



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Técnica Superior de Arquitectura

Estudio y análisis de la solución estructural óptima para un
proyecto de edificio residencial y co-working en Ruzafa
(Valencia)

Trabajo Fin de Grado

Grado en Fundamentos de la Arquitectura

AUTOR/A: Zhang Lin, Hua

Tutor/a: Fenollosa Forner, Ernesto Jesús

CURSO ACADÉMICO: 2023/2024

Estudio y análisis de la solución estructural óptima para un proyecto de edificio residencial y co-working en Ruzafa (Valencia)

Trabajo Fin de Grado 23/24



Escuela Técnica Superior de Arquitectura
Grado en Fundamentos de la Arquitectura

Alumna: Zhang Lin, Hua
Tutor: Fenollosa Forner, Ernesto

Estudio y análisis de la solución óptima para un proyecto de edificio residencial y co-working en Ruzafa.

Tutor: Ernesto Fenollosa Forner

Alumna: Hua Zhang Lin

Grado en Fundamentos de la Arquitectura

Trabajo Final de Grado

Curso 2023-24



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCOLA TÈCNICA
SUPERIOR
D'ARQUITECTURA

ÍNDICE

RESUMEN.....	5
OBJETIVOS.....	11
METODOLOGÍA.....	12
1. EL PROYECTO	
1.1. MEMORIA DESCRIPTIVA	
1.1.1. Antecedentes.....	14
1.1.2. Idea de proyecto.....	15
1.1.3. Programa.....	16
1.2. MEMORIA GRÁFICA	
1.2.1. Plantas arquitectónicas.....	17
2. TIPOLOGÍAS ESTRUCTURALES	
2.1. FORJADOS UNIDIRECCIONALES	
2.1.1. Forjado con viguetas pretensadas autorresistentes y semirresistentes.....	33
2.1.2. Forjado con viguetas semirresistentes armadas.....	40
2.1.3. Forjado con nervios in situ.....	43
2.1.4. Forjado con viguetas metálicas.....	47
2.1.5. Forjado de madera.....	50
2.1.6. Forjado de chapa colaborante.....	58
2.1.7. Forjado de placas alveolares.....	62
2.2. FORJADOS BIDIRECCIONALES	
2.2.1. Forjado reticular.....	67
2.3. FORJADO MULTIDIRECCIONAL	
2.3.1. Losa maciza.....	74
2.3.2. Forjado de losa aligerada in situ.....	77

3. CRITERIOS DE SOSTENIBILIDAD.....	82
4. ANÁLISIS DE LAS DISTINTAS SOLUCIONES Y ADECUACIÓN AL PROYECTO	
4.1. FORJADOS UNIDIRECCIONALES	
4.1.1. Forjado con viguetas pretensadas semirresistentes.....	86
4.1.2. Forjado con nervios in situ.....	86
4.2. FORJADOS BIDIRECCIONALES	
4.2.1. Forjado reticular. Bloque aligerante perdido.....	87
4.3. FORJADOS MULTIDIRECCIONAL	
4.3.1. Losa maciza.....	87
4.3.2. Forjado de losa aligerada in situ.....	88
5. CONCLUSIONES.....	99
6. BIBLIOGRAFÍA Y FUENTES	
6.1. BIBLIOGRAFÍA DOCUMENTAL.....	105
6.2. BIBLIOGRAFÍA GRÁFICA.....	107
7. ANEXO	
7.1. DOCUMENTACIÓN GRÁFICA DEL PROYECTO.....	110

RESUMEN

El presente Trabajo de Fin de Grado se enfoca en dos aspectos fundamentales a los que se enfrenta un arquitecto durante el proceso de diseño de un proyecto. En primer lugar, aborda el diseño del edificio, que debe ajustarse a varios parámetros, como pueden ser el programa de necesidades, la integración en el entorno o el cumplimiento de las normativas vigentes, entre otros aspectos. En segundo lugar, destaca la importancia de los conocimientos técnicos sobre estructuras, ya que estas desempeñan un papel crucial en el diseño inicial, afectando en aspectos como la modulación del proyecto o las luces necesarias.

Es esencial conocer los tipos de estructuras más utilizadas en el mercado, sus características, ejecución, ventajas e inconvenientes. Esto garantiza la elección de la estructura óptima durante el diseño del edificio, maximizando así, la eficiencia en todas sus fases. Los factores como las luces, la forma del edificio, coste de las estructuras y su ejecución, deben tenerse en cuenta en los primeros momentos de diseño.

Este hecho puede ahorrar tiempo y costes directos e indirectos durante la redacción del proyecto y la ejecución del mismo. En mi opinión, se trata de crear un traje a medida, no de tener que hacer ajustes una vez está terminado.

En primer lugar, el diseño del proyecto de “La Manzana Perdida de Ruzafa” se presentó como una solución integral para un espacio que se encontraba en degradación. El programa de este proyecto requería una vivienda colectiva y un equipamiento socio-cultural que estuviese en sintonía con las necesidades y la esencia del barrio. La atención se centró no solo en el diseño de estos edificios, sino

también en su relación armónica con el entorno inmediato.

Bajo esta premisa y por la complejidad del lugar, se llevó a cabo un análisis exhaustivo del estado actual, permitiendo reconocer el potencial destacado de algunos de los edificios preexistentes en la manzana. Así, surgió la idea central de “simbiosis”, estableciendo una relación armónica entre la arquitectura antigua que hace referencia a la trama histórica del barrio y la arquitectura contemporánea que representa la actualidad. Como resultado, se creó una macla de tres volúmenes, siendo el edificio preexistente el punto de unión, albergando el equipamiento socio-cultural.

El proyecto es una simbiosis, donde nada se descarta por considerarse carente de interés, sino que se busca resaltar el valor del elemento patrimonial existente en todo momento. Este se fusiona con los dos nuevos volúmenes, generando una simbiosis o asociación donde lo antiguo y lo nuevo se mezclan para enriquecerse mutuamente en su evolución temporal. Este enfoque refleja un profundo respeto por la historia y la cultura del lugar, al tiempo que establece una conexión armónica con las necesidades contemporáneas y futuras del entorno.

En segundo lugar, pero igualmente relevante, abordamos el diseño estructural. Ese primer tanteo que realizamos sobre un proyecto para elegir la estructura óptima que nos permite diseñar los espacios que deseamos.

Palabras clave:

Manzana perdida; Ruzafa; Análisis estructural;
Tipologías estructurales; Hormigón Armado.

ABSTRACT

The present document focuses on two fundamental aspects that an architect faces during the design process of a project. Firstly, it addresses the design of the building, which must conform to the program requirements, integrate into the environment, and comply with existing regulations, among other requirements. Secondly, it highlights the importance of technical knowledge about structures, as they play a crucial role in design, affecting aspects such as project modulation and required lighting by design.

It is essential to consider the types of structures available in the market, their characteristics, execution, advantages, and disadvantages. This ensures the selection of the optimal structure during the building design, maximizing efficiency in all its phases. Factors such as lighting, building shape, cost of structures, and their execution must be taken into account for building design.

The integration of these variables from the beginning of the project design can save time and direct and indirect costs during the drafting and execution of the project.

Firstly, the design of the “La Manzana Perdida de Ruzafa” project was presented as a comprehensive solution for a space that was deteriorating. The program of this project required collective housing and socio-cultural facilities that were in tune with the needs and essence of the neighborhood. Attention was focused not only on the design of these buildings but also on their harmonious relationship with the immediate surroundings.

Under this premise and due to the complexity of the site, a comprehensive analysis of the existing conditions was carried out, allowing the recognition of the outstanding potential of some

of the pre-existing buildings in the block. Thus, the central idea of “symbiosis” emerged, establishing a harmonious relationship between the old architecture that refers to the historical fabric of the neighborhood and the contemporary architecture that represents the present. As a result, a combination of three volumes was created, with the pre-existing building being the point of union, housing the socio-cultural facilities.

The project is a symbiosis, where nothing is discarded for being considered lacking in interest, but rather the value of the existing heritage element is sought to be highlighted at all times. This merges with the two new volumes, generating a symbiosis or association where the old and the new blend to enrich each other in their temporal evolution. This approach reflects a deep respect for the history and culture of the place, while establishing a harmonious connection with the contemporary and future needs of the environment.

Secondly, but equally relevant, we address structural design. This initial exploration we undertake on a project to choose the optimal structure that allows us to design the spaces we want.

Keywords:

Manzana perdida; Ruzafa; Structural analysis;
Structural typologies; Reinforced concrete.

RESUM

El present Treball de Fi de Grau se centra en dos aspectes fonamentals als quals s'enfronta un arquitecte durant el procés de disseny d'un projecte. En primer lloc, aborda el disseny de l'edifici, que ha d'ajustar-se al programa de necessitats, integrar-se en l'entorn i complir amb les normatives existents, entre altres requisits. En segon lloc, destaca la importància dels coneixements tècnics sobre estructures, ja que aquestes juguen un paper crucial en el disseny, afectant aspectes com la modulació del projecte i les llums que necessitem pel disseny.

És essencial considerar els tipus d'estructures disponibles en el mercat, les seves característiques, execució, avantatges i inconvenients. Això garanteix la elecció de l'estructura òptima durant el disseny de l'edifici, maximitzant l'eficiència en totes les seves fases. Factors com les llums, la forma de l'edifici, cost de les estructures i la seva execució, han de tenir-se en compte pel disseny de l'edifici.

La integració d'aquestes variables des de l'inici del disseny del projecte pot estalviar temps i costos directes i indirectes durant la redacció del projecte i la seva execució. En la meua opinió, es tracta de crear un traje a mida, no d'intentar enfundar el traje a tota costa en el maniquí a base de retocs i ajustos.

En primer lloc, el disseny del projecte de "La Manzana Perdida de Ruzafa" es va presentar com una solució integral per a un espai que es trobava en degradació. El programa d'aquest projecte requeriria un habitatge col·lectiu i un equipament socio-cultural que estiguera en sintonia amb les necessitats i l'essència del barri. L'atenció es va centrar no solament en el disseny d'aquests edificis, sinó també en la seva relació harmònica amb

l'entorn immediat.

Sota aquesta premissa i per la complexitat del lloc, es va dur a terme un anàlisi exhaustiu de les condicions existents, permetent reconèixer el potencial destacat d'alguns dels edificis preexistents en la manzana. Així, va sorgir la idea central de "simbiosi", establint una relació harmònica entre l'arquitectura antiga que fa referència a la trama històrica del barri i l'arquitectura contemporània que representa l'actualitat. Com a resultat, es va crear una macla de tres volums, sent l'edifici preexistent el punt de unió, albergant l'equipament socio-cultural.

El projecte és una simbiosi, on res es descarta per considerar-se mancat d'interès, sinó que es busca ressaltar el valor de l'element patrimonial existent en tot moment. Aquest es fusiona amb els dos nous volums, generant una simbiosi o associació on l'antic i el nou es barregen per enriquir-se mútuament en la seua evolució temporal. Aquest enfocament reflecteix un profund respecte per la història i la cultura del lloc, alhora que estableix una connexió harmònica amb les necessitats contemporànies i futures de l'entorn.

En segon lloc, però igualment rellevant, abordem el disseny estructural. Eixe primer assaig que realitzem sobre un projecte per a triar l'estructura òptima que ens permet dissenyar els espais que volem.

Paraules clau:

Mançana perduda; Russafa; Anàlisi estructural;
Tipologies estructurals; Formigó Armat.

OBJETIVOS

En el presente documento abordamos el estudio de un proyecto propio de la asignatura Proyectos 3 y su estructura. Durante el diseño del proyecto, una de las dudas que surgieron fue la de qué tipo de estructura sería la mejor opción para el edificio. Es por ello que, mediante este TFG queremos hacer una aproximación a la toma de decisiones en cuanto a estructura se refiere durante el diseño del mismo. Para ello realizaremos un análisis de las distintas tipologías estructurales en cuanto a forjados se refiere y estimaremos la solución óptima para nuestro proyecto.

No solo se consideran las luces necesarias, sino que también efectuamos un estudio exhaustivo de los distintos tipos de estructuras de hormigón armado existentes, evaluamos sus ventajas e inconvenientes, analizamos sus procesos de ejecución y, además, realizamos una valoración económica.

Finalmente, tras este análisis de tipologías y de nuestro proyecto, llegaremos a una conclusión sobre cuál estructura se ajusta mejor a nuestras necesidades de diseño. Todo ello teniendo en cuenta las variables que puedan influir en el proceso, con el objetivo de seleccionar la estructura óptima.

METODOLOGÍA

1. Investigación y documentación:

Se ha realizado una búsqueda minuciosa de información y de documentación gráfica sobre las distintas tipologías estructurales existentes más implementadas en la actualidad. Esta recopilación de información se ha obtenido principalmente de fuentes como libros, artículos, tesinas, tesis y páginas webs.

2. Análisis del proyecto:

La información y documentación gráfica específica del proyecto objeto de este trabajo se ha recopilado, adaptado y reinterpretado. Esto incluye el planteamiento de los planos necesarios para el desarrollo de este trabajo.

3. Selección de soluciones técnicas:

La información recopilada se ha analizado y se ha extraído aquella información de utilidad, realizando una comparativa entre las distintas soluciones técnicas. La elección final se ha basado en criterios como el coste, la eficiencia y la viabilidad de los recursos disponibles.

4. Generación de documentación gráfica:

Para respaldar las hipótesis planteadas, se creó la documentación gráfica necesaria mediante una serie de programas informáticos tales como, AutoCAD, Photoshop e InDesign.

5. Reflexiones sobre la sostenibilidad:

Teniendo en cuenta la época en la que nos encontramos, donde la sostenibilidad y el medio ambiente son componentes que se han integrado en el diseño de los proyectos contemporáneos, hemos dedicado un apartado a una reflexión de estos conceptos y cómo influyen en las diversas fases y decisiones de un proyecto.

6. Conclusiones:

Como finalización de este trabajo, se han obtenido conclusiones fundamentadas en el análisis realizado a lo largo del proyecto, proporcionando una visión integral y fundamentada en el estudio realizado.

1. EL PROYECTO

1.1. MEMORIA DESCRIPTIVA

1.1.1. Antecedentes

El proyecto “La Manzana Perdida de Ruzafa” se presentó como una solución integral para un espacio específico que se encontraba en degradación. El programa de este proyecto requería una vivienda colectiva y un equipamiento socio-cultural que estuviese en sintonía con las necesidades y la esencia del barrio. La atención se centró no solo en el diseño de estos edificios, sino también en su relación armónica con el entorno inmediato.

El proyecto consistía en resolver la manzana en su conjunto, completando la edificación existente, además de diseñar el espacio urbano inmediato. Su ubicación es en Ruzafa, dentro del ensanche de la ciudad de Valencia. Históricamente, Ruzafa quedó absorbida por la capital.

De esta manzana destaca su morfología, ya que en ella persiste aún vestigios de su origen, árabe. Es por ello que, mediante este proyecto se ha querido destacara también este hecho. Por ello, mediante el pavimento y el espacio urbano generado, se hace referencia a la trama histórica medieval existente, mediante los bloque nuevos, se hace referencia a la contemporaneidad.

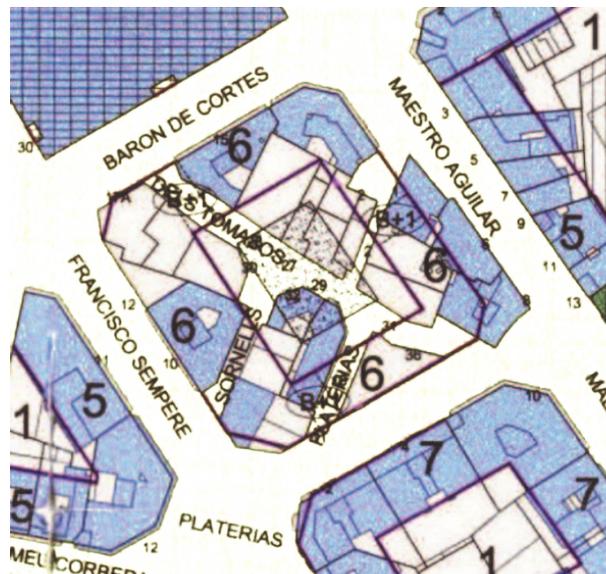


Fig.1. PEP-2. Planos Normativos Refundido del PGOU y del PE

La problemática de esta manzana se ha mantenido en el tiempo debido a que no se ha llegado a un acuerdo sobre qué hacer en este lugar. El deseo de los vecino es el de mejorar el espacio público, reclaman espacios libres seguros y de mejor calidad. Las administraciones públicas, tampoco dan solución técnica al problemas, generándose un gran debate en torno a este espacio que continúa degradándose día a día.

1.1.2. Idea de proyecto

Ante esta premisa y por la complejidad del sitio, se ha llevado a cabo un análisis exhaustivo de las condiciones existentes, permitiendo reconocer el potencial destacado de algunos de los edificios preexistentes en la manzana. Así, surgió la idea central de “simbiosis”, estableciendo una relación armónica entre la arquitectura antigua que hace referencia a la trama histórica del barrio y la arquitectura contemporánea que representa la contemporaneidad. Como resultado, se ideó una macla de tres volúmenes, siendo el edificio preexistente el punto de unión, albergando el equipamiento socio-cultural.

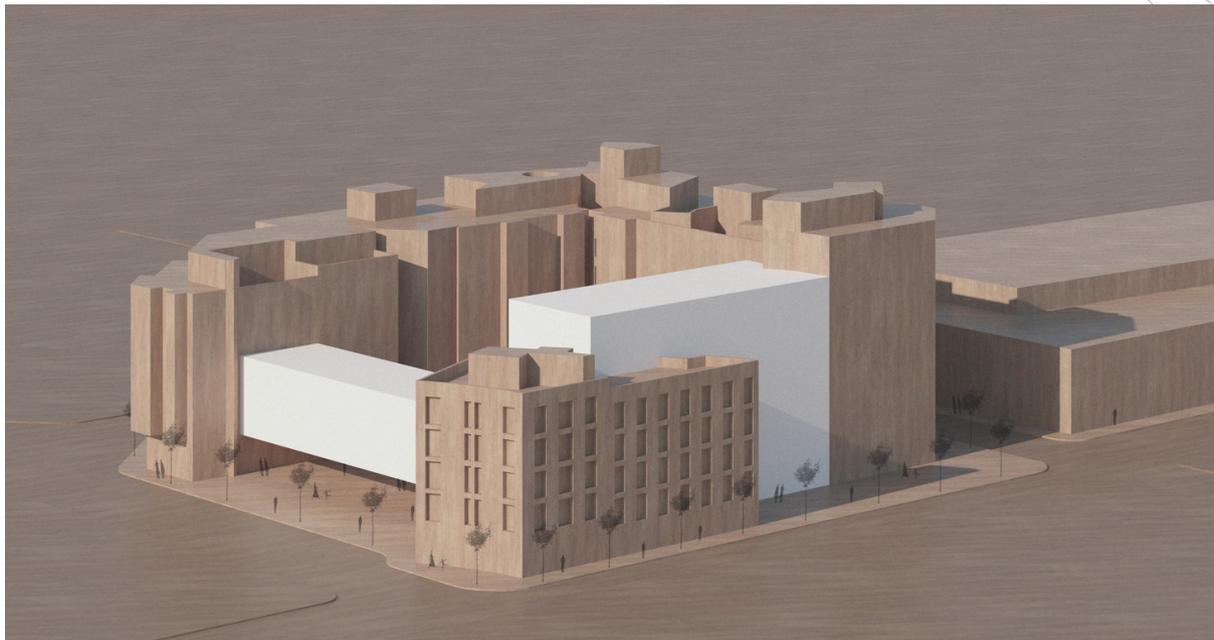
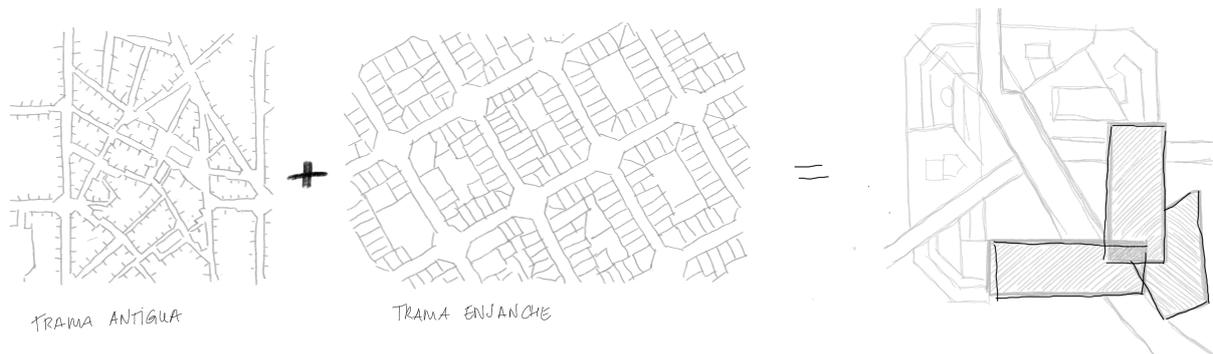


Fig.2. Ideación. Tramas urbanas y maqueta

El proyecto encarna la esencia de la simbiosis, donde nada se descarta por considerarse carente de interés, sino que se busca resaltar el valor del elemento patrimonial existente en todo momento. Este se fusiona con los dos nuevos volúmenes, generando una simbiosis o asociación donde lo antiguo y lo nuevo se amalgaman para enriquecerse mutuamente en su evolución temporal. Este enfoque refleja un profundo respeto por la historia y la cultura del lugar, al tiempo que establece una conexión armónica con las necesidades contemporáneas y futuras del entorno.

1.1.3. Programa

El programa de necesidades estaba basado en la vivienda colectiva, una tipología que está ganando popularidad actualmente, apoyado por un equipamiento sociocultural, que en este caso se decidió que fuera un Co-working.

Como comentábamos, el uso principal debía ser el de vivienda social para alquiler de alta rotación, que se adaptaría a las necesidades del propio barrio. También era necesario un equipamiento ligado a estas viviendas, por lo que se decidió crear un espacio de Co-working, ya que también se trata de un sistema que está en auge actualmente. Como hemos podido comprobar, la tecnología nos ha traído muchos avances, pero también nuevas formas de trabajar, colaborar y relacionarnos. Es por ello que la selección de este tipo de equipamiento, podía ser una buena decisión.

Además, no solo se trabajaba en torno a las viviendas y el equipamiento, si no que también era absolutamente necesario tratar el entorno inmediato de la manzana y, crear un espacio público donde los vecinos pudiesen acceder libremente y socializar. Por ello, se creó un gran corazón verde dentro de la manzana, para así dotar de zonas verdes al vecindario.

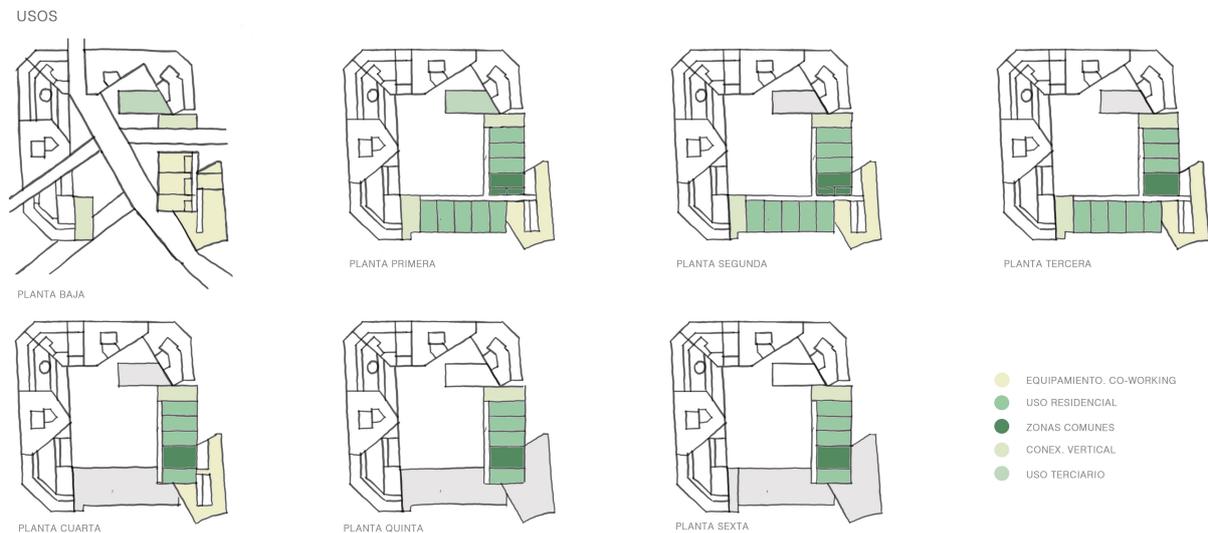
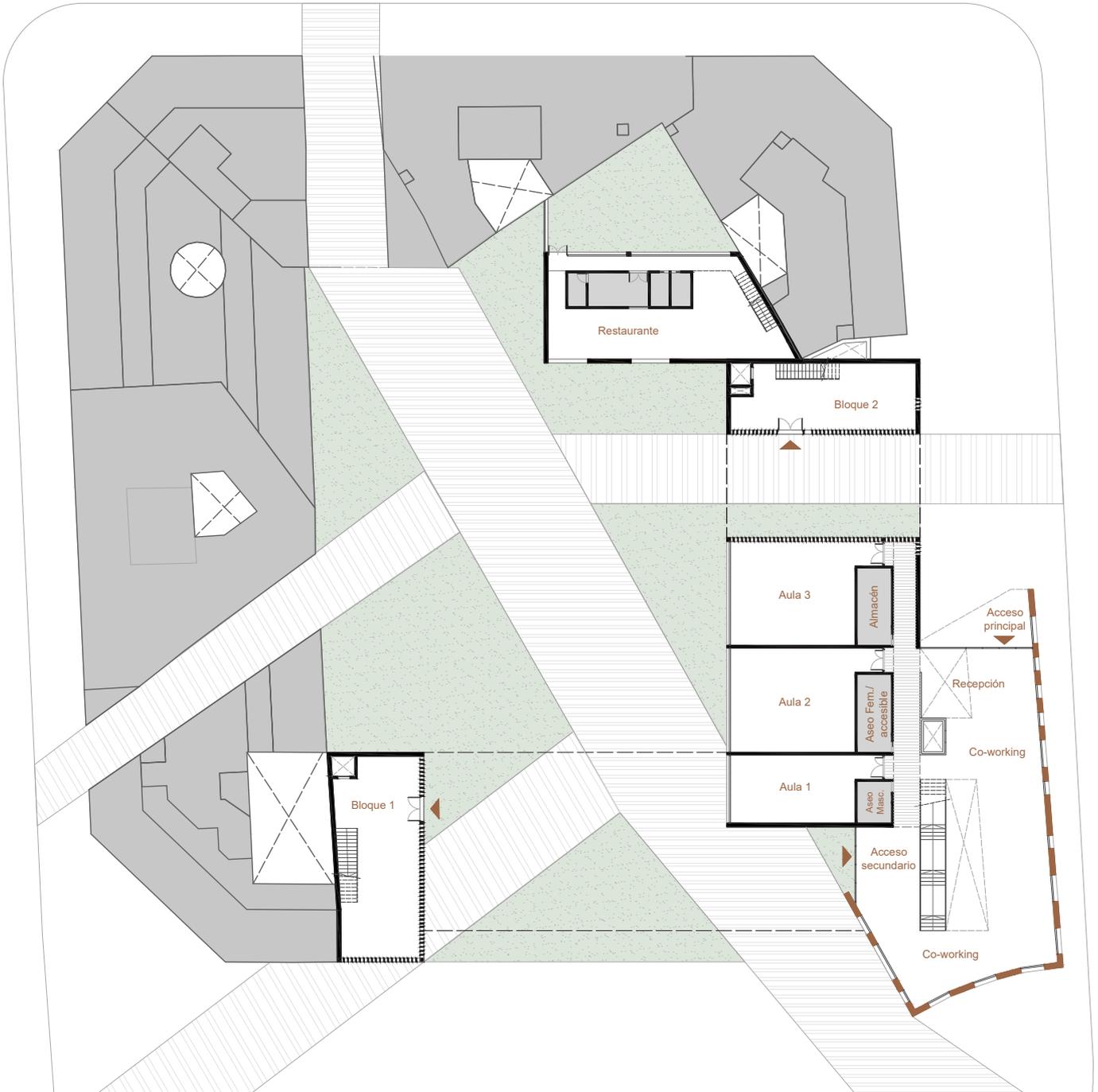


Fig.3. Ideogramas

1.2. MEMORIA GRÁFICA

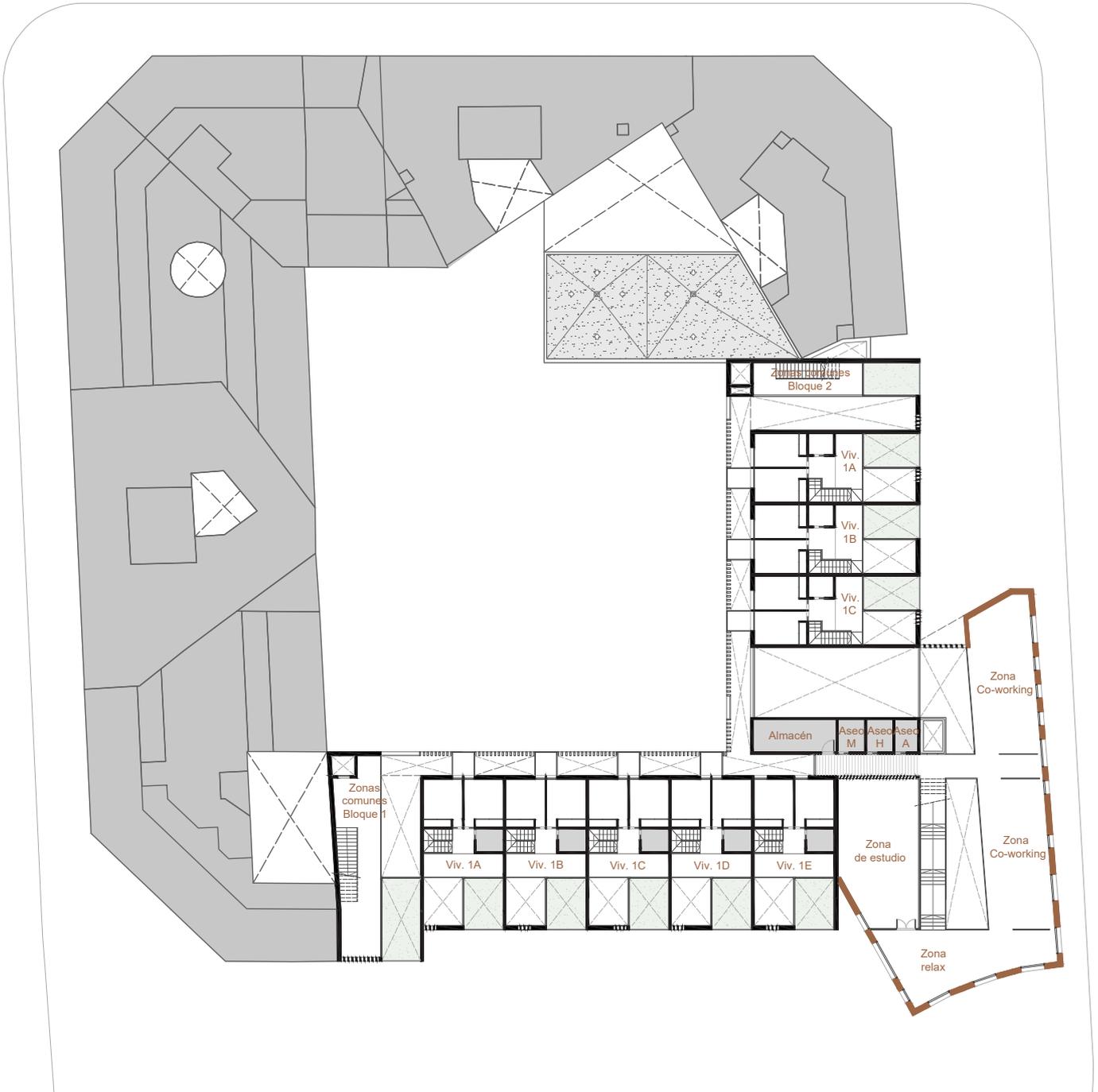
1.2.1. Plantas arquitectónicas. Planta baja



Planta Primera



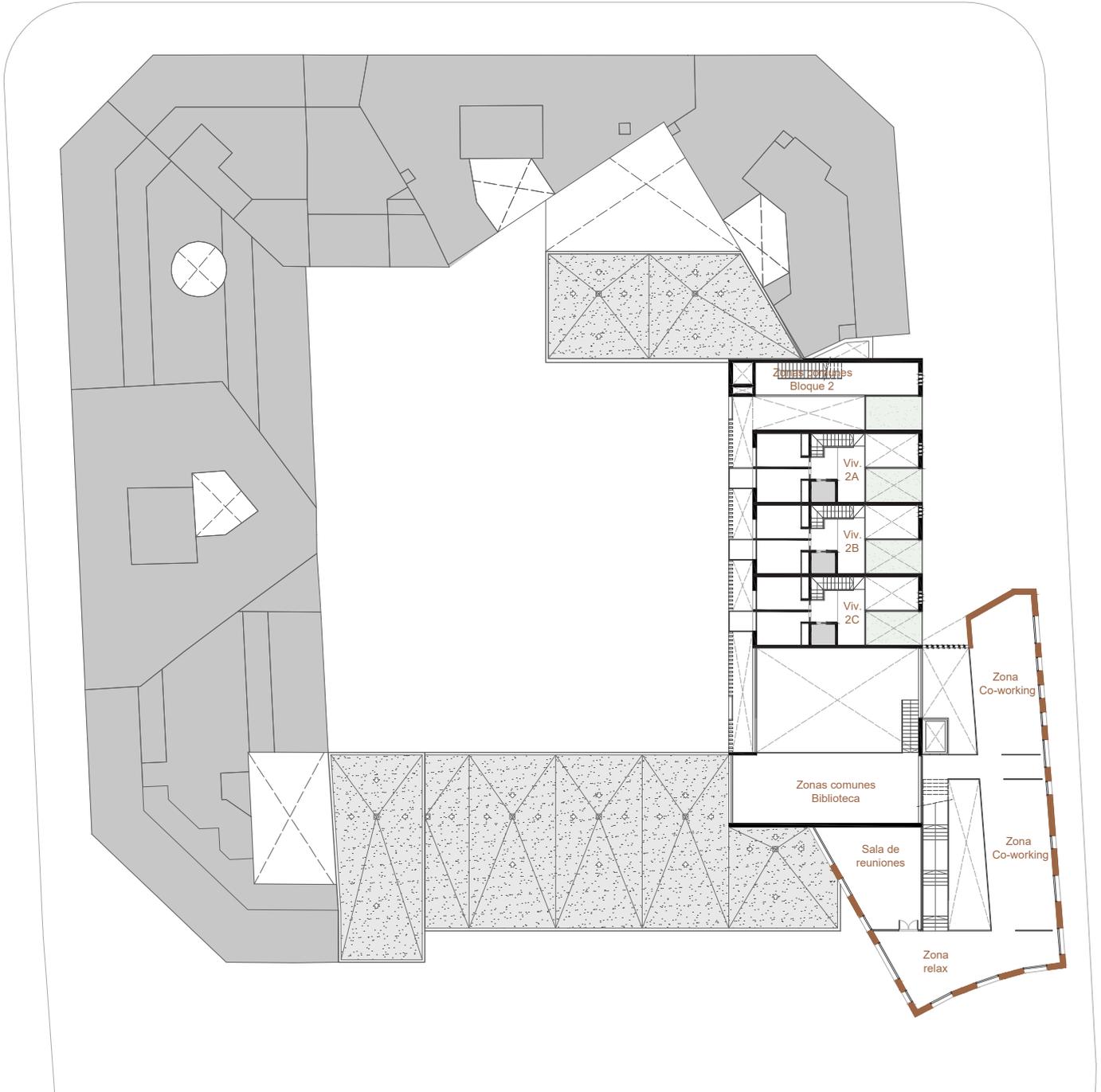
Planta Segunda



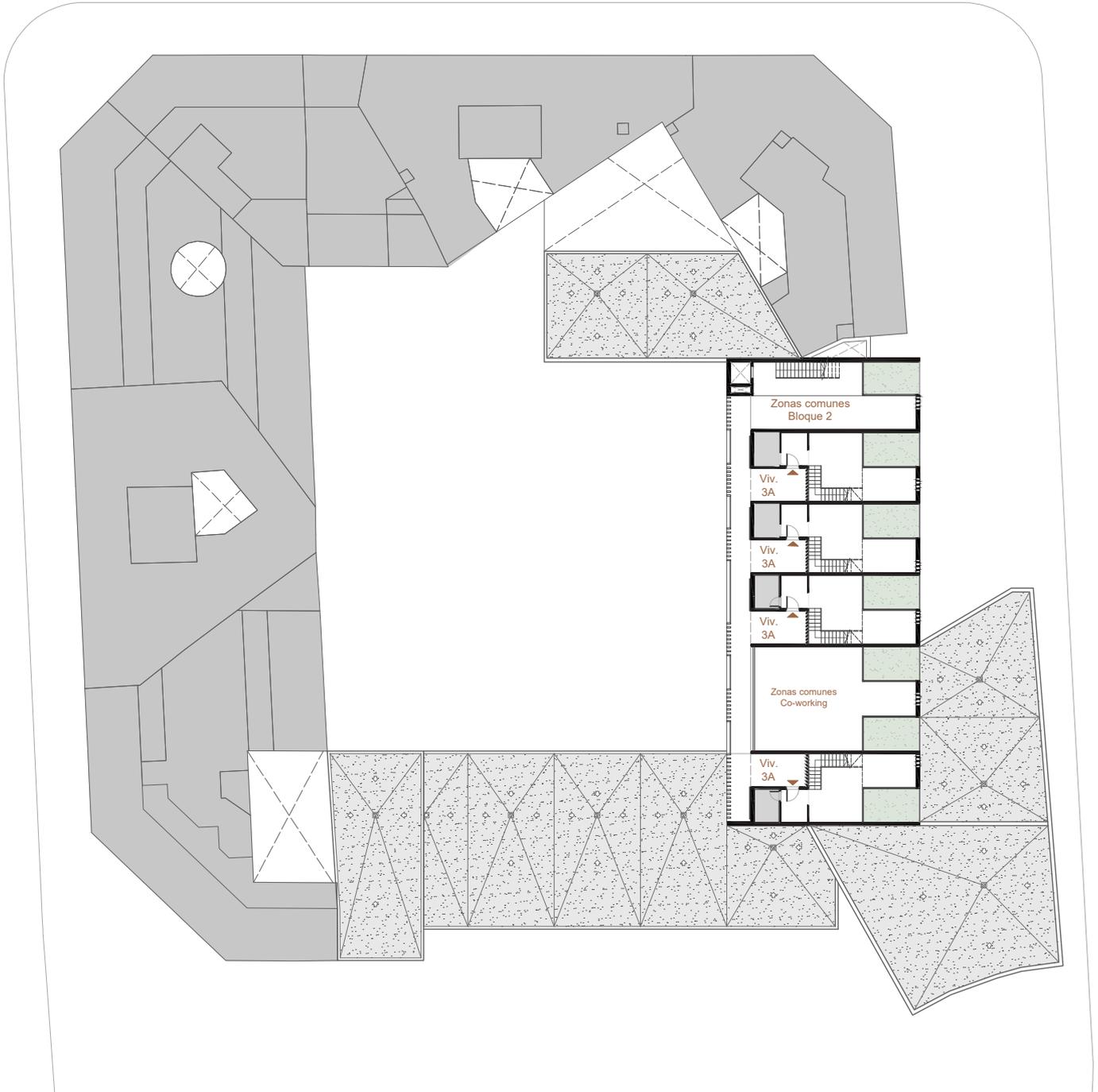
Planta Tercera



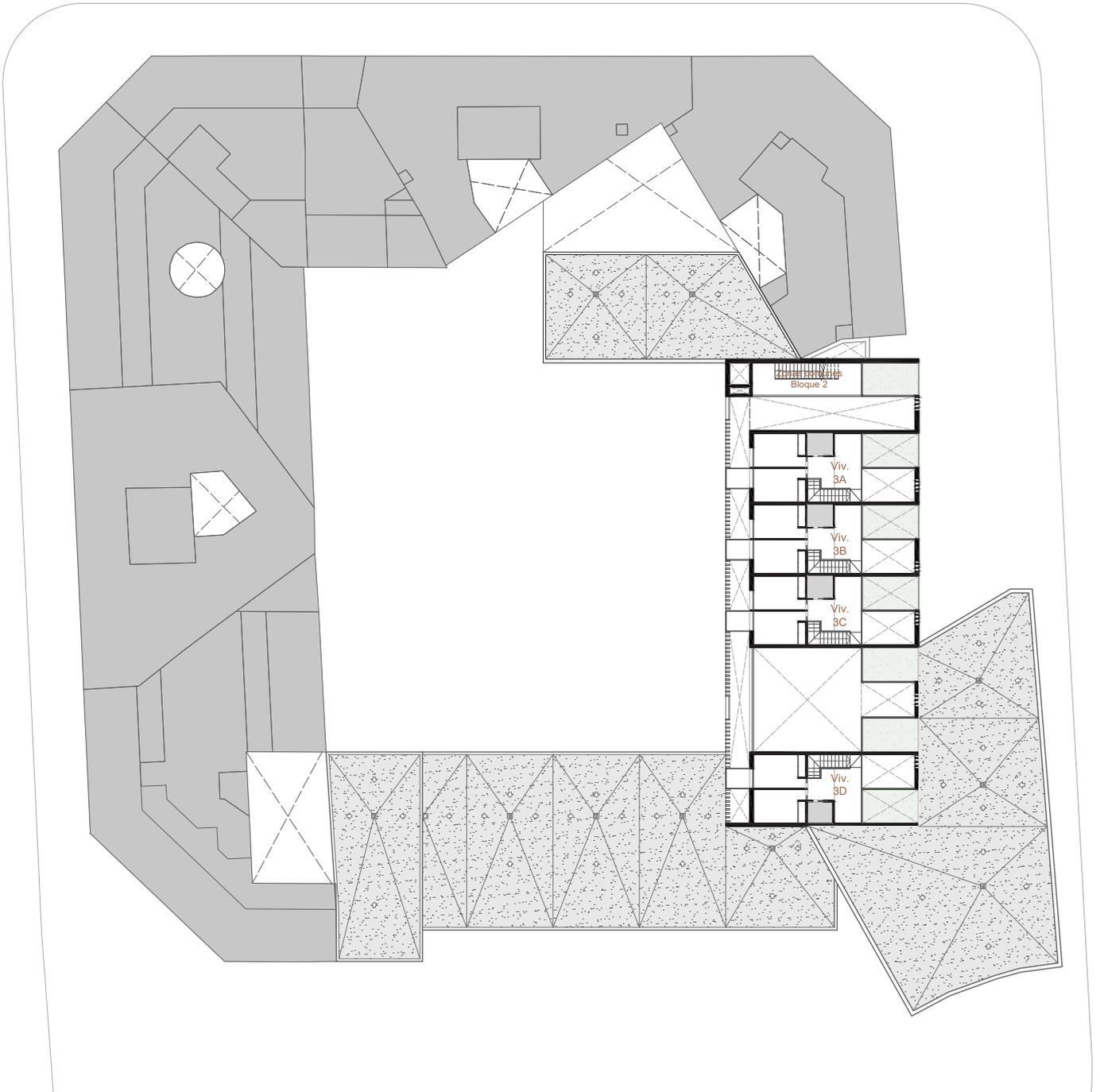
Planta Cuarta



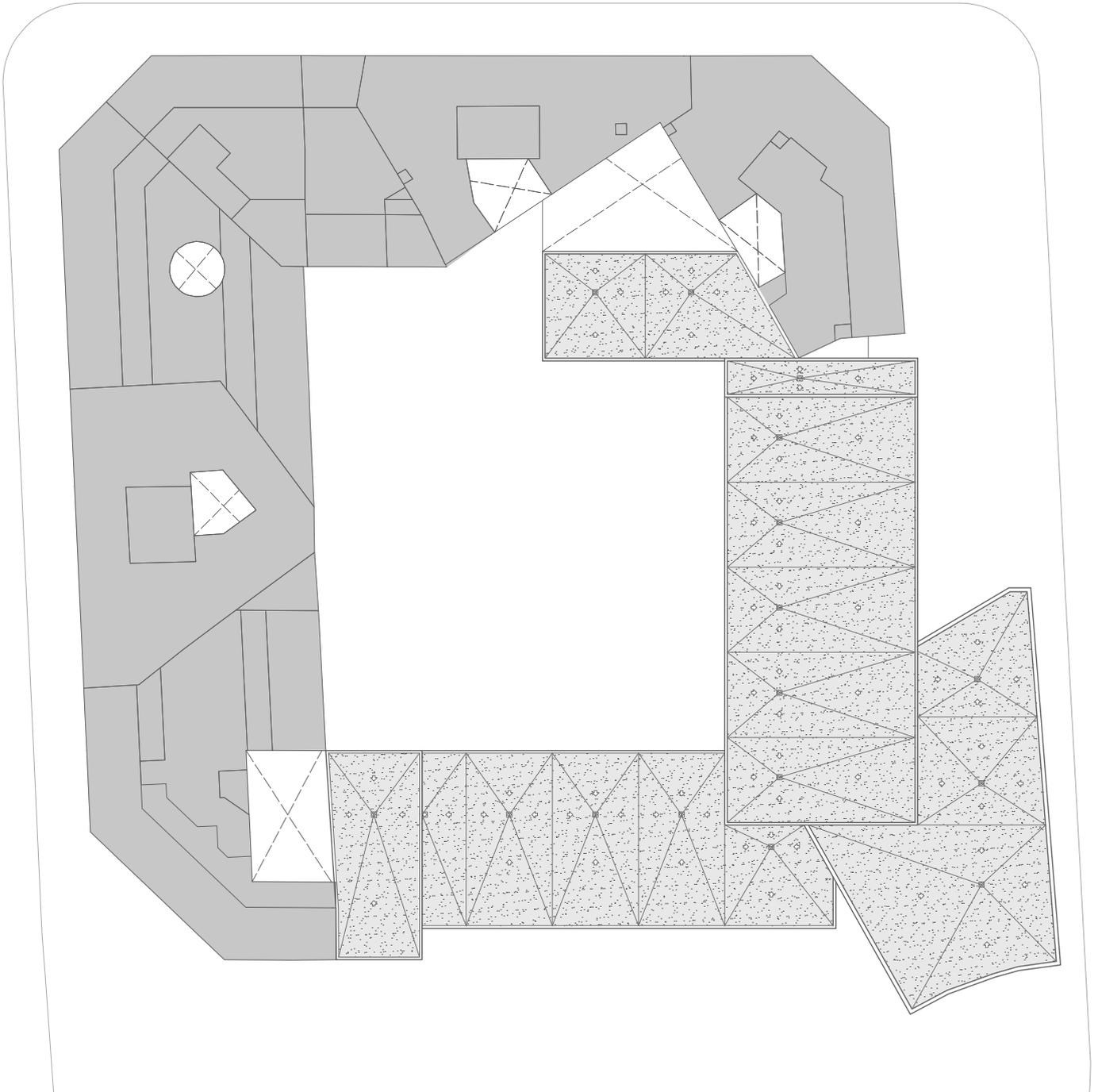
Planta Quinta



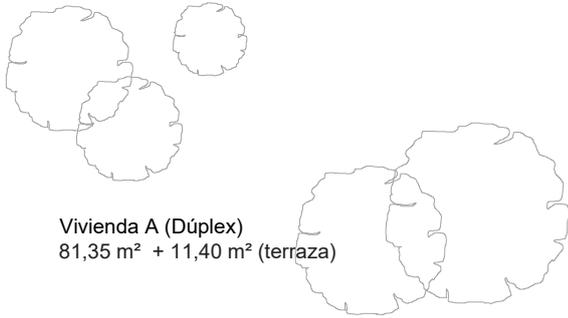
Planta Sexta



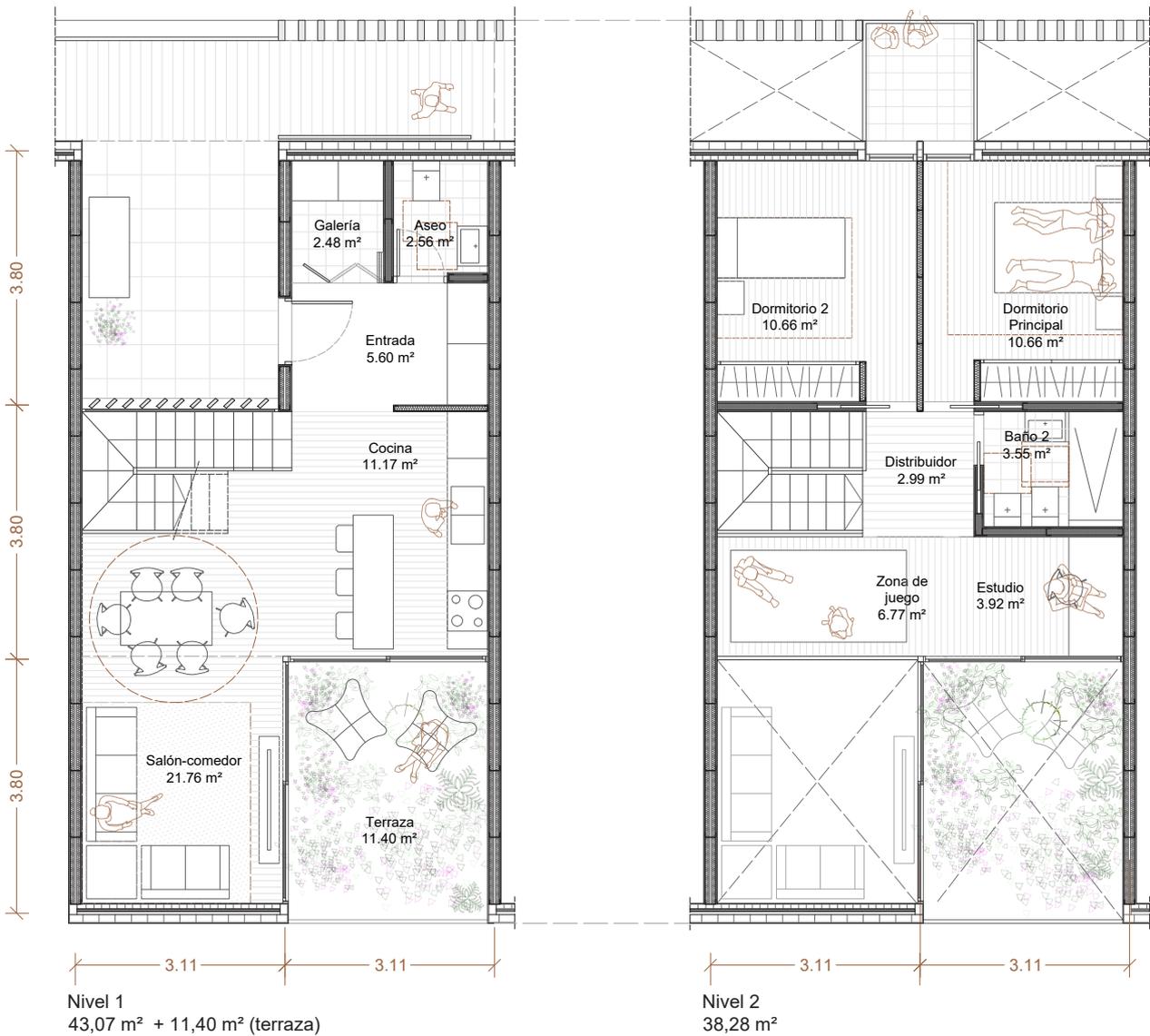
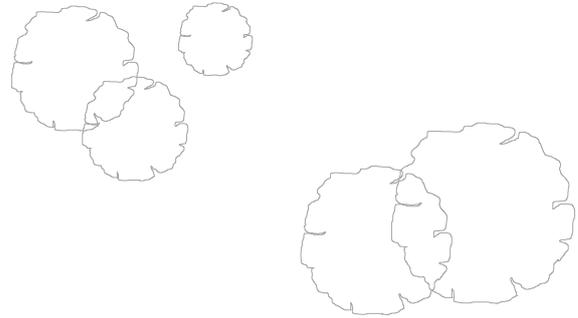
Planta Cubiertas



Detalle vivienda



Vivienda A (Dúplex)
81,35 m² + 11,40 m² (terraza)



Alzados y secciones



2. TIPOLOGÍAS ESTRUCTURALES

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, diversas tipologías estructurales compiten en el mercado, destacando especialmente el uso generalizado del hormigón armado. Además de esta opción, se encuentran otros sistemas comúnmente utilizados como la estructura metálica y la estructura de madera.

A lo largo del tiempo y ante las demandas en el sector de la construcción, se ha evidenciado que la estructura de hormigón armado prevalece como la más empleada debido a su versatilidad y, en muchos casos, a su rentabilidad económica. No obstante, las estructuras metálicas, a pesar de que su coste es superior y que frente al fuego pueden verse afectadas seriamente si son sometidas a altas temperaturas, también son ampliamente utilizadas, especialmente cuando se busca acelerar los plazos de construcción, cuando se necesitan grandes luces o por características singulares en la estructura, como grandes voladizos o diseños poco convencionales.

Otro sistema estructural que merece atención es la madera. Aunque no es uno de los sistemas más comunes, presenta diversas ventajas destacables. En primer lugar, la madera destaca por ser un material sostenible, ya que es renovable y reciclable, y su procesamiento requiere un menor aporte energético. Además, destaca por su ligereza, capacidad aislante y resistencia al fuego.

A pesar de estas cualidades, la madera no figura entre los sistemas estructurales más utilizados en la actualidad. Sin embargo, recientemente ha ganado visibilidad y popularidad gracias al desarrollo de grandes proyectos, como el proyecto de la Biblioteca Gabriel García Márquez en Barcelona, merecedora del Premio Internacional a la Mejor Biblioteca Pública de 2023. Este reconocimiento subraya la capacidad de la madera para proporcionar soluciones estructurales eficientes y estéticamente atractivas.

La estructura tipo de un edificio generalmente está constituida por varias partes: la cimentación, que recibe todas las cargas del edificio y las traslada al terreno, y la estructura horizontal y vertical. La vertical está formada por los pilares, encargados de recoger las cargas transmitidas a través de la estructura horizontal, compuesta por las vigas y el entrevigado. Así, las cargas se distribuyen a través de estos elementos hasta llegar al terreno.

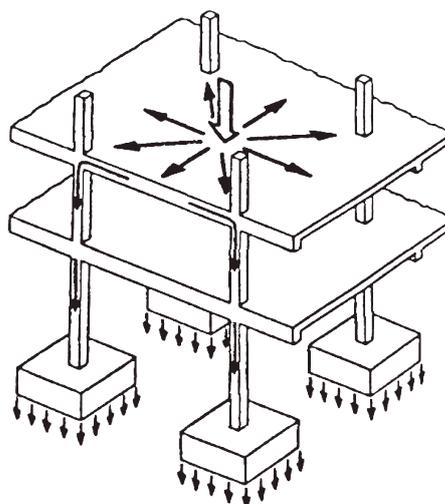


Fig.4. Transmisión de cargas

ESTRUCTURA DE HORMIGÓN ARMADO

El hormigón armado es el sistema más utilizado y popular en el mercado, como hemos comentado anteriormente, debido a sus ventajas en comparación con otros sistemas estructurales. Por el tiempo, características estructurales y costos de ejecución, el hormigón armado destaca por su alta competitividad.

Este sistema estructural está compuesto por los elementos verticales, que son los pilares y los elementos horizontales que son los forjados (vigas y entrevigado). En el caso de elegir una estructura de hormigón armado, los elementos verticales, los pilares, suelen tener características similares. Estos pilares de hormigón se pueden presentar con secciones cuadradas, circulares, rectangulares o bien estar apantallados, y se encuentran debidamente armados con acero corrugado. Las dimensiones, geometría y la cantidad de acero dependerán de los cálculos estructurales realizados, teniendo que considerar las cargas que van a soportar, la ubicación y el diseño concreto del propio edificio, entre otros factores determinantes, pero generalmente los pilares no varían en su ejecución o tipo, solo su dimensionamiento o cuantía que dependerá de los cálculos estructurales realizados.

También es posible considerar una estructura mixta de acero-hormigón, donde los pilares y vigas podrían ser metálicos. Asimismo, si el proyecto requiere una estructura de madera, podríamos optar por una combinación de madera y hormigón. Sin embargo, es importante destacar que este Trabajo de Fin de Grado (TFG) se enfoca en el análisis exhaustivo de los elementos horizontales (estructura a flexión), específicamente los forjados, excluyendo el análisis del sistema estructural vertical y los voladizos. El objetivo de este trabajo es examinar los diferentes tipos de forjados disponibles en el mercado, y los elementos resistentes tanto verticales (pilares) como horizontales (vigas) irían acorde con el tipo de forjado elegido. Tampoco profundizaremos en la cuestión de los voladizos en este trabajo, ya que requieren un análisis más detallado y extenso.

Cuando hablamos de los elementos horizontales, los forjados en concreto, existen actualmente en el mercado una serie de tipologías usuales, que son muy conocidas y ya están muy estudiadas. Por lo tanto, dentro de las estructuras horizontales, enumeraremos las tipologías más utilizadas de forjados existentes.

Dentro de los forjados, se distinguen tres tipos: los unidireccionales, bidireccionales y multidireccionales, que describiremos en los siguientes apartados.

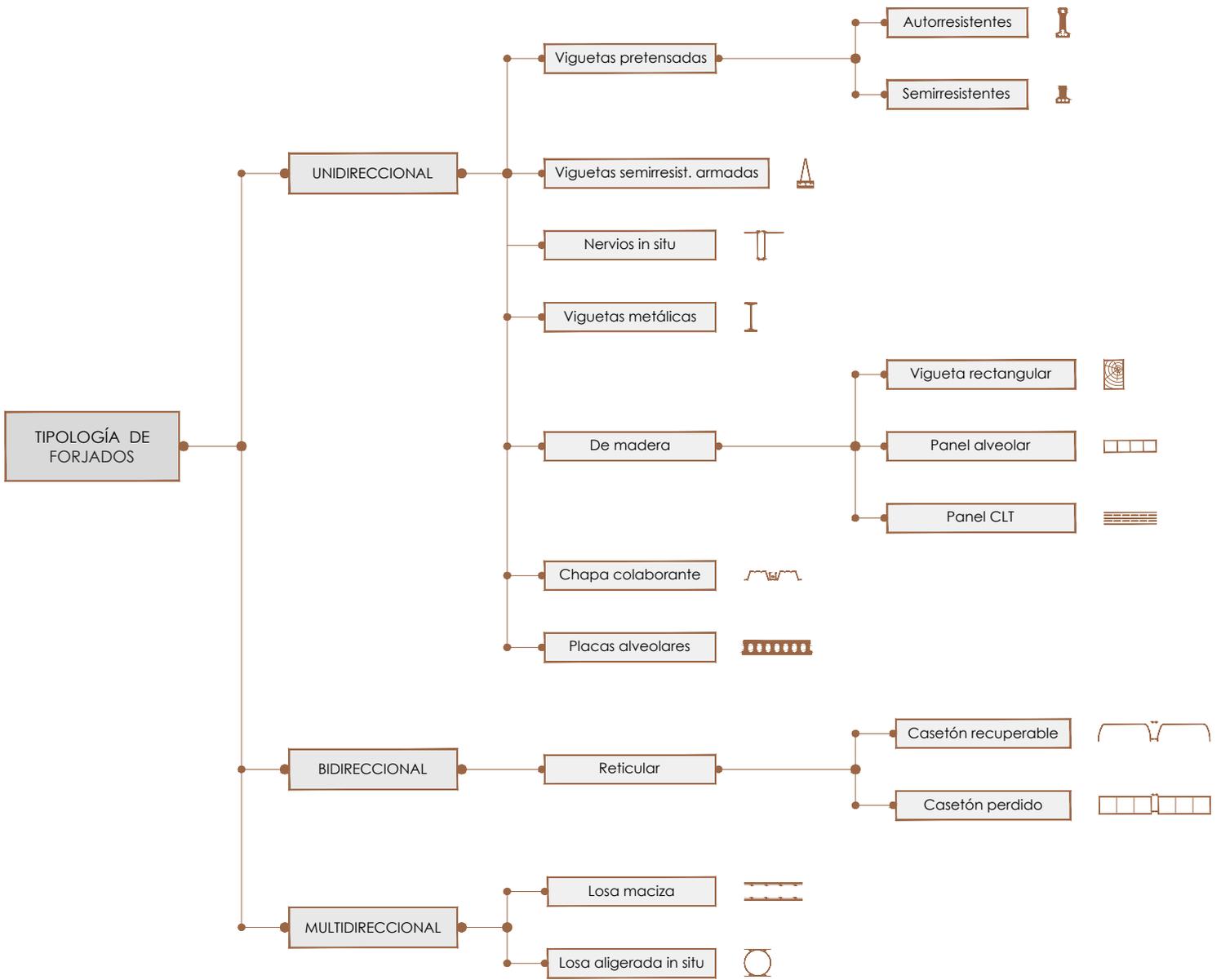


Fig.5. Esquema de tipologías

2.1. FORJADOS UNIDIRECCIONALES

El forjado unidireccional flexa en una dirección y se transmiten las cargas a las vigas y éstas las transmiten a los pilares.

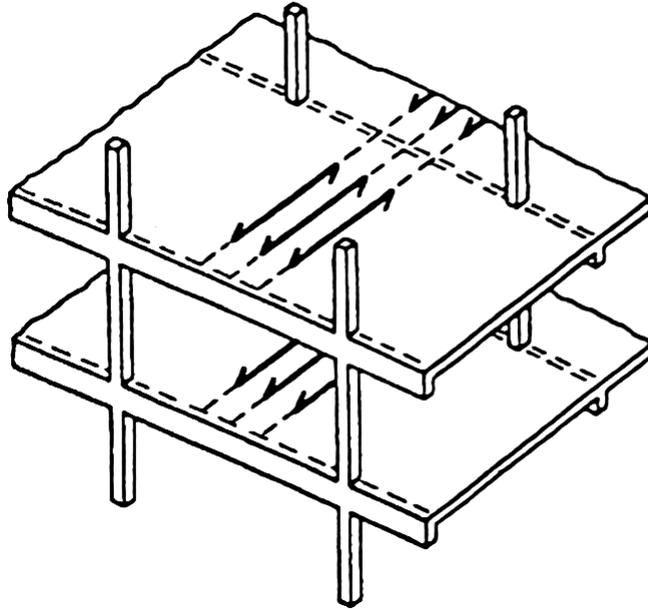


Fig.6. Esquema transmisión de cargas forjado unidireccional

Normalmente está compuesto por los siguientes elementos:

- Viguetas:

Son elementos lineales que tienen capacidad resistente y existen numerosos tipos. Estas viguetas pueden ser prefabricadas (ejecutadas en fábrica y trasladadas a obra) o ejecutadas in situ. Ejemplo de viguetas prefabricadas más comunes en el mercado:



Fig.7. Vigüeta pretensada autorresistente



Fig.8. Vigüeta pretensada semirresistente



Fig.9. Vigüeta semirresistente armada

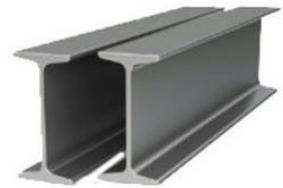


Fig.10. Vigüeta metálica

- Entrevigado:

Estos elementos normalmente son aligerantes, aunque también pueden desempeñar una función resistente.

Entre las bovedillas más comunes en el mercado se encuentran las cerámicas, las de hormigón y las de poliestireno, aunque existe una amplia variedad. Mediante este entrevigado se salva la luz existente entre las viguetas y evita que éstas se deformen.

Las bovedillas más utilizadas son las que tienen un intereje de 60-70 cm. Ejemplo de bovedillas más comunes en el mercado:



Fig. 11. Bovedilla cerámica



Fig. 12. Bovedilla de hormigón



Fig. 13. Bovedilla de poliestireno

- Armadura:

Los elementos que otorgan resistencia a tracción al elemento estructural.

- Hormigón:

Constituye el componente principal de la estructura y se trata de una mezcla de cemento, áridos y agua en proporciones específicas para alcanzar la resistencia deseada.

2.1.1. Forjado con viguetas pretensadas autorresistentes y semirresistentes

	Luz L (m)	Canto H (cm)	Intereje I (cm)
Valores posibles	< 6.5	20 - 35	50 - 80
Valores recomendables	4.5 - 6	25 - 30	70

Fuente: David Gallardo Llopis

a) Características generales.

Este tipo de forjado es el que está compuesto por viguetas pretensadas y son éstas las que soportan todos los esfuerzos sin que sea necesaria la colaboración del entrevigado. Se tienen que calcular para que absorban el momento flector y el esfuerzo cortante, teniendo en cuenta el coeficiente de seguridad y evitando que se produzca una flecha máxima superior a los límites establecidos. (Urbán Brotons, P.)

Estos elementos están formados por hormigón y por una armadura interior, la cual se ha traccionado y se ha anclado al hormigón, previo a su puesta en servicio.

Estas viguetas, tanto la autorresistente como la semirresistente, se piden a fábrica directamente y se escogen en función a su longitud, cortante y máximo momento flector al que estarán sometidas por cálculo.

- Viguetas autorresistentes:

En cuanto a las viguetas autorresistentes pretensadas, lo común es que el intereje de la varíe entre los 50-80 cm y las dimensiones de esta pieza suele tener entre 16 y 22 cm de canto aprox., para forjados de hasta 35 cm de espesor. Su sección es de doble T, siendo el diseño de su parte superior menos ancho, para posibilitar la colocación de las bovedillas durante su ejecución.

Para determinadas luces y cargas, las viguetas autorresistentes no requieren apuntalamiento durante su ejecución, por lo que este tipo de forjado suele utilizarse en forjados sanitarios con una altura libre reducida.

- Viguetas semirresistentes:

En el caso de usar viguetas semirresistentes pretensadas, la pieza no es de doble T, sino que es una pieza de menor dimensión y, a diferencia de las viguetas autorresistentes, éstas se comportan de una forma más monolítica, ya que parte de la vigueta está ejecutada

in situ y enlaza mejor con la capa de compresión y forma un único cuerpo con la semivigueta, con conectores que favorecen la adherencia. Estas piezas suelen tener entre 11 y 15 cm de canto aprox., para forjados de hasta 35 cm de espesor.

Las armaduras de negativos, para conseguir la continuidad, empotramiento o voladizo, se tienen que atar para que durante el hormigonado, estas no se desplacen ni se bajen, ya que podría reducir el brazo mecánico y se podría disminuir su capacidad resistente, pudiendo aparecer fisuras por la cara superior. (Urbán Brotons, P.)

b) Ejecución. Puesta en obra.

1. Apuntalamiento:

Previa colocación de los puntales, se ejecuta el encofrado del forjado, mediante tablonos de madera que apoyan sobre las sopandas metálicas. Una vez montado el encofrado, se replantea los distintos elementos que afectan al forjado, como son los huecos de paso de instalaciones, chimeneas, ventilaciones y dónde se encuentran los elementos estructurales (vigas, zunchos, etc.).

2. Colocación de las armaduras:

Se realiza el montaje de la armadura del forjado, comenzando por las vigas y los zunchos.

Cabe destacar la importancia de la colocación de los calzos y separadores homologados entre el encofrado y la armadura, que están fabricados normalmente de hormigón o en ocasiones de plástico, para el recubrimiento del elemento estructural.

Su olvido o mala ejecución podría hacer que la armadura careciese de recubrimiento, pudiendo tener graves consecuencias posteriormente, como es la corrosión de las armaduras por agentes externos, como es el agua.

3. Colocación de viguetas y entrevigado:

Una vez nivelados los puntales, se colocan las viguetas con el intereje que indiquen los planos de estructuras y las piezas del entrevigado. La armadura de negativos se coloca bajo la armadura de reparto.

En este tipo de forjados es importante dejar una separación entre la cara lateral del ala superior de la vigueta y la bovedilla, de mínimo 3 cm, así como la caída de los hombros de las piezas de entrevigado, mínimo cada 6 cm.

4. Hormigonado:

Una vez colocados todos los elementos, se hormigona, desde los pilares hacia las vigas, después hacia las viguetas y, por último, las bovedillas. Un paso que no se debe olvidar es el continuo vibrado del hormigón, para que la masa del hormigón quede sin huecos y sin burbujas, que podría ser foco de patologías futuras.

Previamente al hormigonado, se debe comprobar que no existen objetos extraños que posteriormente pueda afectar a la calidad del forjado.

5. Curado del hormigón:

Como parte del proceso, pese a que no hay que realizar ninguna acción, se produce el curado del hormigón, el fraguado del mismo según la normativa vigente.

6. Desapuntalado:

Finalmente, se realiza el desapuntalado del forjado, desde el centro de los vanos hacia los extremos.

c) **Ventajas e inconvenientes.**

- Ventajas:

La ventaja principal es que la vigueta está fabricada en taller, por lo que hay una mayor garantía de calidad. Son viguetas con un mayor grado de industrialización. Son más fáciles de manejar, puesto que son piezas que vienen hechas de fábrica y para su ejecución, simplemente se colocan.

Las viguetas autorresistentes, al no requerir apuntalamiento, son muy utilizadas en forjados sanitarios, ya que el acceso en este tipo de forjado es complicado.

Principalmente, es uno de los sistemas más utilizados y más económicos para luces y cargas moderadas, de hasta 6 m aprox.

Para luces más grandes, las viguetas simplemente apoyadas resuelven el problema y, cuando se utilizan en continuidad, se reducen considerablemente los momentos del vano.

-Inconvenientes:

Con este tipo de vigueta autorresistente es antieconómico conseguir el monolitismo y continuidad, ya que sería necesario recrear el forjado con una capa superior de hormigón, que genera un mayor coste y un aumento de peso.

Las viguetas semirresistentes necesitan apuntalamiento, al contrario que las autorresistentes, durante el proceso de llenado y fraguado del hormigón vertido in situ. También es necesario la colocación de armadura de negativos.

En el hipotético caso de querer grandes luces, este tipo de forjado no es el más adecuado. Aunque se pueden conseguir mayores luces duplicando la vigueta.

d) Detalle constructivo

d.1) Forjado con viguetas autorresistentes

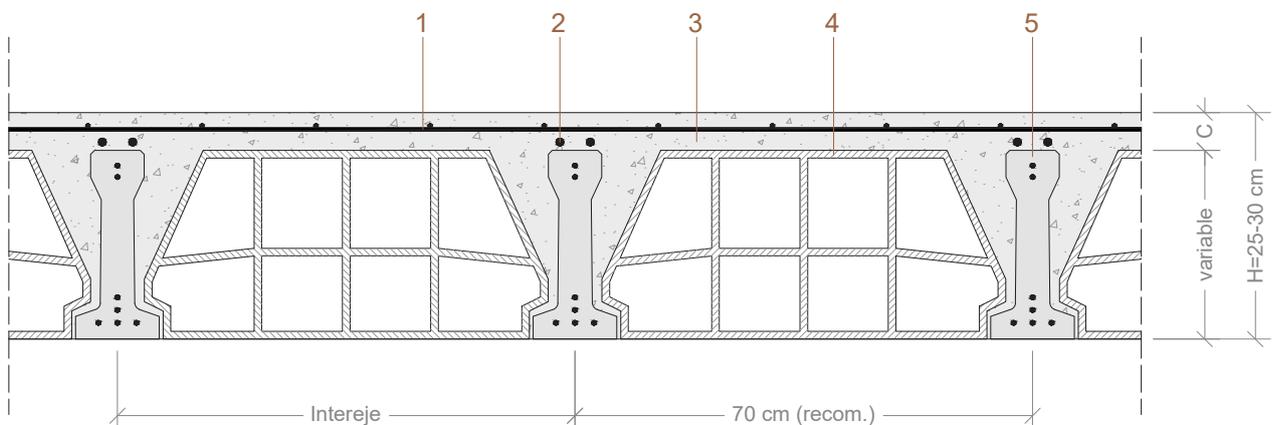


Fig.14. Sección tipo de forjado con viguetas autorresistentes

1. Armadura de reparto
2. Armadura transversal de negativos
3. Capa de compresión (C)
4. Bovedillas (cerámicas/hormigón/poliestireno)
5. Vigueta pretensada autorresistente

d.2) Forjado con viguetas semirresistentes

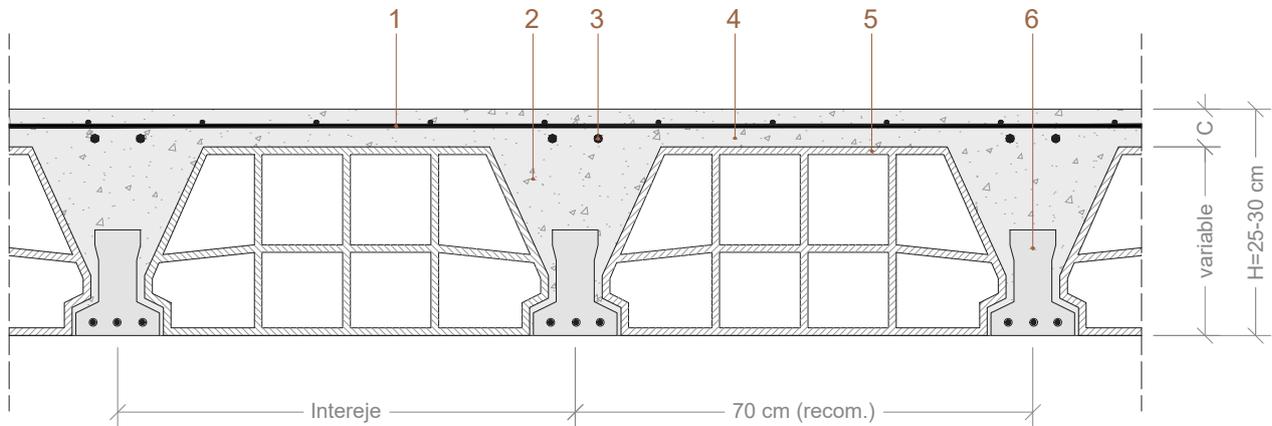


Fig.15. Sección tipo de forjado con viguetas semirresistentes

1. Armadura de reparto
2. Armadura transversal de negativos
3. Capa de compresión (C)
4. Bovedillas (cerámicas/hormigón/poliestireno)
5. Vigueta pretensada autorresistente

e) Estudio económico

- Forjado con viguetas autorresistentes pretensadas:

Escogemos unos valores habituales, estimando una resistencia del hormigón de 25 N/mm², su exposición XC2, un canto de forjado normal de 25+5 cm y viguetas simples, los otros factores que influyen en el precio de este forjado son el tipo de bovedilla y la luz.

Teniendo una luz <4 m:

- Bovedilla de hormigón: 63,41 €/m²
- Bovedilla de poliestireno: 74,28 €/m²
- Bovedilla cerámica: 77,51 €/m²

Teniendo una luz 4-6 m:

- Bovedilla de hormigón: 68,65 €/m²
- Bovedilla de poliestireno: 79,51 €/m²
- Bovedilla cerámica: 82,76 €/m²

Teniendo una luz >6 m:

- Bovedilla de hormigón: 74,69 €/m²
- Bovedilla de poliestireno: 85,50 €/m²
- Bovedilla cerámica: 88,79 €/m²

Ud	Resumen	Precio unitario según la luz aprox. €/m ²		
		< 4 m	4 - 6 m	> 6 m
m ²	Forjado unidireccional con vigueta pretensada autorresistente	63 - 78	69 - 83	75 - 89
<p>Forjado unidireccional horizontal de 25+5 cm de canto ejecutado con simple vigueta pretensada dispuesta con intereje de 70 cm y bovedillas de hormigón/poliestireno/cerámicas, hormigonado mediante bomba con hormigón HA-25/B/20/XC2 sobre mallazo ME 15x30 Ø5-5 B500T y una cuantía media de 4,65 - 11,15 kg/m² de acero B500S en vigas planas, zunchos y negativos, incluido el encofrado; el vertido y curado del hormigón, y el desencofrado, según Código Estructural.</p>				

Fuente: Base de precios IVE 2023 (Valencia)

- Forjado con viguetas semirresistentes pretensadas:

Escogemos unos valores habituales, estimando una resistencia del hormigón de 25 N/mm², su exposición XC2, un canto de forjado normal de 25+5 cm y viguetas simples, los otros factores que influyen en el precio de este forjado son el tipo de bovedilla y la luz.

Teniendo una luz <4 m:

- Bovedilla de hormigón: 60,90 €/m²
- Bovedilla de poliestireno: 71,75 €/m²
- Bovedilla cerámica: 75,01 €/m²

Teniendo una luz 4-6 m:

- Bovedilla de hormigón: 66,07 €/m²
- Bovedilla de poliestireno: 76,97 €/m²
- Bovedilla cerámica: 80,17 €/m²

Teniendo una luz >6 m:

- Bovedilla de hormigón: 72,04 €/m²
- Bovedilla de poliestireno: 82,98 €/m²
- Bovedilla cerámica: 86,14 €/m²

Ud	Resumen	Precio unitario según la luz aprox. €/m ²		
		< 4 m	4 - 6 m	> 6 m
m ²	Forjado unidireccional con vigueta pretensada semirresistente	61 - 75	66 - 80	72 - 86
<p>Forjado unidireccional horizontal de 25+5 cm de canto ejecutado con simple vigueta pretensada dispuesta con intereje de 70 cm y bovedillas de hormigón/poliestireno/cerámicas, hormigonado mediante bomba con hormigón HA-25/B/20/XC2 sobre mallazo ME 15x30 Ø5-5 B500T y una cuantía media de, 4,65 - 11,15 kg/m² de acero B500S en vigas planas, zunchos y negativos, incluido el encofrado; el vertido y curado del hormigón, y el desencofrado, según Código Estructural.</p>				

Fuente: Base de precios IVE 2023 (Valencia)

2.1.2. Forjado con viguetas semirresistentes armadas

	Luz L (m)	Canto H (cm)	Intereje I (cm)
Valores posibles	< 6.5	20 - 35	50 - 80
Valores recomendables	4.5 - 6	25 - 30	70

Fuente: David Gallardo Llopis

a) Características generales.

En este forjado se utilizan viguetas semirresistentes, medias viguetas compuestas por una base de hormigón prefabricado con una armadura transversal saliente anclada a esta base, donde posteriormente se rellena con hormigón.

Para la ejecución de este tipo de forjado es necesario colocar encofrados para evitar que las viguetas entren en carga, estas sopandas deben estar separadas cada 1,50 m aproximadamente.

b) Ejecución. Puesta en obra.

La ejecución de este tipo de forjado es similar al anterior, comenzando por la necesidad de apuntalamiento del mismo. Se colocan las armaduras, las viguetas y el entrevigado, se hormigona y, finalmente, se cura el hormigón. Un vez fraguado el forjado, se desapuntala la estructura.

La diferencia se encuentra en la colocación de las viguetas, ya que durante la ejecución de las mismas es importante que estas estén alineadas a ambos lados de cada apoyo, ya que su cálculo se basa en la hipótesis de continuidad, de forma que las compresiones se transmiten de una a otra viga a través del elemento que se encuentra en medio. Aunque esto es así, se permite una pequeña desviación, tanto en apoyos como en voladizos.

c) Ventajas e inconvenientes.

- Ventajas:

Al igual que en el caso anterior de viguetas pretensadas, es un sistema muy utilizado y económicamente es muy competitivo. Para luces y cargas moderadas, de hasta 6m, es un forjado muy rentable.

Con este sistema se consigue una mejor continuidad y monolitismo y, además, son forjados más económicos ya que se cuenta con el hormigonado de los senos en la absorción de esfuerzos.

- Inconvenientes:

Las armaduras de momento negativo son fáciles de colocar, sin embargo, hay que tener cuidado para que no cambien de posición durante el hormigonado, porque esto podría producir que hubiese una pérdida de brazo mecánico, reduciendo su capacidad resistente.

d) Detalle constructivo

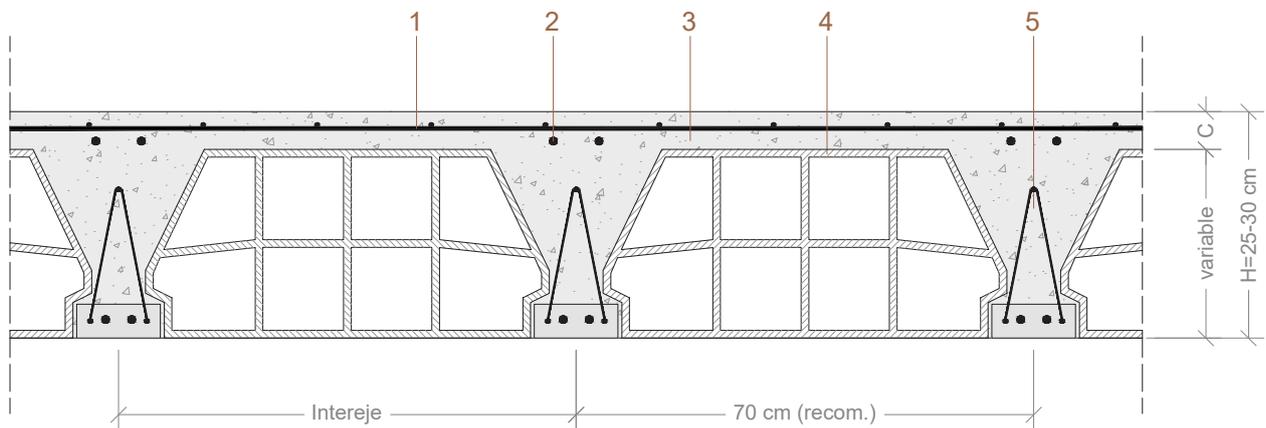


Fig.16. Sección tipo de forjado con viguetas armadas

1. Armadura de reparto
2. Armadura transversal de negativos
3. Capa de compresión
4. Bovedillas (cerámicas/hormigón/poliestireno)
5. Vigueta semirresistente en celosía

e) Estudio económico

Escogemos unos valores habituales, estimando una resistencia del hormigón de 25 N/mm², su exposición XC2, un canto de forjado normal de 25+5 cm y viguetas simples, los otros factores que influyen en el precio de este forjado son el tipo de bovedilla y la luz.

Teniendo una luz <4 m:

- Bovedilla de hormigón: 68,09 €/m²
- Bovedilla de poliestireno: 78,97 €/m²
- Bovedilla cerámica: 82,20 €/m²

Teniendo una luz 4-6 m:

- Bovedilla de hormigón: 75,83 €/m²
- Bovedilla de poliestireno: 86,72 €/m²
- Bovedilla cerámica: 89,93 €/m²

Teniendo una luz >6 m:

- Bovedilla de hormigón: 83,51 €/m²
- Bovedilla de poliestireno: 94,37 €/m²
- Bovedilla cerámica: 97,61 €/m²

Ud	Resumen	Precio unitario según la luz aprox. €/m ²		
		< 4 m	4 - 6 m	> 6 m
m ²	Forjado unidireccional con vigueta armada en celosía	68 - 82	76 - 90	84 - 98
<p>Forjado unidireccional horizontal de 25+5 cm de canto ejecutado con simple vigueta pretensada dispuesta con intereje de 70 cm y bovedillas de hormigón/poliestireno/cerámicas, hormigonado mediante bomba con hormigón HA-25/B/20/XC2 sobre mallazo ME 15x30 Ø5-5 B500T y una cuantía media de, 4,65 - 11,15 kg/m² de acero B500S en vigas planas, zunchos y negativos, incluido el encofrado; el vertido y curado del hormigón, y el desencofrado, según Código Estructural.</p>				

Fuente: Base de precios IVE 2023 (Valencia)

2.1.3. Forjado con nervios in situ

	Luz L (m)	Canto H (cm)	Intereje I (cm)
Valores posibles	< 10	20 - 40	50 - 80
Valores recomendables	6 - 9	25 - 35	60 - 70

Fuente: David Gallardo Llopis

a) Características generales.

Se podría considerar como una variante del forjado de viguetas pretensadas (autorresistentes y semirresistentes), ya que el sistema es esencialmente el mismo. La diferencia radica en que, en lugar de emplear viguetas prefabricadas de taller, estas viguetas se colocan in situ durante la ejecución del forjado.

Para este forjado hay que tener especial cuidado en la colocación de las armaduras, tanto positivas, como negativas. Las armaduras positivas deben estar bien calzadas, mediante tacos, alambres, etc. La opción más recomendable es la de colocar una pieza especial (barra de acero) en forma de "U" que apoya sobre las bovedillas y que garantiza el recubrimiento de la armadura de positivos, también conocida como "avión".

Esta pieza asegura el adecuado recubrimiento durante el proceso de vibrado del hormigón, a diferencia de los tacos, que podrían desplazarse durante este proceso.

b) Ejecución. Puesta en obra.

La ejecución de este tipo de forjado es similar los dos anteriores, comenzando por la necesidad de apuntalamiento del mismo. Se colocan las armaduras, se arman las viguetas, se coloca el entrevigado, se hormigona y, finalmente, se cura el hormigón. Un vez fraguado el forjado, se desapuntala la estructura.

La diferencia se encuentra en la vigueta, que como hemos comentado anteriormente en características generales, la vigueta se arma in situ, teniendo en cuenta el procedimiento para ejecutarla, que es distinto a las viguetas anteriores, puesto que no son elementos independientes que se colocan y se van montando, sino que hay que montar las armaduras de las que está compuesta la viguetas y posteriormente, se hormigona, quedando completamente solidarizada la vigueta con la capa de compresión.

c) **Ventajas e inconvenientes.**

- Ventajas:

La principal ventaja de este tipo de forjado radica en su capacidad para ofrecer una mayor libertad en cuanto a su geometría, permitiendo configuraciones más complejas en comparación con los otros dos tipos de forjados.

Esta flexibilidad se debe a que se trata de viguetas que se “montan”, lo que significa que no están limitadas por medidas estándares. En cambio, cada vigueta puede ajustarse con precisión, incluso a nivel de centímetros, para adaptarse a las necesidades específicas del diseño del proyecto.

Este tipo de forjado, con un nervio de 15-20 cm, posibilita tener luces mayores. Sin embargo, como contrapartida, implica un canto de mayor espesor.

- Inconvenientes:

La supervisión durante la ejecución de las viguetas es crucial, dado que, al no tratarse de elementos prefabricados, sino que se construyen in situ por personas, existe una mayor posibilidad de cometer errores.

Es esencial prestar especial atención a aspectos como la correcta disposición de las armaduras, la posición adecuada, y los recubrimientos, entre otros detalles. Estas viguetas no tienen la garantía que ofrece una prefabricadas, que están respaldadas por las fábricas que las hacen.

Además, debido a que se ejecutan in situ, el tiempo requerido para ejecutar este tipo de forjado es mayor, ya que implica llevar a cabo más comprobaciones y colocar cada elemento individualmente.

d) **Detalle constructivo**

1. Armadura de reparto
2. Armadura transversal de negativos
3. Capa de compresión
4. Bovedillas (cerámicas/hormigón/poliestireno)
5. Vigueta ejecutada in situ

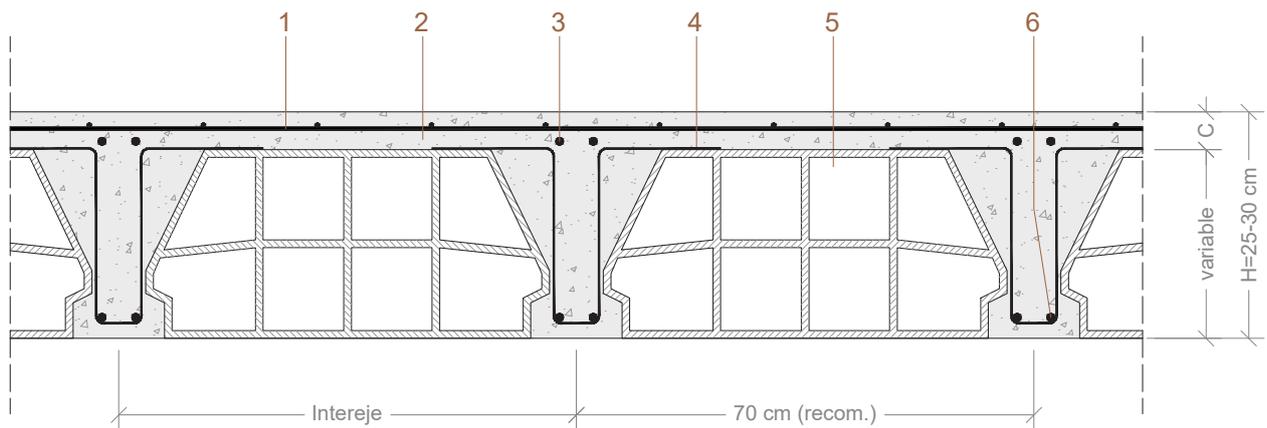


Fig.17. Sección tipo de forjado con nervio in situ

e) Estudio económico

Escogemos unos valores habituales, estimando una resistencia del hormigón de 25 N/mm², su exposición XC2, los otros factores que influyen en el precio de este forjado son el ancho del nervio y la luz. Tomamos un ancho de nervio de 15 cm.

Teniendo una luz <4 m:

- Bovedilla de hormigón: 72,43 €/m²
- Bovedilla de poliestireno: 83,71 €/m²
- Bovedilla cerámica: 88,81 €/m²

Teniendo una luz 4-6 m:

- Bovedilla de hormigón: 77,53 €/m²
- Bovedilla de poliestireno: 88,81 €/m²
- Bovedilla cerámica: 93,92 €/m²

Teniendo una luz 6-8 m:

- Bovedilla de hormigón: 83,46 €/m²
- Bovedilla de poliestireno: 94,75 €/m²
- Bovedilla cerámica: 99,85 €/m²

Teniendo una luz >8 m:

- Bovedilla de hormigón: 96,04 €/m²
- Bovedilla de poliestireno: 97,32 €/m²
- Bovedilla cerámica: 102,42 €/m²

Ud	Resumen	Precio unitario según la luz aprox. €/m ²		
		< 4 m	4 - 6 m	> 6 m
m ²	Forjado unidireccional de nervios in situ 30+5 cm	68 - 82	76 - 90	84 - 98
<p>Forjado unidireccional horizontal de 35+5 cm de canto ejecutado con nervios hormigonados in situ de 15 cm de ancho, dispuesto con intereje de 75 cm y bovedillas de hormigón/poliestireno/cerámicas, hormigonado mediante bomba con hormigón HA-25/B/20/XC2 sobre mallazo ME 15x30 Ø5-5 B500T y una cuantía media de, 12 kg/m² de acero B500S en nervios, vigas planas, zunchos y negativos, incluido el encofrado; el vertido, vibrado y curado del hormigón, y el desencofrado, según Código Estructural.</p>				

Fuente: Base de precios IVE 2023 (Valencia)

2.1.4. Forjado con viguetas metálicas

	Luz L (m)	Canto H (cm)	Intereje I (cm)
Valores posibles	< 7.5	20 - 35	50 - 80
Valores recomendables	4.5 - 6	25 - 30	70

Fuente: David Gallardo Llopis

a) Características generales.

Este tipo de forjado es mixto acero-hormigón y presenta viguetas metálicas, preferiblemente son perfiles laminados industriales, como los IPE. Es un sistema que ha caído en desuso debido a su mayor costo, ya que implica el uso de perfiles de acero y no ofrece ventajas significativas en cuanto a luces más amplias en comparación con las viguetas de hormigón.

El proceso constructivo es similar a los forjados previamente mencionados, con la distinción de que las viguetas son metálicas y, necesariamente tienen que usarse con vigas de acero, apoyadas en ellas o embebidas en su canto, total o parcialmente.

Estas viguetas no tienen negativos, a diferencia de las viguetas de hormigón.

b) Ejecución. Puesta en obra.

La ejecución de este tipo de forjado comparte similitudes con los anteriores, comenzando por la necesidad de apuntalamiento. No obstante, presenta variaciones particulares.

Este forjado necesariamente se ejecuta con vigas metálicas, por lo que se colocan las vigas y después las viguetas metálicas. Posteriormente se hormigona y, finalmente, se cura el hormigón. Un vez fraguado el forjado, se desapuntala la estructura.

c) Ventajas e inconvenientes.

- Ventajas:

No es necesario el apuntalamiento de la estructura. Además, al ser una estructura

metálica, los tiempos de ejecución son inferiores, permitiendo reducir los plazos de ejecución.

- Inconvenientes:

Uno de los principales inconvenientes de este forjado, es su resistencia al fuego. Al ser un perfil metálico su resistencia frente al fuego es inferior, por lo que este tipo de forjado debe estar protegido frente al fuego, aumentando su coste.

También cabe destacar que, es un sistema más costoso puesto que el elemento principal es la vigueta de acero, que es una materia prima cara. Con este tipo de forjados tampoco se consiguen luces mayores, por lo que no compensa su uso frente al resto de forjados.

d) Detalle constructivo

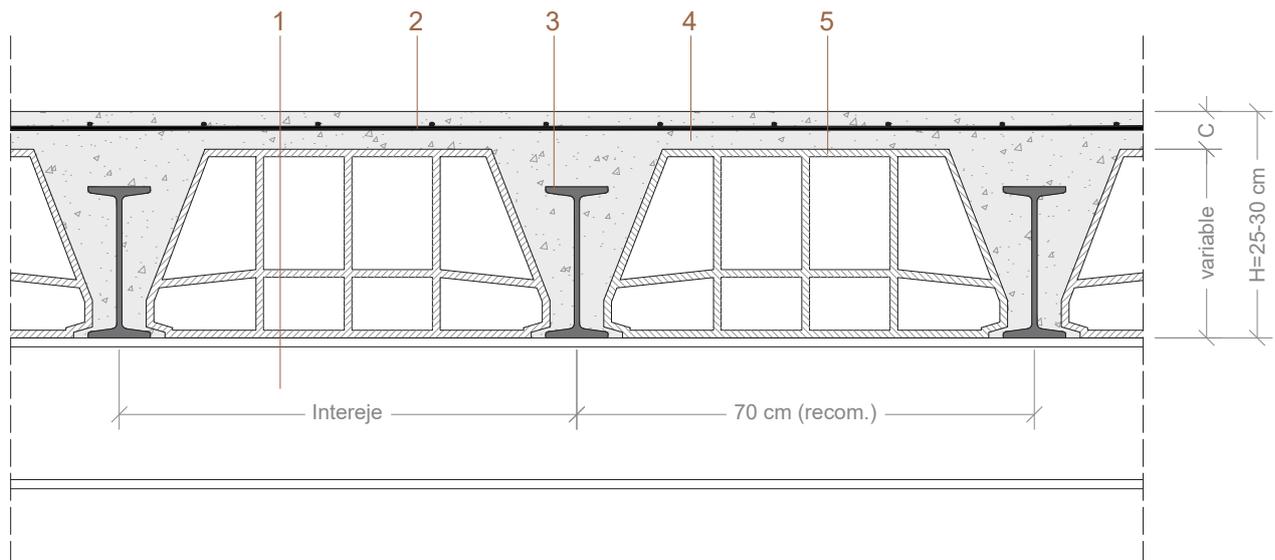


Fig.18. Sección tipo de forjado con viguetas metálicas

1. Armadura de reparto
2. Capa de compresión
3. Bovedillas (cerámicas/hormigón/poliestireno)
4. Vigueta metálica

e) Estudio económico

Escogemos unos valores habituales, estimando una resistencia del hormigón de 25 N/mm², su exposición XC2, un canto de forjado normal de 24+5 cm, el factor que influye en el precio de este forjado es el intereje.

Teniendo un intereje:

- 55 cm: 189,74€
- 75 cm: 145,12€

Con un intereje menor, la necesidad de acero en las viguetas es mayor, por lo tanto, el precio del forjado es superior.

Ud	Resumen	Precio unitario según la luz aprox. €/m ²
m ²	Forjado unidireccional con vigueta metálica IPN 24+5 cm	145 - 190
Forjado unidireccional, realizado a base de nervios de acero laminado con perfiles IPN, para canto de 24+5 cm, e intereje de 55 o 75 cm, bovedilla de hormigón, mallazo de acero B500T, en capa de compresión y hormigón HA-25/B/12/XC2, incluso cortes, preparación y colocación de perfiles y armaduras, vertido, compactado y curado del hormigón, encofrado y desencofrado, según NTE/EAF-1 y Código Estructural.		

Fuente: Base de precios IVE 2023 (Valencia)

2.1.5. Forjado de madera

		Luz L (m)	Canto H (cm)	Intereje I (cm)
Viguetas de sección rectangular o cuadrada	Valores posibles	< 6.5	20 - 35	50 - 70
	Valores recomendables	4.5 - 6	25 - 30	60
Placas nervadas	Valores posibles	< 12	15 - 35	-
	Valores recomendables	6 - 8	20 - 30	-
Paneles CLT	Valores posibles	< 16	40 - 60	-
	Valores recomendables	6 - 12	50	-

a) Características generales.

Este tipo de forjado está compuesto por dos tipos de materiales distintos, como es la madera y el hormigón, por lo tanto, es un forjado mixto madera-hormigón. No es un forjado de los más utilizados actualmente, porque se usa en estructuras de madera y, como comentábamos al principio en la introducción, este sistema no es de los más habituales, pese a que actualmente está aumentando su popularidad.

- Viguetas de sección rectangular/cuadrada:

Este forjado está compuesto por viguetas de madera de sección rectangular o cuadrada, que pueden ser aserradas o laminadas. Estas viguetas apoyan sobre las vigas de madera y, sobre estas viguetas se coloca un tablazón de madera.

Para que el hormigón y las viguetas trabajen solidariamente, se utilizan unos conectores (pernos) que se anclan a las viguetas. Sobre el tablazón de madera se encuentra la capa de hormigón, con un mallazo de reparto. Es importante colocar una lámina de polietileno entre el tablazón de madera y la capa de compresión, ya que el agua que contiene el hormigón podría dañar la madera. Al igual que ocurría con el forjado de viguetas metálicas, este tipo de forjado no necesita de armadura de negativos.

- Placas nervadas:

Este tipo de forjado de madera está compuesto por una placas estructurales nervadas, cuya fabricación es industrial. Estas placas son altamente resistentes y responden bien en cuanto al aislamiento acústico y térmico que ofrecen. Por la configuración de su sección, este tipo de forjado puede salvar grandes luces y soportar grandes solicitaciones. La placa está formada por los siguientes elementos:

- o Nervios: son los elementos verticales de madera
- o Caras: los elementos horizontales de madera
- o Hueco o plenum: espacio vacío entre los nervios. Puede llenarse de aislante para mejorar las prestaciones acústicas y/o térmicas.

Existen multitud de modelos en el mercado europeo, en relación a lo las características que se busquen en el proyecto, como que aguanten grandes luces, comportamiento al fuego, paso de instalaciones, etc. (TFM Fco. Coronel)

- **Paneles CLT (cross laminated timber:**

Este tipo de forjado está compuesto por el apilamiento y prensa de varias capas de tabloncillos de madera, orientados en direcciones perpendiculares entre sí y unidos mediante adhesivos. Su funcionamiento, podría decirse que es similar al de la losa de hormigón, destacando por su buena resistencia tanto a tracción como a compresión.

Se trata de un material industrializado, por lo que permite garantizar un grado alto de precisión en la ejecución y el control de calidad. Además, el uso de herramientas informáticas para su fabricación hace que tengamos una previsión de plazos más ajustados, así como su presupuesto. Este tipo de paneles pueden utilizarse tanto para forjados como para muros. (TFG Gasca Alonso)

b) Ejecución. Puesta en obra.

b.1) Viguetas de sección rectangular/cuadrada

1. Colocación de las viguetas y tablazón de madera:

Se colocan las viguetas sobre las vigas de madera, apoyadas. Este sistema estructural no necesita apuntalamiento, al contrario que los anteriores.

Sobre las viguetas de madera, se coloca el tablazón de madera. El propio elemento funciona como encofrado del forjado.

2. Protección frente a la humedad:

Puesto que se trata de elementos de madera, sobre el que se vierte hormigón, un material que presenta agua. Se protege este material mediante una capa protectora que suele ser un plástico, situada entre el tablazón de madera y el hormigón. Así se evita que el agua del hormigón entre en contacto con la madera.

3. Conectores:

Al ser dos materiales distintos, el hormigón y la madera, mediante estos conectores o pernos metálicos que van atornillados o clavados a la madera, hace que ambos materiales se deformen juntos y, además, evita es esfuerzo rasante.

Se calcula la dimensión de los pernos, la profundidad a la que tienen que ser clavados y la longitud que deben sobresalir con respecto a la cara superior del tablazón, así como la distancia entre ellos.

4. Colocación del mallazo:

Se coloca el mallazo para evitar la fisuración por retracción del hormigón, en la parte superior del forjado. Puede apoyarse sobre la cabeza de los pernos.

5. Hormigonado y curado:

Una vez colocados todos los elementos, se hormigona. Un paso que no se debe olvidar es el continuo vibrado del hormigón, para que la masa del hormigón quede sin huecos y sin burbujas, que podría ser foco de patologías futuras.

Como parte del proceso, pese a que no hay que realizar ninguna acción, se produce el curado del hormigón, el fraguado del mismo según la normativa vigente.

b.2) Paneles nervados (alveolar)

Una vez constituida la estructura de madera, pilares y vigas, se procede a la colocación de los paneles nervados. La colocación se realiza mediante un izado de estos paneles y apoyan sobre las vigas transversalmente y estos están encastrados entre sí.

Acústicamente y térmicamente, el material aislante puede ir en el interior de los alveolos, cuyo proceso viene ejecutado de fábrica.

Normalmente, en el uso de este tipo de forjado, lo que se pretende es que el material quede visto, sin necesidad de colocar algún acabado bajo forjado o como pavimento, por lo que tras la colocación de los paneles no sería necesario colocar falsos techos o bien, un pavimento.

b.3) Paneles CLT (cross laminated timber)

Al igual que sucede con los paneles nervados, previo montaje de la estructura (pilares y vigas de madera), se colocan los paneles de CLT, apoyados sobre las vigas.

Estos paneles se izan y se colocan sobre las vigas. Existen en el mercado una gran variedad de tipos de uniones entre paneles, pero predominan las uniones mecánicas con conectores metálicos. Es preciso un buen diseño de estas uniones para que a través de ellas se transmitan los esfuerzos correctamente.

c) **Ventajas e inconvenientes.**

- Ventajas:

Las ventajas del primer tipo de forjado de madera radican en su ligereza, ya que la capa de hormigón no requiere un canto tan pronunciado y las viguetas de madera son más ligeras que las de hormigón o las de acero.

En cuanto a los paneles alveolares o de CLT, también son elementos muy ligeros y destacan en cuanto a su aislamiento térmico y acústico. Como ventaja frente al anterior forjado, podríamos destacar que las luces con las que trabajamos con estos dos tipos, son superiores al de viguetas de sección cuadrada y tablazón, cuya luz es inferior.

A diferencia de los forjados con viguetas de acero, estos forjados presentan una resistencia inferior al fuego, la madera que, sorprendentemente, es un material más ignífugo.

Además, desde un punto de vista estético, estos forjados son muy elegantes, ya que la madera, siendo un material noble, y el sistema constructivo utilizado, permiten que las viguetas de madera y el tablazón queden completamente vistos, confiriéndole una calidez al espacio.

Finalmente, otra de las ventajas son los tiempos de ejecución, al ser elementos que vienen dimensionados de fábrica y por la ejecución del mismo, son forjados que permiten un montaje rápido y, por lo tanto, tienen plazos de ejecución más cortos. También son más sostenibles, puesto que su fabricación contamina menos y son reciclables.

- Inconvenientes:

Dado que no es un sistema tan común y carece de una normativa específica, a diferencia del Código Estructural para el hormigón, y requiere la colaboración de empresas especializadas en el manejo de este material, actualmente se encuentra desarrollándose.

Como mencionamos anteriormente, este sistema destaca por su carácter más sostenible, y en términos de diseño, este aspecto está adquiriendo una importancia significativa en el desarrollo de los proyectos. Sin embargo, el hormigón y el acero le tienen

una ventaja considerable.

Otro inconveniente que podríamos destacar, es su resistencia frente al agua y a la humedad que, comparado con el acero y el hormigón, el agua puede afectar en gran medida a este material, pudiendo llegar a la pudrición del mismo. Además, otro tema a tratar es el ataque por xilófagos, ya que como se trata de un material de origen natural, es posible una afección por xilófagos que puede causar una pérdida de capacidad resistente importante.

Podríamos concluir que en lo que respecta a las instalaciones, dado que se trata de una estructura que pretende mostrar la madera como elemento destacado, el discurso de las instalaciones se vuelve más complejo. Durante la fase de diseño, es crucial considerar cuidadosamente la ubicación de las mismas, en cuanto al saneamiento, fontanería, climatización y electricidad. Se debe prestar especial atención en la integración de estas instalaciones de manera eficiente, respetando la estética y la integridad de la estructura de madera.

d) Detalle constructivo

d.1) Viguetas de sección rectangular/cuadrada

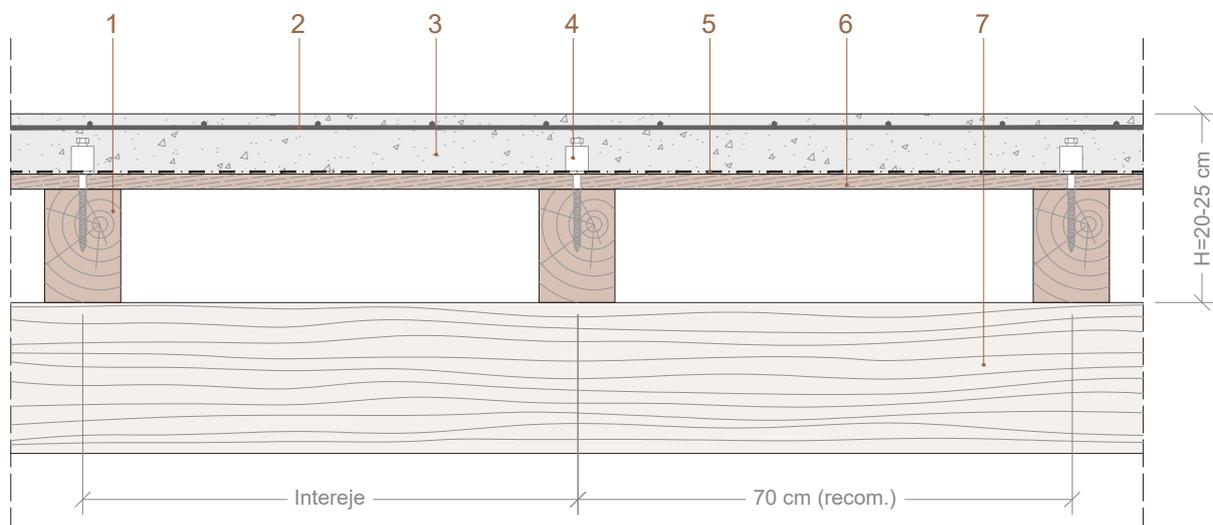


Fig. 19. Sección tipo de forjado con viguetas de madera

1. Viguetas de madera
2. Armadura de reparto
3. Capa de compresión
4. Conectores (pernos)
5. Capa separadora de polietileno
6. Tablazón de madera
7. Viga de madera

d.2) Panel nervado (alveolar)

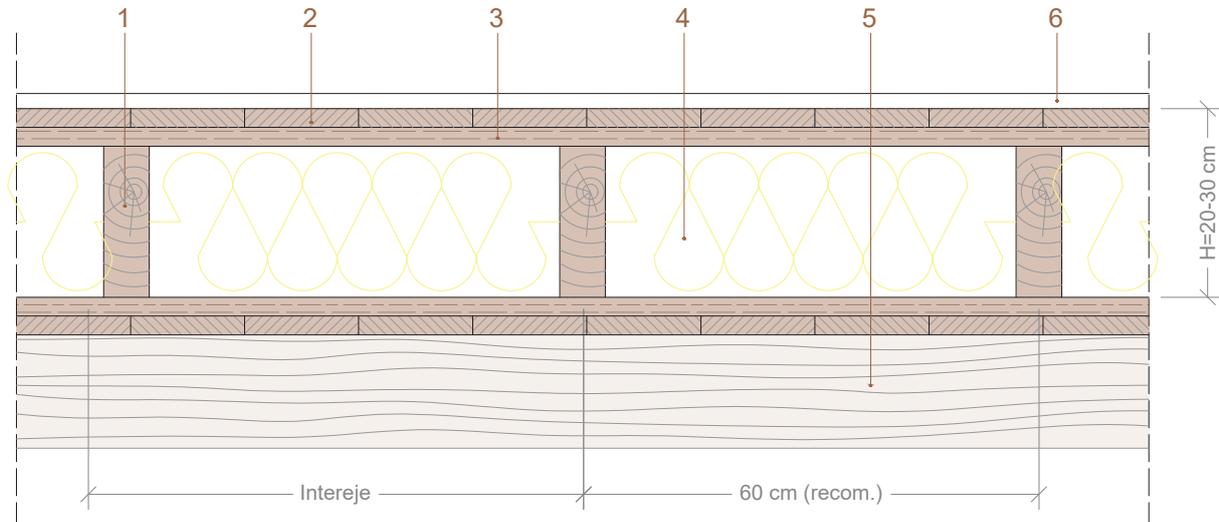


Fig.20. Sección tipo de forjado con panel nervado

1. Nervio de madera
2. Tablazón de madera
3. Tablazón de madera
4. Aislamiento térmico/acústico
5. Viga de madera
6. Pavimento (opcional)

d.3) Panel CLT

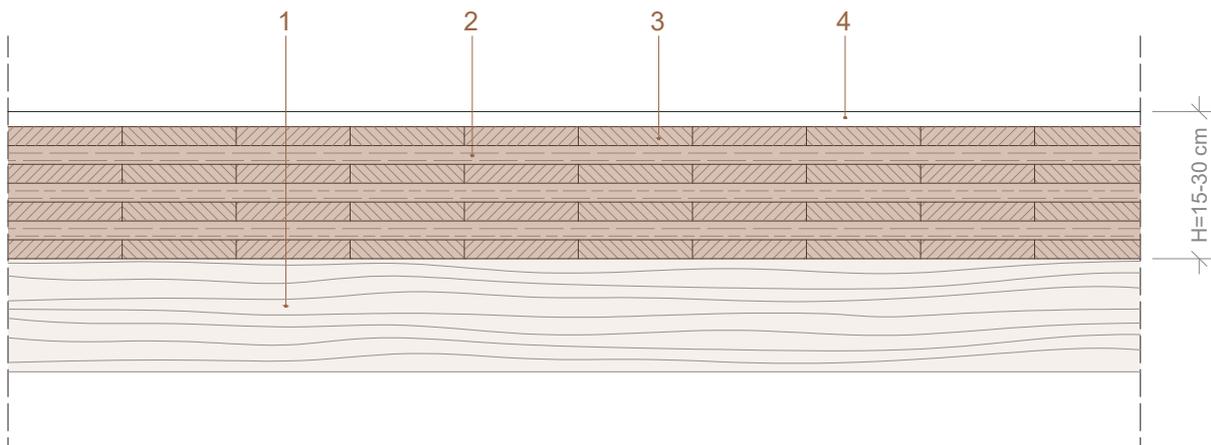


Fig.21. Sección tipo de forjado con panel CLT

1. Viga de madera
2. Tablazón de madera
3. Tablazón de madera (sentido perpendicular a los contiguos)
4. Pavimento (opcional)

e) Estudio económico

e.1) Vigüeta de sección rectangular/cuadrada

El coste de este forjado varía en función de la dimensión de la vigüeta, el tipo de madera y el entrevigado. Tomaremos una medidas generales de sección de vigüetas de 10x15 cm y un entrevigado de tabla de pino (usando un tablero de OSB, abarataría un poco más el coste).

- Madera aserrada: 122,07€

- Madera laminada: 135,72€

Ud	Resumen	Precio unitario según la luz aprox. €/m ²
m ²	Forjado vigüeta de madera 100x150 mm tabla pino	122 - 136
<p>Forjado unidireccional, realizado con vigüetas de madera laminada de 100x150 cm, intereje 60 cm, entrevigado tabla de pino, mallazo electrosoldado de 15x15, y capa de compresión de hormigón HA-25/F/12/XC1, de 5 cm de espesor, incluso curado, vibrado y desencofrado, según SE-M del CTE.</p>		

Fuente: Base de precios IVE 2023 (Valencia)

e.2) Panel nervado (alveolar)

Ud	Resumen	Precio unitario según la luz aprox. €/m ²
m ²	Forjado CLT alveolar acabado visto	272
<p>Forjado estructural de superficie superior 6 m² compuesto por paneles alveolares de madera contralaminada (CLT) de procedencia nacional, de 180 mm de espesor y calidad visual visto, con tratamiento superficial hidrofugante y nivel de mecanización básico, formado por tablas encoladas con adhesivo sin urea-formaldehído, con capas sucesivas perpendiculares entre sí y disposición transversal de las tablas en las capas exteriores, con estructura interior de largueros de madera formando alveolos rellenos con aislante térmico (lana de roca, lana de oveja o fibra de madera), montado en posición horizontal, incluidos anclajes y uniones de montaje.</p>		

Fuente: Base de precios IVE 2023 (Valencia)

e.3) Panel CLT

Escogemos unos valores habituales, estimando un canto de 18 cm, una superficie superior a los 6 m², de una madera de procedencia nacional, acabado visto (lo que incrementa el coste) y un nivel de mecanización básico.

Ud	Resumen	Precio unitario según la luz aprox. €/m ²
m ²	Forjado CLT macizo acabado visto	244
<p>Forjado estructural de superficie superior 6 m² compuesto por paneles macizos de madera contralaminada (CLT) de procedencia nacional, de 180 mm de espesor y calidad visual visto, con tratamiento superficial hidrofugante y nivel de mecanización básico, formado por tablas encoladas con adhesivo sin urea-formaldehído, con capas sucesivas perpendiculares entre sí y disposición transversal de las tablas en las capas exteriores, montado en posición horizontal, incluido anclajes y uniones de montaje.</p>		

Fuente: Base de precios IVE 2023 (Valencia)

2.1.6. Forjado de chapa colaborante

	Luz L (m)	Canto H (cm)	Intereje I (cm)
Valores posibles	< 10	10 - 20	20 - 50
Valores recomendables	6 - 8	12 - 16	20 - 30

a) Características generales.

Este tipo de forjados aparecieron por la necesidad de una rapidez de ejecución o por la imposibilidad de apuntalamiento por la parte inferior.

Inicialmente, los forjados se utilizaban como encofrado perdido, posteriormente se intentó usar forjados exclusivamente de chapa galvanizada, quedando el hormigón únicamente como capa de compresión. Sin embargo, los resultados fueron antieconómicos. Finalmente se obtuvo un óptimo aprovechamiento del material con los forjados colaborantes, donde la chapa colabora con el hormigón absorbiendo ella misma las tracciones inferiores.

La colaboración es posible gracias a los resaltes u oquedades de la chapa que conectan el hormigón con el acero. Estos resaltes se llaman indentaciones y están dispuestas a lo largo de toda la chapa. (Urbán Brotons, P.)

Este tipo de forjado es mixto y está compuesto por hormigón y acero. El acero lo constituye una chapa nervada de acero conformado en frío, que tiene unos espesores que varía entre los 0.75 - 1.25 mm.

Esta chapa actúa de encofrado, donde es vertido el hormigón. Solo puede usarse con vigas metálicas y dicha chapa, normalmente se encuentra apoyada sobre las vigas. En la parte superior, se coloca un mallazo para evitar fisuraciones durante el fraguado. La conexión entre la chapa y la viga metálica se realiza mediante conectores, pernos anclados a las alas superiores de la viga.

Se trata de un forjado ligero, que permite cantos pequeños y cubre luces grandes.

b) Ejecución. Puesta en obra.

1. Colocación de las chapas:

Una vez finalizada la estructura, se colocan las chapas sobre las vigas, comenzando por

una de las esquinas del edificio, según los planos de proyecto. Una vez colocadas en su posición, se fijan mediante los conectores a la viga. Las chapas se solapan entre ellas, para evitar las pérdidas de lechada.

2. Remate perimetral:

Se colocan los límites perimetrales de la chapa, mediante una pieza angular de chapa de acero galvanizado. Esta pieza puede tener un pequeño tirante cuya finalidad es la de dar rigidez a la parte superior.

3. Armado:

Se coloca la armadura del forjado, que está compuesta por un mallazo relativamente ligero (mallazo antifisuración). Serán necesarias también armaduras de negativos, de apoyos intermedios, de adherencia y de momentos positivos.

4. Hormigonado:

Previo hormigonado, ha de comprobarse que la chapa está limpia y libre de suciedad. Se vierte el hormigón, mediante bombeo (es lo más habitual) y se vibra el hormigón, prestando detalle sobre todo en las zonas donde se encuentran los pernos conectores.

5. Curado del hormigón:

Como parte del proceso, pese a que no hay que realizar ninguna acción, se produce el curado del hormigón, el fraguado del mismo según la normativa vigente.

c) Ventajas e inconvenientes.

- Ventajas:

Los tiempos de ejecución. Al tratarse de una estructura metálica y que no es necesario el apuntalamiento, los tiempos de ejecución se reducen, consiguiendo unos plazos más cortos. Por lo tanto, cuando por necesidades de la propiedad o de cualquier circunstancia que requiera una ejecución rápida, este forjado puede responder bien a esa necesidad.

Los cantos de forjado son menores que los tipos de forjado comentados con anterioridad. Por lo tanto, el peso también es menor, al igual que los costes. Esto también se traduce en que las dimensiones de las zapatas serán menores y, por lo tanto, el coste de la cimentación

también será menor. En el caso de restricciones por planeamiento, este tipo de forjado también puede beneficiar el diseño, al poder aumentar la altura libre de cada planta.

En cuanto a su ejecución, como se trata de vigas metálicas y la chapa se encuentra apoyada, existe la posibilidad de avanzar con el montaje de la estructura en edificios altos, sin tener que ir hormigonando. Además, la chapa de por es resistente desde el primer momento que se instala (autoportante), por lo que el tránsito por ella o el acopio de material lo resiste.

Las chapas son ligeras y manejables, además de fáciles de transportar. Otra ventaja es que las nervaduras permiten realizar el paso de instalaciones por ellas, reduciendo el uso de falsos techos.

- Inconvenientes:

El gran inconveniente que presenta este forjado es su resistencia al fuego, ya que la armadura está expuesta, quedando una gran superficie en contacto con el posible fuego.

Otro inconveniente, y como comentábamos con el forjado de viguetas metálicas, es la resistencia frente al fuego. Al ser estructuras metálicas, su resistencia es inferior, por lo que tienen que ser protegidas. Esto genera un coste extra por los procesos de ignifugación.

También, para la ejecución de este tipo de forjados, es necesario personal cualificado que sepa ejecutarlo y se debe cuidar mucho las condiciones de limpieza. También son necesarios planos de montaje.

d) Detalle constructivo

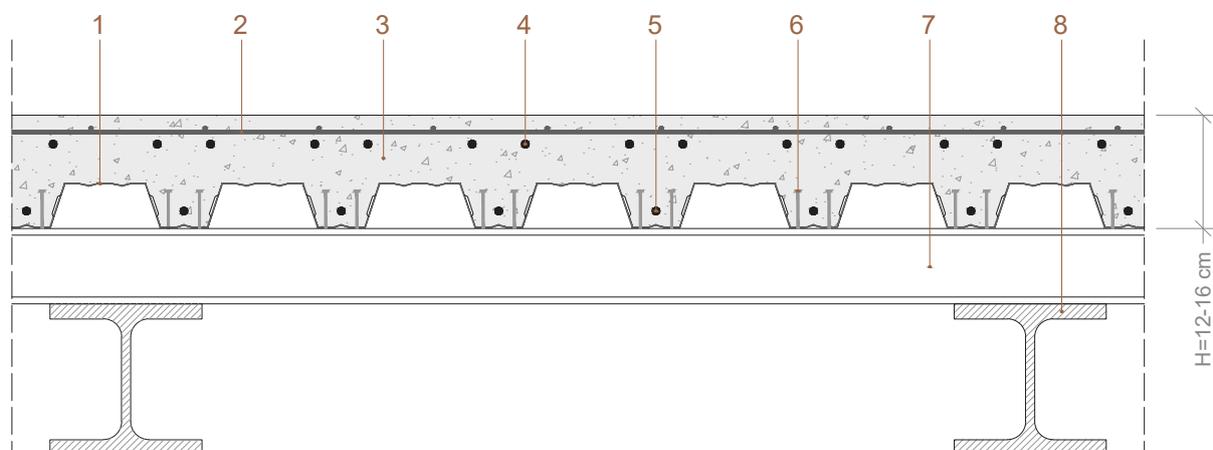


Fig.22. Sección tipo de forjado de chapa colaborante

1. Chapa colaborante
2. Armadura de reparto
3. Capa de compresión
4. Armadura de negativos
5. Armadura adicional
6. Conectores
8. Viga metálica

e) Estudio económico

Escogemos unos valores habituales, estimando una resistencia del hormigón de 25 N/mm², su exposición XC2, un espesor de chapa galvanizada de 1 mm y un canto de 20 cm.

Ud	Resumen	Precio unitario según la luz aprox. €/m ²
m ²	Forjado unidireccional de chapa colaborante 1.00 mm galv. secc. 15 cm	103
<p>Forjado de chapa colaborante galvanizada de 1.00 mm de espesor, de 15 cm de canto, con hormigón de resistencia 25 N/mm², consistencia plástica, tamaño máximo del árido 12 mm y clase de exposición con corrosión inducida por carbonatación en entorno húmedo o raramente seco, mallazo ME 15x30 de diámetro 5-5mm de acero B500T, con una media de 10 conectores de 50 mm de altura por m² de forjado, apoyos extremos de la chapa de 50 mm, apuntalamiento de la chapa con apoyos de 80 mm, incluso lavado y desengrase de la chapa montada, vibrado y curado del hormigón, según Código Estructural.</p>		

Fuente: Base de precios IVE 2023 (Valencia)

2.1.7. Forjado de placas alveolares

	Luz L (m)	Canto H (cm)	Intereje I (cm)
Valores posibles	< 18	20 - 60	120
Valores recomendables	7 - 13	25 - 40	120

Fuente: David Gallardo Llopis

a) Características generales.

Este tipo de forjado, como su nombre indica, está compuesto por placas alveolares, elementos prefabricados de hormigón armado aligerados con alveolos, altamente industrializados tanto en su fabricación como en su ejecución. Estas piezas son de grandes dimensiones y suelen ir apoyadas. Su anchura varía entre 0.80 - 1.20 m o 2.40 m, coincidiendo con el ancho estándar de los camiones, lo que facilita el aprovechamiento total de la caja del vehículo.

El aligeramiento de estas piezas se logra mediante agujeros longitudinales que atraviesan todo el espesor del elemento, cuyo canto estándar oscila entre los 12 y 50 cm. Estas perforaciones suelen servir para el paso de instalaciones de agua, calefacción o electricidad.

En cuanto a la presencia de losa superior en las placas alveolares, esta elección depende de la distribución de sobrecargas. Cuando las cargas son uniformemente repartidas, se opta por no tener losa superior; en cambio, en casos con luces grandes, cargas no uniformes, que requieren una distribución transversal entre placas o por viento y sismo, se ejecuta una losa superior. En este último caso, se coloca una capa de compresión con un espesor que puede variar entre los 5-15 cm, y se refuerza con una malla de acero corrugado.

En algunos casos, se emplean soluciones con continuidad por razones económicas, lo que implica la presencia de armaduras y el relleno de los alveolos en la zona de momentos negativos.

En este tipo de forjados, las juntas existentes entre placas es un punto clave, ya que cuando se emplean sin losa superior, la junta resiste los esfuerzos cortantes necesarios para repartir las cargas no uniformes. Este tipo de forjado es muy usado cuando las cargas son muy grandes.

Es el forjado más eficaz frente a la flexión. Con vigas metálicas, se debe apoyar siempre sobre ellas, pudiéndose embeber parcialmente en su canto con chapa o angulares de apoyo adecuados. Con vigas de hormigón, estas deben ser de canto. No funcionan bien a

momentos negativos, por lo que los voladizos tienen que ser pequeños. Funcionan mejor en vanos aislados. No suelen necesitar apuntalamiento. Transporte y colocación especiales.

b) Ejecución. Puesta en obra.

1. Transporte y acopio:

Al tratarse de un elemento de grandes dimensiones, su manipulación y acopio debe realizarse con especial cuidado, evitando ante todo dañar la pieza. Estos elementos se izan con maquinaria para su colocación.

2. Colocación de las placas:

Normalmente no es necesario el apuntalamiento, aunque puede darse el caso en el que sí sea necesario. Estas placas se colocan apoyadas sobre las vigas prefabricadas de hormigón, con cuidado ya que los esfuerzos anormales pueden provocar que la placa se fisure.

3. Montaje de la armadura:

En el caso de ser necesaria la capa de compresión, se colocan las armaduras de negativos y el mallazo de reparto. A veces la armadura de negativos es insuficiente y en necesaria colocar otras armaduras en los alveolos. Para ello, se abren lo alveolos y se colocan las barras necesarios, hormigonando después.

4. Hormigonado:

Se vierte el hormigón, mediante bombeo (es lo más habitual) y se vibra el hormigón, prestando detalle sobre todo en las zonas en las que se encuentran dos placas alveolares.

5. Curado del hormigón:

Como parte del proceso, pese a que no hay que realizar ninguna acción, se produce el curado del hormigón, el fraguado del mismo según la normativa vigente.

c) Ventajas e inconvenientes.

- Ventajas:

La mayor ventaja de este sistema es que permite construcciones de grandes luces

y/o cargas, de hasta unos 20 m. Los otros sistemas que describíamos, no llegan a estas luces. Nos tendríamos que ir a los forjados bidireccionales para poder conseguirlas, siendo estos más caros.

Se trata de un sistema autoportante, por lo que no es necesario el apuntalamiento de este mientras se está ejecutando. También, una vez que las piezas están colocadas, hay una mayor seguridad para transitar por ellas.

Estas placas son prefabricadas en taller, por lo que hay cierta garantía en cuanto a calidad y resistencia de la pieza y, además, en cuanto a su instalación, son piezas grandes que se van colocando, por lo que hay un ahorro en cuanto a los costes y tiempo de mano de obra. Los residuos generados son reducidos.

También destacan por su gran resistencia frente fuego, pueden aguantar hasta 120 minutos.

Finalmente, podríamos decir que, por la configuración de la propia pieza, con cavidades alveolares, actúan bien térmicamente y acústicamente, ya que existe una cámara de aire en su interior.

- Inconvenientes:

La principal desventaja de este sistema es su carga y transporte, dado que son piezas de grandes dimensiones. Han de transportarse en camiones grandes y si la obra se ubica en centros urbanos, por ejemplo, su transporte se dificulta aún más, ya que en calles urbanas no siempre se posibilita el tránsito de grandes transportes ni el acopio de material de gran dimensión.

También hay que tener en cuenta que, para la colocación de las piezas, se necesitan grandes grúas queicen las piezas para colocarlas y en centro urbanos, no siempre esto es posible. El coste de este transporte y maquinaria es mayor. Además, el personal debe estar cualificado y especializado, por lo que el coste del personal también será superior.

d) Detalle constructivo

1. Placa alveolar de hormigón pretensado
2. Capa de compresión
3. Armadura de reparto
4. Armadura de negativos

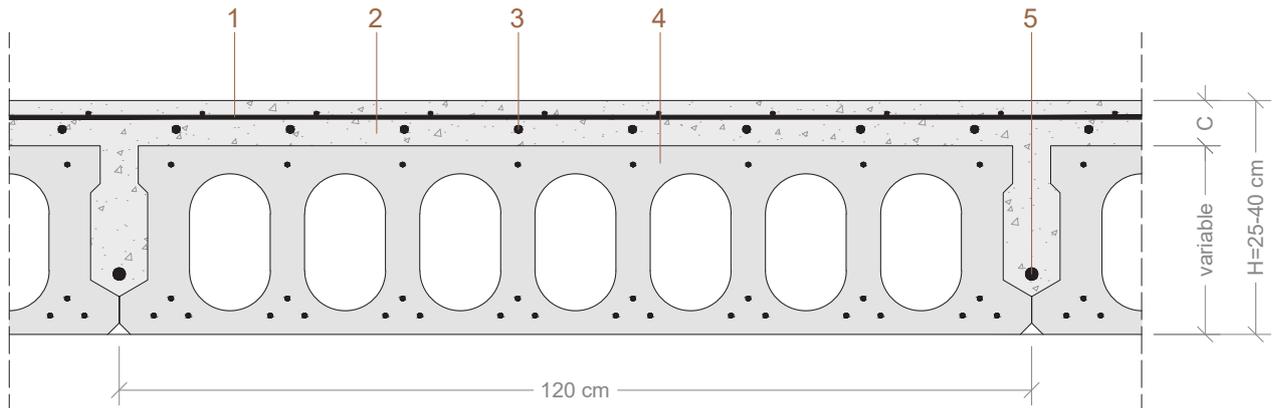


Fig.23. Sección tipo de forjado de placa alveolar

e) Estudio económico

Escogemos unos valores habituales, estimando una resistencia del hormigón de 25 N/mm², su exposición XC2, un canto de la placa de 30 cm y una capa de compresión de 8 o 10 cm. No estudiamos el coste de este forjado para luces inferiores a 6m, ya que no compensa su uso por el coste del mismo, habiendo otros tipos de forjados más adecuados para esas luces. Este forjado suele utilizarse sobre todo para luces grandes.

Teniendo una luz >6 m:

- Capa de compresión 8 cm: 109,30 €/m²
- Capa de compresión 10 cm: 124,93 €/m²

Ud	Resumen	Precio unitario según la luz aprox. €/m ²
m ²	Forjado unidireccional de placas alveolares	109 - 125
<p>Forjado unidireccional horizontal ejecutado con placas alveolares de 15 - 35 cm de canto y una capa de compresión de 8/10 cm, hormigonado mediante bomba con hormigón HA-25/B/20/XC2 sobre un mallazo ME 15x30 diámetro 5-5 B500T y una cuantía media de 5.85 - 6.85 kg/m² de acero B500S en vigas planas, zunchos y negativos, incluido el apuntalado; el vertido, vibrado y curado del hormigón, y el desapuntalado, según Código Estructural.</p>		

Fuente: Base de precios IVE 2023 (Valencia)

2.2. FORJADOS BIDIRECCIONALES

Son los forjados que flexionan en dos direcciones, transmitiendo las cargas a las vigas en dos direcciones, si nos encontramos en el caso de placas aligeradas, o bien, se transmiten las cargas directamente a los pilares, en el caso de forjados reticulares.

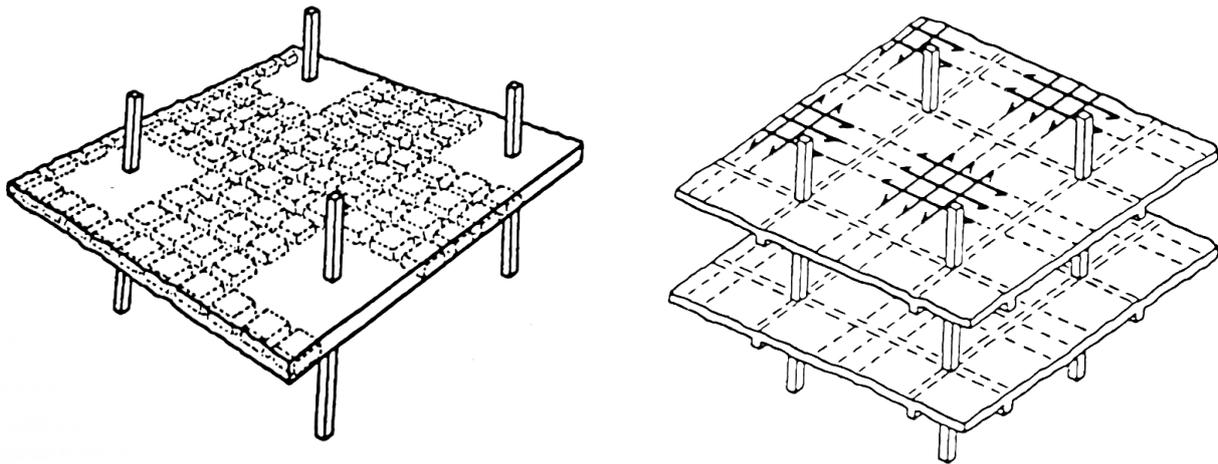


Fig.24. Forjado bidireccional

Por lo tanto, esta estructura permite que sus flexiones puedan descomponerse y analizadas en las dos direcciones de armado. En conjunto con los soportes verticales, forma un sistema estructural que soporta muy bien las acciones verticales repartidas y puntuales y, las horizontales también, aunque en menos proporción.

Estos tipos de forjado no suelen tener vigas y se les conoce como “forjados planos”. Las variables que definen sus características son:

- El canto de la placa.
- La altura del casetón recuperable o perdido.
- Espesor de los nervios y separación entre los mismos (interjeje)
- Espesor de la capa de compresión.

En cuanto a la historia de este tipo de forjado, apareció en consecuencia del gran desarrollo del hormigón armado. Este sistema comenzó a imponerse sobre otros sistemas estructurales que se utilizaba en ese momento. Inicialmente su desarrollo la losa maciza y el forjado reticular que conocemos actualmente, deriva de ésta.

Dentro de esta tipología, existen dos tipos que pueden diferenciarse de forma clara, los de bloques aligerantes perdidos y recuperables, que describiremos más adelante. (Regalado Tesoro, F.).

2.2.1. Forjado reticular

	Luz L (m)	Canto H (cm)	Intereje I (cm)
Valores posibles	< 14	20 - 60	60 - 100
Valores recomendables	6 - 12	30 - 40	70 - 80

Fuente: David Gallardo Llopis

a) Características generales.

Los forjados reticulares están constituidos por placas reticulares y tienen nervios de hormigón armado dispuestos en dos direcciones perpendiculares entre sí y, generalmente, no poseen vigas para transmitir las cargas a los pilares, sino que es la placa maciza (ábaco) la que transmite las cargas a los soportes.

Estos forjados generalmente están compuestos por los siguientes elementos:

- Nervios:

Estos nervios están ejecutados in situ de hormigón armado y trabajan a flexión, como las vigas, teniendo momentos negativos en las cabezas de las barras y momentos positivo en la zona central.

- Casetones:

El aligeramiento del forjado, pueden ser recuperables permanentes.

- Ábacos/capiteles:

Es la zona maciza de la placa que se encuentra en la cabeza de los pilares y que absorbe las tensiones y los esfuerzos que se generan alrededor de los pilares. En el caso de tener grandes luces, el ábaco puede tener una mayor dimensión y ser visible por la parte inferior, que recibe el nombre de capitel (se usa en casos especiales).

- Zunchos:

Elementos de atado de 25-30 cm, que se encuentran embebidas en el forjado, en el perímetro y en los huecos del forjado. Estos son los únicos elementos que van estribados, con cercos de 6-8 mm de diámetro. Son elementos que tienen una importancia fundamental, ya que atan perimetralmente, soportan directamente el cerramiento, ayudan a resistir el punzonamiento de la placa en los pilares de borde, redistribuyen los esfuerzos anormales y en zona sísmica, este elementos hace de cosido perimetral de toda la estructura.

- Interrejes:

Suelen tener unos 80 cm y como máximo no se recomienda superar el metro. Los nervios suelen ser de 10 cm, ya que presentan un buen comportamiento a flexión y cortante y, como mínimo tendrán 7 cm. Por lo tanto, se obtiene una cuadrícula de 70x70 donde se colocan los bloques aligerantes (recuperables o perdidos). (Urbán Brotons, P.)

Tipos de forjado reticular:

1) Bloque aligerante perdido:

Estos bloques durante su ejecución no se recuperan, sino que forman parte del propio forjado. Suelen ser piezas de tres, cuatro y seis de hormigón de árido fino. Estos bloques también ser de poliestireno expandido, con lo que se consigue un aligeramiento del forjado y una mejora térmica.

2) Bloque aligerante recuperable:

En este caso se colocan unos casetones que pueden ser de varios materiales durante la ejecución del forjado que, después del fraguado del hormigón se retiran, quedando el hueco del bloque por la parte inferior del forjado. Este tipo de forjado es utilizado para grandes luces y grandes sobrecargas, sobre todo en aparcamientos, locales industriales, etc.

Los forjados de casetones recuperables son más económicos que los de bloque perdido, a igualdad de cargas a soportar. Otra ventaja del de casetones recuperables, es que los nervios tienen mayor sección, por la forma de los casetones recuperables (piezas abovedadas), por lo que su forma estructural es netamente superior.

b) Ejecución. Puesta en obra.

1. Apuntalamiento:

Se realiza el apuntalamiento del forjado, mediante puntales metálicos y tableros de madera.

2. Replanteo:

Se realiza el replanteo de vigas, nervios y ábacos de cada pilar, así como los huecos de los pasos de instalaciones o escaleras.

3. Colocación de los bloques:

Una vez se ha realizado el replanteo de la estructura, se colocan los bloques formando las calles. Los bloques perdidos (casetones de polipropileno), una vez fraguado el hormigón, se retiran, quedándose el hueco visto. Sin embargo, los bloques perdidos, se quedan en el forjado una vez fraguado éste.

4. Colocación de la armadura:

Se coloca la armadura, en los nervios, los negativos, el mallazo de reparto y teniendo especial cuidado en la zona de los ábacos.

5. Hormigonado:

Se vierte el hormigón, mediante bombeo (es lo más habitual) y se vibra el hormigón, prestando detalle sobre todo en las zonas en las que se encuentran los ábacos.

6. Curado del hormigón:

Como parte del proceso, pese a que no hay que realizar ninguna acción, se produce el curado del hormigón, el fraguado del mismo según la normativa vigente.

7. Desapuntalado:

Finalmente, se realiza el desapuntalado del forjado, desde el centro de los vanos hacia los extremos.

c) **Ventajas e inconvenientes.**

- Ventajas:

Este tipo de forjados permiten unas luces muy grandes, con respecto a los forjados unidireccionales. Los casetones recuperables disponibles en el mercado tienen un espesor máximo de 40 cm, permitiendo alcanzar luces de hasta 12 m. Por otro lado, los bloques perdidos, con una altura máxima de 30 cm, posibilitan luces de entre 9 y 10 m, dependiendo siempre de las cargas de uso y la disposición de los pilares.

La distribución de pilares es más flexible, permitiendo que el diseño del edificio no tenga una trama tan rígida, incluyendo huecos, ascensores, rampas, shunts, etc. Además, el desplazamiento de divisiones interiores puede realizarse a voluntad, sin temor a roturas o fisuras.

Estos forjados también ofrecen un mejor aislamiento acústico, gracias a su mayor peso y compacidad, así como un aislamiento térmico mejorado, especialmente en el caso de los bloques perdidos.

- Inconvenientes:

Uno de los principales inconvenientes de este tipo de forjado el punzonamiento, ya que se producen bruscamente sin previo aviso, teniendo una consecuencias graves. Por lo tanto, es crucial evitar espesores reducidos en los cantos, garantizar que el tamaño de los pilares sea adecuado y evitar la presencia de huecos para instalaciones en áreas cercanas a los pilares.

Se tiene que tener en cuenta el replanteo de los casetones, puesto que en el mercado se venden casetones enteros o medios, por lo que ha de tenerse en cuenta.

Además, durante la ejecución, es necesario encofrar toda la planta, y dado que estos forjados son estructuras más pesadas, se requiere un dimensionamiento de pilares y cimentación entre un 5 % y un 10 % mayor, lo que implica un aumento en los costes y en la superficie de encofrado necesaria.

Es esencial llevar a cabo un estudio exhaustivo de las instalaciones verticales previo a la construcción, ya que la creación de huecos para las mismas debe planificarse con antelación y no puede ser abordada de manera tan sencilla como en el caso de los forjados unidireccionales, donde se rompen manualmente las bovedillas.

d) Detalle constructivo

d.1) Forjado reticular con bloque aligerante recuperable

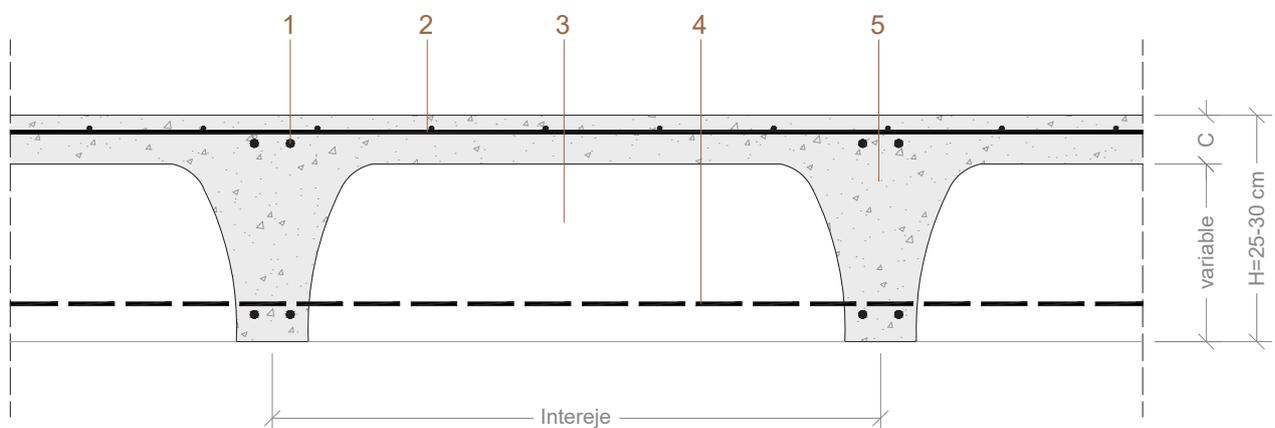


Fig.25. Sección tipo de forjado reticular con bloque aligerante recuperable

1. Armadura superior
2. Armadura de reparto
3. Bloque aligerante recuperable
4. Armadura inferior
5. Nervio

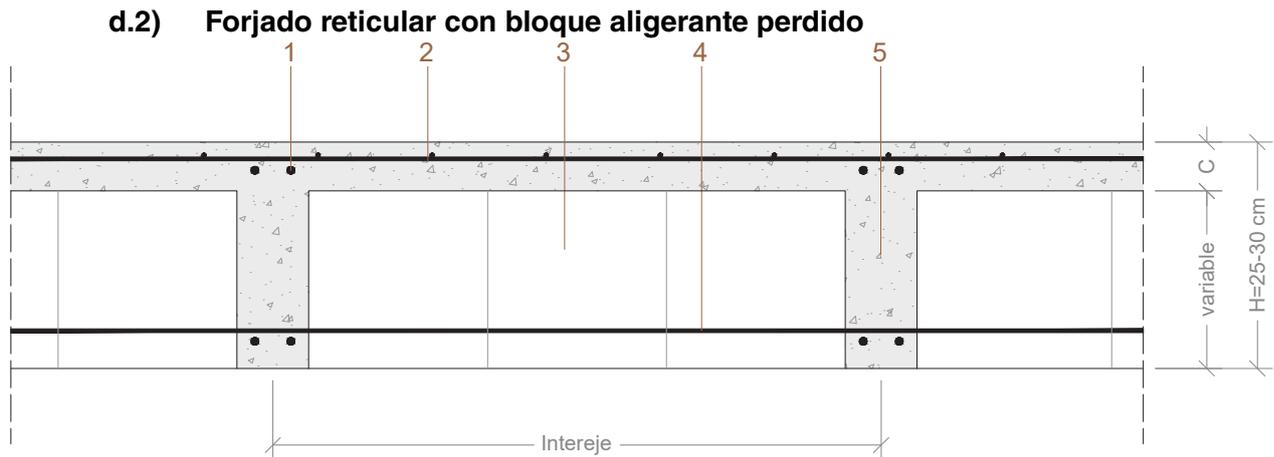


Fig.26. Sección tipo de forjado reticular con bloque aligerante perdido

1. Armadura superior
2. Armadura de reparto
3. Bloque aligerante perdido
4. Armadura inferior
5. Nervio

e) Estudio económico

Escogemos unos valores habituales, estimando una resistencia del hormigón de 25 N/mm², su exposición XC2, un ancho de nervio de 15 cm y un canto de la placa de 30+5 cm. No estudiamos el coste de este forjado para luces inferiores a 8 m, ya que no compensa su uso por el coste del mismo, habiendo otros tipos de forjados más adecuados para esas luces. Este forjado suele utilizarse sobre todo para luces grandes.

Teniendo una luz >8 m:

Ud	Resumen	Precio unitario según la luz aprox. €/m ²
m ²	Forjado reticular 30+5 cm con casetón recuperable	102
<p>Forjado reticular bidireccional horizontal de 30+5 cm de canto ejecutado con ancho de nervio de 15 cm e intereje de 83 cm, casetón recuperable de polipropileno inyectado, hormigonado mediante bomba con hormigón HA-25/B/20/XC2 sobre un mallazo ME 20x20 diámetro 5-5 B500T y una cuantía de 31 kg/m² de acero B500S en vigas planas, zunchos y negativos, incluido el encofrado, el vertido, vibrado y curado del hormigón, y desencofrado, según Código Estructural.</p>		
m ²	Forjado reticular 30+5 cm con casetón perdido de hormigón	108
<p>Forjado reticular bidireccional horizontal de 30+5 cm de canto ejecutado con ancho de nervio de 15 cm e intereje de 75 cm, casetón perdido de hormigón HA-25/B/20/XC2 sobre un mallazo ME 20x20 diámetro 5-5 B500T y una cuantía de 31 kg/m² de acero B500S en vigas planas, zunchos y negativos, incluido el encofrado, el vertido, vibrado y curado del hormigón, y desencofrado, según Código Estructural.</p>		

Fuente: Base de precios IVE 2023 (Valencia)

2.3. FORJADOS MULTIDIRECCIONALES

Son los forjados cuya trayectoria de cargas se realiza multidireccionalmente, buscando los pilares que soportan la losa. Como comentábamos en los forjados reticulares, con el desarrollo del hormigón armado, la losa maciza fue el sistema estructural precedente al reticular. Fueron técnicos y empresarios quienes confiaron en este sistema estructural y éste comenzó a imponerse en el momento.

Se dieron cuenta de que podían levantar construcciones con este nuevo material armado, que se amoldaba fácilmente a cualquier tipo de forma y que el esfuerzo invertido en este sistema era infinitamente inferior al de cualquier sistema usado en otras épocas. Es por ello, que el hormigón se convirtió en la estrella del mundo de la construcción. (Regalado Tesoro, Florentino).

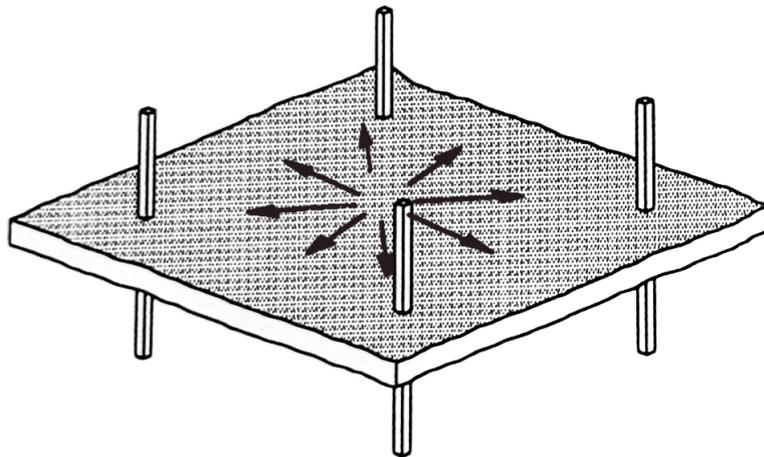


Fig.27. Forjado multidireccional. Losa maciza.

2.3.1. Losa maciza

	Luz L (m)	Canto H (cm)	Intereje I (cm)
Valores posibles	< 10	15 - 40	-
Valores recomendables	3 - 8	20 - 30	-

Fuente: David Gallardo Llopis

a) Características generales.

Este tipo de forjado fue uno de los primeros en ejecutarse en estructuras de hormigón. Sin embargo, con el tiempo, otras técnicas como los forjados unidireccionales ganaron popularidad, relegando a este tipo de forjado a un segundo plano.

Actualmente, parece que la losa maciza vuelve a ser una de las tipologías muy utilizadas. Esto se debe, en gran parte, a que ofrece luces más amplias y una mayor flexibilidad espacial en comparación con los forjados unidireccionales. Además, los avances en la industrialización, la optimización de las armaduras y la mejora en los procesos de encofrado, cimbrado y bombeo de hormigón, han contribuido a revitalizar la competitividad de este tipo de forjado.

b) Ejecución. Puesta en obra.

1. Apuntalamiento:

Se realiza el apuntalamiento del forjado, mediante puntales metálicos y tableros de madera.

2. Colocación de la armadura:

Se coloca la armadura inferior, según los planos de estructura. Hay que tener en cuenta que pueden embutirse las instalaciones en la losa, por ello antes de colocar la armadura superior, se realizará un replanteo de las mismas y colocación de estas. Estas instalaciones deben quedar bien sujetas para evitar el desplazamiento durante el bombeo del hormigón. Finalmente, se coloca la armadura superior, con sus respectivos separadores entre armado superior e inferior.

3. Hormigonado:

Una vez colocados todos los elementos, se hormigona. Un paso que no se debe olvidar es el continuo vibrado del hormigón, para que la masa del hormigón quede sin

huecos y sin burbujas, que podría ser foco de patologías futuras.

Previamente al hormigonado, se debe comprobar que no existen objetos extraños que posteriormente pueda afectar a la calidad del forjado.

4. Curado del hormigón:

Como parte del proceso, pese a que no hay que realizar ninguna acción, se produce el curado del hormigón, el fraguado del mismo según la normativa vigente.

5. Desapuntalado:

Finalmente, se realiza el desapuntalado del forjado, desde el centro de los vanos hacia los extremos.

c) **Ventajas e inconvenientes.**

- Ventajas:

Una de las principales ventajas, al igual que ocurre con los forjados bidireccionales, es que permite unas mayores luces y flexibilidad en el diseño. También se permiten geometría más complejas y fuera de lo común, algo que los forjados unidireccionales no permiten.

Otras de las ventajas de las losas, es su transmisión de cargas. Al ser un elemento compuesto por una retícula de armaduras en dos direcciones, superior e inferior, la transmisión de las cargas se realiza de una forma más directa y, por tanto, mejor. Además, la losa, al tener una cantidad infinita de nervios, ofrece una mayor hiperestaticidad y las cargas consiguen encontrar el camino hacia los pilares de una forma más directa.

- Inconvenientes:

El uso de hormigón es grande, por lo que el peso propio del forjado, también lo es. Esto provoca que el dimensionado de los pilares, así como el de la cimentación, tenga que ser mayor, con respecto a los otros sistemas.

Al necesitar mayor cantidad de hormigón, esto quiere decir que la huella de carbono es mayor, por lo que no es uno de los forjados más sostenibles del mercado. Además, se genera una mayor cantidad de residuos.

Otro inconveniente de este sistema es su coste, ya que la cantidad de hormigón es grande y la cantidad de acero necesario, también lo es.

d) Detalle constructivo

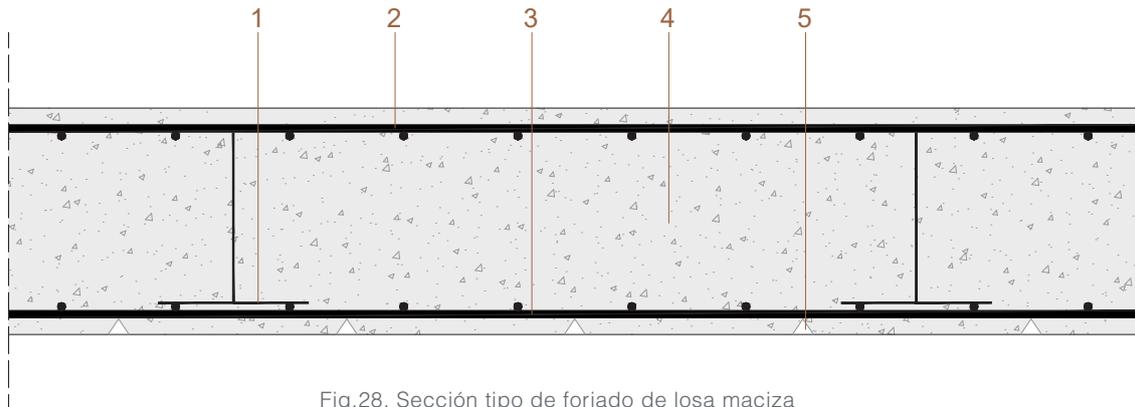


Fig. 28. Sección tipo de forjado de losa maciza

- 1. Separador
- 2. Armadura superior
- 3. Armadura inferior
- 4. Hormigón
- 5. Separadores

e) Estudio económico

Escogemos unos valores habituales, estimando una resistencia del hormigón de 30 N/mm², su exposición XC2 y un canto de la placa de 35 cm. No estudiamos el coste de este forjado para luces inferiores a 7 m, ya que no compensa su uso por el coste del mismo, habiendo otros tipos de forjados más adecuados para esas luces. Este forjado suele utilizarse sobre todo para luces grandes.

Teniendo una luz >6 m:

Ud	Resumen	Precio unitario según la luz aprox. €/m ²		
		6 - 8 m	8 - 10 m	> 10 m
m ²	Forjado losa maciza de 35 cm	68 - 82	76 - 90	195

Forjado bidireccional horizontal de losa maciza con vigas embebidas, de 35 cm de canto, hormigonado mediante bomba con hormigón HA-25/B/20/XC2 con una cuantía media de 82 kg/m² de acero B500S en refuerzos superiores e inferiores, crucetas, solapes, elementos de montaje, cercos y armadura de vigas y zunchos, incluido el encofrado; el vertido, vibrado y curado del hormigón, y el desencofrado, según Código Estructural.

2.3.2. Forjado de losa aligerada in situ

	Luz L (m)	Canto H (cm)	Intereje I (cm)
Valores posibles	< 22	40 - 120	50 - 200
Valores recomendables	12 - 18	50 - 80	60 - 120

a) Características generales.

Es un tipo de forjado multidireccional, cuya distribución de cargas se realiza en todas direcciones hasta encontrar los apoyos. Con este forjado pueden conseguirse grandes luces y por lo que destaca es por el sistema de aligeramiento. Se utilizan unos cuerpos de plástico vacíos, una especie de “bolas” o globos”, que se quedan embutidos dentro del forjado, aligerándolo.

Además, estos elementos pueden estar fabricados con materiales reciclados de origen nacional, lo que los hace más sostenibles (dependiendo de la casa comercial). A cada lado de cada cuerpo, se distribuye el armado, tanto inferior como superior quedan completamente encapsulados dentro de la losa este cuerpo. Su colocación en obra es sumamente sencillo, ya que el peso de estos elementos es muy bajo.

Se podría decir que este sistema constructivo es una evolución de la ya comentada losa maciza, ya que el sistema es similar, cuya diferencia radica en el aligeramiento de la misma. Se trata de un sistema constructivo bastante reciente que permite luces de más de 15 m, destacando casas comerciales como cuerpos huecos y su “Método CHE”.

El “Método CHE” es un sistema especializado desarrollado por una empresa valenciana que está ganando popularidad gracias a sus ventajas. Se comercializa como “Cuerpos Huecos Estructurales”. Actualmente, existen tres modelos disponibles en el mercado que permiten aligerar losas con espesores que van desde los 25 cm hasta los 40 cm, dependiendo de las solicitudes, los recubrimientos y el armado requerido.

Otras empresas, también muy conocidas que utilizan este sistema son Bubbledeck o Prenova, cuya esencia es la misma. En el caso de bubbledeck y Prenova, son sistemas muy similares al de “CHE”, diferenciándose en la constitución de las esferas aligerantes, entre otras características técnicas, pero en términos generales el sistema estructural es el mismo.

También hemos podido comprobar que, al tratarse de un sistema relativamente novedoso, estas empresas te suelen brindar un asesoramiento técnico, en cuanto al desarrollo del cálculo estructural y detalles constructivos.

b) Ejecución. Puesta en obra.

1. Apuntalamiento:

Se realiza el apuntalamiento del forjado, mediante puntales metálicos y tableros de madera. Han de dejarse colocadas unas bridas, que sobresalgan del entablillado de madera de forma que, pueda atarse la armadura y que estos cuerpos queden bien confinados.

2. Colocación de la armadura:

Se coloca la armadura inferior, según los planos de estructura. Hay que tener en cuenta que pueden embutirse las instalaciones en la losa, por ello antes de colocar la armadura superior, se realizará un replanteo de las mismas y colocación de estas. Estas instalaciones deben quedar bien sujetas para evitar el desplazamiento durante el bombeo del hormigón.

Posteriormente, se colocan estos cuerpos que, por su ligereza y forma, son fáciles de mover y colocar. Su ejecución es rápida, ya que no necesitan elementos especiales ni pasos concretos. Estos cuerpos tienen que quedar bien confinados entre las armaduras, por lo que la armadura inferior se sujeta a las bridas que se dejan durante el encofrado, se colocan las "bolas" y, finalmente, se coloca la armadura superior, con unos ganchos que sujetan la armadura inferior con la superior.

3. Hormigonado:

Una vez colocados todos los elementos, se hormigona. Un paso que no se debe olvidar es el continuo vibrado del hormigón, para que la masa del hormigón quede sin huecos y sin burbujas, que podría ser foco de patologías futuras.

Se tiene que hormigonar en dos tandas, siempre "fresco sobre fresco", para evitar una junta seca entre las dos tandas de hormigonado. Previamente al hormigonado, se debe comprobar que no existen objetos extraños que posteriormente pueda afectar a la calidad del forjado.

4. Curado del hormigón:

Como parte del proceso, pese a que no hay que realizar ninguna acción, se produce el curado del hormigón, el fraguado del mismo según la normativa vigente.

5. Desapuntalamiento:

Finalmente, se realiza el desapuntalamiento del forjado, desde el centro de los vanos hacia los extremos.

c) **Ventajas e inconvenientes.**

- Ventajas:

Se podría decir que una de las mayores virtudes de este sistema es que frente a las losas macizas, el consumo de hormigón, es inferior. Se utiliza un 30% menos de hormigón y su parte proporcional en acero. Por lo tanto, se trata de un sistema más sostenible. Además, los elementos aligerantes de plástico están fabricados exclusivamente con materiales reciclados, por lo que se optimiza el consumo de recursos naturales.

Al tener un menos uso de hormigón y de armado, el peso propio también se reduce. Esto significa que, a menor peso propio de forjados, el dimensionamiento de las zapatas y pilares, por ejemplo, será menos también.

Las luces que se pueden conseguir con este sistema también son grandes, por lo que permite una distribución espacial con una flexibilidad en la disposición de los apoyos. También mejora el comportamiento a sismo ya que la reducción de la masa de la losa es considerable y tiene un doble armado bidireccional continuo.

Los costes de cimbrado son inferiores en relación a otros sistemas.

Finalmente, podríamos decir que su ejecución también es rápida, puesto que los elementos ya están fabricados y en obra, solo han de colocarse según planos de estructura. Tampoco son necesarios equipos como grúas o maquinaria especial para mover estos elementos.

- Inconvenientes:

Al tratarse un sistema específico, es necesario también un cálculo de la estructura más especializado. Su cálculo no está tan estandarizado como pasa con otros sistemas y los programas informáticos usados para su cálculo, este sistema necesita un cálculo más especializado.

Otro de los inconvenientes, es que al tratarse de “bolas” de plástico (con aire en su interior), cuando se realiza el hormigonado puede haber la posibilidad de que estos elementos “floten”, por lo que es necesario su correcto atado y confinamiento entre las armaduras, para evitar movimientos indeseados. Este atado se realiza mediante bridas y unos ganchos que unen la parrilla inferior y superior.

d) Detalle constructivo

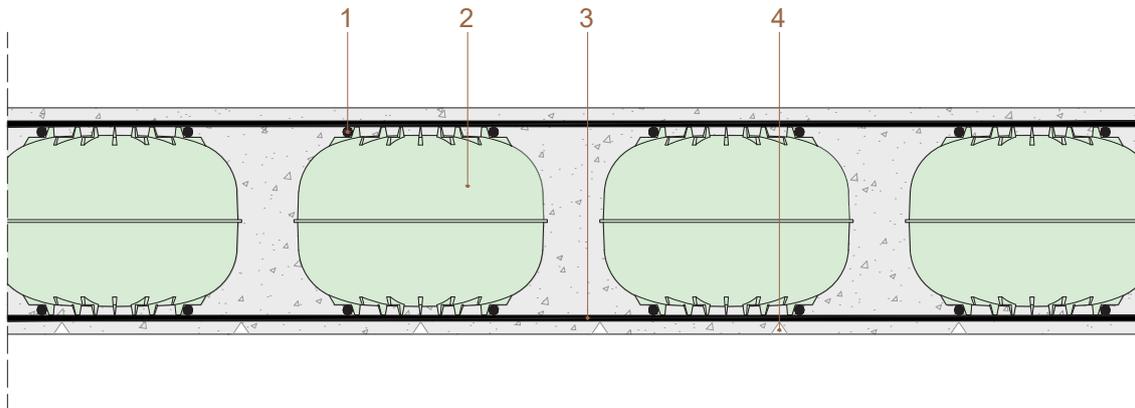


Fig.29. Sección tipo de forjado de losa aligerada in situ (CHE)

- 1. Armadura superior
- 2. Cuerpos aligerantes
- 3. Armadura inferior
- 4. Separadores

e) Estudio económico

Escogemos unos valores habituales, estimando una resistencia del hormigón de 30 N/mm², su exposición XC2 y un canto de la placa de 30 cm. No estudiamos el coste de este forjado para luces inferiores a 7 m, ya que no compensa su uso por el coste del mismo, habiendo otros tipos de forjados más adecuados para esas luces. Este forjado suele utilizarse sobre todo para luces grandes.

Teniendo una luz >7 m:

Ud	Resumen	Precio unitario según la luz aprox. €/m ²
m ²	Forjado losa aligerada casetones plástico reciclado	109
<p>Losa horizontal de 30 cm de canto, aligerada con elementos huecos internos de plástico reciclado con separadores y centradores de armado, hormigonada mediante bomba con hormigón HA-30/B/20/XC2 con una cuantía media de 19,26 kg/m² de acero B500S en nervios, ábacos, solapes y refuerzos, incluido el encofrado; el vertido, vibrado y curado del hormigón, y el desencofrado según Código Estructural.</p>		

Fuente: Base de precios IVE 2023 (Valencia)

3. CRITERIOS DE SOSTENIBILIDAD

AGENDA 2030

La Agenda 2030 es un plan de acción global adoptado por los países miembros de las Naciones Unidas en 2015, que establece 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) para abordar los principales desafíos sociales, económicos y ambientales del mundo, como la pobreza, el cambio climático, la desigualdad y la degradación ambiental. Busca promover un desarrollo equitativo, inclusivo y sostenible en todo el mundo, mediante la movilización de recursos y la colaboración internacional, con el objetivo de mejorar la calidad de vida de las personas y proteger el planeta para las generaciones futuras.

En este TFG se reflexiona sobre la sostenibilidad y la repercusión que tiene el uso de las distintas tipologías estructurales en las personas, el planeta y en el futuro de éste. Está claro que la forma de construir con hormigón armado está extendido por todo el planeta, siendo el material de construcción predilecto. Por ello, se hace una pequeña reflexión sobre las distintas tipologías, su repercusión en el medioambiente y la relación con los ODS.



Fig.. Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)

En cuanto a los forjados unidireccionales, los de viguetas prefabricadas necesitan menos maquinaria en obra, puesto que son elementos que vienen prefabricados de taller. Estas viguetas se acopian y en el momento en el que se ejecuta el forjado, se colocan en su lugar y cuando está montado el forjado por completo, se hormigona. De los prefabricados sí que tendríamos que tener en cuenta que, el impacto en el medio ambiente se encuentra en su transporte, ya que estos elementos tienen dos recorridos. El primero, cuando se transportan los materiales a la obra para su fabricación y, después su transporte a obra.

Otra cuestión a tener en cuenta es que, al ser viguetas prefabricadas en obra, los materiales ya han sido optimizados, teniendo un mayor ahorro de materias primas y pudiendo conseguir un mayor reciclaje y gestión de residuos. Al contrario que el forjado de viguetas in situ, por ejemplo, cuyas viguetas hay que colocarlas in situ, donde se genera más cantidad de residuos que con los prefabricados.

En cuanto al consumo de materias primas, los forjados reticulares necesitan un mayor aporte de hormigón, acero y madera (para los encofrados), en este sentido se encuentran en desventaja en relación a los unidireccionales. Por ende, la cantidad de energía necesaria también es menor. Para ejecutar una losa maciza, el aporte de estas materias primas también es grande, incluso más que los forjados reticulares, ya que para la losa de hormigón es necesario un mayor aporte de hormigón y acero, por ello que este tipo de forjado sea más caro. Una buena alternativa a la losa maciza de hormigón, sería la losa aligerada, cuya necesidad de hormigón y acero es un 30% menos aprox. con respecto a la losa maciza. Además, existen casas comerciales que hacen utilizar los elementos aligerantes reciclados, por lo que es más sostenible.

En cuanto al forjado de madera, es un sistema estructural cuya materia prima es renovable y sus residuos también lo son, pudiéndose utilizar éstos para fabricar otros productos como tableros. También se ha podido comprobar que, la energía necesaria para la fabricación es inferior a la que actualmente se utiliza para estructuras de hormigón armado. y su huella de carbono también es inferior.

En mi opinión, seleccionando el sistema estructural óptimo en la fase de proyecto, podríamos mejorar el impacto que tienen las construcciones y edificaciones en el medioambiente. En concreto, en cuanto a los ODS, se podrían mejorar los siguientes objetivos:

6. Garantizar la disponibilidad y la gestión sostenible del agua y el saneamiento para todos.
7. Garantizar el acceso a energía asequible, segura, sostenible y moderna para todos.

9. Construir infraestructuras resilientes, promover la industrialización inclusiva y sostenible y fomentar la innovación.

11. Lograr que las ciudades y los asentamientos humanos sean inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles.

12. Garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles.

13. Adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos.

15. Gestionar sosteniblemente, luchar contra la desertificación, detener e invertir la degradación de las tierras y detener la pérdida de biodiversidad.

4. ANÁLISIS DE LAS DISTINTAS SOLUCIONES Y ADECUACIÓN AL ROYECTO

Después de realizar el análisis de los tipos de forjados más ejecutados actualmente, nos dispondremos a elegir el forjado óptimo para nuestro proyecto. De los 12 forjados estudiados, analizaremos 5 de ellos, ya que los otros 7 no son adecuados de partida. En resumen, la justificación es la siguiente:

- Forjado unidireccional de vigueta pretensada autorresistente: descartamos este forjado ya que, económicamente, el forjado de vigueta pretensada semirresistente es más rentable.
- Forjado de viguetas armadas: frente a otros forjados, este tipo es más costoso. Por lo que no tendría sentido elegir este tipo de forjado cuando hay otro más barato en mercado y no se gana en tiempo, por ejemplo.
- Forjado unidireccional de vigueta metálica: desestimamos este forjado simplemente por coste, es el forjado más caro frente a otras opciones. Únicamente lo podríamos analizar si el tiempo fuera un factor determinante para nuestro proyecto. Además, se trata de un forjado que se encuentra en desuso.
- Forjado de viguetas de madera: no planteamos en el proyecto una estructura de madera. Este forjado es costoso y por el propio diseño del proyecto, no se plantea dicha estructura.
- Forjado de chapa colaborante: este tipo de forjado podría encajar en el proyecto, por las luces que manejamos, pero al necesitar que la estructura sea metálica, en conjunto el presupuesto sería más caro.
- Forjado de placas alveolares: debido a la maquinaria necesaria para su ejecución y por la zona en la que se encuentra nuestro proyecto, pleno casco urbano de Ruzafa, el transporte y maquinaria elevaría demasiado el coste como para ser restable su ejecución.
- Forjado bidireccional con casetón recuperable. En precio es similar al forjado reticular con casetón perdido, pero estéticamente no nos interesa por diseño.

Los forjado que analizaremos con detenimiento serán los siguientes:

1. Forjado unidireccional con vigueta semirresistente.
2. Forjado unidireccional con vigueta in situ.
3. Forjado bidireccional con casetón perdido.
4. Forjado multidireccional de losa maciza.
5. Forjado multidireccional de losa aligerada.

4.1. FORJADO UNIDIRECCIONAL

4.1.1. Forjado con viguetas pretensadas semirresistentes

Como hemos analizado previamente, este tipo de forjado se compone de viguetas pretensadas semirresistentes, las cuales son fabricadas en taller, lo que garantiza una mayor calidad en su ejecución.

Este tipo de forjado resulta recomendable para luces que oscilen entre los 4,5 m y 6 m, y encajaría perfectamente dentro de la modulación establecida en nuestro proyecto. Sin embargo, el hecho de que se requieran luces tan cortas implica un mayor número de pilares, lo cual no resulta conveniente para la zona de acceso. Nuestra intención en el proyecto es que el bloque quede suspendido en su totalidad en la planta baja.

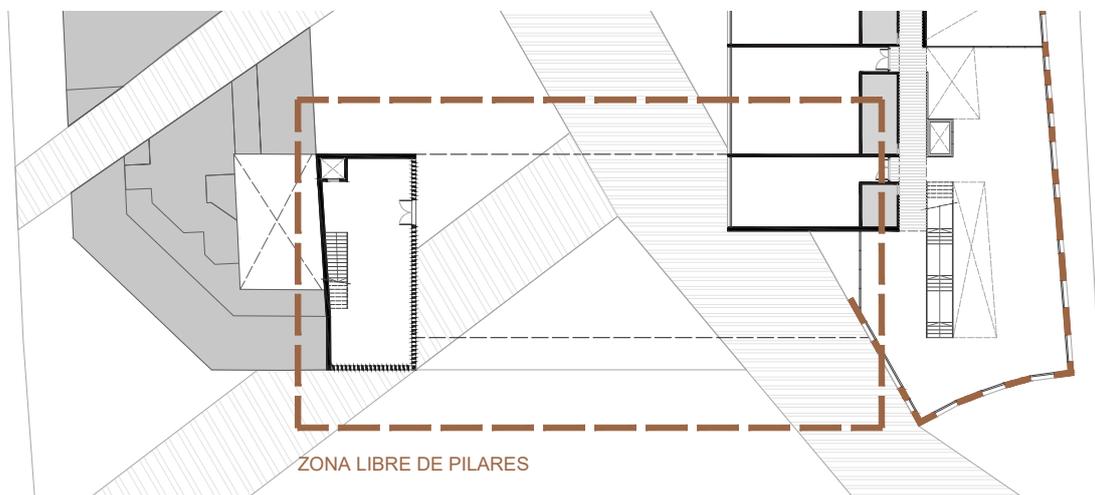


Fig.30. Detalle zona

Si resolviésemos la estructura con este tipo de forjado, nos encontraríamos con un número elevado de pilares en la zona que queremos completamente libre. Para el otro bloque, la ejecución de este tipo de forjado no supondría ningún problema. La preexistencia tendría que estudiarse con más detenimiento.

Una de las ventajas de estos forjados es el coste, ya que son más económicos que los reticulares o las losas. Pero si queremos luces grandes, este tipo de forjado no es el más recomendable, pese a que duplicando la vigueta se podríamos conseguir luces mayores. Aún así, el número de pilares necesarios sería elevado.

4.1.2. Forjado con nervios in situ

Con este tipo de forjado nos sucede algo similar que con el anterior, aunque las

lucos que conseguimos con las viguetas in situ son mayores que con las pretensadas semirresistentes, no es lo óptimo. Irnos a lucos más grandes aumentaría los cantos de forjado y el coste, por lo que no sería una solución rentable, existiendo en el mercado otros sistemas que son competentes.

Nos sucedería lo mismo que con el anterior forjado y, en la zona de acceso, tendríamos también un número elevado de pilares y no es lo que queremos por diseño.

También hemos de comentar que, este tipo de forjado al tener que ejecutarse in situ en obra, su correcta disposición y ejecución es crucial, y esto es algo que ha de tenerse en cuenta al elegir este tipo de forjado, ya que su incorrecta ejecución a posteriori podría ocasionar algunas patologías.

4.2. Forjado bidireccional.

4.2.1. Bloque aligerante perdido.

Este tipo de forjado permite una mayor libertad en cuanto a la geometría del edificio y unas lucos más grandes, entre 6 m y 12 m es lo recomendable. Sin embargo, estos forjados son más caros que los forjados unidireccionales.

Como comentábamos anteriormente, el forjado reticular de casetón recuperable lo descartamos porque pese a permitir mayores lucos, no nos interesa estéticamente.

El forjado reticular de casetones perdidos, podría ser una buena opción para resolver nuestra estructura, ya que al permitir lucos grandes, en la zona de acceso nos evita tener muchos pilares y tener un paso libre. En cuanto al coste, sí que es mayor, pero compensa en cuanto a términos de diseño, permitiendo que no tenga una distribución tan rígida.

4.3. Forjado multidireccional.

4.3.1. Losa maciza

En cuanto a la losa maciza, es uno de los tipos más utilizados, junto con los anteriores. A diferencia de los forjados unidireccionales, con la losa se consiguen lucos mayores, aunque con los reticulares se puede llegar a los 12 m de luz. La ventaja que tiene este tipo es que no trabaja con elementos independientes, sino que es uno solo, por lo que, si necesitamos una estructura muy rígida, esta puede ser una buena opción.

Sin embargo, en cuanto a costo, las losas macizas de hormigón armado son más

caras que los forjados reticulares y que los unidireccionales, por supuesto y esto puede influir en la toma de decisión del forjado.

En este proyecto, el uso de losa maciza sería una buena opción, puesto que por diseño, el concepto del proyecto es una macia entre 3 volúmenes y, mediante la losa de hormigón podrían quedar conectados completamente los 3 volúmenes. La cantidad de pilares no es excesiva, con respecto al forjado reticular y tendríamos muchos menos con respecto al forjado unidireccional. El único inconveniente es que es una tipología más cara.

4.5. Forjado multidireccional. Losa aligerada in situ

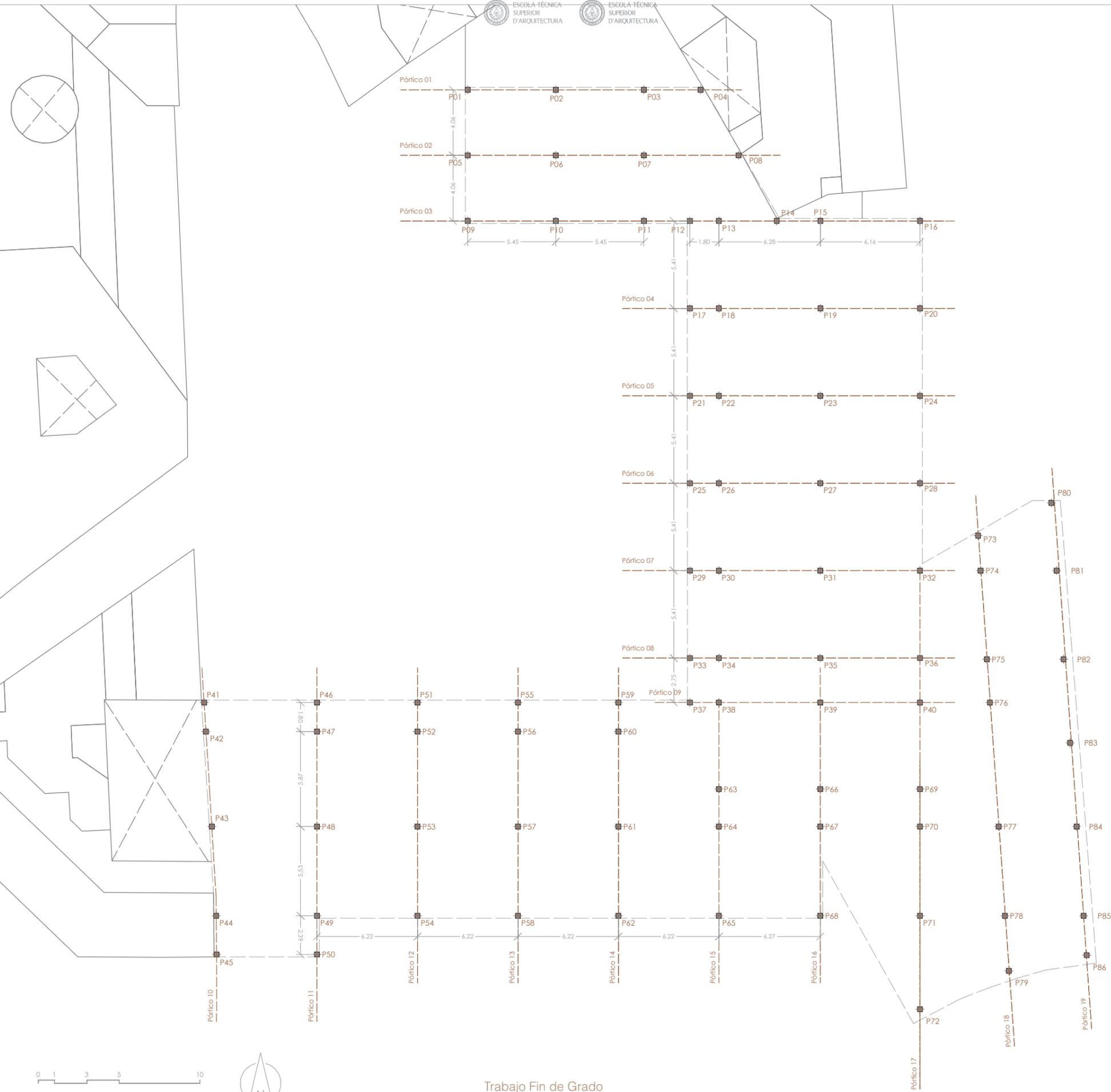
Este tipo de forjado tiene la ventaja de poder alcanzar grandes luces, entre los 12-18, por lo que si por el diseño de nuestro proyecto necesitamos grandes luces, este sería una buena opción. Es un forjado relativamente nuevo, que actualmente se está utilizando cada vez más. Al tener esos elementos aligerantes dentro de la losa, hace que el peso propio del forjado sea inferior y se utilice menos hormigón.

Para nuestro proyecto, este tipo de forjado podría ser una buena opción, ya que con estas luces que comentábamos, podemos tener un acceso libre de pilares en planta baja. Además, como se trata de una losa y tenemos 3 volúmenes, sería una buena opción para unir dichos forjados.

El inconveniente destacable sería el coste de este forjado, ya que a mayores luces, mayor canto de forjado y por lo tanto, sería la opción más cara de todas las estudiadas.

Finalmente, se ha realizado una aproximación gráfica de cómo sería la estructura, ejecutando estos cinco tipos de forjados. Se han ubicado los pilares, pórticos y el entrevigado de un forjado tipo para los casos de los unidireccionales y, en el caso del forjado reticular, se han ubicado los pilares, ábacos, casetones y nervios. Con las losas también se han ubicado los pilares y desarrollado la geometría pertinente. También se ha grafiado la planta baja del proyecto, para ver la disposición de los pilares en esta.

REPRESENTACIÓN GRÁFICA APROXIMADA DEL PROYECTO

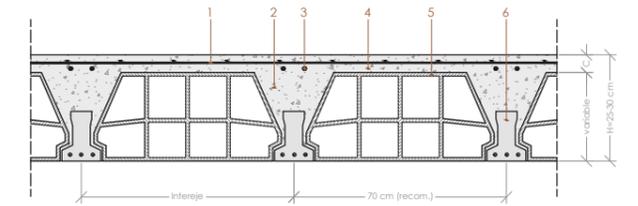


PLANTA BAJA

FORJADO UNIDIRECCIONAL

VIGUETAS PRETENSADAS SEMIRRESISTENTES

Forjado unidireccional horizontal de 25+5 cm de canto ejecutado con simple vigueta pretensada dispuesta con interje de 70 cm y bovedillas cerámicas, hormigonado mediante bomba con hormigón HA-25/B/20/XC2 sobre mallazo ME 15x30 Ø5-5 B500T y una cuantía media de, 4,65 - 11,15 kg/m² de acero B500S en vigas planas, zunchos y negativos, incluido el encofrado; el vertido y curado del hormigón, y el desencofrado, según Código Estructural.

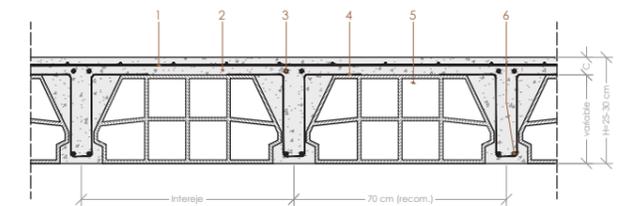


E 1/20

1. Armadura de reparto
2. Relleno de senos
3. Armadura transversal de negativos
4. Capa de compresión
5. Bovedillas cerámica
6. Vigueta pretensada semirresistente

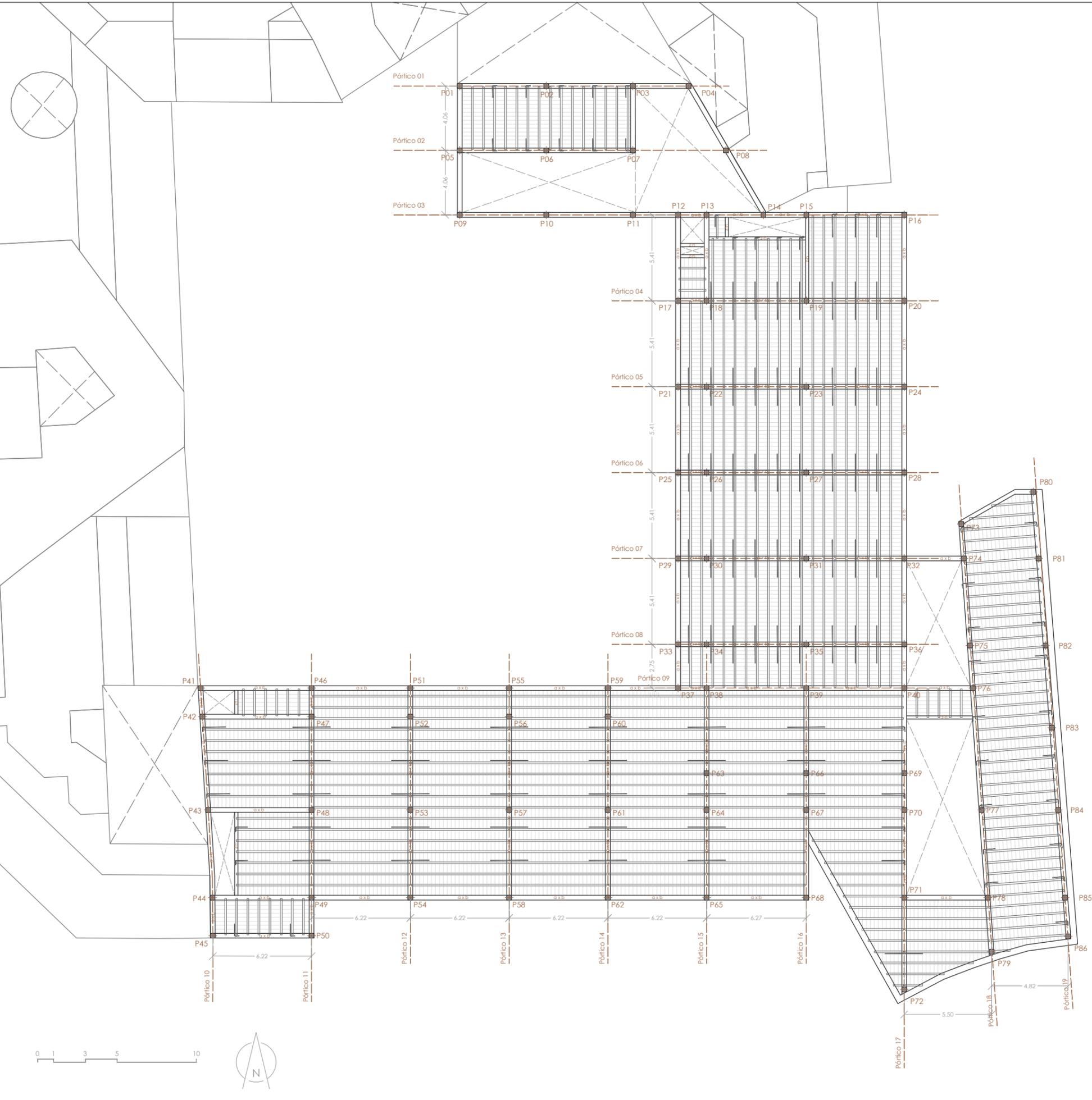
VIGUETAS IN SITU

Forjado unidireccional horizontal de 35+5 cm de canto ejecutado con nervios hormigonados in situ de 15 cm de ancho, dispuesto con interje de 75 cm y bovedillas cerámicas, hormigonado mediante bomba con hormigón HA-25/B/20/XC2 sobre mallazo ME 15x30 Ø5-5 B500T y una cuantía media de, 12 kg/m² de acero B500S en nervios, vigas planas, zunchos y negativos, incluido el encofrado; el vertido, vibrado y curado del hormigón, y el desencofrado, según Código Estructural.



E 1/20

1. Armadura de reparto
2. Capa de compresión
3. Armadura transversal de negativos
4. "Avión" pieza especial sujeción armadura
5. Bovedillas cerámica
6. Armadura transversal de positivos

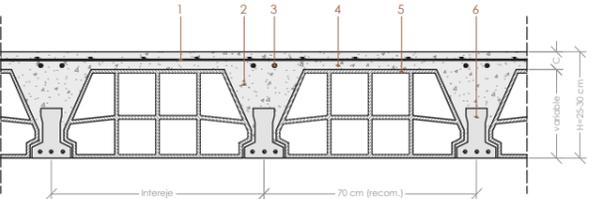


PLANTA TIPO 1

FORJADO UNIDIRECCIONAL

VIGUETAS PRETENSADAS SEMIRRESISTENTES

Forjado unidireccional horizontal de 25+5 cm de canto ejecutado con simple vigueta pretensada dispuesta con interje de 70 cm y bovedillas cerámicas, hormigonado mediante bomba con hormigón HA-25/B/20/XC2 sobre mallazo ME 15x30 Ø5-5 B500T y una cuantía media de, 4,65 - 11,15 kg/m2 de acero B500S en vigas planas, zunchos y negativos, incluido el encofrado; el vertido y curado del hormigón, y el desencofrado, según Código Estructural.

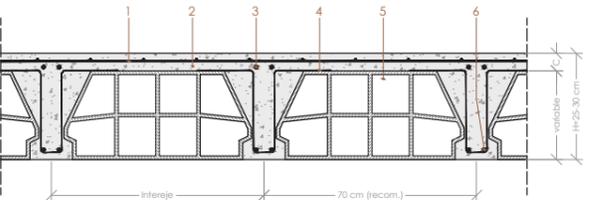


E 1/20

1. Armadura de reparto
2. Relleno de senos
3. Armadura transversal de negativos
4. Capa de compresión
5. Bovedillas cerámica
6. Vigueta pretensada semirresistente

VIGUETAS IN SITU

Forjado unidireccional horizontal de 35+5 cm de canto ejecutado con nervios hormigonados in situ de 15 cm de ancho, dispuesto con interjeje de 75 cm y bovedillas cerámicas, hormigonado mediante bomba con hormigón HA-25/B/20/XC2 sobre mallazo ME 15x30 Ø5-5 B500T y una cuantía media de, 12 kg/m2 de acero B500S en nervios, vigas planas, zunchos y negativos, incluido el encofrado; el vertido, vibrado y curado del hormigón, y el desencofrado, según Código Estructural.



E 1/20

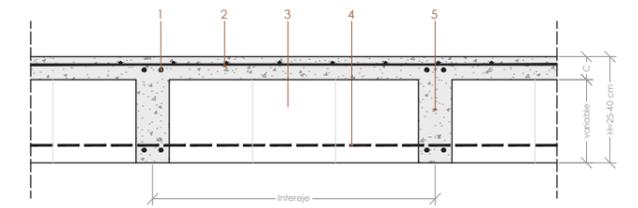
1. Armadura de reparto
2. Capa de compresión
3. Armadura transversal de negativos
4. "Avión" pieza especial sujeción armadura
5. Bovedillas cerámica
6. Armadura transversal de positivos

PLANTA BAJA

FORJADO BIDIRECCIONAL

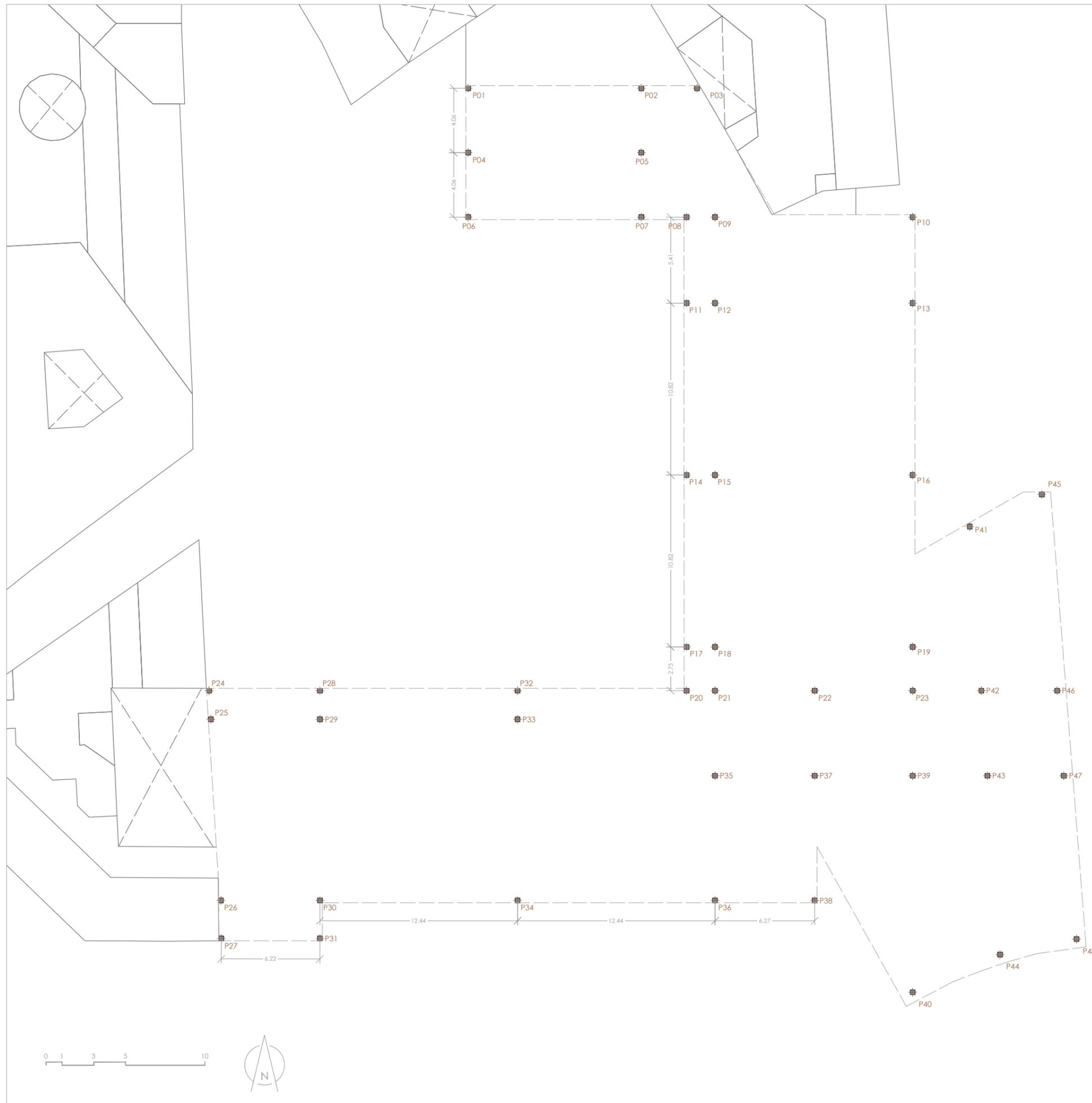
CASETONES PERDIDOS

Forjado reticular bidireccional horizontal de 30+5 cm de canto ejecutado con ancho de nervio de 15 cm e interjeje de 75 cm, casetón perdido HA-25/B/20/XC2 sobre un mallazo ME 20x20 diámetro 5-5 B500T y una cuantía de 31 kg/m² de acero B500S en vigas planas, zunchos y negativos, incluido el encofrado, el vertido, vibrado y curado del hormigón, y desencofrado, según Código Estructural.



E 1/20

1. Armadura superior
2. Armadura de reparto
3. Bloque perdido
4. Armadura inferior
5. Nervio

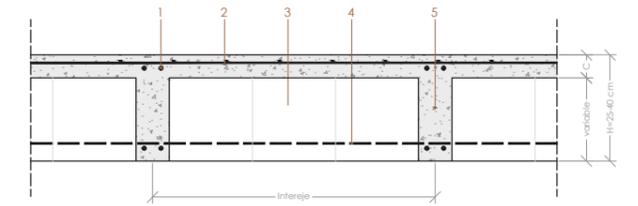


PLANTA TIPO 1

FORJADO BIDIRECCIONAL

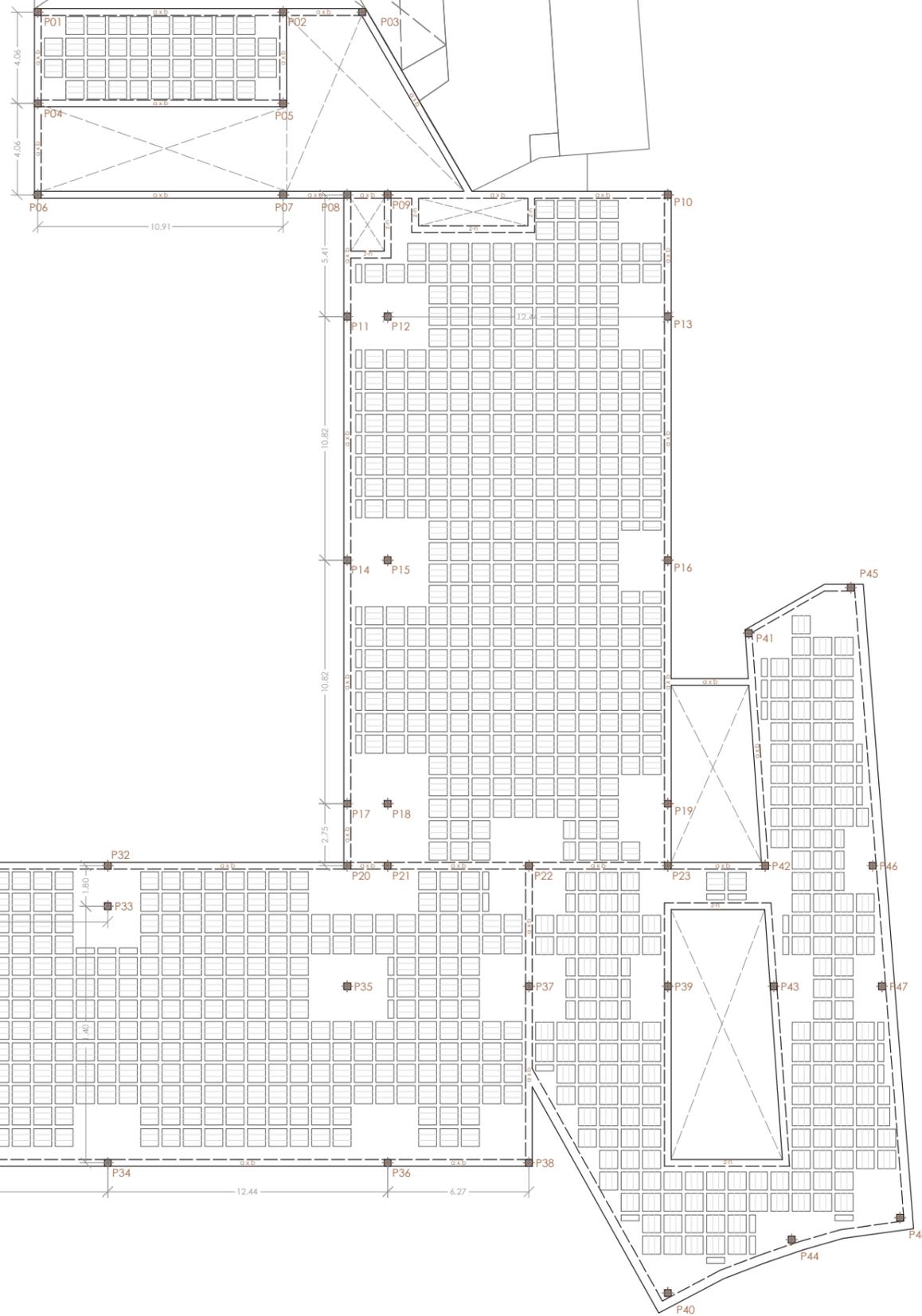
CASETONES PERDIDOS

Forjado reticular bidireccional horizontal de 30+5 cm de canto ejecutado con ancho de nervio de 15 cm e intereje de 75 cm, casetón perdido de hormigón HA-25/B/20/XC2 sobre un mallazo ME 20x20 diámetro 5-5 B500T y una cuantía de 31 kg/m² de acero B500S en vigas planas, zunchos y negativos, incluido el encofrado, el vertido, vibrado y curado del hormigón, y desencofrado, según Código Estructural.



E 1/20

1. Armadura superior
2. Armadura de reparto
3. Bloque perdido
4. Armadura inferior
5. Nervio



0 1 3 5 10

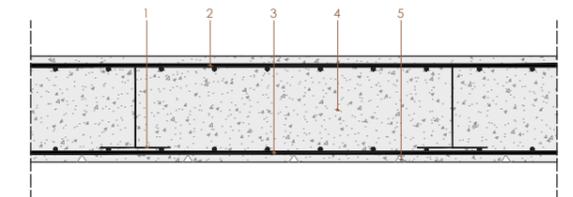


PLANTA BAJA

FORJADO MULTIDIRECCIONAL

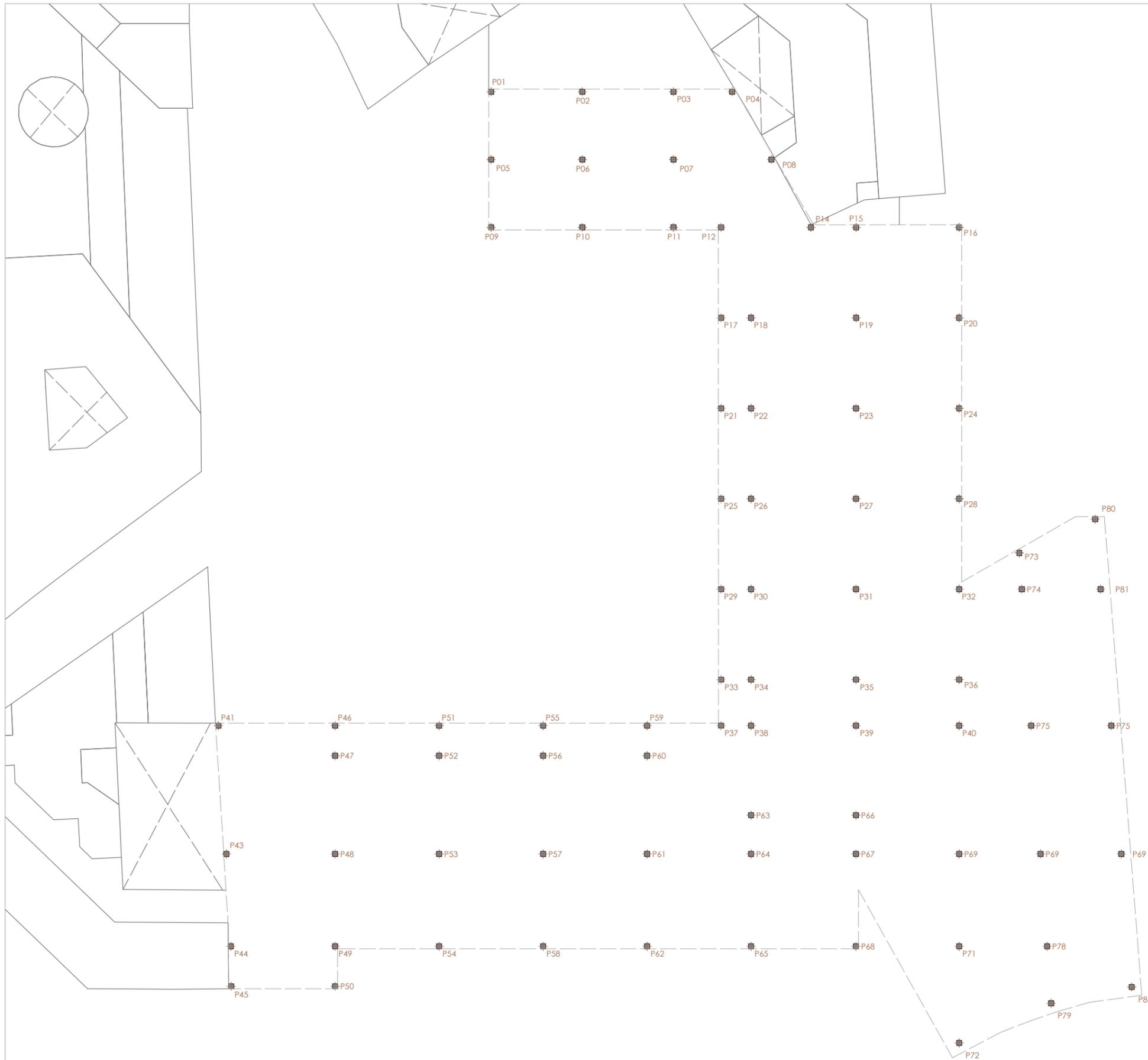
LOSA MACIZA

Forjado horizontal de losa maciza con vigas embebidas, de 35 cm de canto, hormigonado mediante bomba con hormigón HA-25/B/20/XC2 con una cuantía media de 82 kg/m² de acero B500S en refuerzos superiores e inferiores, crucetas, solapes, elementos de montaje, cercos y armadura de vigas y zunchos, incluido el encofrado; el vertido, vibrado y curado del hormigón, y el desencofrado, según Código Estructural.



E 1/20

1. Separador armaduras
2. Armadura superior
3. Armadura inferior
4. Hormigón
5. Separador



0 1 3 5 10

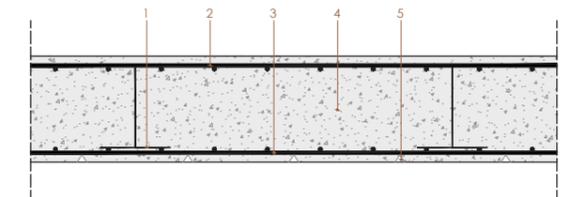


PLANTA BAJA

FORJADO MULTIDIRECCIONAL

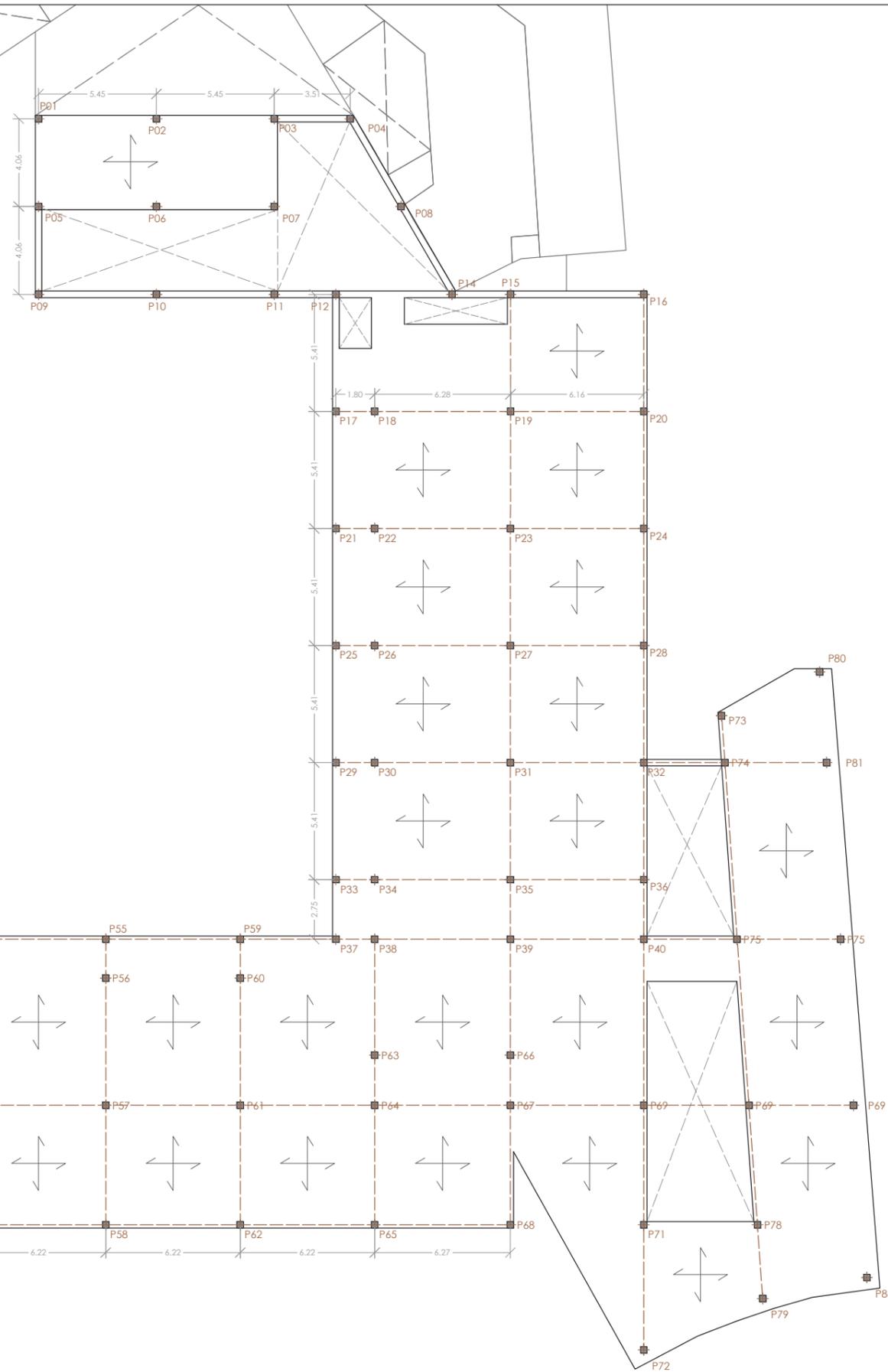
LOSA MACIZA

Forjado horizontal de losa maciza con vigas embebidas, de 35 cm de canto, hormigonado mediante bomba con hormigón HA-25/B/20/XC2 con una cuantía media de 82 kg/m² de acero B500S en refuerzos superiores e inferiores, crucetas, solapes, elementos de montaje, cercos y armadura de vigas y zunchos, incluido el encofrado; el vertido, vibrado y curado del hormigón, y el desencofrado, según Código Estructural.



E 1/20

1. Separador armaduras
2. Armadura superior
3. Armadura inferior
4. Hormigón
5. Separador



0 1 3 5 10

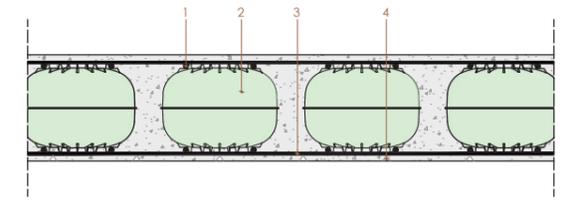


PLANTA BAJA

FORJADO MULTIDIRECCIONAL

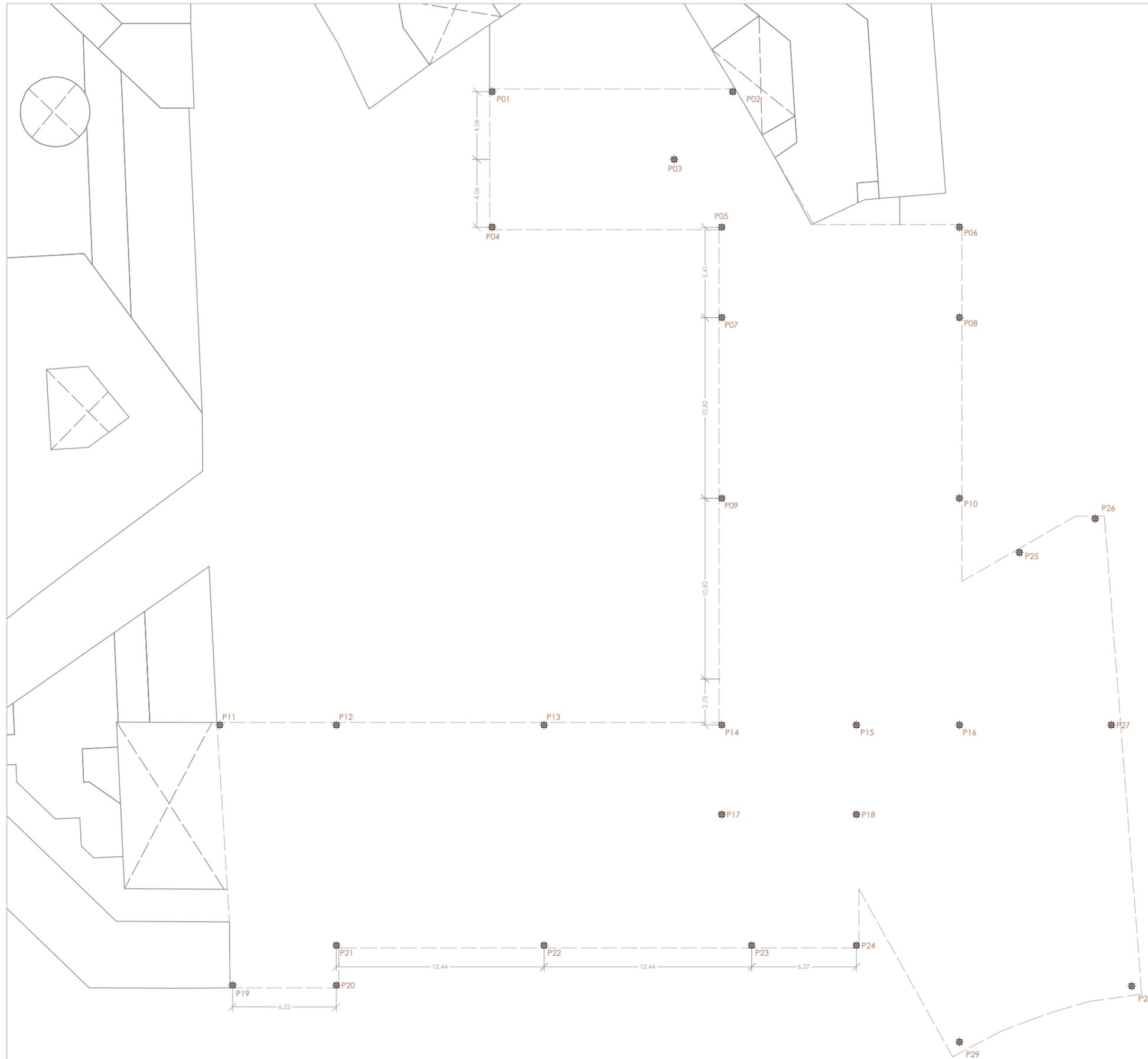
LOSA ALIGERADA IN SITU

Losa horizontal de 35 cm de canto, aligerada con elementos huecos internos de plástico reciclado con separadores y centradores de armado, hormigonada mediante bomba con hormigón HA-30/B/20/XC2 con una cuantía media de 19,26 kg/m² de acero B500S en nervios, ábacos, solapes y refuerzos, incluido el encofrado; el vertido, vibrado y curado del hormigón, y el desencofrado según Código Estructural.



E 1/20

1. Armadura superior
2. Bloques aligerantes
3. Armadura inferior
4. Separadores



0 1 3 5 10



5. CONCLUSIONES

Para finalizar este Trabajo Fin de Grado, se presentan los resultados obtenidos tras el análisis exhaustivo de diversas tipologías de elementos horizontales sometidos a flexión, específicamente los forjados. Tal como se mencionó al inicio de este estudio, se han examinado los tres tipos principales de forjados presentes en el mercado, que compiten predominantemente en los proyectos actuales. Estos tipos de forjados son los unidireccionales, bidireccionales y multidireccionales, cuyas diferencias radican en la manera en que transmiten las cargas desde los elementos horizontales hacia los verticales, los cuales a su vez transfieren dichas cargas a las cimentaciones del edificio, siendo finalmente absorbidas por el terreno. Es importante señalar que dentro de cada uno de estos tipos existen diversas variantes y subtipos que han sido consideradas en el estudio.

En el análisis y estudio de los forjados unidireccionales, se enfoca en varias subtipologías, como son los forjados con viguetas pretensadas (autorresistentes o semirresistentes), viguetas in situ, viguetas armadas, con nervios in situ, viguetas metálicas, de madera, chapa colaborante y placas alveolares. Aunque existen más tipologías en el mercado, he seleccionado aquellas que considero más competitivas y son más usadas.

Dentro de los forjados bidireccionales, se ha profundizado en el estudio del forjado reticular, abordando tanto el tipo de casetón perdido como el recuperable. Además, se ha estudiado la tipología del forjado multidireccional que, aunque lo he denominado así, también se clasifica como bidireccional. Dentro de estos forjados se ha estudiado la losa maciza, así como la losa aligerada in situ.

Se ha realizado un análisis individual de cada tipo de forjado, considerando sus características generales, métodos de ejecución, ventajas e inconvenientes, así como su viabilidad económica. Al tener una visión global de estos aspectos para cada tipo de forjado, considero que podemos seleccionar el sistema estructural más adecuado para nuestro proyecto. Teniendo en cuenta todas estas variables, dependiendo de las premisas iniciales, nos permiten elegir la solución óptima, teniendo como resultado un ahorro en cuanto a tiempo, costes directos e indirectos, entre otros factores.

Como resultado, podemos afirmar que los forjados unidireccionales estudiados son, en términos generales, óptimos para luces comprendidas entre 6 - 6,5 m aprox. Son forjados más económicos, de rápida ejecución y requieren menor cantidad de hormigón, lo que se traduce en un menor gasto energético y emisiones de CO₂ en términos de sostenibilidad. Sin embargo, estos tipos de forjados generan más residuos. Estas conclusiones son generales, ya que cada subtipología de forjados unidireccionales presentan sus propias características, ventajas y desventajas, las cuales pueden ser óptimas según el tipo de proyecto que tengamos.

Empezando por las subtipologías que incluyen viguetas o nervios in situ (pretensadas, armadas o in situ), son particularmente recomendables para luces de entre 4 y 6,5 m aprox.

Estos forjados son rápidos de ejecutar y son especialmente adecuados cuando las luces no son muy grandes, la geometría del edificio es predominantemente ortogonal y se valora la economía durante el diseño. En cuanto a los tiempos de ejecución, aunque no son excesivos, presentan ciertas ventajas respecto a los forjados bidireccionales.

En relación al forjado de viguetas metálicas, se ha observado que se encuentra en desuso debido al mayor coste de las materias primas y de la estructura metálica necesaria. Su viabilidad se limita principalmente a situaciones donde la rapidez de ejecución es prioritaria y se requiere completar el edificio en un corto plazo. No obstante, considero que existen en el mercado otras tipologías muy competitivas en comparación con este tipo de forjado, como el forjado de chapa colaborante. Respecto a este último, destaca su competitividad y rapidez en la ejecución, aunque su coste es mayor. En este tipo de forjado es importante tener en cuenta la resistencia al fuego, la cual debe ser detalladamente estudiada en el proyecto.

Otra tipología estudiada ha sido el forjado de madera, con tres subtipologías: las viguetas de sección cuadrada o rectangular, paneles alveolares y paneles CLT. Este tipo de forjado resulta competitivo cuando el diseño estructural requiere específicamente madera y cuando se valoran aspectos de sostenibilidad. No obstante, es importante considerar que este sistema tiende a ser menos económico en comparación con otros sistemas estructurales. Para poder dar una opinión más acertada, tendría que estudiar con más detenimiento este tipo de sistema estructural y sus aplicaciones.

Finalmente, dentro de los forjados unidireccionales, también se ha estudiado el forjado de placas alveolares, el cual presenta numerosas ventajas, como su prefabricación en taller, que nos brinda seguridad en cuanto a su control de calidad. Este tipo de forjado permite luces grandes, superiores a los 10 metros y puede soportar cargas considerablemente altas, además de ejecutarse en corto plazo en comparación con otros sistemas. No obstante, su coste es significativo y su instalación requiere de sistemas de transporte específicos, izado mediante grúas, así como un amplio espacio para almacenamiento y maniobras, limitando su aplicación a proyectos que cumplan con estas características.

En relación a los forjados bidireccionales reticulares, su principal virtud radica en la posibilidad de cubrir luces superiores a los 10 metros y adaptarse a geometrías más complejas y menos ortogonales que los unidireccionales. Aunque son más costosos, en términos de tiempo de ejecución, son equiparables a los unidireccionales. Este tipo de forjado sería preferible en diseños que requieran geometrías más singulares y de mayor flexibilidad espacial, incluso aunque sea más caro. Otro competidor en términos de geometría es la losa maciza de hormigón, que destaca por su rigidez y comportamiento conjunto al ejecutarse como una sola pieza. Sin embargo, su mayor desventaja es el presupuesto, ya que requiere más acero y hormigón, y se recomienda para luces de hasta 8 metros, donde los forjados reticulares son altamente competitivos.

En cuanto a la losa aligerada in situ, este sistema presenta numerosas ventajas, destacando su capacidad para cubrir luces muy amplias, incluso superiores a los 15 m, lo que lo convierte en una opción importante en el mercado actual cuando se buscan grandes luces con un mínimo número de pilares. En comparación con la losa maciza de hormigón, este tipo de forjado requiere una cantidad de acero hasta un 30% menor y también reduce la cantidad de hormigón necesario gracias al aligeramiento de la losa mediante el uso de "bolas de plástico" en su interior. Por lo tanto, se trata de una opción altamente competitiva para proyectos que requieran grandes luces, pese a que es el tipo de forjado más caro.

Finalmente, se ha elaborado una gráfica comparativa entre los distintos tipos de forjados estudiados, donde se muestra una correlación entre el coste del forjado y las luces que pueden cubrir.

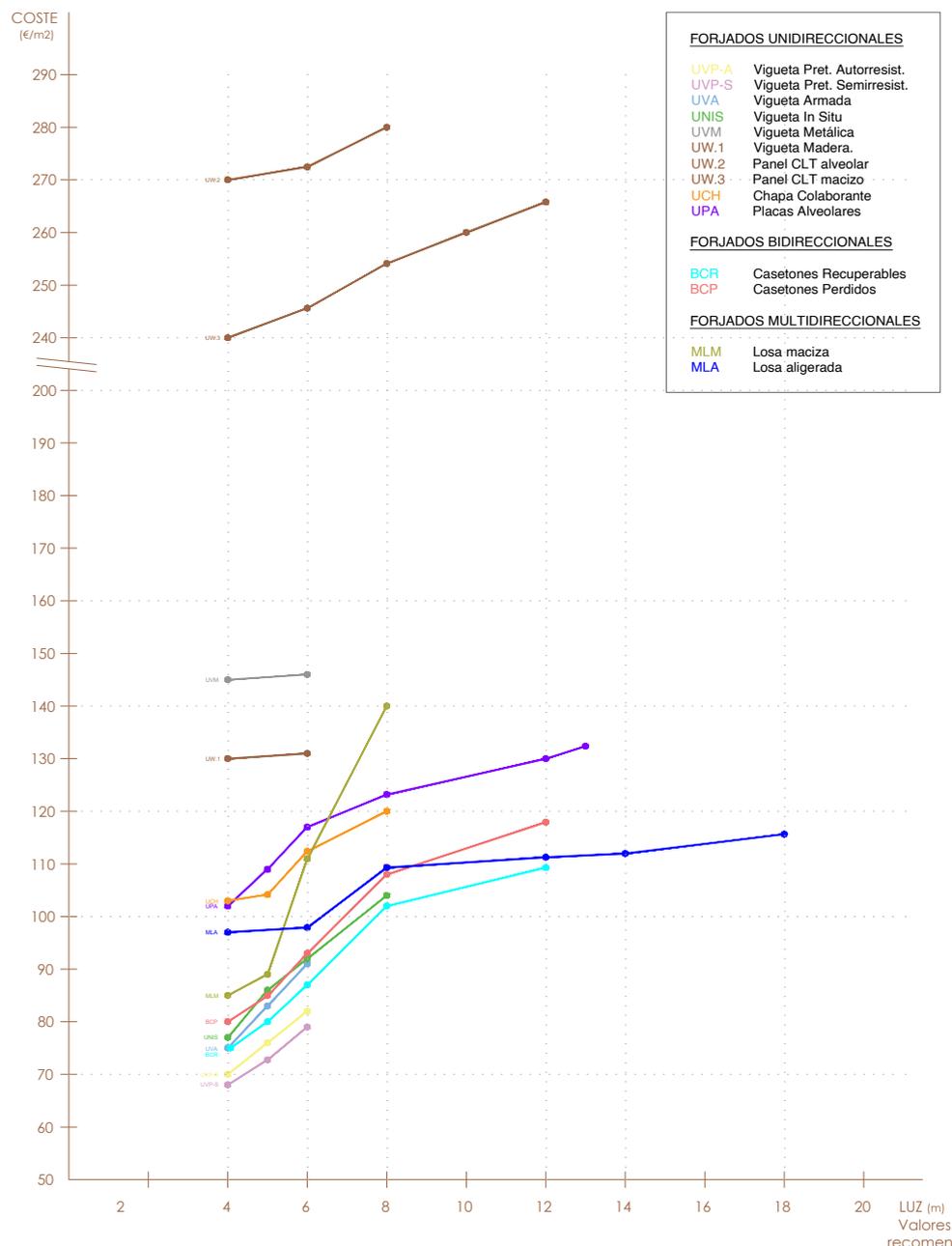


Fig.31. Gráfica comparativa de tipos de forjados

Es importante tener en cuenta que estos datos son estimaciones generales, unos “*números gordos*”, basados en un espesor de forjado normal, una resistencia del hormigón de 25 kN/mm² y otros parámetros comunes utilizados en estos tipos de forjados, realizado bajo mi criterio.

Al interpretar estos valores, concluimos que, para luces cortas entre los 4 - 6,5 m, los forjados más competitivos son los unidireccionales de viguetas pretensadas o in situ. Si para estas luces escogiésemos un forjado reticular o una losa de hormigón, el coste sería mucho mayor y obtendríamos el mismo resultado. Por lo tanto, el forjado óptimo para luces cortas es el unidireccional de viguetas pretensadas o in situ. Para luces de entre 6,5 - 12 m, el forjado óptimo es el reticular, siendo el de casetones perdidos especialmente útil en sótanos donde la estética no es prioritaria. Este tipo de forjado es altamente competitivo cuando se requieren grandes luces y la geometría del edificio es singular.

Como se puede observar, tanto la losa de hormigón como la losa aligerada in situ son forjados menos económicos. La losa maciza resulta competitiva cuando el diseño requiere una mayor rigidez de la estructura. En cuanto a la losa aligerada, su mayor virtud radica en permitir luces superiores a los 15 m, aunque es importante tener en cuenta que es más cara.

Finalmente, como se enfatizó en los objetivos de este Trabajo Final de Grado, la intención era seleccionar la tipología de forjado óptima para el proyecto después de realizar un estudio exhaustivo de los tipos de forjados más competitivos del mercado. Siempre, teniendo en cuenta de que se trata de un tanteo general y de una primera elección de forjado en los estudios previos de diseño del proyecto.

Por lo tanto, considerando todas las virtudes y defectos de las distintas tipologías, y teniendo en cuenta un proyecto cuya idea principal es la macla de tres volúmenes y, haciendo referencia a la modulación prevista desde el diseño, elegiríamos un forjado unidireccional de viga in situ para el volumen 3, mientras que optaríamos por una losa aligerada in situ para el volumen 1 y el volumen 2.

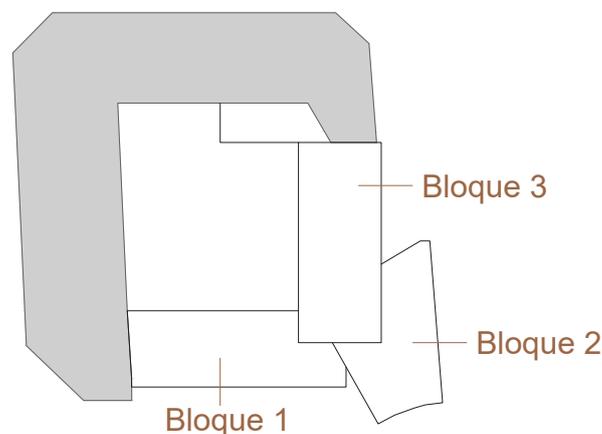


Fig.32. Configuración de los volúmenes del proyecto

La justificación de esta elección es la siguiente:

El volumen 3 es un cuerpo rectangular, ortogonal y sencillo, con luces razonables de no más de 7 m, por lo que el forjado unidireccional de vigueta in situ podría considerarse óptimo. Se adapta a las luces previstas y ofrece una solución más económica.

Por otro lado, para el volumen 1 y 2, hemos seleccionado la losa aligerada in situ por varias razones. En primer lugar, debido a que estos volúmenes están suspendidos por diseño, con la planta baja como zona de tránsito donde la idea es tener el mínimo número de pilares y, la losa aligerada podría satisfacer este requerimiento de manera efectiva. Además, dado que el forjado del volumen 2 es más complejo tanto en geometría como por particularidades de diseño (preexistencia), la losa aligerada podría ser una buena opción para resolver esta zona de manera adecuada. Además, al ejecutarse como un único elemento los volúmenes 1 y 2, nos brindaría cierta garantía de unión y rigidez entre estos dos cuerpos.

6. BIBLIOGRAFÍA Y FUENTES

5.1. BIBLIOGRAFÍA DOCUMENTAL

- CALAVERA RUIZ, J. (1986). *Calculo, construcción y patología de forjados de edificación*. Bilbao:INTEMAC.
- CALAVERA RUIZ, J., (2002). *Cálculo, construcción, patología y rehabilitación de forjados de edificación : unidireccionales y sin vigas-hormigón metálicos y mixtos*. 5a ed. Bilbao: INTEMAC. ISBN 8488764146.
- CASTELL, V. (Castell H., REGALADO TESORO, F. y FARRÉ ORO, B., (2004). *Biblioteca de detalles constructivos metálicos, de hormigón y mixtos en estructuras de edificación : 600 detalles constructivos de estructuras metálicas, mixtas y de hormigón armado, adaptados a la instrucción EHE*. 4a ed. Alicante: CYPE Ingenieros. ISBN 8493367508.
- REGALADO TESORO, F., (2003). *Los forjados reticulares : diseño, análisis, construcción y patología*. Alicante: CYPE Ingenieros. ISBN 8493069655.
- URBÁN BROTÓNS, P., (1999.) *Apuntes de construcción de estructuras de hormigón armado*. San Vicente (Alicante): Imp. Gamma.
- UILES CASADO, V., MAS TOMÁS, Á. y GONZÁLEZ PÉREZ, G., (2004). *Forjados unidireccionales de hormigón armado y pretensado*. Valencia: Editorial UPV.
- REGALADO TESORO, F., (1999). *Los forjados de los edificios : pasado, presente y futuro*. Alicante: CYPE Ingenieros. ISBN 8493069620.
- VICENTE NAVARRO, J., (2009). *La evolución de los forjados de edificación hacia unas técnicas más competitivas económicamente*. Tesina. Barcelona: Universidad Politécnica de Cataluña.
- FRAILE GARCÍA, E; FERNÁNDEZ CENICEROS, J; MARTÍNEZ DE PISÓN, E; MARTÍNEZ DE PISÓN, F.J. (2013). *Selección de forjados unidireccionales con criterios técnicos, económicos y sostenibles*. Informes de la construcción.
- FERNÁNDEZ CENICEROS, J; PERNÍA ESPINOZA, A; VERGARA GONZÁLEZ, E; SANZ GARCÍA, A; ALFONSO CENDÓN, J. (2011). *Simulación térmica de forjados. Análisis comparativo y estudio del coste energético*.
- LÓPEZ ESCRICHE, I. (2016). *Estudio comparativo de forjados de hormigón armado*. Trabajo fin de grado. Castellón: Universidad Jaime I.

MIQUEL LÓPEZ, LAURA. (2008). *Estudio comparativo de tipologías de forjados analizando su*

coste económico, social y ambiental. Tesina. Barcelona: Universidad Politécnica de Cataluña.

AGUILERA LÓPEZ, E. (2022). *Estudio comparativo sobre las tipologías de forjados a utilizar en la estructura de un aparcamiento subterráneo en la escuela politécnica superior de Linares*. Trabajo fin de grado. Jaen: Escuela Politécnica Superior de Linares.

RENGIFO, R. (2019). *Estudio comparativo de forjados de madera*. Trabajo fin de máster. Barcelona: Universidad Politécnica de Catalunya.

INSTITUTO VALENCIANO DE LA EDIFICACIÓN. 2022. *Base de datos de construcción 2023*. [Base de datos en línea]. Disponible en: <https://bdc.f-ive.es/BDC23/1>

5.2. BIBLIOGRAFÍA GRÁFICA

- Fig. 1: PEP-2. Planos Normativos Refundido del PGOU y del PE.
Fuente: Plan General de Ordenación Urbana.
- Fig. 2: Ideación. Tramas urbanas y maqueta.
Fuente: Elaboración propia.
- Fig. 3: Ideogramas.
Fuente: Elaboración propia.
- Fig. 4: Transmisión de cargas.
Fuente: URBÁN BROTONS, P., (1999.) *Apuntes de construcción de estructuras de hormigón armado*. San Vicente (Alicante): Imp. Gamma.
- Fig. 5: Esquema de tipologías.
Fuente: Elaboración propia.
- Fig. 6: Esquema transmisión de cargas forjado unidireccional.
Fuente: URBÁN BROTONS, P., (1999.) *Apuntes de construcción de estructuras de hormigón armado*. San Vicente (Alicante): Imp. Gamma.
- Fig. 7: Vigueta pretensada autorresistente.
Fuente: <https://www.viguetasnavarras.com/productos/viguetas/>
- Fig. 8: Vigueta pretensada semirresistente.
Fuente: <https://www.viguetasnavarras.com/productos/viguetas/>
- Fig. 9: Vigueta semirresistente armada.
Fuente: <https://viguetassur.com/tienda/forjado-vigueta-armada/>
- Fig. 10: Vigueta metálica.
Fuente: <https://e-steel.arcelormittal.com/ES/es/Viga/Viga-I/Viga-IPN/p/P220040040>
- Fig. 11: Bovedilla cerámica.
Fuente: <https://www.grupodiazredondo.com/producto/bovedilla-ceramica-20.html>
- Fig. 12: Bovedilla de hormigón.
Fuente: <https://gilva.com/bovedillas-de-hormigon/>
- Fig. 13: Bovedilla de poliestireno.
Fuente: <https://www.grupovalero.com/productos/soluciones-constructivas/eps/bovedillas/>
- Fig. 14: Sección tipo de forjado con viguetas autorresistentes.
Fuente: Elaboración propia.
- Fig. 15: Sección tipo de forjado con viguetas semirresistentes.
Fuente: Elaboración propia.
- Fig. 16: Sección tipo de forjado con viguetas armadas.
Fuente: Elaboración propia.
- Fig. 17: Sección tipo de forjado con nervios in situ.
Fuente: Elaboración propia.
- Fig. 18: Sección tipo de forjado con viguetas metálicas.
Fuente: Elaboración propia.

Fig. 19: Sección tipo de forjado con viguetas de madera.
Fuente: Elaboración propia.

Fig. 20: Sección tipo de forjado con panel nervado.
Fuente: Elaboración propia.

Fig. 21: Sección tipo de forjado con panel CLT.
Fuente: Elaboración propia.

Fig. 22: Sección tipo de forjado de chapa colaborante.
Fuente: Elaboración propia.

Fig. 23: Sección tipo de forjado de placa alveolar.
Fuente: Elaboración propia.

Fig. 24: Forjado bidireccional.
Fuente: URBÁN BROTONS, P., (1999.) *Apuntes de construcción de estructuras de hormigón armado*. San Vicente (Alicante): Imp. Gamma.

Fig. 25: Sección tipo de forjado reticular con bloque aligerante recuperable.
Fuente: Elaboración propia.

Fig. 26: Sección tipo de forjado reticular con bloque aligerante perdido.
Fuente: Elaboración propia.

Fig. 27: Forjado multidireccional.
Fuente: URBÁN BROTONS, P., (1999.) *Apuntes de construcción de estructuras de hormigón armado*. San Vicente (Alicante): Imp. Gamma.

Fig. 28: Sección tipo de losa maciza.
Fuente: Elaboración propia.

Fig. 29: Sección tipo de forjado de losa aligerada in situ.
Fuente: Elaboración propia.

Fig. 30: Detalle zona.
Fuente: Elaboración propia.

Fig. 31: Gráfica comparativa de tipos de forjados.
Fuente: Elaboración propia.

Fig. 32: Configuración de los volúmenes del proyecto.
Fuente: Elaboración propia.

7. ANEXO

7.1. DOCUMENTACIÓN GRÁFICA DEL PROYECTO

1. Portada
2. Ideación
3. Referencias
4. Ideogramas
5. Situación
6. Emplazamiento
7. Entorno inmediato
8. Planta Baja (1/300)
9. Planta Primera (1/300)
10. Planta Segunda (1/300)
11. Planta Tercera (1/300)
12. Planta Cuarta (1/300)
13. Planta Quinta (1/300)
14. Planta Sexta (1/300)
15. Planta Cubiertas (1/300)
16. Vivienda Tipo A
17. Vivienda Tipo B
18. Vivienda Tipo C
19. Alzado 1
20. Alzado 2
21. Sección 1-1'
22. Sección 2-2'
23. Sección 3-3'
24. Sección A-A'
25. Sección B-B'
26. Sección C-C'
27. Axonometría
28. Sección constructiva
29. Vista interior

Estudio y análisis de la solución óptima para un proyecto de edificio residencial y co-working en Ruzafa.

Tutor: Ernesto Fenolosa Forner

Alumna: Hua Zhang Lin

Grado en Fundamentos de la Arquitectura

Trabajo Final de Grado

Curso 2023-24



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCOLA TÈCNICA
SUPERIOR
D'ARQUITECTURA