sistema panelado de CLT: La materia prima es un recurso renovable que puede ser cultivado y gestionado de manera sostenible, lo que reduce el impacto ambiental de su producción. Incluso, si se gestiona correctamente, la producción de CLT puede ser neutral en carbono o incluso negativa, ya que la cantidad de carbono almacenada en la madera puede superar las emisiones generadas durante la producción.

Buena práctica: Considera el ciclo de vida completo del material, incluyendo producción, transporte, construcción y reciclaje.

2. Costes y disponibilidad del mercado

Sistema porticado de acero: Es ampliamente disponible y con un coste más competitivo. Además, existen múltiples proveedores, lo que garantiza una disponibilidad casi inmediata.

Sistema panelado de CLT: Puede resultar más caro y menos accesible. El número de proveedores es más limitado y, en algunos casos, se requiere un tiempo para la fabricación y entrega de los paneles.

Buena práctica: Realiza un análisis de costes que incluya materiales, mano de obra, transporte y tiempo de disponibilidad y construcción.

3. Flexibilidad de diseño

Sistema porticado de acero: Ofrece una gran flexibilidad de espacios. La estructura permite crear espacios diáfanos, puesto que el sistema se compone de elementos lineales que abren el espacio y facilitan la implementación de múltiples usos.

Sistema panelado de CLT: Los diseños tienden a cerrar y definir espacios más claramente, ya que forman los paneles cierran y limitan mejor los espacios. Más idóneo para diseños con espacios compartimentados.

Buena práctica: Considera el diseño arquitectónico según los espacios requeridos del programa.

III. Consideraciones estructurales según el sistema modular escogido

La elección del sistema modular puede tener un impacto significativo en la seguridad, estabilidad y funcionalidad de la estructura. En esta sección se abordarán cuestiones a tener en cuenta según el sistema modular escogido

como la inspección visual del edificio, la geometría, la morfología, los puntos de apoyo entre el edificio existente y los módulos y la capacidad de carga de la estructura inferior.

Todo ello viene determinado por estudios, y en cómo cada sistema modular afecta a la integridad estructural, al comportamiento bajo diferentes cargas y a las implicaciones para la conexión con estructuras existentes.

1. Inspección visual del edificio existente

Objetivo: Evaluar el estado estructural del edificio existente.

Sistema porticado de acero: Los edificios de la zona de actuación son susceptibles de fallo en la zona inferior en contacto con la cimentación. Se deberá comprobar el estado de los muros de carga, y los pórticos interiores, sobre todo las zonas de planta baja. Asimismo, y debido a la carga puntual generada, se deberá comprobar el estado de los elementos estructurales donde se apoye en la cubierta.

Sistema panelado de CLT: Los edificios de la zona de actuación son susceptibles de fallo en la zona inferior en contacto con la cimentación. Se deberá comprobar el estado de los muros de carga, y los pórticos interiores, sobre todo las zonas de planta baja.

2. Geometría

Objetivo: Establecer pautas geométricas compatibles con el material disponible del mercado y la estructura existente.

Sistema porticado de acero: Diseñar el módulo con unas dimensiones totales de 8 m de longitud, 3 m de ancho, y 3 m de altura aproximadamente, y dependiendo estas dimensiones del ancho de fachada del edificio preexistente y de la luz de sus crujías. Cada 2 m, aproximadamente, incorporar montantes en ambas direcciones. Cada módulo encaja con una crujía, disponer tantos módulos como crujías tenga el edificio.

Sistema panelado de CLT: Diseñar el módulo con unas dimensiones totales de 8 m de longitud, 3 m de ancho, y 2,95 m de altura aproximadamente y dependiendo estas dimensiones del ancho de fachada del edificio preexistente y de la luz de sus crujías. Incorporar una panel interior central. Cada módulo debe coincidir con una crujía, evitando así flexiones en el sistema secundario inferior. Disponer, por tanto, tantos módulos como crujías tenga el edificio.

3. Morfología

Objetivo: Establecer directrices de forma y disposición de las nuevas estructuras.

Sistema porticado de acero: Componer el módulo a partir de un sistema principal de soportes en esquina y cuadros superior e inferior, incorporar montantes verticales y horizontales para rebajar las luces, y así poder incluir los elementos que compongan el forjado. Para facilitar la construcción y reducir el tiempo de montaje, se recomienda utilizar dos secciones, una mayor de PHC120.5 para los elementos principales de esquina y ambos cuadros, y una menor de PHC60.5 para los montantes verticales y horizontales. Estas dimensiones son orientativas y la homogeneización de los tipos de sección permite, entre otras ventajas, la simplificación de los detalles constructivos.

Sistema panelado de CLT: Componer el módulo a partir de paneles que abarquen todas las caras, incorporar un panel interior que arriestre y divida la luz por la mitad. Para facilitar la construcción y reducir el tiempo de montaje, se recomienda utilizar dos tipos de paneles, para los horizontales un CLT 125 5s, y para los verticales CLT 90 3s. Estas dimensiones son orientativas.

4. Puntos de apoyo entre el edificio existente y los módulos

Objetivo: Determinar los puntos de conexión y apoyo entre el edificio existente y los módulos para asegurar una integración segura.

Sistema porticado de acero: La transferencia de carga se realiza de forma puntual en cada uno de los apoyos que conectan con la estructura inferior. El apoyo más vulnerable es el punto central del segundo pórtico. Por ello, se debe retrasar a la segunda crujía el primer punto de apoyo, puesto que se genera una gran tensión en el muro de carga de la fachada que puede producir el fallo estructural.

Sistema panelado de CLT: La transferencia de carga se realiza de forma repartida a lo largo de los pórticos inferiores. Conectar los módulos y la estructura inferior longitudinalmente por todo el elemento de carga inferior.

5. Porcentaje y capacidad de carga

Objetivo: Indicar el porcentaje de agotamiento que puede soportar el edificio existente sin comprometer la seguridad según la tipología del sistema.

Sistema porticado de acero: Con este tipo de módulos, el edificio cuenta con un 61% de agotamiento.

Sistema panelado de CLT: Con este tipo de módulos, el edificio cuenta con un 49% de agotamiento.

6. Número de plantas a sobreelevar

Objetivo: Indicar el número de plantas a ampliar verticalmente.

Sistema porticado de acero: Teniendo en cuenta que el número de plantas a ampliar depende mucho de la estructura inferior, no se recomienda ampliar más de una planta. Consultar siempre la normativa para comprobar la edificabilidad del edificio.

Sistema panelado de CLT: Se puede ampliar una planta con seguridad, para ampliar más de dos plantas es necesario hacer un estudio de viabilidad de la estructura inferior, ya que depende mucho del estado del edificio existente. Consultar siempre la normativa para comprobar la edificabilidad del edificio.

IV. Comentarios finales

Llegados al final de la guía, es importante recordar que el diseño y la implementación de proyectos de sobreelevación, dependen en gran medida del estado y la tipología de la estructura inferior. Por este motivo, es necesario hacer una evaluación y recopilación de información del edificio existente.

Las anteriores consideraciones sobre la elección del sistema modular a utilizar, y las recomendaciones según la elección del mismo, solo pretenden al usuario abrir el conocimiento sobre esta metodología. No obstante, esta guía no pretende ser exhaustiva. Cada proyecto tiene sus propias particularidades. Además, la construcción modular está en constante evolución, con nuevas tecnologías y métodos que pueden cambiar la forma en que abordamos estos proyectos. Por lo tanto, recomendamos a los profesionales mantenerse al día con las últimas tendencias y avances en el campo.

Conclusiones **09**

9.1. Relativas a la conveniencia de la metodología de sobreelevación y sus grandes rasgos definitorios

La sobreelevación en las ciudades como respuesta a la emergencia habitacional y climática plantea cuestiones complejas en términos de planificación urbana, sostenibilidad y tecnología. Esta estrategia implica la construcción de nuevas viviendas o plantas superiores sobre edificios existentes, supuestamente ya conformados. De esta forma, lo que se propone es el aumento de la capacidad habitacional de las ciudades y hacer frente a la creciente demanda de viviendas. Además, la ampliación vertical está motivada por la necesidad de adaptación de la construcción a los efectos del cambio climático y de la disponibilidad de recursos.

Esta práctica trata de aprovechar el espacio aéreo disponible de los edificios existentes, y se presenta como una solución aparentemente viable en las ciudades. No obstante, su implementación efectiva requiere considerar factores que van más allá de lo meramente urbanístico. De hecho, ya se comentaba que la tecnología es un punto bastante conflictivo. Ya que el edificio a ampliar presenta unas particularidades muy específicas que hay que tener en cuenta. Por un lado, la estructura existente, a pesar de encontrarse aparentemente en buen estado no debe sobrecargarse, ya que esto implicaría un aumento de carga para la que no está pensada. Así que, la ampliación debe partir de conceptos como la ligereza. Por otro lado, la compatibilidad geométrica entre ambas estructuras es crucial para que se produzca una correcta transmisión de cargas hasta la cimentación.

Los casos de ampliación vertical existentes abarcan diferentes campos, no solo a nivel urbano, sino también económico y proyectual. Junto a esto, la investigación se centra principalmente en buscar soluciones sostenibles, aunque también va creciendo la exploración de soluciones estructuralmente más eficientes a nivel sísmico y de rehabilitación.

Como se adelantaba, la investigación en la sobreelevación ha destacado la importancia de buscar soluciones que no solo sean eficaces desde el punto de vista habitacional, sino también respetuosas con el entorno. En este sentido, se ha observado un creciente interés en desarrollar prácticas de ampliación vertical que no solo respondan a la emergencia habitacional, sino que también contribuyan a la revitalización de áreas urbanas degradadas y promuevan la densificación inteligente de las ciudades. Es por ello, que la ampliación se presenta como una solución prometedora para enfrentar la escasez de viviendas dignas en zonas urbanas tensionadas, especialmente en ciudades y en zonas céntricas. Asimismo, tratan de mejorar el edificio existente, haciendo de éste un edificio actualizado, que cumpla los requisitos de accesibilidad, e incluso mejorar su eficiencia energética.

Cuando el contexto urbano latente, caracterizado por el crecimiento de las ciudades y la emergencia habitacional, y el consumo responsable se entrelazan, surgen nuevas estrategias de actuación en las ciudades. Una de estas propuestas es la ampliación vertical o sobreelevación, secundada por amplios casos de aplicabilidad que manifiestan el interés y el valor de esta práctica. Si bien, la sobreelevación puede proporcionar solución para la escasez de viviendas dignas en zonas tensionadas, también plantea desafíos en términos de diseño y tecnología.

Una de las características distintivas de la sobreelevación es su condición de práctica novedosa, que se encuentra aún en una etapa incipiente de documentación y estudio científico. Esta falta de información consolidada representa tanto un desafío como una oportunidad para profundizar en el conocimiento de esta metodología y sus implicaciones. En este sentido, se destaca un claro énfasis en la renovación energética y la implementación de soluciones sostenibles como áreas de investigación y desarrollo prioritarias.

A pesar de la relativa escasez de evidencia científica y documentación disponible, se percibe una tendencia positiva hacia la sobreelevación. Este fenómeno sugiere un creciente reconocimiento y aceptación de la sobreelevación como una alternativa viable y atractiva para abordar los desafíos habitacionales y urbanos contemporáneos. La creciente adopción de prácticas sostenibles y la búsqueda de soluciones innovadoras son indicadores claros de esta tendencia positiva, que apunta hacia un futuro en el que la sobreelevación podría desempeñar un papel cada vez más relevante en la configuración de entornos urbanos resilientes y sostenibles.

9.2. Sobre las oportunidades para la sobreelevación en el contexto actual

Las ciudades necesitan más espacio para acoger a los nuevos habitantes que se desplazan de las zonas rurales a las urbanas. Aunque la forma habitual es ampliar su extensión, este tipo de ampliación es un modelo ineficiente, además de insostenible, no sólo por la cantidad de recursos económicos que hay que invertir, sino también por los aspectos medioambientales y sostenibles.

El deterioro de los centros históricos y las áreas de ensanche provocadas por el envejecimiento de los edificios y los residentes, sugieren nuevas oportunidades para la regeneración urbana. Así, la existencia de edificios que aún no han agotado su edificabilidad, junto con los planes especiales vigentes, permiten una ampliación de alturas en edificios supuestamente ya consolidados.

No en vano, el deterioro de los barrios más antiguos genera una necesidad de rehabilitación de sus edificios. Además, la falta de mantenimiento, la presencia de barreras arquitectónicas, la ausencia de ascensor, la corrección de patologías, o incluso la restauración de elementos patrimoniales, son cuestiones que responden a una inversión de capital, que en muchas ocasiones los propietarios no pueden asumir. Por tanto, nos encontramos en un contexto específico: edificios con protección, más edificabilidad vacante, y con falta de mantenimiento.

La suma de estas y otras razones posibilita la creación de nuevas viviendas en las azoteas de los edificios en muchos ensanches decimonónicos y de la primera mitad de siglo XX de muchas ciudades, donde hoy en día se permiten más plantas, a cambio de rehabilitar y mejorar estos edificios. Como ejemplo, en la ciudad de València, esta oportunidad se ha desarrollado de manera natural, sin promulgar nuevas leyes. De hecho, de forma específica en los barrios de Russafa Nord y Sur, existen 62 inmuebles con posibilidad de sobreelevar.

Esta regeneración urbana propone la actualización y adaptación de viviendas y bloques de apartamentos, en entornos arquitectónicos protegidos, revalorizando el paisaje urbano. Del mismo modo, este conjunto de mejoras, no sólo favorece al patrimonio en su conjunto, sino que también beneficia a los vecinos individualmente. Por lo tanto, este tipo de actuaciones en las ciudades potencian la creación de viviendas de forma sostenible, cuidadosa y metódica.

La construcción de nuevas viviendas presenta algunas particularidades, motivadas por el contexto físico y humano. La limitación de la duración en los trabajos en obra, los múltiples condicionantes estructurales, la meticulosidad en la intervención, junto con valores de eficiencia energética y sostenibilidad, estarán garantizados por una metodología de construcción industrializada y ligera.

Por todo esto, se extraen como puntos significativos:

- Existencia de optimización del uso urbano: debido a la situación de crecimiento demográfico y migración hacia áreas urbanas, la demanda de vivienda y espacio habitable aumenta exponencialmente. La sobreelevación emerge como una alternativa eficiente para satisfacer esta demanda sin expandir la huella urbana
- Regeneración urbana y revitalización de zonas degradadas: la renovación de edificios existentes y la ampliación vertical pueden revitalizar áreas degradadas, como los centros históricos y los distritos de ensanche envejecidos. Esto no solo conserva el

patrimonio arquitectónico, sino que también revitaliza la vida comunitaria y económica en estas áreas

- Potenciador de políticas de desarrollo urbano sostenible: la sobre-elevación se alinea con las políticas y objetivos de desarrollo urbano sostenible, promoviendo la densificación inteligente, la eficiencia energética y la inclusión social.

9.3. Sobre la aptitud de edificios susceptibles de recibir ampliación vertical

Los barrios de nuestra zona de actuación tienen tres características comunes: edificios residenciales protegidos, posibilidad legal de albergar más pisos y falta de mantenimiento y actualización. Por ello, existen diferentes respuestas a esta situación, y la sobre-elevación es una de ellas cuando estas tres circunstancias se combinan con una fuerte demanda de viviendas. Esta estrategia proporciona un crecimiento controlado y sostenible, basado en la construcción de viviendas en las cubiertas de los edificios que aún no han agotado sus posibilidades legales.

Los edificios de los barrios analizados están contruidos principalmente durante el siglo XIX y principios del XX, y se caracterizan por tener una estructura de muros de carga de fábrica no reforzada. Después de realizar una recopilación de fichas sobre los edificios con posibilidad de ampliación, se concluye que su estado de conservación es bueno. Esto favorece la ampliación en las edificaciones del Ensanche de Valencia.

Junto a ello, hay que tener en cuenta que los edificios de la zona tienen algún grado de protección. De igual forma, al ser parte del patrimonio arquitectónico e histórico de la ciudad, están sujetos a normativas y regulaciones especiales de conservación y protección. Es fundamental asegurarse de que cualquier intervención de ampliación vertical cumpla con estas normativas, respetando la integridad arquitectónica y cultural del edificio y del entorno urbano circundante.

La construcción de las nuevas viviendas parte de unas circunstancias que condicionan su materialización y diseño, determinadas por el edificio existente y por las diferentes normativas actuales. A continuación, se exponen los puntos a considerar para el desarrollo de la sobre-elevación.

- La ligereza es una de las principales exigencias que debe tener el diseño de la ampliación. A pesar de que la estructura del edificio existente pueda soportar más carga, no puede incrementarse de manera indefinida. De ahí que, la nueva estructura deberá

atender a propiedades de peso mínimo. Esto nos obliga a realizar la ampliación a partir de estructuras ligeras

- Los edificios de la zona de estudio cuentan con una clara y definida geometría que condicionará la posición de las nuevas viviendas. Por tanto, la nueva estructura deberá guiarse por el ritmo paralelo de los muros de carga, que al mismo tiempo influirá en la distribución interior de las viviendas. Así pues, esta métrica vendrá determinada no solo por la geometría de la estructura, sino también por las exigencias mínimas de las diferentes normativas de los espacios habitables
- La recepción de las nuevas viviendas se realiza por la cubierta. Esto quiere decir que, la interacción de ambas estructuras está muy condicionada por el tipo de cubierta. Ya habíamos comentado que, en nuestro caso, la mayoría de ellas son planas, por tanto, una vez eliminada la capa superior se deberán encontrar los puntos de apoyo correctos
- El diseño de la ampliación deberá tener en cuenta la imagen general del entorno, de forma que se englobe dentro del patrimonio arquitectónico de la ciudad. El ritmo y geometría de los huecos, las cornisas, incluso la materialidad exterior, deberán estar en sintonía con el resto de fachada.

La construcción de las nuevas viviendas presenta unas particularidades concretas, motivadas por el contexto tipológico, estructural y constructivo. Los múltiples condicionantes estructurales, la minuciosidad en la intervención, junto a valores eficientes energéticamente y sostenibles, se verán garantizados mediante una metodología de construcción industrializada y ligera.

9.4. Sobre la existencia de tecnología adecuada para el desarrollo de los módulos prefabricados

Con relación a los sistemas modulares genéricos, nos encontramos que ofrecen numerosas ventajas, incluyendo una mayor eficiencia en tiempo y costos, así como una mayor flexibilidad y sostenibilidad en comparación con los métodos de construcción tradicionales. Sin embargo, es crucial abordar adecuadamente las consideraciones estructurales al utilizar estos sistemas. La modularidad implica la fabricación de componentes estándar en condiciones controladas de fábrica, lo que puede limitar la complejidad y la variabilidad en el diseño estructural. Las investigaciones en construcción modular han experimentado un crecimiento, esto denota la capacidad de

entendimiento del sistema, no solo por parte de técnicos, sino también de contratistas, y por supuesto, de promotores.

Las consideraciones estructurales en los sistemas modulares no solo abarcan la resistencia ante cargas verticales producidas por el peso propio o la sobrecarga de uso, cargas habitualmente consideradas de forma sistemática en el cálculo, sino que también hacen hincapié en los mecanismos de fallo provocados por cargas laterales, como el viento o el sismo. Estos factores de riesgo son especialmente relevantes en los sistemas modulares, ya que pueden inducir movimientos de balanceo en la estructura modular, lo que podría comprometer su estabilidad y seguridad.

Además, el transporte y la manipulación de los componentes modulares también pueden generar vibraciones que deben ser tenidas en cuenta. Estas vibraciones, aunque pueden parecer insignificantes, tienen el potencial de afectar la integridad estructural de los módulos, especialmente si se repiten de manera continua o si alcanzan amplitudes significativas. El deterioro gradual de la estructura debido a estas vibraciones podría eventualmente conducir a fallos o colapsos inesperados.

Por lo tanto, es fundamental realizar e incorporar medidas de diseño que minimicen los efectos de las cargas laterales y las vibraciones, asegurando la estabilidad y durabilidad de la estructura modular. Esto puede implicar el uso de sistemas de sujeción robustos, el diseño de conexiones adecuadas para resistir las fuerzas laterales, y la implementación de técnicas de mitigación de vibraciones durante el transporte y la instalación de los módulos. Además, es fundamental realizar un seguimiento continuo de la integridad estructural a lo largo de la vida útil de la construcción modular, mediante inspecciones regulares y mantenimiento para prevenir posibles problemas antes de que se conviertan en riesgos para la seguridad.

La creciente popularidad de los sistemas modulares en la construcción ha abierto nuevas posibilidades en términos de eficiencia, flexibilidad y sostenibilidad. Sin embargo, junto con sus numerosas ventajas, surge la necesidad de abordar cuidadosamente las consideraciones estructurales inherentes a este nuevo enfoque constructivo.

En cuanto a los sistemas modulares se sintetizan las siguientes conclusiones:

- La conclusión principal de la mayoría de las investigaciones indica que los sistemas modulares son construcciones más eficientes que la construcción convencional
- Las cargas laterales son las acciones que más afectan a la construcción modular

- El mecanismo de fallo más severo es el colapso progresivo debido al efecto inesperado del fenómeno.
- No hay normas específicas para los sistemas modulares, por ello, se deben regir por las normas habituales de estructuras. Dando lugar, a posibles vacíos en consideraciones estructurales

Junto a todo ello, es importante comprender que la arquitectura modular no implica una carencia de proyecto arquitectónico. Más bien, representa un enfoque alternativo que ofrece otro punto de partida para la expresión creativa. Al trabajar dentro de parámetros modulares, los arquitectos encuentran oportunidades para fusionar funcionalidad y estética de otra manera, llevando a la vida diseños que se adaptan con flexibilidad a las necesidades cambiantes y desafíos contemporáneos.

En cuanto a la búsqueda particular de módulos para la ampliación vertical se destaca que su geometría resulta de la combinación de:

- La normativa, la cual nos limita dimensionalmente unos espacios mínimos dignos
- La oferta del mercado, la cual hace posible la tecnología de fabricación

De esta forma se analiza que, normativamente es posible realizar la sobreelevación a partir de la construcción modular prefabricada. Ya que existe una compatibilidad entre las normas de habitabilidad y de los sistemas prefabricados. En cuanto a la tecnología, nos encontramos en una situación en la que no existe oferta de productos para la sobreelevación, debe ser el mismo proyectista el que tiene que construir un prototipo a partir del material del mercado. Aun así, se observa la posibilidad de fabricar módulos tipo a partir de sistemas modulares fabricados en acero, o paneles de CLT, junto con elementos prefabricados de uso educativo. Geométricamente, y a partir de ajustes dimensionales es posible encajar los módulos con el ritmo estructural del edificio existente. Se establece, por tanto, que existe una compatibilidad entre normativa, sistemas prefabricados del mercado y edificios existentes, realizando una ligera readaptación de los elementos modulares actuales.

9.5. Sobre la materialidad y el sistema estructural de los nuevos módulos

El diseño de las nuevas viviendas parte de una matriz que considera dos cuestiones; la transferencia estructural y la materialidad. Este proceso de evaluación conduce a la identificación de cinco tipos distintos de sistemas modulares que ofrecen soluciones innovadoras y eficientes para la construcción residencial. Posteriormente, estos sistemas han

sido sometidos a una evaluación, donde se consideran no solo criterios estructurales, sino también otros parámetros relevantes. Los sistemas mejor valorados han sido el sistema porticado de acero y el panelado de madera contralaminada. Estas opciones destacaron por su capacidad para ofrecer una respuesta estructural robusta y confiable, así como por su versatilidad y adaptabilidad a diferentes contextos y necesidades habitacionales.

En concreto el sistema mejor puntuado ha sido el sistema modular de paneles de madera contralaminada. En su puntuación predomina el equilibrio entre la eficiencia estructural y la responsabilidad ambiental. Además, la combinación entre una instalación eficiente, un menor tiempo de construcción y el enfoque medioambiental hace que esta opción sea atractiva también desde un punto de vista financiero.

Por otro lado, el sistema porticado de acero combina la amplia disponibilidad y experiencia en el uso de este material con la eficiencia estructural. La gran cantidad de proveedores, constructores, técnicos y profesionales con un profundo conocimiento de las propiedades y la manipulación del acero contribuye a su popularidad y aplicabilidad generalizada.

Realizada la elección de los sistemas a evaluar, se produjo primero la justificación del modelo arquitectónico. No olvidemos que, el objetivo final de toda la investigación es desarrollar un prototipo modular replicable para la implementación en las ampliaciones verticales. Con este fin en mente, se procedió a definir claramente el objeto de estudio, asegurando que cada detalle del diseño contribuya a la viabilidad y eficacia del prototipo en cuestión. Definido el objeto, se ha realizado el análisis estructural de ambos prototipos, revelando que el sistema panelado de madera contralaminada resulta ser significativamente más ligero en comparación con su contraparte de acero. Esta comparación, se ha realizado considerando que el porticado de acero cuenta con el mismo resultado final, en cuanto a soportes resistentes se refiere, que el panelado de CLT. Concretamente, el sistema de acero pesa un 317,29% más que el panelado de madera.

En análisis en las deformaciones revela diferencias entre ambos sistemas. En el caso del sistema porticado de acero, la deformación máxima es de 2,94 cm en la dirección X. Lo que indica una mayor susceptibilidad a las cargas laterales, especialmente en la dirección del viento N<S, que equivale al lado longitudinal del módulo. Esto afirma la vulnerabilidad del sistema a cargas laterales. Por otro lado, el sistema panelado de madera contralaminada exhibe una máxima deformación de 0,13 cm en la misma dirección X. Este valor es insignificante y casi despreciable en comparación con el sistema de acero, lo que sugiere una mayor rigidez y resistencia a las cargas laterales.

En lo referente a las reacciones en los apoyos revela una tendencia contraria en los prototipos de madera contralaminada. En este caso, se observa que las reacciones en los apoyos son mayores, especialmente en la dirección X. Este fenómeno es especialmente notable en el apoyo interior, donde se encuentran unidos el panel intermedio interior y el trasero. La presión ejercida por los paneles en esta dirección, incluyendo el panel intermedio y los dos medianeros, genera un efecto de viga de gran canto. Como resultado, se produce un incremento significativo de los esfuerzos en los puntos de apoyo.

Redimensionados ambos modelos a una optimización máxima, se observa que la multitud de secciones asociadas a los diferentes elementos de los prototipos, desvirtualizan la idea de la construcción prefabricada y modular, la cual trata de homogeneizar y ofrecer rapidez de montaje. Por esta razón, se concluye que los prototipos modulares deben contar con el menor número de elementos diferentes posibles.

9.6. Sobre la interacción entre el edificio preexistente y la nueva ampliación modular

La interacción entre la estructura del edificio existente y la nueva ampliación plantea una serie de desafíos, especialmente en relación con la capacidad y vulnerabilidad de la edificación original. En el estudio del caso escogido, correspondiente a la ciudad de València, la estructura estadísticamente más habitual está materializada con muros de fábrica de ladrillo, lo cual ha requerido tanto un cálculo lineal, como otro no lineal. Dado que la comparación de los resultados de ambos tipos de análisis no ofrece diferencias significativas, se puede concluir que el cálculo lineal proporciona menos precisión pero suficientes garantías en este tipo de actuaciones.

Sin embargo, a pesar de que las diferencias entre los análisis lineales y no lineales son mínimas, la no linealidad ofrece los posibles puntos por donde fallará el edificio. Esto permite prever zonas críticas para realizar inspecciones visuales antes de proceder con la ampliación vertical. En el caso que nos ocupa, los puntos más vulnerables están ubicados en la planta baja, por lo que se recomienda comenzar la inspección por estas áreas.

La opción de sobreelevación de los módulos realizados a partir de sistemas porticados de acero supone para el edificio existente un aumento medio de tensiones del 70%, casi el doble del valor inicial. Aun así, debido a la gran rigidez del edificio, las deformaciones no son tan significativas. Destaca sobre todo el punto medio del muro de carga, que experimenta un desplazamiento en el eje perpendicular al edificio superior al doble del valor original.

En el caso de la opción de panelado de madera, el aumento de tensiones es considerablemente menor, alrededor del 22%, y al igual que con los pórticos de acero, las deformaciones son limitadas. En este caso, la atención se centra en el desplazamiento horizontal en el apoyo de la viga siguiendo la dirección de la misma, para el elemento que componen la estructura de los pórticos interiores del edificio existente.

En ambos casos las tensiones provocan tracciones en la fábrica de ladrillo del edificio existente, que rondan en ambos casos el 80% de agotamiento en el eje x. A pesar de este valor, el resto de tracciones y compresiones se encuentran más favorecidas en la ampliación realizada por paneles de CLT.

El análisis no lineal indica que, en las mismas condiciones, una ampliación realizada con estructuras de acero colapsaría antes que la ampliación de paneles. Esto se debe a que el acero tiende a concentrar la fuerza en los puntos específicos de apoyo, particularmente en los puntos centrales de la estructura inferior. En estas áreas, las tensiones son mucho más altas debido a la naturaleza puntual de la transmisión de cargas. En el caso panelado de madera, también se generan tensiones significativas en los elementos que transmiten la carga, pero de forma más repartida. Esto significa que las cargas se dispersan de manera más uniforme a lo largo de la estructura, reduciendo la presión sobre puntos específicos, minimizando el riesgo de colapso, y favoreciendo al edificio existente.

Futuras líneas de investigación **10**

A medida que las ciudades crecen y evolucionan, surge la necesidad de adaptar y ampliar edificios existentes para satisfacer las crecientes demandas de espacio y funcionalidad. Estas ampliaciones presentan desafíos únicos, desde la integración de las estructuras existentes hasta el cumplimiento de múltiples normativas, pasando por cuestiones estructurales, constructivas o incluso urbanísticas. Para abordar estas cuestiones, se requiere un enfoque multidisciplinario. Por ello, se proponen las siguientes líneas de investigación:

- **Estudio de viabilidad de la sobreelevación en diferentes ciudades, y la comparativa entre ellas:** Analizar la posibilidad de ampliar el parque residencial en otras ciudades que presenten problemas de vivienda. De esta forma, lo que se pretende es la posibilidad de extrapolar esta metodología a múltiples ciudades con problemas de falta de vivienda y patrimonio degradado.
- **Estudio de la sobreelevación en diferentes tipologías constructivas:** Durante esta tesis se ha realizado la ampliación en una tipología concreta, se propone ampliar el estudio a diferentes tipologías constructivas y estructurales.
- **Influencia de las cargas de viento y sismo en los edificios con ampliaciones verticales:** Puesto que las ampliaciones pueden introducir cargas adicionales y cambiar la distribución de la carga, se propone como otra línea de investigación evaluar el impacto de estas modificaciones, identificar posibles debilidades estructurales y desarrollar estrategias de refuerzo para garantizar que los edificios con ampliaciones verticales cumplan con las normas de seguridad estructural considerando el viento y con las normas de seguridad sísmica.
- **Estudio de la cimentación de los edificios susceptibles de ampliación vertical:** Evaluar la capacidad de carga de las cimentaciones existentes, identificar posibles debilidades y determinar el peso máximo adicional que pueden soportar.
- **Estudio de métodos de refuerzo estructural:** Investigar nuevos métodos para reforzar estructuras existentes antes de la ampliación.
- **Solución constructiva de la interacción entre el edificio existente y la ampliación:** Un punto crítico es la interacción entre ambas estructuras, para ello, se propone el estudio constructivo entre ambas partes.
- **Impacto medioambiental de las ampliaciones verticales:**

Analizar el impacto ambiental de diferentes tipos de ampliaciones, como la huella de carbono, el uso de materiales sostenibles y la eficiencia energética de las nuevas estructuras.

- **La afectación de la sobreelevación en la eficiencia energética de los edificios existentes:** Estudiar cómo las ampliaciones pueden diseñarse para mejorar la eficiencia energética del edificio existente y como es su afectación.
- **Normativas y reglamentaciones para ampliaciones:** Explorar cómo las normativas y reglamentaciones influyen en el diseño y la construcción de ampliaciones, y proponer recomendaciones para mejorar la seguridad y la sostenibilidad de estos proyectos.

Bibliografía

- Adfer. (s. f). Wing House: residencia reciclando un Boeing 747.
- Aejaz, S. A., Dar, M. A., Dar, A. R., Bhat, J. A., & Carvalho, H. (2021). Behaviour of various framed timber joints: Capacity and improved design rules. *Journal of Building Engineering*, 44 (Octubre), 103417. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.103417>
- Agarwal, R., Shankar, C., & Mukund, S. (2016). *Imagining construction 's digital future Disrupting construction*. (Junio), 1-21. Recuperado de <https://www.mckinsey.com/business-functions/operations/our-insights/imagining-constructions-digital-future>
- Aguiló Alonso, Miguel, Ramon. Arandes i Renú, Federico Echevarría Sainz, José M. Espinosa Ochoa, José A. Fernández Ordóñez, Juan F. López Baillo, y J. S. S. (1974). *Prefabricación: teoría y práctica. Tomo I*. Barcelona: Editores Técnicos Asociados.
- Álvarez, A. C. (2020). *Diseño de viviendas temporales: sostenibilidad energética de contenedores de vida*. Universidad Politécnica de Cartagena.
- Álvarez, J. L. B. (s. f). *Estudio relativo a la construcción modular*.
- Annan, C. D., Youssef, M. A., & El Naggar, M. H. (2009). Experimental evaluation of the seismic performance of modular steel-braced frames. *Engineering Structures*, 31(7), 1435-1446. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2009.02.024>
- Anne Lacaton, Frédéric Druot, J.-P. V. (2007). *Plus. La vivienda Colectiva. Territorio de excepción*.
- Areitio Mata, J. K. (2017). *Prácticum : Obra de rehabilitación y sobreelevación de un edificio del ensanche de Barcelona*.
- Arriola Aguirre, P.M.(2005).II Jornadas de Geografía urbana: Recuperación de centros históricos, utopía, negocio o necesidad social. *Recuperación de centros históricos: Utopía, negocio o necesidad Social*. Alicante: Biblioteca Virtual Miguel de Cervantes.
- Artés, J., Wadel, G., Martí, N., & Wainberg, T. (2018). Sistema constructivo industrializado para rehabilitación y sobreelevación. *X Congreso Regional de Tecnología en Arquitectura (CRETA)*, 369-379.
- Aşıkoğlu, A., Vasconcelos, G., Lourenço, P. B., & Pantò, B. (2020). Pushover analysis of unreinforced irregular masonry buildings: Lessons from different modeling approaches. *Engineering Structures*, 218 (Mayo). <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2020.110830>

- Asselstine, J., Lam, F., & Zhang, C. (2021). New edge connection technology for cross laminated timber (CLT) floor slabs promoting two-way action. *Engineering Structures*, 233 (Febrero), 111777. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2020.111777>
- Bailach Hernandis, J., & Lostao Chueca, D. (2018). UP. Completar edificios para mejorar las ciudades. *CONTART 2018: VII Convención de la Edificación*, 371-380. Zaragoza.
- Banham, R. (2002). *A Concrete Atlantis: U.S. Industrial Building and European Modern Architecture, 1900-1925*. MIT Press.
- Bergdoll, B., & Christensen, P. (2008). *Home Delivery: Fabricating the Modern Dwelling*.
- Bhandari, S., Riggio, M., Jahedi, S., Fischer, E. C., Muszynski, L., & Luo, Z. (2023). A review of modular cross laminated timber construction: Implications for temporary housing in seismic areas. *Journal of Building Engineering*, 63(PA), 105485. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2022.105485>
- Boafo, F. E., Kim, J. H., & Kim, J. T. (2016). Performance of modular prefabricated architecture: Case study-based review and future pathways. *Sustainability (Switzerland)*, 8(6), 1-16. <https://doi.org/10.3390/su8060558>
- Bonett, R. L. (2003). *Vulnerabilidad y Riesgo Sísmico de edificios. Aplicación a entornos urbanos en soznas de amaneza alta y moderada* (Universitat Politècnica de Catalunya). Recuperado de <http://www.tdx.cat/handle/10803/6230>
- Boyd, N., Khalfan, M. M. A., & Maqsood, T. (2013). Off-Site Construction of Apartment Buildings. *Journal of Architectural Engineering*, 19(1), 51-57. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)ae.1943-5568.0000091](https://doi.org/10.1061/(asce)ae.1943-5568.0000091)
- Brandner, R. (2018). Cross laminated timber (CLT) in compression perpendicular to plane: Testing, properties, design and recommendations for harmonizing design provisions for structural timber products. *Engineering Structures*, 171(Noviembre 2017), 944-960. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2018.02.076>
- Cao, J., Xiong, H., & Cui, Y. (2022). Seismic performance analysis of timber frames based on a calibrated simplified model. *Journal of Building Engineering*, 46(Noviembre 2021), 103701. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.103701>

- Capel, H. (2002). La morfología de las ciudades. *Barcelona: Ediciones del Serbal*, 544(32), 119-122.
- Casagrande, D., Sinito, E., Izzi, M., Pasetto, G., & Polastri, A. (2021). Structural performance of a hybrid timber wall system for emergency housing facilities. *Journal of Building Engineering*, 33(Junio 2020), 101566. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2020.101566>
- Chen, Z., Khan, K., Khan, A., Javed, K., & Liu, J. (2021). Exploration of the multidirectional stability and response of prefabricated volumetric modular steel structures. *Journal of Constructional Steel Research*, 184, 106826. <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2021.106826>
- Chourasia, A., Singhal, S., & Manivannan. (2023). Prefabricated Volumetric Modular Construction: A Review on Current Systems, Challenges, and Future Prospects. *Practice Periodical on Structural Design and Construction*, 28(1), 1-16. <https://doi.org/10.1061/ppscfx.sceng-1185>
- Comisión Europea. (2016). Recuperado de Assistant Buildings' addition to Retrofit, Adopt, Cure And Develop the Actual Buildings up to zeRo energy, Activating a market for deep renovation website: <https://cordis.europa.eu/project/id/696126/es>
- Dan-Adrian, C., & Tsavdaridis, K. D. (2022). A comprehensive review and classification of inter-module connections for hot-rolled steel modular building systems. *Journal of Building Engineering*, 50 (Diciembre 2021), 104006. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2022.104006>
- Daukšis Ortolá, S., & Taberner Pastor, F. (2002). *Territorio, sociedad y patrimonio: una visión arquitectónica de la historia de la ciudad de Valencia*. Valencia: Universitat de València.
- De Gracia, F. (s. f). *Construir en lo construido. La arquitectura como modificación*. Editorial Nerea.
- De Terán, F. (1994). *Arquitectura y Urbanismo*.
- Díaz Piloñeta, M., Ortega Fernandez, F., Díaz Suárez, A., & Álvarez Cabal, V. (2018). Present and Future of Modular Construction. *22nd International Congress on Project Management and Engineering*, 22(Julio), 647-657. Madrid.
- Ding, C., Bai, Y., Fang, Y., Huang, F., & Arashpour, M. (2022). A Focused Review of Modular Construction for Medical and Quarantine Facilities. *Journal of Architectural Engineering*, 28(4), 1-13. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)ae.1943-5568.0000565](https://doi.org/10.1061/(asce)ae.1943-5568.0000565)

- Estudiantes aprenden en el Aeropuerto de Castellón a reutilizar fuselaje de aviones para crear viviendas. (2022). Recuperado 8 de agosto de 2023, de Castellon Informacion website: <https://www.castelloninformacion.com/45-estudiantes-aeropuerto-castellon-arquitecturafuselaje-aviones-viviendas/>
- Ferdous, W., Bai, Y., Ngo, T. D., Manalo, A., & Mendis, P. (2019). New advancements, challenges and opportunities of multi-storey modular buildings – A state-of-the-art review. *Engineering Structures*, 183 (Enero), 883-893. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2019.01.061>
- Fernández Forcada, M. (2015). *La madera contralaminada como alternativa en sistemas de baja energía estructural*. Recuperado de <https://riunet.upves/handle/10251/59387>
- Fran Bretones, J. M. (1990). *Técnicas de rehabilitación. Soluciones específicas a las lesiones existentes en los inmuebles del ensanche de Valencia de 1887*. Universitat Politècnica de València.
- García-Cuevas González, L. M., Carreres Talens, M., & Tiseira Izaguirre, A. O. (2018). *Arquitectura general de aeronaves*. 11. Recuperado de [https://riunet.upves/bitstream/handle/10251/105195/Garcia-Cuevas%3BCarreres%3BTiseira - Arquitectura de aeronaves.pdf?sequence=1](https://riunet.upves/bitstream/handle/10251/105195/Garcia-Cuevas%3BCarreres%3BTiseira%20-%20Arquitectura%20de%20aeronaves.pdf?sequence=1)
- Gardoni, P., & LaFave, J. M. (2016). Multi-hazard approaches to civil infrastructure engineering. En *Multi-Hazard Approaches to Civil Infrastructure Engineering*. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-29713-2>
- Gatheeshgar, P., Poologanathan, K., Gunalan, S., Shyha, I., Sherlock, P., Rajanayagam, H., & Nagaratnam, B. (2021). Development of affordable steel-framed modular buildings for emergency situations (Covid-19). *Structures*, 31(Febrero), 862-875. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2021.02.004>
- Gropius, W. (1966). *La nueva arquitectura y la Bauhaus*. Barcelona: Lumen.
- Gunawardena, T., Ngo, T., & Mendis, P. (2016). Behaviour of multi-storey prefabricated modular buildings under seismic loads. *Earthquake and Structures*, 11(6), 1061-1076. <https://doi.org/10.12989/eas.2016.11.6.1061>
- Han, X. Z., Wang, C., He, X. H. C., Hu, Y. F., Chan, T. M., & Chung, K. F. (2023). Experimental investigation on bolted inter-module connections and subassemblies of steel modular frames. *Journal of Construction Steel Research*, 211(Abril), 108118. <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2023.108118>

- Hematabadi, H., Madhoushi, M., Khazaeian, A., & Ebrahimi, G. (2021). Structural performance of hybrid Poplar-Beech cross-laminated-timber. *Journal of Building Engineering*, 44(Abril).
- Herbert, G. (1981). *The Packaged House: Dream and Reality*. Technion-Israel Institute of Technology, Faculty of Architecture and Town Planning, Documentation Unit of Architecture.
- Hong, Y. (2017). A study on the condition of temporary housing following disasters: Focus on container housing. *Frontiers of Architectural Research*, 6(3), 374-383. <https://doi.org/10.1016/j.foar.2017.04.005>
- Ibarloza, A., Malles, E., Ibarloza, E., & Heras-Saizarbitoria, I. (2018). The needs and effects of housing renewal policies in Spain: Implications for sustainability and accessibility. *Sustainable Cities and Society*, 40(Enero), 244-253. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2018.01.037>
- Innella, F., Bai, Y., & Zhu, Z. (2020). Mechanical performance of building modules during road transportation. *Engineering Structures*, 223(Junio), 111185. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2020.111185>
- Jellen, A. C., & Memari, A. M. (2018). Residential Vertical Expansions Using Modular Construction. *Journal of Architectural Engineering*, 24(3), 1-12. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)ae.1943-5568.0000322](https://doi.org/10.1061/(asce)ae.1943-5568.0000322)
- Jiménez Renedo, M. C. (2020). Estudio comparado de la regulación de las condiciones de habitabilidad de las viviendas den la normativa autonómica vigente. *Ciudad y Territorio*, 52(204).
- Kang, S. B., Xiong, G., Feng, S. Y., Zhu, H., & Zhou, S. R. (2022). Behaviour of glulam timber frames with different beam-column connections and braces under reversed cyclic loads. *Journal of Building Engineering*, 49(Diciembre 2021), 104031. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2022.104031>
- Kelly, B. (1951). *Prefabrication of houses*. New York: MIT Press.
- Kitchenham, B., Pickard, L., & Pfleeger, S. L. (1995). Case Studies for Method and Tool Evaluation. *IEEE Software*, 12(4), 52-62. <https://doi.org/10.1109/52.391832>
- Krausmann, F., Lauk, C., Haas, W., & Wiedenhofer, D. (2018). From resource extraction to outflows of wastes and emissions: The socioeconomic metabolism of the global economy, 1900–2015. *Global Environmental Change*, 52(Abril), 131-140. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2018.07.003>

- Kromoser, B., Reichenbach, S., Hellmayr, R., Myna, R., & Wimmer, R. (2022). Circular economy in wood construction – Additive manufacturing of fully recyclable walls made from renewables: Proof of concept and preliminary data. *Construction and Building Materials*, 344(Junio), 128219. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.128219>
- La casa por el tejado. (2020). Recuperado de <http://www.lacasaporeltejado.eu/>
- Lacey, A. W., Chen, W., Hao, H., & Bi, K. (2018). Structural response of modular buildings – An overview. *Journal of Building Engineering*, 16(Julio 2017), 45-56. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2017.12.008>
- Lantigua De La Cruz, S. (2015). *Prefabricación ligera por paneles enfocados en la vivienda*. 1-153. Recuperado de <https://riunet.upves/handle/10251/49728>
- Lawson, M., Ogden, R., & Goodier, C. (2014). Design in modular construction. En *Design in Modular Construction*. <https://doi.org/10.1080/10464883.2017.1260969>
- Lawson, R. M., & Ogden, R. G. (2008). «Hybrid» light steel panel and modular systems. *Thin-Walled Structures*, 46(7-9), 720-730. <https://doi.org/10.1016/j.tws.2008.01.042>
- Lawson, R. M., & Richards, J. (2010). Modular design for high-rise buildings. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Structures and Buildings*, 163(3), 151-164. <https://doi.org/10.1680/stbu.2010.163.3.151>
- Lawson, R. Mark, Ogden, R. G., & Bergin, R. (2012a). Application of modular construction in high-rise buildings. *Journal of Architectural Engineering*, 18(2), 148-154.
- Lawson, R. Mark, Ogden, R. G., & Bergin, R. (2012b). Application of Modular Construction in High-Rise Buildings. *Journal of Architectural Engineering*, 18(2). [https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1061/\(ascelae.1943-5568.0000057](https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1061/(ascelae.1943-5568.0000057)
- Lim, Y.W., Ling, P.C.H., Tan, C.S., Chong, H.Y., & Thurairajah, A. (2022). Planning and coordination of modular construction. *Automation in Construction*, 141(Julio), 104455. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2022.104455>
- Liu, J., Chen, Z., Liu, Y., Bai, Y., & Zhong, X. (2021). Full-scale corner-supported modular steel structures with vertical inter-module connections under cyclic loading. *Journal of Building Engineering*, 44(Mayo), 103269. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.103269>

- Llopis Alonso, A., & Perdigón Fernández, L. A. (2010). *Cartografía histórica de la ciudad de Valencia (1608-1944)*. Valencia: Editorial Universitat Politècnica de València.
- Loss, C., Piazza, M., & Zandonini, R. (2016a). Connections for steel – timber hybrid prefabricated buildings . Part I : Experimental tests. *Construction and Building Materials*, 122, 781-795. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.12.002>
- Loss, C., Piazza, M., & Zandonini, R. (2016b). Connections for steel – timber hybrid prefabricated buildings . Part II : Innovative modular structures. *Construction and Building Materials*, 122, 796-808. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.12.001>
- Lourenço, P. B., Mendes, N., Ramos, L. F., & Oliveira, D. V. (2011). Analysis of masonry structures without box behavior. *International Journal of Architectural Heritage*, 5(4-5), 369-382. <https://doi.org/10.1080/15583058.2010.528824>
- Lukic, R., Poletti, E., Rodrigues, H., & Vasconcelos, G. (2018). Numerical modelling of the cyclic behavior of timber-framed structures. *Engineering Structures*, 165(Julio 2017), 210-221. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2018.03.039>
- Luo, F. J., Bai, Y., Hou, J., & Huang, Y. (2019). Progressive collapse analysis and structural robustness of steel-framed modular buildings. *Engineering Failure Analysis*, 104(Junio), 643-656. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2019.06.044>
- Malesza, J., & Miedziatowski, C. (2017). Current Directions in Development of Modern Wood-framed Houses. *Procedia Engineering*, 172, 701-705. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.02.084>
- Manalo, A. (2013). Structural behaviour of a prefabricated composite wall system made from rigid polyurethane foam and Magnesium Oxide board. *Construction and Building Materials*, 41, 642-653. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.12.058>
- Mendis, P., Ngo, T., Haritos, N., Hira, A., Samali, B., & Cheung, J. (2007). Wind loading on tall buildings. *Electronic Journal of Structural Engineering*, 7, 41-54. <https://doi.org/10.56748/ejse.641>
- Millán Delgado, N. (2018). *La edificabilidad vacante como estrategia de negocio actual en el sector inmobiliario, análisis y viabilidad de un modelo implantado en el Eixample de Barcelona*.

- Ministerio de Fomento. Gobierno de España. (2019). Documento Básico SE. Seguridad estructural. *Código Técnico de la Edificación*, 1-39.
- Moreno González, R. (2006). Evaluación del riesgo sísmico en edificios mediante análisis estático no lineal: Aplicación a diversos escenarios sísmicos de Barcelona. Recuperado de <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/93559#.X3oLEnWQwoA.mendeley%0Ahttps://upcommons.upc.edu/handle/2117/93559>
- Oliver, J. (1993). *Modelado de la fisuración en estructuras de hormigón*. CIMNE (Universitat Politècnica de Catalunya).
- Oller, S. (1991). Modelización Numérica de Materiales Friccionales. En *Monografía CINME N° 10*. Barcelona.
- Oller, S. (2001). *Fractura Mecánica. Un enfoque global*. CIMNE (Universitat Politècnica de Catalunya).
- Oñate, E., Hanganu, A., Barbat, A., Oller, S., Vitaliani, R., Saetta, A., & Scotta, R. (1996). *Structural Analysis and Durability Assessment of Historical Constructions Using a Finite Element Damage Model*. CIMNE (Universitat Politècnica de Catalunya).
- Ovando Vacarezza, G. (2015). *Criterios técnicos del proyecto con módulos tridimensionales ligeros: las casas del Solar Decathlon 2005 y 2007*. Recuperado de http://oa.upm.es/40687/1/GRACIELA_OVANDO_VACAREZZA.pdf
- Park, H. K., & Ock, J. H. (2016). Unit modular in-fill construction method for high-rise buildings. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 20(4), 1201-1210. <https://doi.org/10.1007/s12205-015-0198-2>
- Park, K. S., Moon, J., Lee, S. S., Bae, K. W., & Roeder, C. W. (2016). Embedded steel column-to-foundation connection for a modular structural system. *Engineering Structures*, 110, 244-257. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2015.11.034>
- Pearce, D. (2004). *Social and economic value of construction*. London.
- Pérez, C. E. (2008). *Industrializados a base de elementos prefabricados de hormigón*. 7.
- Piazza, M., Zanon, P., & Loss, C. (2015). Timber Structures. En G. Manfredi & M. Dolce (Eds.), *The state of Earthquake Engineering Research in Italy* (pp. 143-172). <https://doi.org/10.14599/r101304>

- Piqué y Gascón, M. (2017). Gustavo Giovannoni on planning in historic towns. *Context*, 152, 29-31.
- Piqueras Blasco, M., & Cabrera i Fausto, I. (2022). A study of relevant features for over-elevation as a strategy for urban renewal. *Structures and Architecture A Viable Urban Perspective?*, (Icsa), 487-494. <https://doi.org/10.1201/9781003023555-58>
- Piqueras Blasco, M., & Fenollosa Forner, E. (2020). Over-elevation as a measure of urban renewal. *EAAE-ARCC International Conference & 2nd VIBRArch*. Valencia: Editorial Universitat Politècnica de València.
- Pons, O. (2013). Assessing the sustainability of prefabricated buildings. *Eco-Efficient Construction and Building Materials: Life Cycle Assessment (LCA), Eco-Labeling and Case Studies*, 434-456. https://doi.org/10.1533/9780857097729_3_434
- Puig, A. S. (1974). El impacto de la revolución industrial sobre las ciudades europeas a través del transporte y la obra de Cerdà. *Quaderns d'arquitectura i societat*, 100, 32-44.
- Reynolds, T., & Enjily, V. (2006). *Timberframe buildings. A guide to the construction process*. <https://doi.org/10.11665/j.issn.1000-5048.20140310>
- Röck, M., Saade, M. R. M., Balouktsi, M., Rasmussen, F. N., Birgisdottir, H., Frischknecht, R., ... Passer, A. (2020). Embodied GHG emissions of buildings – The hidden challenge for effective climate change mitigation. *Applied Energy*, 258(Noviembre 2019), 114107. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.114107>
- Rodríguez Sánchez, L. C. (2019). El incipiente reconocimiento de la ciudad histórica ante la llegada de la ciudad industrial: del siglo xix e inicios del XX. *Decumanus*, 4(4), 42-62. <https://doi.org/10.20983/decumanus.2019.13>
- Rogan, A., Lawson, R., & Bates-Brkljac, N. (2000). *Value and Benefits Assessment of Modular Construction*. Steel Construction Institute.
- Roso, R. P. (2015). *Aproximación al comportamiento estructural de la iglesia y torre del Monasterio de Santa María de la Murta*. Universitat Politècnica de València.
- Ruggeri, E. M., D'Arenzo, G., & Fossetti, M. (2023). Investigating the effect of the structural interactions due to floors and lintels on the lateral response of multi-storey Cross-Laminated Timber shear walls. *Engineering Structures*, 290(Enero), 116327. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2023.116327>

- Ruuska, A., & Häkkinen, T. (2014). Material efficiency of building construction. *Buildings*, 4(3), 266-294. <https://doi.org/10.3390/buildings4030266>
- S. English, B. B. (2013). An introduction to Steel and Concrete Modular Construction. *1st Resid Build Des Constr Conf*, 326-333.
- Saloustros, S., Pelà, L., Contrafatto, F. R., Roca, P., & Petromichelakis, I. (2019). Analytical Derivation of Seismic Fragility Curves for Historical Masonry Structures Based on Stochastic Analysis of Uncertain Material Parameters. *International Journal of Architectural Heritage*, 13(7), 1142-1164. <https://doi.org/10.1080/15583058.2019.1638992>
- Sánchez González Juan Carlos. (2016). Construcción Modular Ligera Energéticamente Eficiente. *Tesis Doctoral*, 7-28. Recuperado de https://oa.upm.es/40342/1/JUAN_CARLOS_SANCHEZ_GONZALEZ.pdf
- Sarmirinto Ocampo, J. (2013). Antecedentes de la vivienda industrializada como propuesta ecológica. *HITO. Revista de Arquitectura*, 27, 28-41.
- Serra Soriano, B., Díaz Segura, A., & Meri de la Maza, R. (2017). Estudio y aplicación del sistema balloon frame a la industrialización de la vivienda: El caso de las American System-Built Houses de Frank Lloyd Wright. *Informes de la Construcción*, 69(546). <https://doi.org/10.3989/ic.15.023>
- Shan, S., & Pan, W. (2022). Progressive collapse mechanisms of multi-story steel-framed modular structures under module removal scenarios. *Structures*, 46(Noviembre), 1119-1133. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2022.10.106>
- Shin, B., Chang, S. J., Wi, S., & Kim, S. (2023). Estimation of energy demand and greenhouse gas emission reduction effect of cross-laminated timber (CLT) hybrid wall using life cycle assessment for urban residential planning. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 185(Agosto), 113604. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2023.113604>
- Shin, B., Wi, S., & Kim, S. (2023). Assessing the environmental impact of using CLT-hybrid walls as a sustainable alternative in high-rise residential buildings. *Energy and Buildings*, 294(Junio), 113228. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2023.113228>
- Silva, C. V., Branco, J. M., & Lourenço, P. B. (2013). A project contribution to the development of sustainable multi-storey timber buildings. *Portugal SB13 - Contribution of Sustainable Building to Meet EU 20-20-20 Targets*, (Octubre), 379-386. Recuperado de <https://repositorium.sdum.uminho.pt/handle/1822/26947>

- Singhal, S., Chourasia, A., Chellappa, S., & Parashar, J. (2019). Precast reinforced concrete shear walls: State of the art review. *Structural Concrete*, 20(3), 886-898. <https://doi.org/10.1002/suco.201800129>
- Smith, R. E. (2010). *Prefab Architecture: A Guide to Modular Design and Construction*. New Jersey: John Wiley & Sons.
- Soriano Vega, A. (2013). *Estudio patológico del Ensanche II de Valencia: Construcción y tipologías*. Valencia.
- Srisangeerthan, S., Hashemi, M. J., Rajeev, P., Gad, E., & Fernando, S. (2020). Review of performance requirements for inter-module connections in multi-story modular buildings. *Journal of Building Engineering*, 28(Noviembre 2019), 101087. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2019.101087>
- Strike, J. (2004). *De la construcción a los proyectos : la influencia de las nuevas técnicas en el diseño arquitectónico, 1700-2000*. Barcelona: Reverté.
- Taberner Pastor, F. (1987). *Valencia entre el ensanche y la reforma interior*. Recuperado de <http://journal.um-surabaya.ac.id/index.php/JKM/article/view/2203>
- Terrados Cepeda, F. J. (2012). *Prefabricación ligera de viviendas. Nuevas premisas*. Sevilla: Universidad de Sevilla.
- Thai, H. T., Ngo, T., & Uy, B. (2020). A review on modular construction for high-rise buildings. *Structures*, 28(Octubre), 1265-1290. <https://doi.org/10.1016/j.jistruc.2020.09.070>
- Tulebekova, S., Malo, K. A., Rønquist, A., & Návík, P. (2022). Modeling stiffness of connections and non-structural elements for dynamic response of taller glulam timber frame buildings. *Engineering Structures*, 261(Febrero). <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2022.114209>
- Van Le, T., Ghazlan, A., Ngo, T., Remennikov, A., Kalubadanage, D., & Chern Jinn Gan, E. (2020). Dynamic increase factors for Radiata pine CLT panels subjected to simulated out-of-plane blast loading. *Engineering Structures*, 225(Noviembre 2019), 111299. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2020.111299>
- Vázquez, D., & Fernández, C. (2019). Un ingeniero lleva 20 años transformando un Boeing 727 perdido en medio de un bosque en su propia casa: así es por dentro. Recuperado 8 de agosto de 2023, de Business Insider website: <https://www.businessinsider.es/espectacular-luce-boeing-727-convertido-vivienda-539811>

- Victoria, M. F., Deveci, G., Musau, F., & Clubb, M. (2023). Life cycle carbon and cost assessment comparing milled and whole timber truss systems and insulation options for affordable housing. *Energy and Buildings*, 285, 112895. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2023.112895>
- Wadel, G. (2010). *Sostenibilidad Y Arquitectura*. 15-37.
- Ye, Z., Giriunas, K., Sezen, H., Wu, G., & Feng, D. C. (2021). State-of-the-art review and investigation of structural stability in multi-story modular buildings. *Journal of Building Engineering*, 33(Marzo 2020), 101844. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2020.101844>
- Younis, A., & Doodoo, A. (2022). Cross-laminated timber for building construction: A life-cycle-assessment overview. *Journal of Building Engineering*, 52(Febrero), 104482. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2022.104482>
- Yu, Y., & Chen, Z. (2018). Rigidity of corrugated plate sidewalls and its effect on the modular structural design. *Engineering Structures*, 175(Agosto), 191-200. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2018.08.039>
- Zhang, G., Setunge, S., & van Elmpt, S. (2014). Using Shipping Containers to Provide Temporary Housing in Post-disaster Recovery: Social Case Studies. *Procedia Economics and Finance*, 18(Septiembre), 618-625. [https://doi.org/10.1016/s2212-5671\(14\)00983-6](https://doi.org/10.1016/s2212-5671(14)00983-6)
- Zhang, J.-Z., Chen, X., Li, G.-Q., & Yu, Z.-W. (2023). Collapse mechanism of three-dimensional modular steel buildings: Effect of steel wall and difference with traditional steel frame. *Journal of Building Engineering*, 76(Junio), 107197. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2023.107197>
- Zucconi, G. (2014). Gustavo Giovannoni: A theory and a practice of urban conservation. *Change Over Time*, 4(1), 76-91. <https://doi.org/10.1353/cot.2014.0009>

Fuente figuras

- Figura 1** Esquema de la metodología de investigación. Elaboración propia
- Figura 2** Leonardo Da Vinci. Wikimedia Commons, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Leonardo_da_Vinci_-_presumed_self-portrait_-_WGA12798.jpg
- Figura 3** Ilustración de una Portable Colonial Cottage. Ryan E. Smith, *Prefab Architecture: A Guide to Modular Design and Construction*. Hoboken: John Wiley & Sons, Inc., 2010.
- Figura 4** Sistema Balloon Frame. Wikimedia Commons, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Balloon_frame.jpg, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:EB1911_Carpentry_Fig_36_-_Balloon_Frame.jpg
- Figura 5** Montaje Balloon Frame, EEUU. *Bergdoll & Christensen*, 2008.
- Figura 6** Portada de Sears, Roebuck & Company y ejemplo del catálogo, "The Hamilton", modelo núms. 102 y 158. Catálogo Sears Roebuck, 1908, <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/b/b7/SearsHome102.jpg>
- Figura 7** Progreso del Crystal Palace en Sydenham. Wikimedia Commons, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Progress_of_the_Crystal_Palace_at_Sydenham_MET_DP109625.jpg?uselang=es
- Figura 8** Sistema Dom-ino, Le Corbusier. Centro Vasco de Arquitectura, <http://intranet.pogmacva.com/es/obras/75179>
- Figura 9** Baukasten im großen, Walter Gropius, 1923. Proyectos Arquitectónicos, ETSA Sevilla, <https://proyectos4etsa.wordpress.com/2011/10/31/baukasten-im-gro%C3%9Fen-walter-gropius-y-adolf-meyer-weimar-1922-2/>
- Figura 10** La casa de Acero de Georg Muehe y Richard Paulick en 1926-27. "The Construction Kit and the Assembly Line — Walter Gropius' Concepts for Rationalizing Architecture," *Arts* 7, no. 4 (2018), <https://doi.org/10.3390/arts7040095>.

- Figura 11** Packaged House, diseñada por Walter Gropius y Konrad Wachsmann. Izq; <http://modul-ar.blogspot.com/2016/02/modulacion-precedentes-sobre-sistemas.html>, der; https://www.researchgate.net/figure/Packaged-House-System-1942-Details-C-Sparks-Co-Inc-NY-Wachsmann-Wendepunkt-im_fig6_289989870
- Figura 12** Tennessee Valley Authority (TVA). Library of Congress Prints and Photographs Division Washington DC. 20540 USA, 2014).
- Figura 13** CIAM, Team 10 en Otterlo. Wikimedia Commons, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Congres_Team_10_in_Otterlo_-_Team_10_Meeting_in_Otterlo.jpg
- Figura 14** Capsule Houses, Warren Chalk, 1964. Izq; <https://ipinimg.com/originals/59/dd/f9/59ddf99027fc0b0713d78934011f9e45.jpg>, Der; <https://citymovement.wordpress.com/2012/05/11/relocating/>
- Figura 15** The Nakagin Capsule Tower. Jordy Meow, 2013.
- Figura 16** Secuencia cronológica con la identificación de etapas, principales proyectos y aspectos identificativos. Elaboración propia
- Figura 17** Principales motivaciones de los proyectos analizados a lo largo de la evolución. Elaboración propia
- Figura 18** Esquemas de los tipos de ampliación, tanto en planta como en sección. Elaboración propia
- Figura 19** Esquemas de las fases de trabajo que siguen los proyectos de sobreelevación. Elaboración propia
- Figura 20** Gráfico conceptual sobre los tiempos y los trabajos en la sobreelevación. Elaboración propia
- Figura 21** Proyecto de viviendas sobreelevadas de La Casa por el Tejado en Barcelona. Oriol Vives, 2016
- Figura 22** Diferentes proyectos del concurso Solar Decathlon. Equipos Solar Decathlon
- Figura 23** Resultados revisión literatura. Elaboración propia
- Figura 24** Porcentaje del número de literatura según el tema. Elaboración propia

- Figura 25** Gráfico lineal que muestra la evolución por tema y el total. Elaboración propia
- Figura 26** Gráfico lineal que muestra la evolución de la población desde 1877 hasta 2011 en la ciudad de Valencia. Datos obtenidos de la Oficina de Estadística de Valencia. Elaboración propia
- Figura 27** Plano del desarrollo urbano de Valencia. Elaboración propia
- Figura 28** Plano topográfico de Valencia (1883). El levantamiento topográfico proporcionó los datos necesarios para la redacción y aprobación del ensanche en 1887. Servicio Geográfico del Ejército
- Figura 29** Plano del ensanche de Valencia realizado por Francisco Mora (1924). Archivo Histórico del Colegio Territorial de Arquitectos de Valencia
- Figura 30** Fachadas de algunas calles del ensanche de Valencia con posibilidad de ampliación vertical. Elaboración propia
- Figura 31** Gráfico de barras de los inmuebles residenciales según su antigüedad en los distritos más céntricos de Valencia, España. Elaboración propia
- Figura 32** Edificaciones con grado de protección establecidos en el plan especial de 2006 del ensanche de Valencia del barrio de Russafa. Elaboración propia
- Figura 33** Edificaciones con grado de protección y con posibilidad de ampliación volumétrica según planes especiales de Valencia del barrio de Russafa. Elaboración propia
- Figura 34** Ejemplos del archivo del "Plan especial de protección de la zona de ensanche" donde se indica la sobreelevación de un edificio. Ayuntamiento de Valencia
- Figura 35** Ejemplo de alzado frontal anterior y final de una calle tipo que alberga una sobreelevación. Elaboración propia
- Figura 36** Ejemplo de ficha elaborada por cada inmueble susceptible de ampliación vertical. Elaboración propia

- Figura 37** Clasificación de las distribuciones generales de diferentes tipos de edificios residenciales en los barrios de Colón y Russafa en Valencia, España. Elaboración propia
- Figura 38** Fotografías de zapatas bajo pilares de fundición de un edificio del Ensanche de Barcelona. Areitio Mata 2017
- Figura 39** Esquema de un edificio tipo B que muestra el sistema estructural mediante muros de carga paralelos a la fachada. Elaboración propia
- Figura 40** Sección transversal de un forjado típico con entramado de vigas y viguetas con cielo raso moldurado, y de uno sin el relleno de los senos de los revoltones. Elaboración propia
- Figura 41** Tipos de cubierta, inclinada y plana. Elaboración propia
- Figura 42** Gráfico de porcentajes del estado de conservación de los 62 inmuebles. Elaboración propia
- Figura 43** Torre de apartamento One9 de Hickory Group en Australia. Inhabitat, <https://inhabitat.com/one9-nine-story-prefab-apartment-tower-was-installed-in-just-five-days/one9-by-hickory-group-7-2/>
- Figura 44** Montaje de los sistemas modulares principales según el mecanismo de transferencia estructural. Columna 1: soporte continuo; Columna 2: soporte de bastidor o porticado; Columna 3: sin soporte de carga. Elaboración propia a partir de imágenes extraídas de diversas webs
- Figura 45** Tipo de conexiones en la construcción modular. Elaboración propia
- Figura 46** Esquema comparativo entre la construcción convencional y la construcción modular donde se aprecia la duplicidad de elementos. Elaboración propia
- Figura 47** Esquema visual del punto de conexión entre los diferentes módulos. *Behaviour of Multi-Storey Prefabricated Modular Buildings under seismic loads*, Tharaka Gunawardena, et al.
- Figura 48** Esquema visual del *comportamiento de balanceo*. Elaboración propia

- Figura 49** Proceso de *colapso progresivo* en una columna de módulos. *Progressive collapse analysis and structural robustness of steel-framed modular buildings*, Fu Jia Luo, et al.
- Figura 50** Esquema de la metodología aplicada. Elaboración propia
- Figura 51** Esquema del análisis según indicadores y variables. Elaboración propia
- Figura 52** Esquema tridimensional del módulo con de sistema porticado de madera. Elaboración propia
- Figura 53** Documentación gráfica proyecto Parque de bomberos, 2020. Adrià Goula, <https://tectonica.archi/projects/parque-de-bomberos-en-moia-barcelona-de-josep-ferrando/>
- Figura 54** Fallos de la madera con esfuerzos perpendiculares a las fibras. Elaboración propia
- Figura 55** Esquema tridimensional del módulo con sistema de bastidores Balloon Frame. Elaboración propia
- Figura 56** Documentación gráfica vivienda unifamiliar Project 180. Modular Projects, <https://www.modularprojects.es/nosotros>
- Figura 57** Esquema tridimensional del módulo con sistema de paneles de CLT. Elaboración propia
- Figura 58** Documentación gráfica apartamentos Dalston Work. ©Daniel Shearing, <https://tectonicaarchi/articles/construccion-con-madera-clt-en-el-estudio-waugh-thistleton-architects/>
- Figura 59** Esquema tridimensional del módulo con sistema porticado de acero. Elaboración propia
- Figura 60** Documentación gráfica apartamentos Wj_land. Marcel van der Burg, https://www.archdaily.cl/cl/1011414/viviendas-wj-land-space-and-matter?ad_medium=gallery
- Figura 61** Esquema tridimensional del módulo son sistema Steel Framing. Elaboración propia
- Figura 62** Documentación gráfica vivienda ADH. Galvanalisis, <https://www.galvanalisis.com/project/vivienda-en-barcelona/>

- Figura 63** Posibles módulos mínimos extraídos a partir de los requisitos mínimos de la normativa. Elaboración propia
- Figura 64** Esquema tridimensional de los sistemas más habituales en la ampliación vertical. Izquierda: sistema continuo de CLT. Derecha: sistema porticado de acero. Elaboración propia
- Figura 65** Dimensiones más habituales de los perfiles de acero. Elaboración propia
- Figura 66** Gráficos relación carga-luz según catálogo *Egoín* de panel de CLT horizontal (a) y vertical (b). Catálogo *Egoín*
- Figura 67** Módulos mínimos extraídos a partir de las opciones del mercado según su materialidad y sistema constructivo con las figuras inscribibles de la normativa analizada. Elaboración propia
- Figura 68** Módulos comercializados y su compatibilidad con la normativa analizada. Elaboración propia
- Figura 69** Interposición de módulos y su compatibilidad con el edificio existente. Elaboración propia
- Figura 70** Secuencia visual de los módulos posicionados en dirección paralela a la fachada junto con edificio existente. Elaboración propia
- Figura 71** Malla geométrica con puntos de apoyo. Elaboración propia
- Figura 72** Vista frontal de fachada del módulo, con el edificio existente, donde se muestra la composición arquitectónica del conjunto. Elaboración propia
- Figura 73** Planta y posible distribución de las viviendas. Elaboración propia
- Figura 74** Usos y superficies de las estancias. Elaboración propia
- Figura 75** Ubicación del detalle del forjado de chapa colaborante. Elaboración propia
- Figura 76** Ubicación del detalle de la cubierta plana no transitable y el falso techo. Elaboración propia

- Figura 77** Ubicación del detalle de los tipos de pavimento. Elaboración propia
- Figura 78** Ubicación de los diferentes tipos de paramentos verticales, tanto de cerramiento, medianera, y partición interior. Elaboración propia
- Figura 79** Ubicación del detalle del soporte resistente horizontal realizado a partir de paneles. Elaboración propia
- Figura 80** Ubicación del detalle del soporte resistente vertical realizado a partir de paneles. Elaboración propia
- Figura 81** Ubicación del detalle de la cubierta plana no transitable y el falso techo. Elaboración propia
- Figura 82** Ubicación del detalle de los tipos de pavimento. Elaboración propia
- Figura 83** Ubicación de los diferentes tipos de paramentos verticales, tanto de cerramiento, medianera, y partición interior. Elaboración propia
- Figura 84** Morfología y métrica del módulo prefabricado para la ampliación vertical tanto del esqueleto completo, como de los elementos secundarios. Elaboración propia
- Figura 85** Caso 1, único panel posicionado en longitudinal abarcando la altura entre forjados. Elaboración propia
- Figura 86** Caso 2, panel posicionado en vertical superando la máxima altura estandarizada. Elaboración propia
- Figura 87** Morfología y métrica de un posible módulo sin y con huecos que constituye el proyecto piloto. Elaboración propia
- Figura 88** Esquema estructural sistema porticado de acero. Elaboración propia
- Figura 89** Esquema estructural sistema panelado de CLT. Elaboración propia
- Figura 90** Modelo extrusionado del sistema de acero. Elaboración propia
- Figura 91** Uniones del sistema de acero. Elaboración propia

- Figura 92** Opciones para realizar los huecos. Elaboración propia
- Figura 93** Prototipo del módulo de CLT con direcciones de los paneles. Elaboración propia
- Figura 94** Esqueleto realizado a parte de barras metálicas en función de la naturaleza de sus vínculos internos. Elaboración propia
- Figura 95** Esqueleto realizado a partir de barras metálicas en función de la naturaleza de los vínculos internos de las viguetas y montantes. Elaboración propia
- Figura 96** Modelización del prototipo realizado a partir de barras para los elementos horizontales y de EF para los verticales, indicando la naturaleza de los vínculos internos. Elaboración propia
- Figura 97** Aplicación de las cargas correspondientes a la HIP_01 del prototipo de acero. Elaboración propia
- Figura 98** Aplicación de las cargas correspondientes a la HIP_02 del prototipo de acero. Elaboración propia
- Figura 99** Aplicación de las cargas correspondientes a la HIP_03 del prototipo de acero. Elaboración propia
- Figura 100** Aplicación de las cargas correspondientes a la HIP_04, HIP_05, HIP_06, HIP_07 del prototipo de acero. Elaboración propia
- Figura 101** Aplicación de las cargas correspondientes a la HIP_01 del prototipo de CLT. Elaboración propia
- Figura 102** Aplicación de las cargas correspondientes a la HIP_02 del prototipo de CLT. Elaboración propia
- Figura 103** Aplicación de las cargas correspondientes a la HIP_03 del prototipo de CLT. Elaboración propia
- Figura 104** Aplicación de las cargas correspondientes a la HIP_04, HIP_05, HIP_06, HIP_07 del prototipo de CLT. Elaboración propia
- Figura 105** Configuración del modelo de acero. Elaboración propia

- Figura 106** Nomenclatura de los nudos, apoyos y barras del modelo estructural de acero. Elaboración propia
- Figura 107** Configuración del modelo de CLT. Elaboración propia
- Figura 108** Nomenclatura de los nudos, apoyos y barras del modelo estructural de CLT. Elaboración propia
- Figura 109** Esfuerzos en barra del sistema de acero. Extraídos de Angle®
- Figura 110** Deformaciones producidas por la Combinación 1 a ELU. Extraídos de Angle®
- Figura 111** Deformaciones producidas por la Combinación 9 a ELU. Extraídos de Angle®
- Figura 112** Deformaciones producidas por la Combinación 11 a ELU. Extraídos de Angle®
- Figura 113** Esfuerzos en barra correspondiente a los soportes resistentes del sistema de CLT. Extraídos de Angle®
- Figura 114** Esfuerzos de láminas de tensión de membrana del sistema de CLT en HIPO1. Extraídos de Angle®
- Figura 115** Esfuerzos de láminas de flexión de placa del sistema de CLT en HIPO1. Extraídos de Angle®
- Figura 116** Deformaciones producidas por la Combinación 1 a ELU. Extraídos de Angle®
- Figura 117** Deformaciones producidas por la Combinación 9 a ELU. Extraídos de Angle®
- Figura 118** Deformaciones producidas por la Combinación 11 a ELU. Extraídos de Angle®
- Figura 119** Superficie dañada y tensión efectiva . Elaboración propia
- Figura 120** Relación de la rigidez con el índice de daño. Elaboración propia
- Figura 121** Vista del conjunto por colores según elemento estructural. Extraídos de Angle®

- Figura 122** Visión global del conjunto con vista del muro de carga de fachada. Extraídos de Angle®
- Figura 123** Visión global del conjunto con vista de los elementos de forjado. Extraídos de Angle®
- Figura 124** Alzado del conjunto. Extraídos de Angle®
- Figura 125** Planta axonométrica del conjunto. Extraídos de Angle®
- Figura 126** Tensiones de membrana S_x y S_y del modelo del edificio existente. Extraídos de Angle®
- Figura 127** Flexión de placa V_x y V_y del modelo del edificio existente. Extraídos de Angle®
- Figura 128** Flexión de placa M_x y M_y del modelo del edificio existente. Extraídos de Angle®
- Figura 129** Zonas con acumulación de tensión según V_y . Extraídos de Angle®
- Figura 130** Deformaciones en eje x, y, z frente a cargas gravitatorias. Extraídos de Angle®
- Figura 131** Estado de carga 1. Extraídos de Angle®
- Figura 132** Estado de carga 2. Extraídos de Angle®
- Figura 133** Detalles de la sobreelevación del caso 1. Extraídos de Angle®
- Figura 134** Vista de la interacción por colores según elemento estructural. Extraídos de Angle®
- Figura 135** Visión global del conjunto. Extraídos de Angle®
- Figura 136** Alzado del conjunto. Extraídos de Angle®
- Figura 137** Variación de tensiones en Flexión de placa V_x . Extraídos de Angle®
- Figura 138** Identificación de los puntos de control. Elaboración propia

- Figura 139** Índice de daño frente a cargas gravitatorias a) peso propio b) peso propio y uso. Extraídos de Angle®
- Figura 140** Puntos con índice de daño mayor a 0,60. Extraídos de Angle®
- Figura 141** Detalles de la sobreelevación del caso 2. Extraídos de Angle®
- Figura 142** Vista de la interacción por colores según elemento estructural. Extraídos de Angle®
- Figura 143** Visión global del conjunto. Extraídos de Angle®
- Figura 144** Alzado del conjunto. Extraídos de Angle®
- Figura 145** Identificación de los puntos de control. Elaboración propia
- Figura 146** Índice de daño frente a cargas gravitatorias. Extraídos de Angle®
- Figura 147** Puntos con índice de daño mayor a 0,6. Extraídos de Angle®
- Figura 148** Valores de S_x . Extraídos de Angle®
- Figura 149** Valores de S_y . Extraídos de Angle®
- Figura 150** Índice de daño del modelo de acero. Secuencia durante el análisis a cargas verticales. Extraídos de Angle®
- Figura 151** Índice de daño del modelo de CLT. Secuencia durante el análisis a cargas verticales. Extraídos de Angle®

Fuente tablas

| | |
|-----------------|---|
| Tabla 1 | Aspectos identificativos a lo largo de la historia. Elaboración propia |
| Tabla 2 | Clasificación de viviendas según sistema estructural y otros parámetros. Elaboración propia |
| Tabla 3 | Clasificación según la emergencia, rapidez de montaje, perpetuidad y uso predominante de las principales aplicaciones de los sistemas modulares. Elaboración propia |
| Tabla 4 | Clasificación según material, sus principales sistemas, definición y aplicaciones. Elaboración propia |
| Tabla 5 | Tabla de normativas aplicables en 2024 en construcción modular. Elaboración propia |
| Tabla 6 | Tabla de criterios y nivel de importancia para la evaluación de los sistemas modulares en la ampliación vertical. Elaboración propia |
| Tabla 7 | Matriz que identifica los tipos de sistema modular según su materialidad y sistema de transferencia estructural. Elaboración propia |
| Tabla 8 | Tabla comparativa criterios-sistemas. Elaboración propia |
| Tabla 9 | Tabla resumen que puntúa los sistemas modulares. Elaboración propia |
| Tabla 10 | Tabla comparativa según los parámetros de habitabilidad descritos entre las dos normativas. Elaboración propia |
| Tabla 11 | Tabla comparativa de la superficie mínima de las estancias entre las dos normativas. Elaboración propia |
| Tabla 12 | Tabla comparativa entre las diferentes condiciones de superficie mínima y figura inscribible, según la normativa autonómica. Elaboración propia |
| Tabla 13 | Características de módulos ofertados en el mercado. Elaboración propia |
| Tabla 14 | Valores habituales de los paneles de CLT según el mercado nacional. Elaboración propia |

| | |
|-----------------|---|
| Tabla 15 | Geometría y propiedades de las secciones del módulo de acero. Elaboración propia |
| Tabla 16 | Propiedades de los paneles de CLT. Elaboración propia |
| Tabla 17 | Desglose de acciones para peso propio de elementos constructivos superficiales. Elaboración propia |
| Tabla 18 | Desglose de acciones para peso propio de cerramientos y elementos separadores. Elaboración propia |
| Tabla 19 | Desglose de acciones para peso propio de elementos constructivos superficiales. Elaboración propia |
| Tabla 20 | Desglose de acciones para peso propio de cerramientos y elementos separadores. Elaboración propia |
| Tabla 21 | Desglose de acciones según la categoría de uso. Elaboración propia |
| Tabla 22 | Valores a considerar para el cálculo de viento. Elaboración propia |
| Tabla 23 | Clasificación de las hipótesis del prototipo. Elaboración propia |
| Tabla 24 | Propiedades elásticas e inelásticas del material S-275. Elaboración propia |
| Tabla 25 | Propiedades elásticas e inelásticas del material CLT24. Elaboración propia |
| Tabla 26 | Valores iniciales y finales de esfuerzos en diversas barras en la Combinación 1 a ELU. Elaboración propia |
| Tabla 27 | Valores de las reacciones en todos los apoyos en la Combinación 1 a ELU. Elaboración propia |
| Tabla 28 | Valores de las deformaciones producidas por la Combinación 1 a ELU. Elaboración propia |
| Tabla 29 | Valores de las deformaciones producidas por la Combinación 9 y 11 a ELU. Elaboración propia |
| Tabla 30 | Valores de las flechas producidas por la Combinación 1 y 2 en ELS. Elaboración propia |

| | |
|-----------------|--|
| Tabla 31 | Valores iniciales y finales de esfuerzos en diversas barras en la combinación 1 en ELU. Elaboración propia |
| Tabla 32 | Valores máximos, medios y mínimos de esfuerzos de láminas en Combinación 1 y 4 en ELU. Elaboración propia |
| Tabla 33 | Valores de las reacciones en todos los apoyos en la combinación 1 en ELU. Elaboración propia |
| Tabla 34 | Valores de las deformaciones producidas por la Combinación 1 a ELU. Elaboración propia |
| Tabla 35 | Valores de las deformaciones producidas por la Combinación 9 y 11 a ELU. Elaboración propia |
| Tabla 36 | Valores de las flechas producidas por la Combinación 1 y 2 en ELS. Elaboración propia |
| Tabla 37 | Tabla comparativa de deformaciones según combinación. Elaboración propia |
| Tabla 38 | Tabla comparativa del peso entre los sistemas evaluados. Elaboración propia |
| Tabla 39 | Tabla comparativa de las reacciones en los apoyos. Elaboración propia |
| Tabla 40 | Comprobaciones del cuadro inferior del módulo de acero. Elaboración propia |
| Tabla 41 | Comprobaciones del cuadro superior del módulo de acero. Elaboración propia |
| Tabla 42 | Comprobaciones de los pilares de esquina del módulo de acero. Elaboración propia |
| Tabla 43 | Comprobaciones de los montantes verticales del módulo de acero. Elaboración propia |
| Tabla 44 | Comprobaciones de viguetas inferiores y superiores del módulo de acero. Elaboración propia |
| Tabla 45 | Comprobaciones del módulo de los elementos horizontales de CLT. Elaboración propia |

| | |
|-----------------|--|
| Tabla 46 | Comprobaciones del módulo de los elementos verticales de CLT. Elaboración propia |
| Tabla 47 | Redimensionado optimizado de los perfiles y coeficiente de optimización. Elaboración propia |
| Tabla 48 | Tabla comparativa del peso entre el modelo anterior y el redimensionado en modelo acero. Elaboración propia |
| Tabla 49 | Redimensionado optimizado del modelo e índice de flexión. Elaboración propia |
| Tabla 50 | Tabla comparativa del peso entre el modelo anterior y el redimensionado en modelo CLT. Elaboración propia |
| Tabla 51 | Propiedades de los elementos murarios. Elaboración propia |
| Tabla 52 | Propiedades de los elementos lineales de madera. Elaboración propia |
| Tabla 53 | Cargas utilizadas en el modelo numérico. Elaboración propia |
| Tabla 54 | Valores máximos, medios y mínimos de esfuerzos de láminas para cargas gravitatorias de peso propio. Elaboración propia |
| Tabla 55 | Valores positivos y negativos de las deformaciones en todos sus ejes. Elaboración propia |
| Tabla 56 | Hipótesis aplicadas en el modelo. Elaboración propia |
| Tabla 57 | Combinaciones aplicadas en el modelo. Elaboración propia |
| Tabla 58 | Valores de esfuerzos de láminas y su relación porcentual. Elaboración propia |
| Tabla 59 | Deformaciones en los tres ejes y su relación porcentual. Elaboración propia |
| Tabla 60 | Deformaciones de los puntos de control. Elaboración propia |
| Tabla 61 | Valores de esfuerzos de láminas y su relación porcentual. Elaboración propia |
| Tabla 62 | Deformaciones en los tres ejes y su relación porcentual. Elaboración propia |

- Tabla 63** Deformaciones de los puntos de control. Elaboración propia
- Tabla 64** Valores de S_x y S_y . Elaboración propia
- Tabla 65** Comparativa entre sistemas de las deformaciones. Elaboración propia
- Tabla 66** Comparativa entre sistemas según los puntos de control. Elaboración propia

Leyenda de siglas y abreviaturas

Leyenda de siglas y abreviaturas

| | |
|---------------|---|
| ACS | Agua Caliente Sanitaria |
| CAD | Dibujo Asistido por Ordenador (del inglés Computer Assisted Design) |
| CLT | Madera contralaminada (del inglés Cross Laminated Timber) |
| CTE | Código Técnico de la Edificación |
| DB | Documento Básico |
| EA | Estructuras de Acero |
| E.L.S. | Estado Límite de Servicio |
| E.L.U. | Estado Límite Último |
| EF | Elementos Finitos |
| et al. | y otros (del latín "et alii") |
| NCSE | Norma de Construcción Sismorresistente |
| ODS | Objetivos de Desarrollo Sostenible |
| PC | Punto de Control |
| P.E.P. | Plan Especial de protección del Ensanche de Valencia |
| SE | Seguridad Estructural |
| UPV | Universidad Politécnica de Valencia (del catalán Universitat Politècnica de València) |

Anexo a.

Fichas tipológicas

FICHA EDIFICIO

ID: RN.6.3

IDENTIFICACIÓN DEL INMUEBLE

Ubicación: C/ Cirilo Amorós, 3
 Referencia catastral: 6021731YJ2752B
 N° manzana: 6
 Fecha construcción: 1906 (2013 reforma)
 Uso principal: Ocio y hostelería



DESCRIPCIÓN

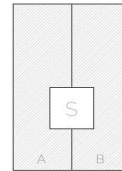
Límites parcela: Estado de conservación: Tipología:

entre medianeras malo 1 3
 esquina regular 2 4
 aislado bueno

Lenguaje arquitectónico: Eclecticismo académico

Tipología constructiva: Sistema constructivo de muros portantes y pilares de ladrillo con vigas y viguetas de madera y revoltón de ladrillo

N° de alturas: PB + 3



TIPO 1

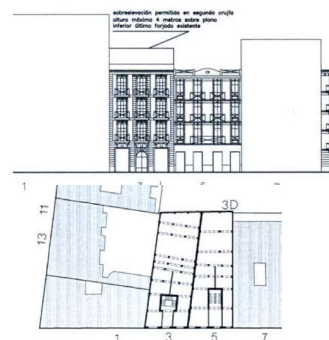
NORMATIVA APLICACIÓN

Grado de protección: Protección ambiental | Grado 2

Nombre normativa: Plan especial de Protección del Ensanche de Valencia P.E.P. 1

Alteración del volumen: Sí No N° plantas posibles a sobreelevar: 1
 Profundidad edificable: Si

DOCUMENTACIÓN GRÁFICA



Comentarios: Sobreelevación permitida en segunda crujía. Altura máxima 4 metros sobre plano inferior del último forjado existente.

FICHA EDIFICIO

ID: RN.7.27

IDENTIFICACIÓN DEL INMUEBLE

Ubicación: C/ Russafa, 27
Referencia catastral: 6019226YJ2761G
Nº manzana: 7
Fecha construcción: 1888
Uso principal: Residencial



DESCRIPCIÓN

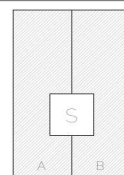
Límites parcela: Estado de conservación: Tipología:

| | | | |
|--|---|---------------------------------------|----------------------------|
| <input checked="" type="checkbox"/> entre medianeras | <input type="checkbox"/> malo | <input checked="" type="checkbox"/> 1 | <input type="checkbox"/> 3 |
| <input type="checkbox"/> esquina | <input type="checkbox"/> regular | <input type="checkbox"/> 2 | <input type="checkbox"/> 4 |
| <input type="checkbox"/> aislado | <input checked="" type="checkbox"/> bueno | | |

Lenguaje arquitectónico: Eclecticismo académico

Tipología constructiva: Sistema constructivo de 4 crujeas con muros portantes y pilares de ladrillo con vigas y viguetas de madera y revoltón de ladrillo

Nº de alturas: PB + 4



TIPO 1

NORMATIVA APLICACIÓN

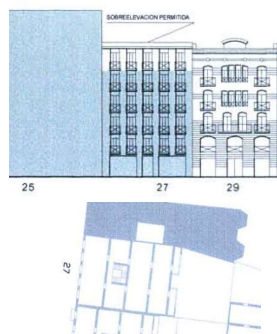
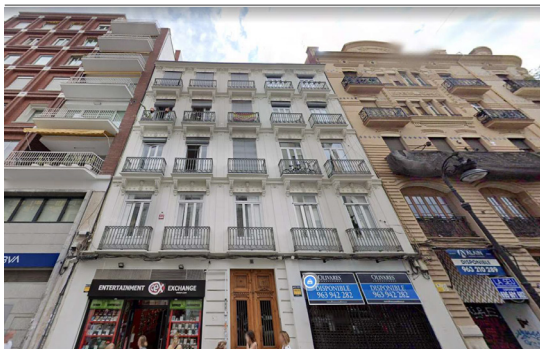
Grado de protección: Protección ambiental | Grado 2

Nombre normativa: Plan especial de Protección del Ensanche de Valencia P.E.P. 1

Alteración del volumen: Sí No Nº plantas posibles a sobreelevar: 1

Profundidad edificable: No

DOCUMENTACIÓN GRÁFICA



Comentarios:

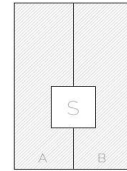
IDENTIFICACIÓN DEL INMUEBLE

Ubicación: C/ Pizarro, 4
 Referencia catastral: 6121106YJ2762A
 N° manzana: 8
 Fecha construcción: 1888
 Uso principal: Residencial



DESCRIPCIÓN

| | | |
|--|---|---------------------------------------|
| Límites parcela: | Estado de conservación: | Tipología: |
| <input checked="" type="checkbox"/> entre medianeras | <input type="checkbox"/> malo | <input checked="" type="checkbox"/> 1 |
| <input type="checkbox"/> esquina | <input type="checkbox"/> regular | <input type="checkbox"/> 3 |
| <input type="checkbox"/> aislado | <input checked="" type="checkbox"/> bueno | <input type="checkbox"/> 2 |
| Lenguaje arquitectónico: | Eclecticismo académico | |
| Tipología constructiva: | Sistema constructivo de 3 crujeas con muros portantes y pilares de ladrillo con vigas y viguetas de madera y revoltón de ladrillo | |
| N° de alturas: | PB + 3 | |

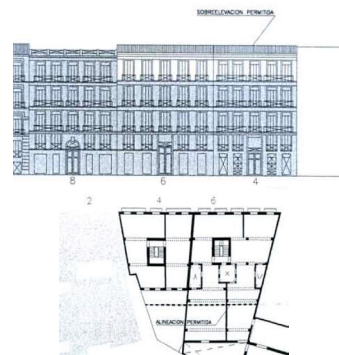


TIPO 1

NORMATIVA APLICACIÓN

Grado de protección: Protección ambiental | Grado 2
 Nombre normativa: Plan especial de Protección del Ensanche de Valencia P.E.P. 1
 Alteración del volumen: Sí No N° plantas posibles a sobreelevar: 1
 Profundidad edificable: Si

DOCUMENTACIÓN GRÁFICA



Comentarios:

FICHA EDIFICIO

ID: RN.8.6

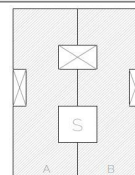
IDENTIFICACIÓN DEL INMUEBLE

Ubicación: C/ Pizarro, 6
Referencia catastral: 6121107YJ2762A
Nº manzana: 8
Fecha construcción: 1888
Uso principal: Residencial y oficinas



DESCRIPCIÓN

Límites parcela: entre medianeras esquina aislado
Estado de conservación: malo regular bueno
Tipología: 1 2 3 4
Lenguaje arquitectónico: Eclecticismo académico
Tipología constructiva: Sistema constructivo de 6 crujiás con muros portantes y pilares de ladrillo con vigas y viguetas de madera y revoltón de ladrillo
Nº de alturas: PB + 3

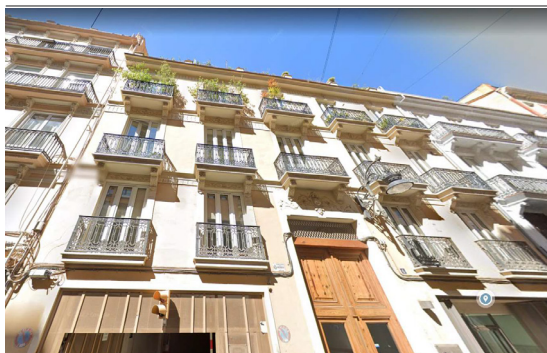


TIPO 3

NORMATIVA APLICACIÓN

Grado de protección: Protección ambiental | Grado 2
Nombre normativa: Plan especial de Protección del Ensanche de Valencia P.E.P. 1
Alteración del volumen: Sí No
Nº plantas posibles a sobreelevar: 1
Profundidad edificable: Sí

DOCUMENTACIÓN GRÁFICA



Comentarios:

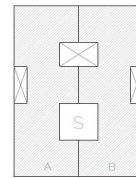
IDENTIFICACIÓN DEL INMUEBLE

Ubicación: C/ Jorge Juan, 12
 Referencia catastral: 6323909YJ2762C
 N° manzana: 14
 Fecha construcción: 1930
 Uso principal: Residencial



DESCRIPCIÓN

| | | |
|--|---|--|
| Limites parcela: | Estado de conservación: | Tipología: |
| <input checked="" type="checkbox"/> entre medianeras | <input type="checkbox"/> malo | <input type="checkbox"/> 1 <input checked="" type="checkbox"/> 3 |
| <input type="checkbox"/> esquina | <input type="checkbox"/> regular | <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 4 |
| <input type="checkbox"/> aislado | <input checked="" type="checkbox"/> bueno | |
| Lenguaje arquitectónico: | Eclecticismo historicista o revival | |
| Tipología constructiva: | Sistema constructivo de 6 crujeas con muros portantes y pilares de ladrillo con viguetas metálicas y revoltón de ladrillo | |
| N° de alturas: | PB + 4 | |

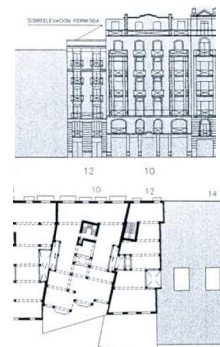


TIPO 3

NORMATIVA APLICACIÓN

| | | | |
|-------------------------|--|------------------------------------|----|
| Grado de protección: | Protección ambiental Grado 2 | | |
| Nombre normativa: | Plan especial de Protección del Ensanche de Valencia P.E.P. 1 | | |
| Alteración del volumen: | <input checked="" type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No | N° plantas posibles a sobreelevar: | 1 |
| | | Profundidad edificable: | No |

DOCUMENTACIÓN GRÁFICA



Comentarios:

FICHA EDIFICIO

ID: RN. 14.3

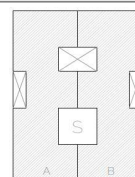
IDENTIFICACIÓN DEL INMUEBLE

Ubicación: C/ Isabel la Católica, 3, 5
Referencia catastral: 6323927YJ2762C
Nº manzana: 15
Fecha construcción: 2005 reforma
Uso principal: Residencial



DESCRIPCIÓN

Límites parcela: Estado de conservación: Tipología:
 entre medianeras malo 1 3
 esquina regular 2 4
 aislado bueno
Lenguaje arquitectónico: Eclecticismo historicista o revival
Tipología constructiva: Sistema constructivo de 5 crujeas con muros portantes y pilares de ladrillo con viguetas metálicas y revoltón de ladrillo
Nº de alturas: PB + 3

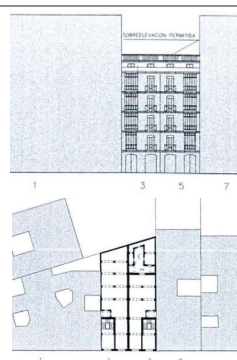


TIPO 3

NORMATIVA APLICACIÓN

Grado de protección: Protección ambiental | Grado 2
Nombre normativa: Plan especial de Protección del Ensanche de Valencia P.E.P. 1
Alteración del volumen: Sí No Nº plantas posibles a sobreelevar: 1
Profundidad edificable: No

DOCUMENTACIÓN GRÁFICA



Comentarios: Esta ficha tienen en cuenta en número de policía 3 y 5. En este caso, la ampliación vertical ya ha sido efectuada, se puede comprobar en las imágenes.

FICHA EDIFICIO

ID: RN.17.7

IDENTIFICACIÓN DEL INMUEBLE

Ubicación: C/ Jorge Juan, 7
Referencia catastral: 6424622YJ2762C
Nº manzana: 17
Fecha construcción: 1920 (2011 reforma)
Uso principal: Residencial

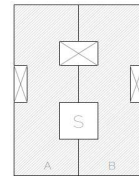


DESCRIPCIÓN

Límites parcela: Estado de conservación: Tipología:

| | | | |
|--|---|----------------------------|---------------------------------------|
| <input checked="" type="checkbox"/> entre medianeras | <input type="checkbox"/> malo | <input type="checkbox"/> 1 | <input checked="" type="checkbox"/> 3 |
| <input type="checkbox"/> esquina | <input type="checkbox"/> regular | <input type="checkbox"/> 2 | <input type="checkbox"/> 4 |
| <input type="checkbox"/> aislado | <input checked="" type="checkbox"/> bueno | | |

Lenguaje arquitectónico: Ecléctico historicista o revival
Tipología constructiva: Sistema constructivo de 5 crujeas con muros portantes y pilares de ladrillo con viguetas metálicas y revoltón de ladrillo
Nº de alturas: PB + 3

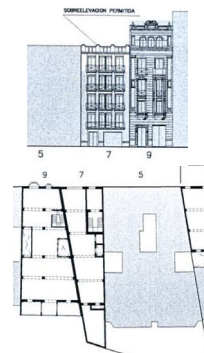


TIPO 3

NORMATIVA APLICACIÓN

Grado de protección: Protección ambiental | Grado 2
Nombre normativa: Plan especial de Protección del Ensanche de Valencia P.E.P. 1
Alteración del volumen: Sí No Nº plantas posibles a sobreelevar: 1
Profundidad edificable: No

DOCUMENTACIÓN GRÁFICA



Comentarios: En este caso, la ampliación vertical ya ha sido efectuada, se puede comprobar en las imágenes.

FICHA EDIFICIO

ID: RN.21.24

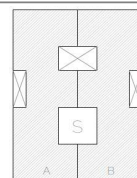
IDENTIFICACIÓN DEL INMUEBLE

Ubicación: C/ Grabador Esteve, 24
Referencia catastral: 6524608YJ2762D
Nº manzana: 21
Fecha construcción: 1928
Uso principal: Residencial



DESCRIPCIÓN

Límites parcela: Estado de conservación: Tipología:
 entre medianeras malo 1 3
 esquina regular 2 4
 aislado bueno
Lenguaje arquitectónico: Eclecticismo neobarroco o casticista
Tipología constructiva: Sistema constructivo de 6 crujeas con muros portantes y pilares de ladrillo con viguetas metálicas y revoltón de ladrillo
Nº de alturas: PB + 4

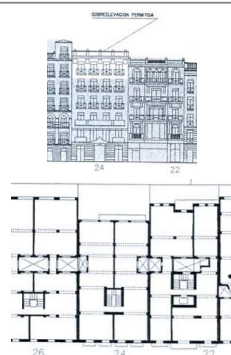


TIPO 3

NORMATIVA APLICACIÓN

Grado de protección: Protección ambiental | Grado 2
Nombre normativa: Plan especial de Protección del Ensanche de Valencia P.E.P. 1
Alteración del volumen: Sí No Nº plantas posibles a sobreelevar: 1
Profundidad edificable: Sí

DOCUMENTACIÓN GRÁFICA



Comentarios:

IDENTIFICACIÓN DEL INMUEBLE

Ubicación: C/ Grabador Esteve, 28
 Referencia catastral: 6524610YJ2762D
 N° manzana: 21
 Fecha construcción: 1928 (reforma 2001)
 Uso principal: Residencial



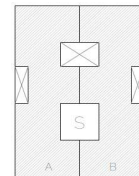
DESCRIPCIÓN

| | | |
|--|---|--|
| Limites parcela: | Estado de conservación: | Tipología: |
| <input checked="" type="checkbox"/> entre medianeras | <input type="checkbox"/> malo | <input type="checkbox"/> 1 <input checked="" type="checkbox"/> 3 |
| <input type="checkbox"/> esquina | <input type="checkbox"/> regular | <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 4 |
| <input type="checkbox"/> aislado | <input checked="" type="checkbox"/> bueno | |

Lenguaje arquitectónico: Eclecticismo neobarroco o casticista

Tipología constructiva: Sistema constructivo de 5 crujeas con muros portantes y pilares de ladrillo con viguetas metálicas y revoltón de ladrillo

N° de alturas: PB + 4



NORMATIVA APLICACIÓN

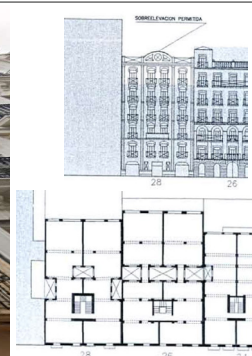
Grado de protección: Protección ambiental | Grado 2

Nombre normativa: Plan especial de Protección del Ensanche de Valencia P.E.P. 1

Alteración del volumen: Sí No N° plantas posibles a sobreelevar: 1

Profundidad edificable: No

DOCUMENTACIÓN GRÁFICA



Comentarios:

FICHA EDIFICIO

ID: RN.21.23

IDENTIFICACIÓN DEL INMUEBLE

Ubicación: C/ Conde Salvatierra, 23
Referencia catastral: 6524617YJ2762D
Nº manzana: 21
Fecha construcción: 1920
Uso principal: Residencial

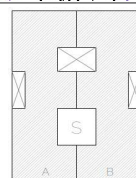


DESCRIPCIÓN

Límites parcela: Estado de conservación: Tipología:

| | | | |
|--|---|----------------------------|---------------------------------------|
| <input checked="" type="checkbox"/> entre medianeras | <input type="checkbox"/> malo | <input type="checkbox"/> 1 | <input checked="" type="checkbox"/> 3 |
| <input type="checkbox"/> esquina | <input type="checkbox"/> regular | <input type="checkbox"/> 2 | <input type="checkbox"/> 4 |
| <input type="checkbox"/> aislado | <input checked="" type="checkbox"/> bueno | | |

Lenguaje arquitectónico: Modernismo
Tipología constructiva: Sistema constructivo de 6 crujeas con muros portantes y pilares de ladrillo con viguetas metálicas y revoltón de ladrillo
Nº de alturas: PB + 3

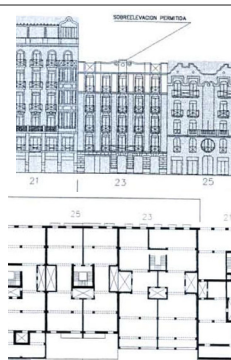


TIPO 3

NORMATIVA APLICACIÓN

Grado de protección: Protección ambiental | Grado 2
Nombre normativa: Plan especial de Protección del Ensanche de Valencia P.E.P. 1
Alteración del volumen: Sí No Nº plantas posibles a sobreelevar: 1
Profundidad edificable: No

DOCUMENTACIÓN GRÁFICA



Comentarios: Se encuentra en un entorno de BIC

FICHA EDIFICIO

ID: RN.22.33

IDENTIFICACIÓN DEL INMUEBLE

Ubicación: C/ Conde Salvatierra, 33
Referencia catastral: 6623721YJ2762D
Nº manzana: 22
Fecha construcción: 1920
Uso principal: Residencial

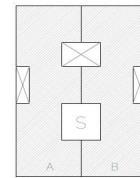


DESCRIPCIÓN

Límites parcela: Estado de conservación: Tipología:

| | | | |
|--|---|----------------------------|---------------------------------------|
| <input checked="" type="checkbox"/> entre medianeras | <input type="checkbox"/> malo | <input type="checkbox"/> 1 | <input checked="" type="checkbox"/> 3 |
| <input type="checkbox"/> esquina | <input type="checkbox"/> regular | <input type="checkbox"/> 2 | <input type="checkbox"/> 4 |
| <input type="checkbox"/> aislado | <input checked="" type="checkbox"/> bueno | | |

Lenguaje arquitectónico: Modernismo
Tipología constructiva: Sistema constructivo de 6 crujeas con muros portantes y pilares de ladrillo con viguetas metálicas y revoltón de ladrillo
Nº de alturas: PB + 3

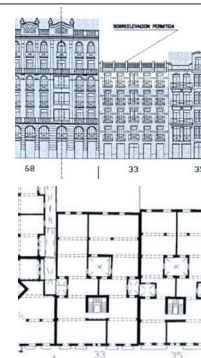


TIPO 3

NORMATIVA APLICACIÓN

Grado de protección: Protección ambiental | Grado 2
Nombre normativa: Plan especial de Protección del Ensanche de Valencia P.E.P. 1
Alteración del volumen: Sí No Nº plantas posibles a sobreelevar: 1
Profundidad edificable: No

DOCUMENTACIÓN GRÁFICA



Comentarios:

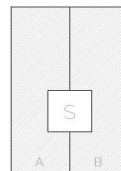
IDENTIFICACIÓN DEL INMUEBLE

Ubicación: C/ Sorní, 32
 Referencia catastral: 6624402YJ2762D
 Nº manzana: 24
 Fecha construcción: Reforma 2006
 Uso principal: Residencial



DESCRIPCIÓN

Límites parcela: Estado de conservación: Tipología:
 entre medianeras malo 1 3
 esquina regular 2 4
 aislado bueno
 Lenguaje arquitectónico: Eclecticismo académico
 Tipología constructiva: Sistema constructivo de 3 crujeas con muros portantes y pilares de ladrillo con vigas y viguetas de madera y revoltón de ladrillo
 Nº de alturas: PB + 4

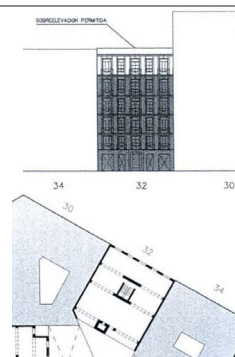


TIPO 1

NORMATIVA APLICACIÓN

Grado de protección: Protección ambiental | Grado 2
 Nombre normativa: Plan especial de Protección del Ensanche de Valencia P.E.P. 1
 Alteración del volumen: Si No Nº plantas posibles a sobreelevar: 1
 Profundidad edificable: Si

DOCUMENTACIÓN GRÁFICA



Comentarios: En este caso, la ampliación vertical ya ha sido efectuada, se puede comprobar en las imágenes.

FICHA EDIFICIO

ID: RN.32.37

IDENTIFICACIÓN DEL INMUEBLE

Ubicación: C/ Germanies, 37
Referencia catastral: 5816323YJ2751F
Nº manzana: 32
Fecha construcción: 1920
Uso principal: Residencial



DESCRIPCIÓN

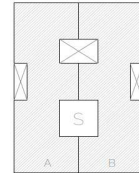
Límites parcela: Estado de conservación: Tipología:

| | | | |
|---|---|----------------------------|---------------------------------------|
| <input type="checkbox"/> entre medianeras | <input type="checkbox"/> malo | <input type="checkbox"/> 1 | <input checked="" type="checkbox"/> 3 |
| <input checked="" type="checkbox"/> esquina | <input type="checkbox"/> regular | <input type="checkbox"/> 2 | <input type="checkbox"/> 4 |
| <input type="checkbox"/> aislado | <input checked="" type="checkbox"/> bueno | | |

Lenguaje arquitectónico: Eclecticismo historicista o revival

Tipología constructiva: Sistema constructivo de 5 crujeas con muros portantes y pilares de ladrillo con viguetas metálicas y revoltón de ladrillo

Nº de alturas: PB + 4



TIPO 3

NORMATIVA APLICACIÓN

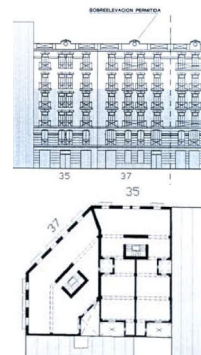
Grado de protección: Protección ambiental | Grado 2

Nombre normativa: Plan especial de Protección del Ensanche de Valencia P.E.P. 1

Alteración del volumen: Sí No Nº plantas posibles a sobreelevar: 1

Profundidad edificable: No

DOCUMENTACIÓN GRÁFICA



Comentarios:

FICHA EDIFICIO

ID: RN.32.35

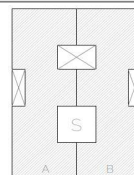
IDENTIFICACIÓN DEL INMUEBLE

Ubicación: C/ Germanies, 35
Referencia catastral: 5816324YJ2751F
Nº manzana: 32
Fecha construcción: 1920
Uso principal: Residencial



DESCRIPCIÓN

Límites parcela: entre medianeras esquina aislado
Estado de conservación: malo regular bueno
Tipología: 1 2 3 4
Lenguaje arquitectónico: Eclecticismo historicista o revival
Tipología constructiva: Sistema constructivo de 5 crujeas con muros portantes y pilares de ladrillo con viguetas metálicas y revoltón de ladrillo
Nº de alturas: PB + 4

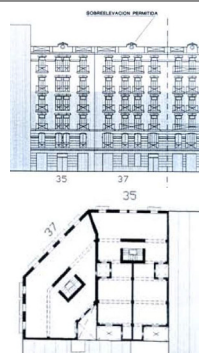


TIPO 3

NORMATIVA APLICACIÓN

Grado de protección: Protección ambiental | Grado 2
Nombre normativa: Plan especial de Protección del Ensanche de Valencia P.E.P. 1
Alteración del volumen: Sí No
Nº plantas posibles a sobreelevar: 1
Profundidad edificable: No

DOCUMENTACIÓN GRÁFICA



Comentarios:

FICHA EDIFICIO

ID: RS.44.63

IDENTIFICACIÓN DEL INMUEBLE

Ubicación: C/ Denia, 63
Referencia catastral: 5714101YJ2751F
Nº manzana: 57141
Fecha construcción: 1925
Uso principal: Residencial



DESCRIPCIÓN

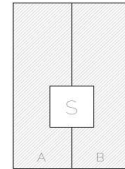
Límites parcela: Estado de conservación: Tipología:

| | | | |
|---|---|---------------------------------------|----------------------------|
| <input type="checkbox"/> entre medianeras | <input type="checkbox"/> malo | <input checked="" type="checkbox"/> 1 | <input type="checkbox"/> 3 |
| <input checked="" type="checkbox"/> esquina | <input type="checkbox"/> regular | <input type="checkbox"/> 2 | <input type="checkbox"/> 4 |
| <input type="checkbox"/> aislado | <input checked="" type="checkbox"/> bueno | | |

Lenguaje arquitectónico: Eclecticismo académico

Tipología constructiva: Sistema constructivo de 4 crujeas con muros portantes y pilares de ladrillo con vigas y viguetas de madera y revoltón de ladrillo

Nº de alturas: PB + 3



TIPO 1

NORMATIVA APLICACIÓN

Grado de protección: Protección ambiental | Grado 2

Nombre normativa: Plan especial de Protección del Ensanche de Valencia P.E.P. 2

Alteración del volumen: Sí No

Nº plantas posibles a sobreelevar: 1

Profundidad edificable: No

DOCUMENTACIÓN GRÁFICA



Comentarios:

FICHA EDIFICIO

ID: RS.44.22

IDENTIFICACIÓN DEL INMUEBLE

Ubicación: C/ Cuba, 22
Referencia catastral: 5714102YJ2751F
Nº manzana: 57141
Fecha construcción: 1934
Uso principal: Residencial



DESCRIPCIÓN

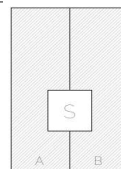
Límites parcela: Estado de conservación: Tipología:

entre medianeras malo 1 3
 esquina regular 2 4
 aislado bueno

Lenguaje arquitectónico: Eclecticismo académico

Tipología constructiva: Sistema constructivo de 4 crujeas con muros portantes y pilares de ladrillo con vigas y viguetas de madera y revoltón de ladrillo

Nº de alturas: PB + 3



TIPO 1

NORMATIVA APLICACIÓN

Grado de protección: Protección ambiental | Grado 2

Nombre normativa: Plan especial de Protección del Ensanche de Valencia P.E.P. 2

Alteración del volumen: Sí No Nº plantas posibles a sobreelevar: 1
Profundidad edificable: No

DOCUMENTACIÓN GRÁFICA



Comentarios:

IDENTIFICACIÓN DEL INMUEBLE

Ubicación: C/ Cuba, 26
 Referencia catastral: 5714104YJ2751F
 N° manzana: 57141
 Fecha construcción: 1915 (reforma 1999)
 Uso principal: Residencial



DESCRIPCIÓN

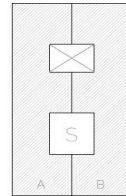
Límites parcela: Estado de conservación: Tipología:

entre medianeras malo 1 3
 esquina regular 2 4
 aislado bueno

Lenguaje arquitectónico: Eclecticismo historicista o Revival

Tipología constructiva: Sistema constructivo de 5 crujías, estructura reticular, con vigas y viguetas de hormigón o metálicas con bovedilla cerámica

N° de alturas: PB + 3



TIPO 4

NORMATIVA APLICACIÓN

Grado de protección: Protección ambiental | Grado 2

Nombre normativa: Plan especial de Protección del Ensanche de Valencia P.E.P. 2

Alteración del volumen: Si No N° plantas posibles a sobreelevar: 1

Profundidad edificable: No

DOCUMENTACIÓN GRÁFICA



Comentarios:

FICHA EDIFICIO

ID: RS.44.28

IDENTIFICACIÓN DEL INMUEBLE

Ubicación: C/ Cuba, 28
Referencia catastral: 5714105YJ2751F
Nº manzana: 57141
Fecha construcción: 1943
Uso principal: Residencial



DESCRIPCIÓN

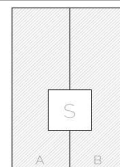
Límites parcela: Estado de conservación: Tipología:

entre medianeras malo 1 3
 esquina regular 2 4
 aislado bueno

Lenguaje arquitectónico: Eclecticismo académico

Tipología constructiva: Sistema constructivo de 4 crujeas con muros portantes y pilares de ladrillo con vigas y viguetas de madera y revoltón de ladrillo

Nº de alturas: PB + 3



TIPO 1

NORMATIVA APLICACIÓN

Grado de protección: Protección ambiental | Grado 2

Nombre normativa: Plan especial de Protección del Ensanche de Valencia P.E.P. 2

Alteración del volumen: Si No Nº plantas posibles a sobreelevar: 1

Profundidad edificable: Si

DOCUMENTACIÓN GRÁFICA



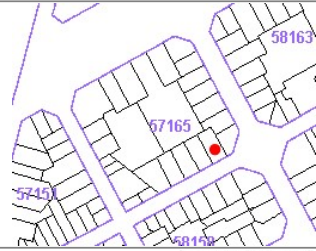
Comentarios:

FICHA EDIFICIO

ID: RS.45.50

IDENTIFICACIÓN DEL INMUEBLE

Ubicación: C/ Denia, 50
Referencia catastral: 5716508YJ2751F
Nº manzana: 57165
Fecha construcción: 1910
Uso principal: Residencial



DESCRIPCIÓN

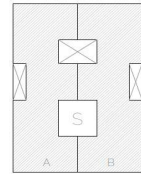
Límites parcela: Estado de conservación: Tipología:

| | | | |
|--|---|----------------------------|---------------------------------------|
| <input checked="" type="checkbox"/> entre medianeras | <input type="checkbox"/> malo | <input type="checkbox"/> 1 | <input checked="" type="checkbox"/> 3 |
| <input type="checkbox"/> esquina | <input checked="" type="checkbox"/> regular | <input type="checkbox"/> 2 | <input type="checkbox"/> 4 |
| <input type="checkbox"/> aislado | <input type="checkbox"/> bueno | | |

Lenguaje arquitectónico: Eclecticismo académico

Tipología constructiva: Sistema constructivo de 5 crujeas, muros portantes y pilares de ladrillo con vigas y viguetas metálicas con revoltón de ladrillo

Nº de alturas: PB + 3



TIPO 3

NORMATIVA APLICACIÓN

Grado de protección: Protección ambiental | Grado 2

Nombre normativa: Plan especial de Protección del Ensanche de Valencia P.E.P. 2

Alteración del volumen: Sí No Nº plantas posibles a sobreelevar: 1

Profundidad edificable: No

DOCUMENTACIÓN GRÁFICA



Comentarios:

FICHA EDIFICIO

ID: RS.45.52

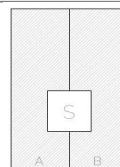
IDENTIFICACIÓN DEL INMUEBLE

Ubicación: C/ Denia, 52
Referencia catastral: 5716509YJ2751F
Nº manzana: 57165
Fecha construcción: 1910
Uso principal: Residencial



DESCRIPCIÓN

Límites parcela: Estado de conservación: Tipología:
 entre medianeras malo 1 3
 esquina regular 2 4
 aislado bueno
Lenguaje arquitectónico: Eclecticismo académico
Tipología constructiva: Sistema constructivo con muros portantes y pilares de ladrillo con vigas y viguetas de madera y revoltón de ladrillo
Nº de alturas: PB + 3



TIPO 1

NORMATIVA APLICACIÓN

Grado de protección: Protección ambiental | Grado 2
Nombre normativa: Plan especial de Protección del Ensanche de Valencia P.E.P. 2
Alteración del volumen: Sí No Nº plantas posibles a sobreelevar: 1
Profundidad edificable: No

DOCUMENTACIÓN GRÁFICA



Comentarios:

FICHA EDIFICIO

ID: RS.45.60

IDENTIFICACIÓN DEL INMUEBLE

Ubicación: C/ Denia, 60
Referencia catastral: 5716513YJ2751F
Nº manzana: 57141
Fecha construcción: 1925
Uso principal: Residencial



DESCRIPCIÓN

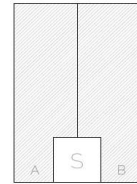
Límites parcela: Estado de conservación: Tipología:

| | | | |
|--|---|---------------------------------------|----------------------------|
| <input checked="" type="checkbox"/> entre medianeras | <input type="checkbox"/> malo | <input type="checkbox"/> 1 | <input type="checkbox"/> 3 |
| <input type="checkbox"/> esquina | <input checked="" type="checkbox"/> regular | <input checked="" type="checkbox"/> 2 | <input type="checkbox"/> 4 |
| <input type="checkbox"/> aislado | <input type="checkbox"/> bueno | | |

Lenguaje arquitectónico: Eclecticismo académico

Tipología constructiva: Sistema constructivo de 3 crujeas con muros portantes y pilares de ladrillo con vigas y viguetas de madera y revoltón de ladrillo

Nº de alturas: PB + 3



TIPO 2

NORMATIVA APLICACIÓN

Grado de protección: Protección ambiental | Grado 2

Nombre normativa: Plan especial de Protección del Ensanche de Valencia P.E.P. 2

Alteración del volumen: Sí No

Nº plantas posibles a sobreelevar: 1

Profundidad edificable: No

DOCUMENTACIÓN GRÁFICA



Comentarios:

FICHA EDIFICIO

ID: RS.45.62

IDENTIFICACIÓN DEL INMUEBLE

Ubicación: C/ Denia, 62
Referencia catastral: 5716514YJ2751F
Nº manzana: 57141
Fecha construcción: 1910
Uso principal: Residencial



DESCRIPCIÓN

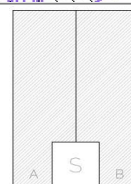
Límites parcela: Estado de conservación: Tipología:

| | | | |
|---|---|---------------------------------------|----------------------------|
| <input type="checkbox"/> entre medianeras | <input type="checkbox"/> malo | <input type="checkbox"/> 1 | <input type="checkbox"/> 3 |
| <input checked="" type="checkbox"/> esquina | <input checked="" type="checkbox"/> regular | <input checked="" type="checkbox"/> 2 | <input type="checkbox"/> 4 |
| <input type="checkbox"/> aislado | <input type="checkbox"/> bueno | | |

Lenguaje arquitectónico: Eclecticismo académico

Tipología constructiva: Sistema constructivo de 3 crujeas con muros portantes y pilares de ladrillo con vigas y viguetas de madera y revoltón de ladrillo

Nº de alturas: PB + 3



TIPO 2

NORMATIVA APLICACIÓN

Grado de protección: Protección ambiental | Grado 2

Nombre normativa: Plan especial de Protección del Ensanche de Valencia P.E.P. 2

Alteración del volumen: Sí No Nº plantas posibles a sobreelevar: 1

Profundidad edificable: No

DOCUMENTACIÓN GRÁFICA



Comentarios:

FICHA EDIFICIO

ID: RS.46.3

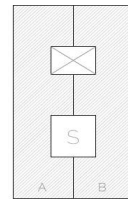
IDENTIFICACIÓN DEL INMUEBLE

Ubicación: C/ Pintor Gisbert, 3
Referencia catastral: 5812123YJ2751D
Nº manzana: 58121
Fecha construcción: 1930
Uso principal: Residencial



DESCRIPCIÓN

Límites parcela: entre medianeras esquina aislado
Estado de conservación: malo regular bueno
Tipología: 1 2 3 4
Lenguaje arquitectónico: Eclecticismo académico
Tipología constructiva: Sistema constructivo de estructura reticular de hormigón, con vigas y viguetas de hormigón o metálicas con bovedilla cerámica
Nº de alturas: PB + 3



TIPO 4

NORMATIVA APLICACIÓN

Grado de protección: Protección ambiental | Grado 2
Nombre normativa: Plan especial de Protección del Ensanche de Valencia P.E.P. 2
Alteración del volumen: Sí No
Nº plantas posibles a sobreelevar: 1
Profundidad edificable: No

DOCUMENTACIÓN GRÁFICA



Comentarios:

IDENTIFICACIÓN DEL INMUEBLE

Ubicación: C/ Puerto Rico, 20
 Referencia catastral: 5814205YJ2751D
 Nº manzana: 58142
 Fecha construcción: 1910
 Uso principal: Residencial



DESCRIPCIÓN

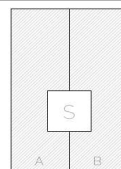
Límites parcela: Estado de conservación: Tipología:

entre medianeras malo 1 3
 esquina regular 2 4
 aislado bueno

Lenguaje arquitectónico: Modernismo

Tipología constructiva: Sistema constructivo de 3 crujeas con muros portantes y pilares de ladrillo con vigas y viguetas de madera y revoltón de ladrillo

Nº de alturas: PB + 3



TIPO 1

NORMATIVA APLICACIÓN

Grado de protección: Protección ambiental | Grado 2

Nombre normativa: Plan especial de Protección del Ensanche de Valencia P.E.P. 2

Alteración del volumen: Si No Nº plantas posibles a sobreelevar: 1

Profundidad edificable: No

DOCUMENTACIÓN GRÁFICA



Comentarios:

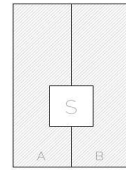
IDENTIFICACIÓN DEL INMUEBLE

Ubicación: C/ Puerto Rico, 22
 Referencia catastral: 5814206YJ2751D
 N° manzana: 58142
 Fecha construcción: 1913
 Uso principal: Residencial



DESCRIPCIÓN

| | | |
|--|---|---------------------------------------|
| Limites parcela: | Estado de conservación: | Tipología: |
| <input checked="" type="checkbox"/> entre medianeras | <input type="checkbox"/> malo | <input checked="" type="checkbox"/> 1 |
| <input type="checkbox"/> esquina | <input type="checkbox"/> regular | <input type="checkbox"/> 2 |
| <input type="checkbox"/> aislado | <input checked="" type="checkbox"/> bueno | <input type="checkbox"/> 3 |
| Lenguaje arquitectónico: | Modernismo | <input type="checkbox"/> 4 |
| Tipología constructiva: | Sistema constructivo de 4 crujeas con muros portantes y pilares de ladrillo con vigas y viguetas de madera y revoltón de ladrillo | |
| N° de alturas: | PB + 3 | |



TIPO 1

NORMATIVA APLICACIÓN

Grado de protección: Protección ambiental | Grado 2
 Nombre normativa: Plan especial de Protección del Ensanche de Valencia P.E.P. 2
 Alteración del volumen: Si No N° plantas posibles a sobreelevar: 1
 Profundidad edificable: No

DOCUMENTACIÓN GRÁFICA



Comentarios:

IDENTIFICACIÓN DEL INMUEBLE

Ubicación: C/ Puerto Rico, 24
 Referencia catastral: 5814207YJ2751D
 Nº manzana: 58142
 Fecha construcción: 1913
 Uso principal: Residencial



DESCRIPCIÓN

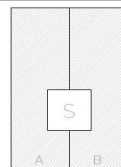
Límites parcela: Estado de conservación: Tipología:

entre medianeras malo 1 3
 esquina regular 2 4
 aislado bueno

Lenguaje arquitectónico: Modernismo

Tipología constructiva: Sistema constructivo de 4 crujeas con muros portantes y pilares de ladrillo con vigas y viguetas de madera y revoltón de ladrillo

Nº de alturas: PB + 3



TIPO 1

NORMATIVA APLICACIÓN

Grado de protección: Protección ambiental | Grado 2

Nombre normativa: Plan especial de Protección del Ensanche de Valencia P.E.P. 2

Alteración del volumen: Sí No Nº plantas posibles a sobreelevar: 1

Profundidad edificable: No

DOCUMENTACIÓN GRÁFICA



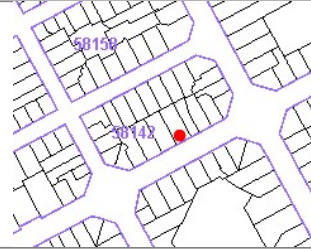
Comentarios:

FICHA EDIFICIO

ID: RS.47.26

IDENTIFICACIÓN DEL INMUEBLE

Ubicación: C/ Puerto Rico, 26
Referencia catastral: 5814208YJ2751D
Nº manzana: 58142
Fecha construcción: 1903
Uso principal: Residencial



DESCRIPCIÓN

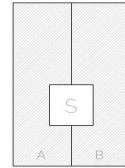
Límites parcela: Estado de conservación: Tipología:

entre medianeras malo 1 3
 esquina regular 2 4
 aislado bueno

Lenguaje arquitectónico: Eclecticismo neobarroco o Casticista

Tipología constructiva: Sistema constructivo de 4 crujeas con muros portantes y pilares de ladrillo con vigas y viguetas de madera y revoltón de ladrillo

Nº de alturas: PB + 3



TIPO 1

NORMATIVA APLICACIÓN

Grado de protección: Protección ambiental | Grado 2

Nombre normativa: Plan especial de Protección del Ensanche de Valencia P.E.P. 2

Alteración del volumen: Sí No Nº plantas posibles a sobreelevar: 1

Profundidad edificable: No

DOCUMENTACIÓN GRÁFICA



Comentarios:

FICHA EDIFICIO

ID: RS.47.30

IDENTIFICACIÓN DEL INMUEBLE

Ubicación: C/ Puerto Rico, 30
Referencia catastral: 5814210YJ2751D
Nº manzana: 58142
Fecha construcción: 1990 (reforma)
Uso principal: Residencial



DESCRIPCIÓN

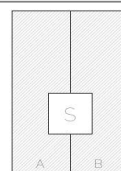
Límites parcela: Estado de conservación: Tipología:

entre medianeras malo 1 3
 esquina regular 2 4
 aislado bueno

Lenguaje arquitectónico: Eclecticismo académico

Tipología constructiva: Sistema constructivo de 4 crujeas con muros portantes y pilares de ladrillo con vigas y viguetas de madera y revoltón de ladrillo

Nº de alturas: PB + 3



TIPO 1

NORMATIVA APLICACIÓN

Grado de protección: Protección ambiental | Grado 2

Nombre normativa: Plan especial de Protección del Ensanche de Valencia P.E.P. 2

Alteración del volumen: Sí No Nº plantas posibles a sobreelevar: 1

Profundidad edificable: No

DOCUMENTACIÓN GRÁFICA



Comentarios:

FICHA EDIFICIO

ID: RS.47.3

IDENTIFICACIÓN DEL INMUEBLE

Ubicación: C/ Buenos Aires, 3
Referencia catastral: 5814223YJ2751F
Nº manzana: 58142
Fecha construcción: 1925
Uso principal: Residencial



DESCRIPCIÓN

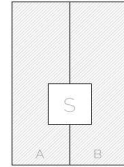
Límites parcela: Estado de conservación: Tipología:

| | | | |
|--|---|---------------------------------------|----------------------------|
| <input checked="" type="checkbox"/> entre medianeras | <input type="checkbox"/> malo | <input checked="" type="checkbox"/> 1 | <input type="checkbox"/> 3 |
| <input type="checkbox"/> esquina | <input type="checkbox"/> regular | <input type="checkbox"/> 2 | <input type="checkbox"/> 4 |
| <input type="checkbox"/> aislado | <input checked="" type="checkbox"/> bueno | | |

Lenguaje arquitectónico: Eclecticismo académico

Tipología constructiva: Sistema constructivo de 3 crujeas con muros portantes y pilares de ladrillo con vigas y viguetas de madera y revoltón de ladrillo

Nº de alturas: PB + 3



TIPO 1

NORMATIVA APLICACIÓN

Grado de protección: Protección ambiental | Grado 2

Nombre normativa: Plan especial de Protección del Ensanche de Valencia P.E.P. 2

Alteración del volumen: Sí No

Nº plantas posibles a sobreelevar: 1

Profundidad edificable: No

DOCUMENTACIÓN GRÁFICA



Comentarios:

IDENTIFICACIÓN DEL INMUEBLE

Ubicación: C/ Cuba, 25
 Referencia catastral: 5815811YJ2751F
 Nº manzana: 58158
 Fecha construcción: 1905
 Uso principal: Residencial



DESCRIPCIÓN

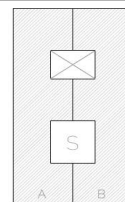
Límites parcela: Estado de conservación: Tipología:

entre medianeras malo 1 3
 esquina regular 2 4
 aislado bueno

Lenguaje arquitectónico: Eclecticismo académico

Tipología constructiva: Sistema constructivo de 5 crujiás con estructura reticular, vigas y viguetas de hormigón o metálicas con bovedilla cerámica

Nº de alturas: PB + 3



TIPO 4

NORMATIVA APLICACIÓN

Grado de protección: Protección ambiental | Grado 2

Nombre normativa: Plan especial de Protección del Ensanche de Valencia P.E.P. 2

Alteración del volumen: Sí No Nº plantas posibles a sobreelevar: 1

Profundidad edificable: No

DOCUMENTACIÓN GRÁFICA



Comentarios:

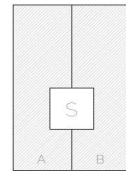
IDENTIFICACIÓN DEL INMUEBLE

Ubicación: C/ Cuba, 21
 Referencia catastral: 5815813YJ2751F
 N° manzana: 58158
 Fecha construcción: 1887
 Uso principal: Residencial



DESCRIPCIÓN

Limites parcela: Estado de conservación: Tipología:
 entre medianeras malo 1 3
 esquina regular 2 4
 aislado bueno
 Lenguaje arquitectónico: Eclecticismo académico
 Tipología constructiva: Sistema constructivo de 4 crujeas con muros portantes y pilares de ladrillo con vigas y viguetas de madera y revoltón de ladrillo
 N° de alturas: PB + 3



TIPO 1

NORMATIVA APLICACIÓN

Grado de protección: Protección ambiental | Grado 2
 Nombre normativa: Plan especial de Protección del Ensanche de Valencia P.E.P. 2
 Alteración del volumen: Si No N° plantas posibles a sobreelevar: 1
 Profundidad edificable: No

DOCUMENTACIÓN GRÁFICA



Comentarios: En este caso, el inmueble se encuentra en obras desde 2008. En las imágenes se observa la ampliación de 1 altura. Actualmente, la obra se encuentra parada.

FICHA EDIFICIO

ID: RS.48.19

IDENTIFICACIÓN DEL INMUEBLE

Ubicación: C/ Cuba, 19
Referencia catastral: 5815814YJ2751F
Nº manzana: 58158
Fecha construcción: 1887 (reforma 2021)
Uso principal: Ocio y hostelería



DESCRIPCIÓN

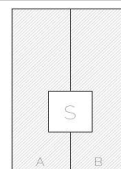
Límites parcela: Estado de conservación: Tipología:

entre medianeras malo 1 3
 esquina regular 2 4
 aislado bueno

Lenguaje arquitectónico: Eclecticismo académico

Tipología constructiva: Sistema constructivo de 4 crujeas con muros portantes y pilares de ladrillo con vigas y viguetas de madera y revoltón de ladrillo

Nº de alturas: PB + 3



TIPO 1

NORMATIVA APLICACIÓN

Grado de protección: Protección ambiental | Grado 2

Nombre normativa: Plan especial de Protección del Ensanche de Valencia P.E.P. 2

Alteración del volumen: Sí No Nº plantas posibles a sobreelevar: 1

Profundidad edificable: No

DOCUMENTACIÓN GRÁFICA



Comentarios: En este caso, la ampliación vertical ya se ha realizado como se puede observar en la documentación gráfica.

FICHA EDIFICIO

ID: RS.48.17

IDENTIFICACIÓN DEL INMUEBLE

Ubicación: C/ Cuba, 17
Referencia catastral: 5815815YJ2751F
Nº manzana: 58158
Fecha construcción: 1910
Uso principal: Residencial



DESCRIPCIÓN

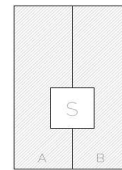
Límites parcela: Estado de conservación: Tipología:

| | | | |
|---|---|---------------------------------------|----------------------------|
| <input type="checkbox"/> entre medianeras | <input type="checkbox"/> malo | <input checked="" type="checkbox"/> 1 | <input type="checkbox"/> 3 |
| <input checked="" type="checkbox"/> esquina | <input checked="" type="checkbox"/> regular | <input type="checkbox"/> 2 | <input type="checkbox"/> 4 |
| <input type="checkbox"/> aislado | <input type="checkbox"/> bueno | | |

Lenguaje arquitectónico: Eclecticismo académico

Tipología constructiva: Sistema constructivo de 4 crujiás con muros portantes y pilares de ladrillo con vigas y viguetas de madera y revoltón de ladrillo

Nº de alturas: PB + 3



TIPO 1

NORMATIVA APLICACIÓN

Grado de protección: Protección ambiental | Grado 2

Nombre normativa: Plan especial de Protección del Ensanche de Valencia P.E.P. 2

Alteración del volumen: Sí No

Nº plantas posibles a sobreelevar: 1

Profundidad edificable: No

DOCUMENTACIÓN GRÁFICA



Comentarios:

FICHA EDIFICIO

ID: RS.48.61

IDENTIFICACIÓN DEL INMUEBLE

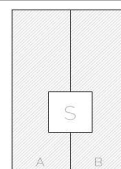
Ubicación: C/ Denia, 61
Referencia catastral: 5815816YJ2751F
Nº manzana: 58158
Fecha construcción: 1887
Uso principal: Residencial



DESCRIPCIÓN

Límites parcela: Estado de conservación:
 entre medianeras malo
 esquina regular
 aislado bueno

Tipología:
 1 3
 2 4



Lenguaje arquitectónico: Eclecticismo académico

Tipología constructiva: Sistema constructivo de 4 crujiás con muros portantes y pilares de ladrillo con vigas y viguetas de madera y revoltón de ladrillo

Nº de alturas: PB + 3

NORMATIVA APLICACIÓN

Grado de protección: Protección ambiental | Grado 2

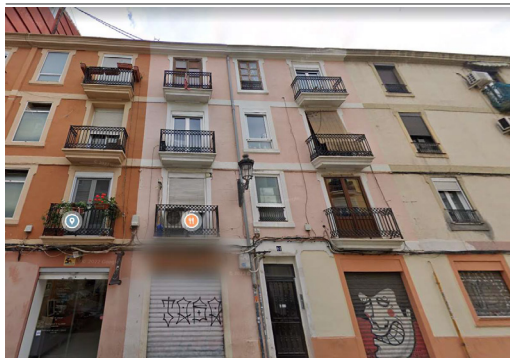
Nombre normativa: Plan especial de Protección del Ensanche de Valencia P.E.P. 2

Alteración del volumen: Si No

Nº plantas posibles a sobreelevar: 1

Profundidad edificable: No

DOCUMENTACIÓN GRÁFICA



Comentarios:

FICHA EDIFICIO

ID: RS.48.59

IDENTIFICACIÓN DEL INMUEBLE

Ubicación: C/ Denia, 59
Referencia catastral: 5815817YJ2751F
Nº manzana: 58158
Fecha construcción: 1887
Uso principal: Residencial



DESCRIPCIÓN

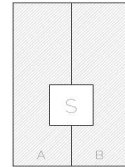
Límites parcela: Estado de conservación: Tipología:

entre medianeras malo 1 3
 esquina regular 2 4
 aislado bueno

Lenguaje arquitectónico: Eclecticismo académico

Tipología constructiva: Sistema constructivo de 4 crujeas con muros portantes y pilares de ladrillo con vigas y viguetas de madera y revoltón de ladrillo

Nº de alturas: PB + 3



TIPO 1

NORMATIVA APLICACIÓN

Grado de protección: Protección ambiental | Grado 2

Nombre normativa: Plan especial de Protección del Ensanche de Valencia P.E.P. 2

Alteración del volumen: Sí No Nº plantas posibles a sobreelevar: 1

Profundidad edificable: No

DOCUMENTACIÓN GRÁFICA



Comentarios:

FICHA EDIFICIO

ID: RS.49.27

IDENTIFICACIÓN DEL INMUEBLE

Ubicación: C/ Puerto Rico, 27
Referencia catastral: 5913125YJ2751D
Nº manzana: 59131
Fecha construcción: 1915 (reforma 2004???)
Uso principal: Residencial



DESCRIPCIÓN

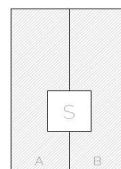
Límites parcela: Estado de conservación: Tipología:

entre medianeras malo 1 3
 esquina regular 2 4
 aislado bueno

Lenguaje arquitectónico: Eclecticismo académico

Tipología constructiva: Sistema constructivo de 4 crujeas con muros portantes y pilares de ladrillo con vigas y viguetas de madera y revoltón de ladrillo

Nº de alturas: PB + 3



TIPO 1

NORMATIVA APLICACIÓN

Grado de protección: Protección ambiental | Grado 2

Nombre normativa: Plan especial de Protección del Ensanche de Valencia P.E.P. 2

Alteración del volumen: Sí No

Nº plantas posibles a sobreelevar: 1

Profundidad edificable: No

DOCUMENTACIÓN GRÁFICA



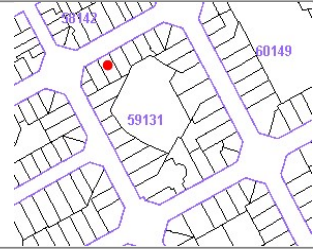
Comentarios:

FICHA EDIFICIO

ID: RS.49.25

IDENTIFICACIÓN DEL INMUEBLE

Ubicación: C/ Puerto Rico, 25
Referencia catastral: 5913126YJ2751D
Nº manzana: 59131
Fecha construcción: 1928
Uso principal: Residencial



DESCRIPCIÓN

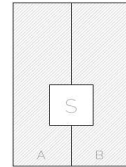
Límites parcela: Estado de conservación: Tipología:

entre medianeras malo 1 3
 esquina regular 2 4
 aislado bueno

Lenguaje arquitectónico: Eclecticismo académico

Tipología constructiva: Sistema constructivo de 4 crujeas con muros portantes y pilares de ladrillo con vigas y viguetas de madera y revoltón de ladrillo

Nº de alturas: PB + 3



TIPO 1

NORMATIVA APLICACIÓN

Grado de protección: Protección ambiental | Grado 2

Nombre normativa: Plan especial de Protección del Ensanche de Valencia P.E.P. 2

Alteración del volumen: Sí No Nº plantas posibles a sobreelevar: 1

Profundidad edificable: No

DOCUMENTACIÓN GRÁFICA



Comentarios:

FICHA EDIFICIO

ID: RS.50.42

IDENTIFICACIÓN DEL INMUEBLE

Ubicación: C/ Cadiz, 42
Referencia catastral: 5915211YJ2761E
Nº manzana: 59152
Fecha construcción: 1925
Uso principal: Residencial



DESCRIPCIÓN

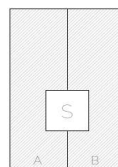
Límites parcela: Estado de conservación: Tipología:

entre medianeras malo 1 3
 esquina / chaflán regular 2 4
 aislado bueno

Lenguaje arquitectónico: Ecléctico académico

Tipología constructiva: Sistema constructivo de 4 crujeas con muros portantes y pilares de ladrillo con vigas y viguetas de madera y revoltón de ladrillo

Nº de alturas: PB + 3



TIPO 1

NORMATIVA APLICACIÓN

Grado de protección: Protección ambiental | Grado 2

Nombre normativa: Plan especial de Protección del Ensanche de Valencia P.E.P. 2

Alteración del volumen: Sí No Nº plantas posibles a sobreelevar: 1

Profundidad edificable: No

DOCUMENTACIÓN GRÁFICA



Comentarios:

FICHA EDIFICIO

ID: RS.50.41

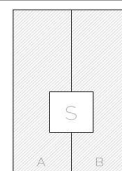
IDENTIFICACIÓN DEL INMUEBLE

Ubicación: C/ Denia, 41
 Referencia catastral: 5915230YJ2751F
 N° manzana: 59152
 Fecha construcción: 1903
 Uso principal: Residencial



DESCRIPCIÓN

| | | |
|--|---|---------------------------------------|
| Limites parcela: | Estado de conservación: | Tipología: |
| <input checked="" type="checkbox"/> entre medianeras | <input type="checkbox"/> malo | <input checked="" type="checkbox"/> 1 |
| <input type="checkbox"/> esquina | <input checked="" type="checkbox"/> regular | <input type="checkbox"/> 2 |
| <input type="checkbox"/> aislado | <input type="checkbox"/> bueno | <input type="checkbox"/> 3 |
| Lenguaje arquitectónico: | Eclecticismo académico | |
| Tipología constructiva: | Sistema constructivo de 4 crujeas con muros portantes y pilares de ladrillo con vigas y viguetas de madera y revoltón de ladrillo | |
| N° de alturas: | PB + 3 | |



TIPO 1

NORMATIVA APLICACIÓN

Grado de protección: Protección ambiental | Grado 2
 Nombre normativa: Plan especial de Protección del Ensanche de Valencia P.E.P. 2
 Alteración del volumen: Sí No N° plantas posibles a sobreelevar: 1
 Profundidad edificable: No

DOCUMENTACIÓN GRÁFICA



Comentarios:

FICHA EDIFICIO

ID: RS.50.39

IDENTIFICACIÓN DEL INMUEBLE

Ubicación: C/ Denia, 39
Referencia catastral: 5915231YJ2751F
Nº manzana: 59152
Fecha construcción: 1902
Uso principal: Cultural y residencial



DESCRIPCIÓN

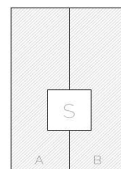
Límites parcela: Estado de conservación: Tipología:

entre medianeras malo 1 3
 esquina regular 2 4
 aislado bueno

Lenguaje arquitectónico: Eclecticismo académico

Tipología constructiva: Sistema constructivo de 4 crujeas con muros portantes y pilares de ladrillo con vigas y viguetas de madera y revoltón de ladrillo

Nº de alturas: PB + 3



TIPO 1

NORMATIVA APLICACIÓN

Grado de protección: Protección ambiental | Grado 2

Nombre normativa: Plan especial de Protección del Ensanche de Valencia P.E.P. 2

Alteración del volumen: Sí No Nº plantas posibles a sobreelevar: 1

Profundidad edificable: No

DOCUMENTACIÓN GRÁFICA



Comentarios:

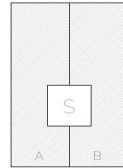
IDENTIFICACIÓN DEL INMUEBLE

Ubicación: C/ Denia, 37
 Referencia catastral: 5915232YJ2751F
 Nº manzana: 59152
 Fecha construcción: 1920
 Uso principal: Residencial



DESCRIPCIÓN

Límites parcela: Estado de conservación: Tipología:
 entre medianeras malo 1 3
 esquina regular 2 4
 aislado bueno
 Lenguaje arquitectónico: Eclecticismo académico
 Tipología constructiva: Sistema constructivo de 4 crujeas con muros portantes y pilares de ladrillo con vigas y viguetas de madera y revoltón de ladrillo
 Nº de alturas: PB + 3



TIPO 1

NORMATIVA APLICACIÓN

Grado de protección: Protección ambiental | Grado 2
 Nombre normativa: Plan especial de Protección del Ensanche de Valencia P.E.P. 2
 Alteración del volumen: Sí No Nº plantas posibles a sobreelevar: 1
 Profundidad edificable: No

DOCUMENTACIÓN GRÁFICA



Comentarios:

FICHA EDIFICIO

ID: RS.50.35

IDENTIFICACIÓN DEL INMUEBLE

Ubicación: C/ Denia, 35
Referencia catastral: 5915233YJ2751F
Nº manzana: 59152
Fecha construcción: 1925
Uso principal: Residencial



DESCRIPCIÓN

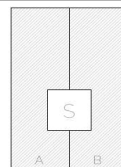
Límites parcela: Estado de conservación: Tipología:

entre medianeras malo 1 3
 esquina regular 2 4
 aislado bueno

Lenguaje arquitectónico: Eclecticismo académico

Tipología constructiva: Sistema constructivo de 4 crujeas con muros portantes y pilares de ladrillo con vigas y viguetas de madera y revoltón de ladrillo

Nº de alturas: PB + 3



TIPO 1

NORMATIVA APLICACIÓN

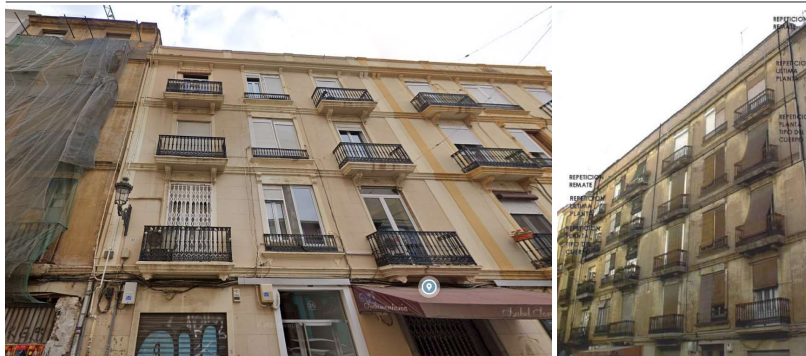
Grado de protección: Protección ambiental | Grado 2

Nombre normativa: Plan especial de Protección del Ensanche de Valencia P.E.P. 2

Alteración del volumen: Sí No Nº plantas posibles a sobreelevar: 1

Profundidad edificable: No

DOCUMENTACIÓN GRÁFICA



Comentarios:

FICHA EDIFICIO

ID: RS.51.6

IDENTIFICACIÓN DEL INMUEBLE

Ubicación: C/ Sevilla, 6
Referencia catastral: 5917302YJ2751H
Nº manzana: 59173
Fecha construcción: 1905 (reforma 2006)
Uso principal: Residencial



DESCRIPCIÓN

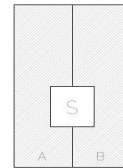
Límites parcela: Estado de conservación: Tipología:

| | | | |
|--|---|---------------------------------------|----------------------------|
| <input checked="" type="checkbox"/> entre medianeras | <input type="checkbox"/> malo | <input checked="" type="checkbox"/> 1 | <input type="checkbox"/> 3 |
| <input type="checkbox"/> esquina | <input checked="" type="checkbox"/> regular | <input type="checkbox"/> 2 | <input type="checkbox"/> 4 |
| <input type="checkbox"/> aislado | <input type="checkbox"/> bueno | | |

Lenguaje arquitectónico: Eclecticismo académico

Tipología constructiva: Sistema constructivo de 4 crujeas con muros portantes y pilares de ladrillo con vigas y viguetas de madera y revoltón de ladrillo

Nº de alturas: PB + 3



TIPO 1

NORMATIVA APLICACIÓN

Grado de protección: Protección ambiental | Grado 2

Nombre normativa: Plan especial de Protección del Ensanche de Valencia P.E.P. 2

Alteración del volumen: Sí No

Nº plantas posibles a sobreelevar: 1

Profundidad edificable: No

DOCUMENTACIÓN GRÁFICA



Comentarios:

FICHA EDIFICIO

ID: RS.52.3

IDENTIFICACIÓN DEL INMUEBLE

Ubicación: C/ dels Tomasos, 3
Referencia catastral: 6015409YJ2761E
Nº manzana: 60154
Fecha construcción: 1910
Uso principal: Residencial



DESCRIPCIÓN

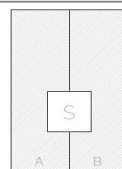
Límites parcela: Estado de conservación: Tipología:

entre medianeras malo 1 3
 esquina regular 2 4
 aislado bueno

Lenguaje arquitectónico: Eclecticismo académico

Tipología constructiva: Sistema constructivo de 4 crujeas con muros portantes y pilares de ladrillo con vigas y viguetas de madera y revoltón de ladrillo

Nº de alturas: PB + 3



TIPO 1

NORMATIVA APLICACIÓN

Grado de protección: Protección ambiental | Grado 2

Nombre normativa: Plan especial de Protección del Ensanche de Valencia P.E.P. 2

Alteración del volumen: Sí No Nº plantas posibles a sobreelevar: 1

Profundidad edificable: No

DOCUMENTACIÓN GRÁFICA



Comentarios:

FICHA EDIFICIO

ID: RS.53.4

IDENTIFICACIÓN DEL INMUEBLE

Ubicación: Av. Regne de Valencia, 4
Referencia catastral: 6117202YJ2761G
Nº manzana: 61172
Fecha construcción: 1924
Uso principal: Residencial



DESCRIPCIÓN

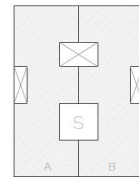
Límites parcela: Estado de conservación: Tipología:

| | | | |
|--|---|----------------------------|----------------------------|
| <input checked="" type="checkbox"/> entre medianeras | <input type="checkbox"/> malo | <input type="checkbox"/> 1 | <input type="checkbox"/> 3 |
| <input type="checkbox"/> esquina | <input type="checkbox"/> regular | <input type="checkbox"/> 2 | <input type="checkbox"/> 4 |
| <input type="checkbox"/> aislado | <input checked="" type="checkbox"/> bueno | | |

Lenguaje arquitectónico: Eclecticismo académico

Tipología constructiva: Sistema constructivo de 5 crujeas con estructura mixta de muros portantes y pilares de fábrica de ladrillo, con vigas y viguetas metálicas con revoltón de ladrillo

Nº de alturas: PB + 4



TIPO 3

NORMATIVA APLICACIÓN

Grado de protección: Protección ambiental | Grado 2

Nombre normativa: Plan especial de Protección del Ensanche de Valencia P.E.P. 2

Alteración del volumen: Si No

Nº plantas posibles a sobreelevar: 1

Profundidad edificable: No

DOCUMENTACIÓN GRÁFICA



Comentarios:

FICHA EDIFICIO

ID: RS.54.31

IDENTIFICACIÓN DEL INMUEBLE

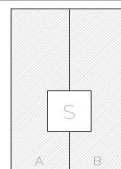
Ubicación: C/ los Centelles, 31
Referencia catastral: 6213304YJ2761C
Nº manzana: 62133
Fecha construcción: 1920
Uso principal: Residencial



DESCRIPCIÓN

Límites parcela: Estado de conservación:
 entre medianeras malo
 esquina regular
 aislado bueno

Tipología:
 1 3
 2 4



Lenguaje arquitectónico: Eclecticismo académico

Tipología constructiva: Sistema constructivo de 4 crujiás con muros portantes y pilares de ladrillo con vigas y viguetas de madera y revoltón de ladrillo

Nº de alturas: PB + 3

NORMATIVA APLICACIÓN

Grado de protección: Protección ambiental | Grado 2

Nombre normativa: Plan especial de Protección del Ensanche de Valencia P.E.P. 2

Alteración del volumen: Sí No

Nº plantas posibles a sobreelevar: 1

Profundidad edificable: No

DOCUMENTACIÓN GRÁFICA



Comentarios:

FICHA EDIFICIO

ID: RS.55.7

IDENTIFICACIÓN DEL INMUEBLE

Ubicación: C/ Pedro III el Grande, 7
Referencia catastral: 6315202YJ2761E
Nº manzana: 63152
Fecha construcción: 1926
Uso principal: Residencial



DESCRIPCIÓN

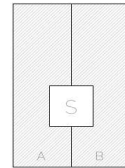
Límites parcela: Estado de conservación: Tipología:

entre medianeras malo 1 3
 esquina regular 2 4
 aislado bueno

Lenguaje arquitectónico: Eclecticismo académico

Tipología constructiva: Sistema constructivo de 4 crujiás con muros portantes y pilares de ladrillo con vigas y viguetas de madera y revoltón de ladrillo

Nº de alturas: PB + 3



TIPO 1

NORMATIVA APLICACIÓN

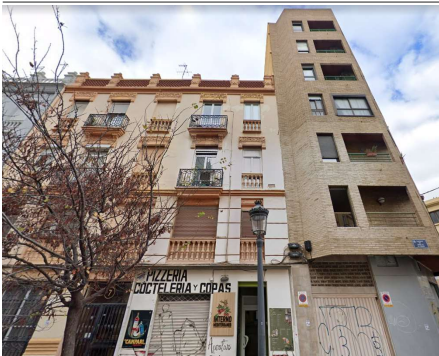
Grado de protección: Protección ambiental | Grado 2

Nombre normativa: Plan especial de Protección del Ensanche de Valencia P.E.P. 2

Alteración del volumen: Sí No Nº plantas posibles a sobreelevar: 1

Profundidad edificable: No

DOCUMENTACIÓN GRÁFICA



Comentarios:

FICHA EDIFICIO

ID: RS.55.5

IDENTIFICACIÓN DEL INMUEBLE

Ubicación: C/ Pedro III el Grande, 5
Referencia catastral: 6315203YJ2761E
Nº manzana: 63152
Fecha construcción: 1920
Uso principal: Residencial



DESCRIPCIÓN

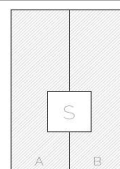
Límites parcela: Estado de conservación: Tipología:

| | | | |
|---|---|---------------------------------------|----------------------------|
| <input type="checkbox"/> entre medianeras | <input type="checkbox"/> malo | <input checked="" type="checkbox"/> 1 | <input type="checkbox"/> 3 |
| <input checked="" type="checkbox"/> esquina | <input type="checkbox"/> regular | <input type="checkbox"/> 2 | <input type="checkbox"/> 4 |
| <input type="checkbox"/> aislado | <input checked="" type="checkbox"/> bueno | | |

Lenguaje arquitectónico: Eclecticismo académico

Tipología constructiva: Sistema constructivo de 4 crujiás con muros portantes y pilares de ladrillo con vigas y viguetas de madera y revoltón de ladrillo

Nº de alturas: PB + 3



TIPO 1

NORMATIVA APLICACIÓN

Grado de protección: Protección ambiental | Grado 2

Nombre normativa: Plan especial de Protección del Ensanche de Valencia P.E.P. 2

Alteración del volumen: Sí No Nº plantas posibles a sobreelevar: 1

Profundidad edificable: No

DOCUMENTACIÓN GRÁFICA



Comentarios:

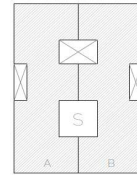
IDENTIFICACIÓN DEL INMUEBLE

Ubicación: C/ Pedro III el Grande, 3
 Referencia catastral: 6315204YJ2761E
 Nº manzana: 63152
 Fecha construcción: 1920 (reforma 2012)
 Uso principal: Residencial



DESCRIPCIÓN

| | | |
|---|---|---------------------------------------|
| Limites parcela: | Estado de conservación: | Tipología: |
| <input type="checkbox"/> entre medianeras | <input type="checkbox"/> malo | <input type="checkbox"/> 1 |
| <input checked="" type="checkbox"/> esquina | <input type="checkbox"/> regular | <input type="checkbox"/> 2 |
| <input type="checkbox"/> aislado | <input checked="" type="checkbox"/> bueno | <input checked="" type="checkbox"/> 3 |
| Lenguaje arquitectónico: | Eclecticismo académico | |
| Tipología constructiva: | Sistema constructivo de 5 crujeas con estructura mixta de muros portantes y pilares de fábrica de ladrillo, con vigas y viguetas metálicas con revoltón de ladrillo | |
| Nº de alturas: | PB + 4 | |



TIPO 3

NORMATIVA APLICACIÓN

Grado de protección: Protección ambiental | Grado 2
 Nombre normativa: Plan especial de Protección del Ensanche de Valencia P.E.P. 2
 Alteración del volumen: Si No Nº plantas posibles a sobreelevar: -
 Profundidad edificable: -

DOCUMENTACIÓN GRÁFICA



Comentarios: En este caso, la ampliación vertical ya se ha realizado.

FICHA EDIFICIO

ID: RS.55.13

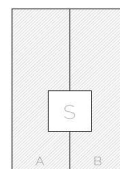
IDENTIFICACIÓN DEL INMUEBLE

Ubicación: C/ Barón de Cortés, 13
Referencia catastral: 6315205YJ2761E
Nº manzana: 63152
Fecha construcción: 1931
Uso principal: Comercial



DESCRIPCIÓN

Límites parcela: entre medianeras esquina aislado
Estado de conservación: malo regular bueno
Tipología: 1 2 3 4
Lenguaje arquitectónico: Eclecticismo académico
Tipología constructiva: Sistema constructivo de 4 crujeas con muros portantes y pilares de ladrillo con vigas y viguetas de madera y revoltón de ladrillo
Nº de alturas: PB + 3



TIPO 1

NORMATIVA APLICACIÓN

Grado de protección: Protección ambiental | Grado 2
Nombre normativa: Plan especial de Protección del Ensanche de Valencia P.E.P. 2
Alteración del volumen: Sí No
Nº plantas posibles a sobreelevar: 1
Profundidad edificable: No

DOCUMENTACIÓN GRÁFICA



Comentarios:

FICHA EDIFICIO

ID: RS.56.10

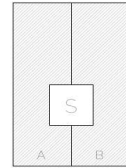
IDENTIFICACIÓN DEL INMUEBLE

Ubicación: C/ Pedro III el Grande, 10
Referencia catastral: 6315501YJ2761E
Nº manzana: 63155
Fecha construcción: 1925
Uso principal: Residencial



DESCRIPCIÓN

Límites parcela: entre medianeras esquina aislado
Estado de conservación: malo regular bueno
Tipología: 1 2 3 4
Lenguaje arquitectónico: Eclecticismo académico
Tipología constructiva: Sistema constructivo de 4 crujeas con muros portantes y pilares de ladrillo con vigas y viguetas de madera y revoltón de ladrillo
Nº de alturas: PB + 3



TIPO 1

NORMATIVA APLICACIÓN

Grado de protección: Protección ambiental | Grado 2
Nombre normativa: Plan especial de Protección del Ensanche de Valencia P.E.P. 2
Alteración del volumen: Sí No
Nº plantas posibles a sobreelevar: 1
Profundidad edificable: No

DOCUMENTACIÓN GRÁFICA



Comentarios:

IDENTIFICACIÓN DEL INMUEBLE

Ubicación: C/ Pintor Salvador Abril, 34
 Referencia catastral: 6315205YJ2761E
 Nº manzana: 63155
 Fecha construcción: 1931
 Uso principal: Comercial



DESCRIPCIÓN

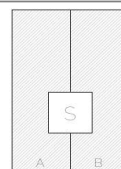
Límites parcela: Estado de conservación: Tipología:

entre medianeras malo 1 3
 esquina regular 2 4
 aislado bueno

Lenguaje arquitectónico: Eclecticismo académico

Tipología constructiva: Sistema constructivo de 4 crujiás con muros portantes y pilares de ladrillo con vigas y viguetas de madera y revoltón de ladrillo

Nº de alturas: PB + 3



TIPO 1

NORMATIVA APLICACIÓN

Grado de protección: Protección ambiental | Grado 2

Nombre normativa: Plan especial de Protección del Ensanche de Valencia P.E.P. 2

Alteración del volumen: Sí No Nº plantas posibles a sobreelevar: 1

Profundidad edificable: No

DOCUMENTACIÓN GRÁFICA



Comentarios:

FICHA EDIFICIO

ID: RS.56.42

IDENTIFICACIÓN DEL INMUEBLE

Ubicación: C/ Pintor Salvador Abril, 34
Referencia catastral: 6315205YJ2761E
Nº manzana: 63155
Fecha construcción: 1931
Uso principal: Cultural



DESCRIPCIÓN

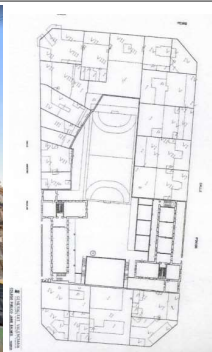
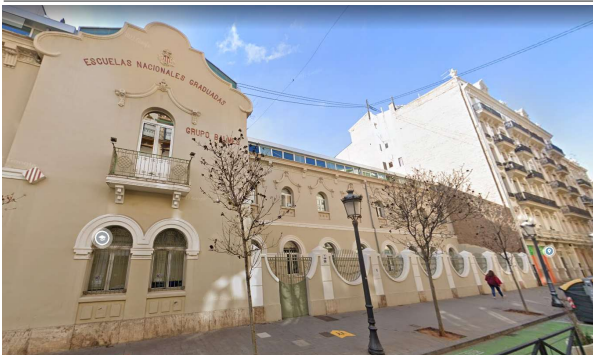
| Límites parcela: | Estado de conservación: | Tipología: | |
|--|---|----------------------------|----------------------------|
| <input checked="" type="checkbox"/> entre medianeras | <input type="checkbox"/> malo | <input type="checkbox"/> 1 | <input type="checkbox"/> 3 |
| <input type="checkbox"/> esquina | <input type="checkbox"/> regular | <input type="checkbox"/> 2 | <input type="checkbox"/> 4 |
| <input type="checkbox"/> aislado | <input checked="" type="checkbox"/> bueno | | |

Lenguaje arquitectónico: -
Tipología constructiva: -
Nº de alturas: -

NORMATIVA APLICACIÓN

Grado de protección: Protección ambiental | Grado 2
Nombre normativa: Plan especial de Protección del Ensanche de Valencia P.E.P. 2
Alteración del volumen: Sí No Nº plantas posibles a sobreelevar: 1
Profundidad edificable: No

DOCUMENTACIÓN GRÁFICA



Comentarios:

IDENTIFICACIÓN DEL INMUEBLE

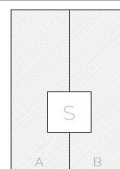
Ubicación: C/ Pedro III el Grande, 8
 Referencia catastral: 6315522YJ2761E
 Nº manzana: 63155
 Fecha construcción: 1925
 Uso principal: Comercial



DESCRIPCIÓN

Límites parcela: entre medianeras esquina aislado
 Estado de conservación: malo regular bueno

Tipología: 1 2 3 4



TIPO 1

Lenguaje arquitectónico: Eclecticismo académico

Tipología constructiva: Sistema constructivo de 4 crujeas con muros portantes y pilares de ladrillo con vigas y viguetas de madera y revoltón de ladrillo

Nº de alturas: PB + 3

NORMATIVA APLICACIÓN

Grado de protección: Protección ambiental | Grado 2

Nombre normativa: Plan especial de Protección del Ensanche de Valencia P.E.P. 2

Alteración del volumen: Sí No Nº plantas posibles a sobreelevar: 1

Profundidad edificable: No

DOCUMENTACIÓN GRÁFICA



Comentarios:

FICHA EDIFICIO

ID: RS.57.18

IDENTIFICACIÓN DEL INMUEBLE

Ubicación: C/ Doctor Sumi, 18
Referencia catastral: 6316309YJ2761E
Nº manzana: 63163
Fecha construcción: 1920
Uso principal: Residencial

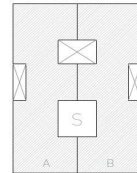


DESCRIPCIÓN

Límites parcela: Estado de conservación: Tipología:

| | | | |
|--|---|----------------------------|---------------------------------------|
| <input checked="" type="checkbox"/> entre medianeras | <input type="checkbox"/> malo | <input type="checkbox"/> 1 | <input checked="" type="checkbox"/> 3 |
| <input type="checkbox"/> esquina | <input type="checkbox"/> regular | <input type="checkbox"/> 2 | <input type="checkbox"/> 4 |
| <input type="checkbox"/> aislado | <input checked="" type="checkbox"/> bueno | | |

Lenguaje arquitectónico: Eclecticismo académico
Tipología constructiva: Sistema constructivo mixto de muros portantes y pilares de dabrca de ladrillo o fundición, con vigas y viguetas metálicas con revoltón de ladrillo
Nº de alturas: PB + 3

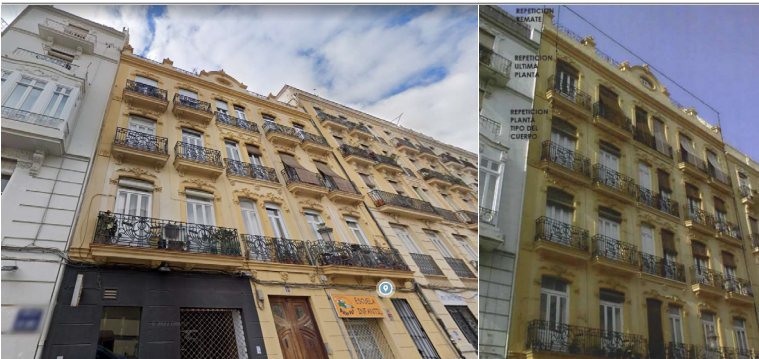


TIPO 3

NORMATIVA APLICACIÓN

Grado de protección: Protección ambiental | Grado 2
Nombre normativa: Plan especial de Protección del Ensanche de Valencia P.E.P. 2
Alteración del volumen: Sí No Nº plantas posibles a sobreelevar: 1
Profundidad edificable: No

DOCUMENTACIÓN GRÁFICA



Comentarios:

FICHA EDIFICIO

ID: RS.57.13

IDENTIFICACIÓN DEL INMUEBLE

Ubicación: C/ Pedro III el Grande, 8
Referencia catastral: 6316311YJ2761E
Nº manzana: 63163
Fecha construcción: 1923
Uso principal: Residencial



DESCRIPCIÓN

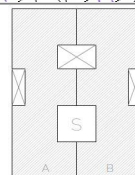
Límites parcela: Estado de conservación: Tipología:

| | | | |
|--|---|----------------------------|---------------------------------------|
| <input checked="" type="checkbox"/> entre medianeras | <input type="checkbox"/> malo | <input type="checkbox"/> 1 | <input checked="" type="checkbox"/> 3 |
| <input type="checkbox"/> esquina | <input type="checkbox"/> regular | <input type="checkbox"/> 2 | <input type="checkbox"/> 4 |
| <input type="checkbox"/> aislado | <input checked="" type="checkbox"/> bueno | | |

Lenguaje arquitectónico: Eclecticismo académico

Tipología constructiva: Sistema constructivo mixto de muros portantes y pilares de fábrica de ladrillo o fundición, con vigas y viguetas metálicas con revoltón de ladrillo

Nº de alturas: PB + 3



TIPO 3

NORMATIVA APLICACIÓN

Grado de protección: Protección ambiental | Grado 2

Nombre normativa: Plan especial de Protección del Ensanche de Valencia P.E.P. 2

Alteración del volumen: Sí No

Nº plantas posibles a sobreelevar: 1

Profundidad edificable: No

DOCUMENTACIÓN GRÁFICA



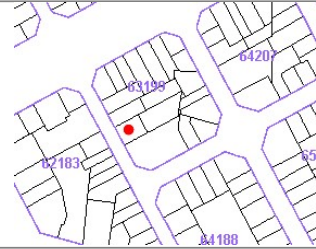
Comentarios:

FICHA EDIFICIO

ID: RS.58.7

IDENTIFICACIÓN DEL INMUEBLE

Ubicación: C/ Taquígrafo Martí, 7
Referencia catastral: 6319909YJ2761G
Nº manzana: 63199
Fecha construcción: 1930
Uso principal: Residencial



DESCRIPCIÓN

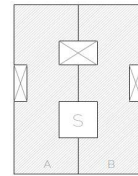
Límites parcela: Estado de conservación: Tipología:

| | | | |
|--|---|----------------------------|---------------------------------------|
| <input checked="" type="checkbox"/> entre medianeras | <input type="checkbox"/> malo | <input type="checkbox"/> 1 | <input checked="" type="checkbox"/> 3 |
| <input type="checkbox"/> esquina | <input type="checkbox"/> regular | <input type="checkbox"/> 2 | <input type="checkbox"/> 4 |
| <input type="checkbox"/> aislado | <input checked="" type="checkbox"/> bueno | | |

Lenguaje arquitectónico: Eclecticismo académico

Tipología constructiva: Sistema constructivo mixto de muros portantes y pilares de fábrica de ladrillo o fundición, con vigas y viguetas metálicas con revoltón de ladrillo

Nº de alturas: PB + 3



TIPO 3

NORMATIVA APLICACIÓN

Grado de protección: Protección ambiental | Grado 2

Nombre normativa: Plan especial de Protección del Ensanche de Valencia P.E.P. 2

Alteración del volumen: Sí No

Nº plantas posibles a sobreelevar: 1

Profundidad edificable: No

DOCUMENTACIÓN GRÁFICA



Comentarios:

FICHA EDIFICIO

ID: RS.58.3

IDENTIFICACIÓN DEL INMUEBLE

Ubicación: C/ Taquígrafo Martí, 3
Referencia catastral: 6316311YJ2761E
Nº manzana: 63163
Fecha construcción: 1910
Uso principal: Residencial



DESCRIPCIÓN

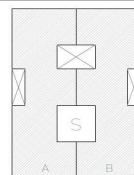
Límites parcela: Estado de conservación: Tipología:

| | | | |
|--|---|----------------------------|---------------------------------------|
| <input checked="" type="checkbox"/> entre medianeras | <input type="checkbox"/> malo | <input type="checkbox"/> 1 | <input checked="" type="checkbox"/> 3 |
| <input type="checkbox"/> esquina | <input checked="" type="checkbox"/> regular | <input type="checkbox"/> 2 | <input type="checkbox"/> 4 |
| <input type="checkbox"/> aislado | <input type="checkbox"/> bueno | | |

Lenguaje arquitectónico: Eclecticismo académico

Tipología constructiva: Sistema constructivo mixto de muros portantes y pilares de fábrica de ladrillo o fundición, con vigas y viguetas metálicas con revoltón de ladrillo

Nº de alturas: PB + 3



TIPO 3

NORMATIVA APLICACIÓN

Grado de protección: Protección ambiental | Grado 2

Nombre normativa: Plan especial de Protección del Ensanche de Valencia P.E.P. 2

Alteración del volumen: Sí No Nº plantas posibles a sobreelevar: 2

Profundidad edificable: No

DOCUMENTACIÓN GRÁFICA



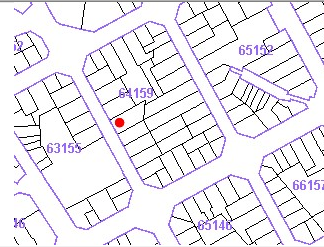
Comentarios:

FICHA EDIFICIO

ID: RS.59.35

IDENTIFICACIÓN DEL INMUEBLE

Ubicación: C/ Pintor Salvador Abril, 35
Referencia catastral: 6415922YJ2761E
Nº manzana: 64159
Fecha construcción: 1925
Uso principal: Residencial



DESCRIPCIÓN

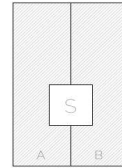
Límites parcela: Estado de conservación: Tipología:

| | | | |
|--|---|---------------------------------------|----------------------------|
| <input checked="" type="checkbox"/> entre medianeras | <input type="checkbox"/> malo | <input checked="" type="checkbox"/> 1 | <input type="checkbox"/> 3 |
| <input type="checkbox"/> esquina | <input type="checkbox"/> regular | <input type="checkbox"/> 2 | <input type="checkbox"/> 4 |
| <input type="checkbox"/> aislado | <input checked="" type="checkbox"/> bueno | | |

Lenguaje arquitectónico: Eclecticismo académico

Tipología constructiva: Sistema constructivo con muros portantes y pilares de ladrillo con vigas y viguetas de madera y revoltón de ladrillo

Nº de alturas: PB + 3



TIPO 1

NORMATIVA APLICACIÓN

Grado de protección: Protección ambiental | Grado 2

Nombre normativa: Plan especial de Protección del Ensanche de Valencia P.E.P. 2

Alteración del volumen: Sí No Nº plantas posibles a sobreelevar: 1

Profundidad edificable: No

DOCUMENTACIÓN GRÁFICA



Comentarios:

FICHA EDIFICIO

ID: RS.6o.17

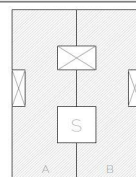
IDENTIFICACIÓN DEL INMUEBLE

Ubicación: C/ Taquígrafo Martí, 17
Referencia catastral: 6418813YJ2761G
Nº manzana: 64188
Fecha construcción: 1930
Uso principal: Residencial



DESCRIPCIÓN

Límites parcela: entre medianeras esquina aislado
Estado de conservación: malo regular bueno
Tipología: 1 2 3 4
Lenguaje arquitectónico: Eclecticismo académico
Tipología constructiva: Sistema constructivo mixto de muros portantes y pilares de obra de ladrillo o fundición, con vigas y viguetas metálicas con revoltón de ladrillo
Nº de alturas: PB + 4

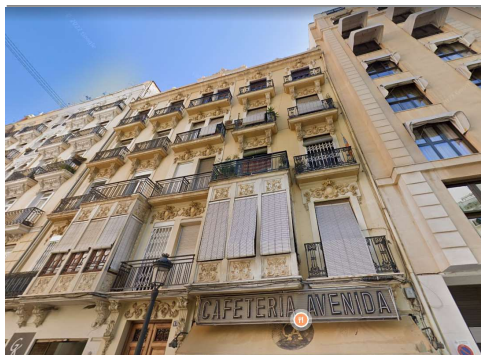


TIPO 3

NORMATIVA APLICACIÓN

Grado de protección: Protección ambiental | Grado 2
Nombre normativa: Plan especial de Protección del Ensanche de Valencia P.E.P. 2
Alteración del volumen: Sí No Nº plantas posibles a sobreelevar: 1
Profundidad edificable: No

DOCUMENTACIÓN GRÁFICA



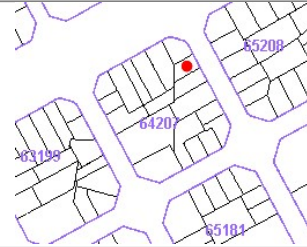
Comentarios:

FICHA EDIFICIO

ID: RS.61.4

IDENTIFICACIÓN DEL INMUEBLE

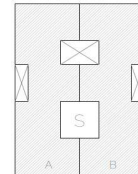
Ubicación: C/ Almirante Cadarso, 4
Referencia catastral: 6420702YJ2762A
Nº manzana: 64207
Fecha construcción: 1928
Uso principal: Residencial



DESCRIPCIÓN

| | | | |
|--|---|----------------------------|---------------------------------------|
| Límites parcela: | Estado de conservación: | Tipología: | |
| <input checked="" type="checkbox"/> entre medianeras | <input type="checkbox"/> malo | <input type="checkbox"/> 1 | <input checked="" type="checkbox"/> 3 |
| <input type="checkbox"/> esquina | <input type="checkbox"/> regular | <input type="checkbox"/> 2 | <input type="checkbox"/> 4 |
| <input type="checkbox"/> aislado | <input checked="" type="checkbox"/> bueno | | |

Lenguaje arquitectónico: Eclecticismo académico
Tipología constructiva: Sistema constructivo mixto de muros portantes y pilares de fábrica de ladrillo o fundición, con vigas y viguetas metálicas con revoltón de ladrillo
Nº de alturas: PB + 4



TIPO 3

NORMATIVA APLICACIÓN

Grado de protección: Protección ambiental | Grado 2
Nombre normativa: Plan especial de Protección del Ensanche de Valencia P.E.P. 2
Alteración del volumen: Sí No
Nº plantas posibles a sobreelevar: 1
Profundidad edificable: No

DOCUMENTACIÓN GRÁFICA



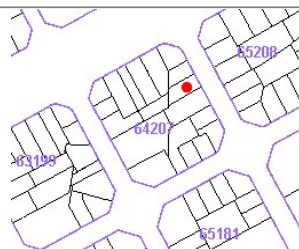
Comentarios:

FICHA EDIFICIO

ID: RS.61.6

IDENTIFICACIÓN DEL INMUEBLE

Ubicación: C/ Almirante Cadarso, 6
Referencia catastral: 6420703YJ2762A
Nº manzana: 64207
Fecha construcción: 1926
Uso principal: Residencial

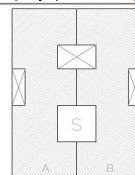


DESCRIPCIÓN

Límites parcela: Estado de conservación: Tipología:

| | | | |
|--|---|----------------------------|---------------------------------------|
| <input checked="" type="checkbox"/> entre medianeras | <input type="checkbox"/> malo | <input type="checkbox"/> 1 | <input checked="" type="checkbox"/> 3 |
| <input type="checkbox"/> esquina | <input checked="" type="checkbox"/> regular | <input type="checkbox"/> 2 | <input type="checkbox"/> 4 |
| <input type="checkbox"/> aislado | <input type="checkbox"/> bueno | | |

Lenguaje arquitectónico: Eclecticismo académico
Tipología constructiva: Sistema constructivo mixto de muros portantes y pilares de fábrica de ladrillo o fundición, con vigas y viguetas metálicas con revoltón de ladrillo
Nº de alturas: PB + 4



TIPO 3

NORMATIVA APLICACIÓN

Grado de protección: Protección ambiental | Grado 2
Nombre normativa: Plan especial de Protección del Ensanche de Valencia P.E.P. 2
Alteración del volumen: Sí No Nº plantas posibles a sobreelevar: 1
Profundidad edificable: No

DOCUMENTACIÓN GRÁFICA



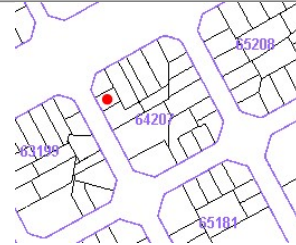
Comentarios:

FICHA EDIFICIO

ID: RS.61.1

IDENTIFICACIÓN DEL INMUEBLE

Ubicación: C/ Maestro Gozalbo, 1
Referencia catastral: 6420713YJ2762A
Nº manzana: 64207
Fecha construcción: 1932
Uso principal: Residencial



DESCRIPCIÓN

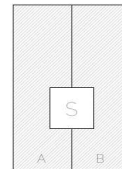
Límites parcela: Estado de conservación: Tipología:

| | | | |
|--|---|---------------------------------------|----------------------------|
| <input checked="" type="checkbox"/> entre medianeras | <input type="checkbox"/> malo | <input checked="" type="checkbox"/> 1 | <input type="checkbox"/> 3 |
| <input type="checkbox"/> esquina | <input type="checkbox"/> regular | <input type="checkbox"/> 2 | <input type="checkbox"/> 4 |
| <input type="checkbox"/> aislado | <input checked="" type="checkbox"/> bueno | | |

Lenguaje arquitectónico: Eclecticismo académico

Tipología constructiva: Sistema constructivo con muros portantes y pilares de ladrillo con vigas y viguetas de madera y revoltón de ladrillo

Nº de alturas: PB + 4



TIPO 1

NORMATIVA APLICACIÓN

Grado de protección: Protección ambiental | Grado 2

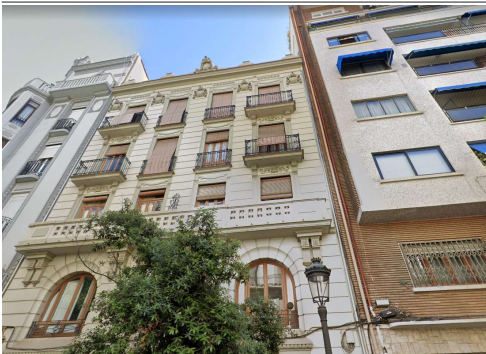
Nombre normativa: Plan especial de Protección del Ensanche de Valencia P.E.P. 2

Alteración del volumen: Sí No

Nº plantas posibles a sobreelevar: 1

Profundidad edificable: No

DOCUMENTACIÓN GRÁFICA



Comentarios:

FICHA EDIFICIO

ID: RS.62.14

IDENTIFICACIÓN DEL INMUEBLE

Ubicación: C/ Conde de Altea, 14
Referencia catastral: 6518113YJ2761G
Nº manzana: 65181
Fecha construcción: 1930
Uso principal: Residencial

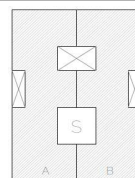


DESCRIPCIÓN

Límites parcela: Estado de conservación: Tipología:

| | | | |
|--|---|----------------------------|---------------------------------------|
| <input checked="" type="checkbox"/> entre medianeras | <input type="checkbox"/> malo | <input type="checkbox"/> 1 | <input checked="" type="checkbox"/> 3 |
| <input type="checkbox"/> esquina | <input type="checkbox"/> regular | <input type="checkbox"/> 2 | <input type="checkbox"/> 4 |
| <input type="checkbox"/> aislado | <input checked="" type="checkbox"/> bueno | | |

Lenguaje arquitectónico: Eclecticismo académico
Tipología constructiva: Sistema constructivo mixto de muros portantes y pilares de fábrica de ladrillo o fundición, con vigas y viguetas metálicas con revoltón de ladrillo
Nº de alturas: PB + 4

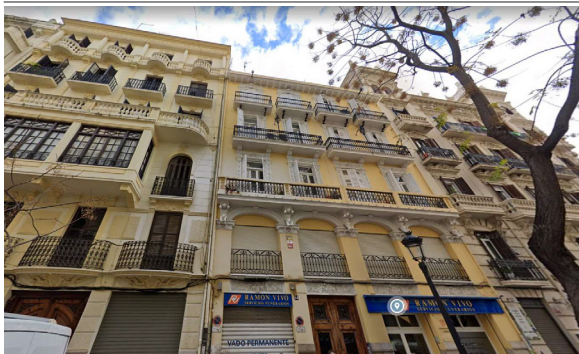


TIPO 3

NORMATIVA APLICACIÓN

Grado de protección: Protección ambiental | Grado 2
Nombre normativa: Plan especial de Protección del Ensanche de Valencia P.E.P. 2
Alteración del volumen: Sí No Nº plantas posibles a sobreelevar: 1
Profundidad edificable: No

DOCUMENTACIÓN GRÁFICA



Comentarios:

FICHA EDIFICIO

ID: RS.63.14

IDENTIFICACIÓN DEL INMUEBLE

Ubicación: C/ Joaquín Costa, 14
Referencia catastral: 6519401YJ2762B
Nº manzana: 65194
Fecha construcción: 1940
Uso principal: Residencial



DESCRIPCIÓN

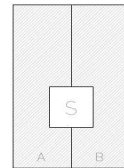
Límites parcela: Estado de conservación: Tipología:

| | | | |
|---|---|---------------------------------------|----------------------------|
| <input type="checkbox"/> entre medianeras | <input type="checkbox"/> malo | <input checked="" type="checkbox"/> 1 | <input type="checkbox"/> 3 |
| <input checked="" type="checkbox"/> esquina | <input type="checkbox"/> regular | <input type="checkbox"/> 2 | <input type="checkbox"/> 4 |
| <input type="checkbox"/> aislado | <input checked="" type="checkbox"/> bueno | | |

Lenguaje arquitectónico: Eclecticismo académico

Tipología constructiva: Sistema constructivo con muros portantes y pilares de ladrillo con vigas y viguetas de madera y revoltón de ladrillo

Nº de alturas: PB + 4



TIPO 1

NORMATIVA APLICACIÓN

Grado de protección: Protección ambiental | Grado 2

Nombre normativa: Plan especial de Protección del Ensanche de Valencia P.E.P. 2

Alteración del volumen: Sí No Nº plantas posibles a sobreelevar: 1

Profundidad edificable: No

DOCUMENTACIÓN GRÁFICA



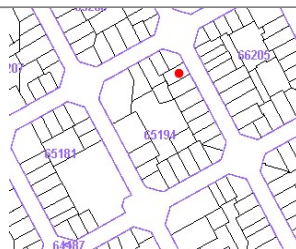
Comentarios:

FICHA EDIFICIO

ID: RS.63.18

IDENTIFICACIÓN DEL INMUEBLE

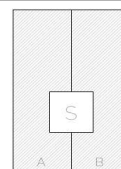
Ubicación: C/ Joaquín Costa, 18
Referencia catastral: 6518113YJ2761G
Nº manzana: 65181
Fecha construcción: 1930
Uso principal: Residencial



DESCRIPCIÓN

Límites parcela: Estado de conservación:
 entre medianeras malo
 esquina regular
 aislado bueno

Tipología:
 1 3
 2 4



Lenguaje arquitectónico: Eclecticismo académico

Tipología constructiva: Sistema constructivo con muros portantes y pilares de ladrillo con vigas y viguetas de madera y revoltón de ladrillo

TIPO 1

Nº de alturas: PB + 4

NORMATIVA APLICACIÓN

Grado de protección: Protección ambiental | Grado 2

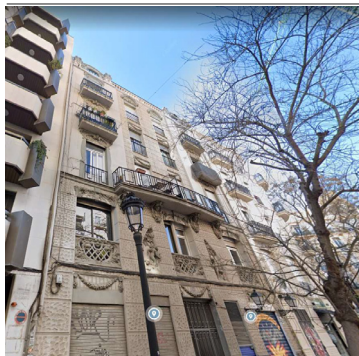
Nombre normativa: Plan especial de Protección del Ensanche de Valencia P.E.P. 2

Alteración del volumen: Sí No

Nº plantas posibles a sobreelevar: 1

Profundidad edificable: No

DOCUMENTACIÓN GRÁFICA



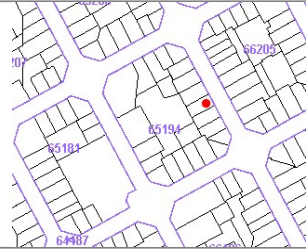
Comentarios:

FICHA EDIFICIO

ID: RS.63.24

IDENTIFICACIÓN DEL INMUEBLE

Ubicación: C/ Joaquin Costa, 24
Referencia catastral: 6518113YJ2761G
Nº manzana: 65181
Fecha construcción: 1930
Uso principal: Residencial

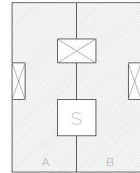


DESCRIPCIÓN

Límites parcela: Estado de conservación: Tipología:

| | | | |
|--|---|----------------------------|---------------------------------------|
| <input checked="" type="checkbox"/> entre medianeras | <input type="checkbox"/> malo | <input type="checkbox"/> 1 | <input checked="" type="checkbox"/> 3 |
| <input type="checkbox"/> esquina | <input type="checkbox"/> regular | <input type="checkbox"/> 2 | <input type="checkbox"/> 4 |
| <input type="checkbox"/> aislado | <input checked="" type="checkbox"/> bueno | | |

Lenguaje arquitectónico: Eclecticismo académico
Tipología constructiva: Sistema constructivo mixto de muros portantes y pilares de fábrica de ladrillo o fundición, con vigas y viguetas metálicas con revoltón de ladrillo
Nº de alturas: PB + 4



TIPO 3

NORMATIVA APLICACIÓN

Grado de protección: Protección ambiental | Grado 2
Nombre normativa: Plan especial de Protección del Ensanche de Valencia P.E.P. 2
Alteración del volumen: Sí No N° plantas posibles a sobreelevar: 1
Profundidad edificable: No

DOCUMENTACIÓN GRÁFICA



Comentarios:

IDENTIFICACIÓN DEL INMUEBLE

Ubicación: C/ Joaquín Costa, 26
 Referencia catastral: 6519406YJ2761H
 Nº manzana: 65181
 Fecha construcción: 1930
 Uso principal: Residencial



DESCRIPCIÓN

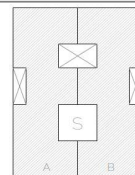
Límites parcela: Estado de conservación: Tipología:

entre medianeras malo 1 3
 esquina regular 2 4
 aislado bueno

Lenguaje arquitectónico: Eclecticismo académico

Tipología constructiva: Sistema constructivo mixto de muros portantes y pilares de fábrica de ladrillo o fundición, con vigas y viguetas metálicas con revoltón de ladrillo

Nº de alturas: PB + 4



TIPO 3

NORMATIVA APLICACIÓN

Grado de protección: Protección ambiental | Grado 2

Nombre normativa: Plan especial de Protección del Ensanche de Valencia P.E.P. 2

Alteración del volumen: Sí No Nº plantas posibles a sobreelevar: 1

Profundidad edificable: No

DOCUMENTACIÓN GRÁFICA



Comentarios:

FICHA EDIFICIO

ID: RS.64.17

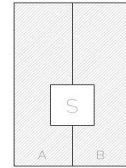
IDENTIFICACIÓN DEL INMUEBLE

Ubicación: C/ Joaquin Costa, 17
Referencia catastral: 6620521YJ2762B
Nº manzana: 66205
Fecha construcción: 1925
Uso principal: Residencial



DESCRIPCIÓN

Límites parcela: entre medianeras esquina aislado
Estado de conservación: malo regular bueno
Tipología: 1 2 3 4
Lenguaje arquitectónico: Eclecticismo académico
Tipología constructiva: Sistema constructivo con muros portantes y pilares de ladrillo con vigas y viguetas de madera y revoltón de ladrillo
Nº de alturas: PB + 4



TIPO 1

NORMATIVA APLICACIÓN

Grado de protección: Protección ambiental | Grado 2
Nombre normativa: Plan especial de Protección del Ensanche de Valencia P.E.P. 2
Alteración del volumen: Sí No
Nº plantas posibles a sobreelevar: 1
Profundidad edificable: No

DOCUMENTACIÓN GRÁFICA



Comentarios:

FICHA EDIFICIO

ID: RS.64.15

IDENTIFICACIÓN DEL INMUEBLE

Ubicación: C/ Joaquin Costa, 15
Referencia catastral: 6620522YJ2762B
Nº manzana: 66205
Fecha construcción: 1930 (en construcción)
Uso principal: Residencial



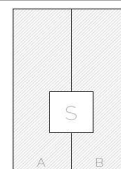
DESCRIPCIÓN

Límites parcela: Estado de conservación: Tipología:
 entre medianeras malo 1 3
 esquina regular 2 4
 aislado bueno

Lenguaje arquitectónico: Eclecticismo académico

Tipología constructiva: Sistema constructivo con muros portantes y pilares de ladrillo con vigas y viguetas de madera y revoltón de ladrillo

Nº de alturas: PB + 4



TIPO 1

NORMATIVA APLICACIÓN

Grado de protección: Protección ambiental | Grado 2

Nombre normativa: Plan especial de Protección del Ensanche de Valencia P.E.P. 2

Alteración del volumen: Sí No

Nº plantas posibles a sobreelevar: 1

Profundidad edificable: No

DOCUMENTACIÓN GRÁFICA



Comentarios: Actualmente se encuentra en construcción realizando la ampliación de una planta

