



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ETS INGENIERÍA DE CAMINOS,
CANALES Y PUERTOS

TRABAJO DE FIN DE MASTER

Diseño estructural de un hotel en la Avenida Central de
Oropesa del Mar (Castellón)

Presentado por

Ambou Canós, Vicente

Para la obtención del

Master Universitario en Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos

Curso: 2019/2020

Fecha: 4 de Septiembre de 2020

Tutor: Ignacio Payá Zaforteza





UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ETS INGENIERÍA DE CAMINOS,
CANALES Y PUERTOS

ÍNDICE GENERAL

Diseño estructural de un hotel en la Avenida Central de Oropesa del Mar (Castellón)

DOCUMENTO N°1: MEMORIA Y ANEJOS

1.1. Memoria

1.2. Anejos a la Memoria

- Anejo n°1: Estudio geológico y geotécnico
- Anejo n°2: Topográfico
- Anejo n°3: Normativa aplicable
- Anejo n°4: Propiedades y bases de cálculo de la madera
- Anejo n°5: Estudio de soluciones
- Anejo n°6: Cálculo estructural
- Anejo n°7: Cimentación
- Anejo n°8: Mediciones
- Anejo n°9: Valoración económica

DOCUMENTO N°2: PLANOS

1. Localización y emplazamiento
 - 1.1. Localización
 - 1.2. Emplazamiento
2. Alzado, planta y perfil
 - 2.1. Planta general
 - 2.2. Alzados
3. Cimentación
4. Cuadro de pilares
5. Muros de sótano
6. Forjados
 - 6.1. Replanteo forjado Planta Baja
 - 6.2. Armados forjado Planta Baja
 - 6.3. Refuerzos a punzonamiento forjado Planta Baja
 - 6.4. Replanteo forjados de madera
7. Detalles



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ETS INGENIERÍA DE CAMINOS,
CANALES Y PUERTOS

DOCUMENTO Nº1: MEMORIA Y ANEJOS

Diseño estructural de un hotel en la Avenida Central de Oropesa del Mar (Castellón)



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ETS INGENIERÍA DE CAMINOS,
CANALES Y PUERTOS

MEMORIA

Diseño estructural de un hotel en la Avenida Central de Oropesa del Mar (Castellón)

Índice

1.	Introducción	2
1.1.	Antecedentes	2
1.2.	Objeto y alcance	2
2.	Situación y emplazamiento	2
3.	Condicionantes de proyecto	3
3.1.	Urbanísticos.....	3
3.2.	Hidráulicos.....	7
4.	Topografía	8
5.	Geotecnia	8
6.	Descripción del edificio	9
7.	Estudio de soluciones.....	11
7.1.	Criterios de evaluación.....	12
7.2.	Solución en madera.....	12
7.3.	Solución en hormigón armado.....	14
7.4.	Análisis de las soluciones	15
7.5.	Conclusiones.....	15
8.	Estructura de madera.....	16
9.	Estructuras de hormigón armado	18
10.	Cimentación	19
11.	Valoración económica	21
12.	Contenido de la memoria valorada.....	22

1. Introducción

1.1. Antecedentes

El presente Trabajo Final de Máster ha sido realizado por el alumno Vicente Ambou Canós, estudiante del Máster Universitario en Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos (MUICCP) en la Universidad Politécnica de Valencia.

Para su realización, se ha contado con el profesor del Departamento de Proyectos de la Construcción y de Proyectos de la Ingeniería Civil Ignacio Payá Zaforteza como tutor. Con quien se ha acordado la realización del TFM: “Diseño estructural del edificio de un hotel en la Avenida Central de Oropesa del Mar (Castellón)”.

1.2. Objeto y alcance

En primer lugar, se encuentra el objeto académico del presente TFM, que es el de mostrar las habilidades aprendidas a lo largo de la formación académica del alumno durante su estancia en la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos, para lograr así obtener el título de MUICCP.

Por otro lado, con la elaboración del TFM, también se pretende desarrollar y asentar conocimientos de cálculo de estructuras de madera, así como aprender más acerca de este material de construcción y de sus ventajosas propiedades para mejorar la sostenibilidad de la construcción de edificaciones.

Además, debido a la naturaleza del material empleado, ha sido necesario también profundizar en los conocimientos de programas de cálculo de estructuras como son SAP2000 y CYPECAD.

En última instancia, el objeto del presente documento es el de realizar el diseño estructural de un edificio hotelero de seis plantas y un sótano situado en el municipio de Oropesa del Mar, provincia de Castellón. Para ello, se plantearán dos soluciones alternativas variando los materiales de construcción: madera y hormigón armado. El objetivo de esta comparación es el de mostrar la madera como un material de construcción sostenible y alternativo a los materiales convencionales como son el acero y el hormigón.

2. Situación y emplazamiento

El hotel a diseñar se sitúa dentro de la urbanización de Marina d’Or, que es una zona de ocio y de hoteles de alta categoría que se encuentra dentro del municipio de Oropesa del Mar, en la provincia de Castellón.

La parcela en cuestión en la que se ubicará esta edificación se encuentra en el cruce entre el Carrer Ausias March y la Avenida Central, lindando al sur con una edificación residencial ya existente y continuando al oeste hacia otra parcela sin edificar.

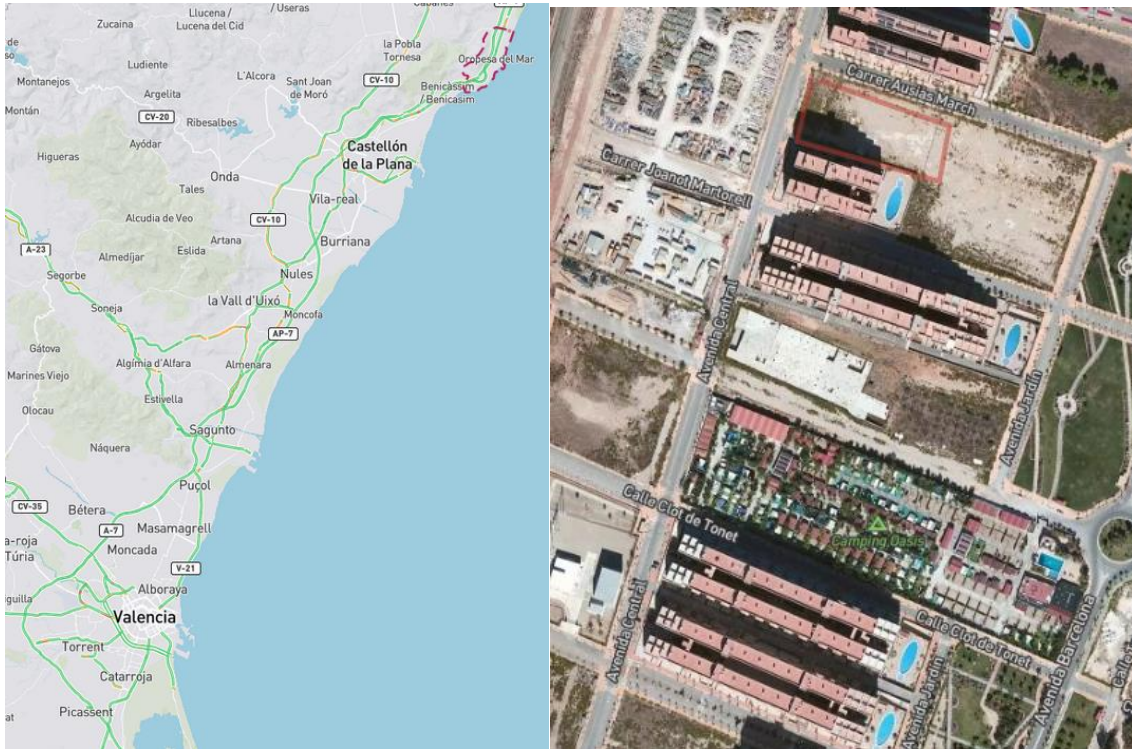


Figura 1. Ubicación de la parcela

3. Condicionantes de proyecto

3.1. Urbanísticos

En el ámbito del urbanismo, la parcela se encuentra en suelo urbano sin edificar y pertenece a zona EDA, según el PGOU de Oropesa del Mar. Esta zona ocupa una superficie neta total de 143.412,38 m²s y comprende las Zonas RES-5, RES-6, RES-7, RES-8, RES-9, RES-10 y RES-11.

Las condiciones de uso de la zona EDA son:

a) Uso Característico:

- Residencial múltiple

b) Usos Compatibles:

- Camping
- Residencial en todas sus categorías.
- Hotelero.
- Deportivo.
- Aparcamientos.
- Sanitario.
- Docente excepto las categorías F y G.
- Espacio Libre.
- Almacenes.
- Oficinas.

- Religioso.
- Salas de Reunión.
- Servicios Administrativos en sus categorías A y B.
- Sociocultural.
- Comercial.
- Espectáculo recreativo.

b) Usos Prohibidos:

Quedan expresamente prohibidos el resto de usos no señalados anteriormente, salvo aquellos que sean estrictamente imprescindibles y vinculados al uso residencial.

Por otro lado, las condiciones de edificación son:

a) Tipología de la Edificación:

Tipología edificatoria establecida en la Homologación y definida por los parámetros enumerados a continuación.

b) Sótanos y Semisótanos:

Se permiten.

c) Parcela Mínima:

La parcela mínima edificable será de 3.500 m² de suelo neto, con un círculo inscrito mínimo de 30 metros de diámetro. Estas parcelas no se podrán dividir, pero si agregarse a otras, formando una parcela resultante mayor.

d) Ocupación Máxima:

La ocupación máxima de la parcela será el 70%.

e) Edificabilidad Máxima:

La edificabilidad máxima sobre rasante de una parcela será el resultado de multiplicar su superficie neta medida entre las alineaciones exteriores y los lindes, por el coeficiente de Edificabilidad Neta especificado para cada manzana. El resultado será el número de metros cuadrados de forjado de techo construibles sobre rasante.

f) Separación de lindes:

- La separación mínima de la edificación principal a cualquiera de sus lindes será como mínimo de 5 metros. Como excepción, se considera el resto resultante de la manzana M10 incluido en la UE-1, para la cual la separación mínima podrá reducirse hasta 2 metros.

- La separación mínima entre fachadas de edificaciones dentro de una misma parcela será de $(h + h') / 4$, siendo h la altura de cornisa de una de las edificaciones separadas y h' la altura de la otra edificación, con un mínimo de 6 metros.

- La separación mínima de fachadas a los lindes de propiedades vecinas será de $h/4$ siendo h la altura de cornisa de la edificación.
- Podrán adosarse a los lindes edificaciones auxiliares (garajes, almacenes, cuartos de maquinaria, vestuarios, locales comerciales, etc.).
- Asimismo podrán adosarse edificaciones dentro de una misma parcela.
- Podrá utilizarse la parte de la parcela no ocupada por edificación para establecer servicios o zonas comunes. En ellas se permitirá cualquier instalación deportivo-recreativa.

g) Alineaciones y rasantes:

Serán las establecidas en los correspondientes planos de ordenación.

h) Servicios:

La parcela dispondrá de todos los servicios urbanísticos en el momento de finalizar las obras de construcción del edificio.

i) Accesos:

La parcela dispondrá de acceso rodado con pavimentación de aceras y calzada hasta el punto de enlace con las redes viarias que estén en funcionamiento. La pavimentación de la calzada deberá abarcar todo el ancho del vial, pudiendo ejecutarse simultáneamente edificación y urbanización en las condiciones establecidas por la legislación urbanística aplicable.

j) Aparcamientos:

- En esta zona deberá preverse como mínimo una plaza por vivienda o 100 m² de edificación de otros usos. Serán plazas de 2,20 x 4,50m, en el caso de plazas para minusválidos se estará a lo dispuesto en la normativa vigente en materia de edificabilidad.
- Los aparcamientos podrán estar en sótanos o semisótanos, o en la parcela.

k) Piscinas:

- Se autorizan las piscinas. En el caso de que no se incluyan en el proyecto de edificación, se requerirá para su ejecución el proyecto correspondiente y la oportuna Licencia Municipal.
- La separación mínima del borde de la piscina a los lindes será de 2 metros.

Por último, se presentan las condiciones particulares de la zona RES-6, donde se ubica la parcela en la que se edificará el hotel:

a) Ámbito de aplicación:

Las presentes condiciones serán de aplicación en las superficies de terreno que en los planos se recogen con las siglas RES-6. Esta zona ocupa una superficie neta total de 64.054,27 m²s y está incluida en la zona EDA.

b) Altura máxima de los edificios:

- El número máximo de plantas sobre rasante se establece en diez (10).

- El número máximo de plantas sobre rasante en el uso Hotelero se establece en doce (12)

- La altura máxima de cornisa de la edificación se establece en función del número de plantas con arreglo a la siguiente fórmula:

$$H_c = 5,50 + 3,30 \times N_p$$

Siendo H_c la altura de cornisa máxima expresada en metros, y N_p el número de plantas a edificar sobre la baja.

- Alturas máximas de cornisa:

0 Plantas	5,50 m
1 Planta	8,80 m
2 Plantas	12,10 m
3 Plantas	15,40 m
4 Plantas	18,70 m
5 Plantas	22,00 m
6 Plantas	25,30 m
7 Plantas	28,60 m
8 Plantas	31,90 m
9 Plantas	35,20 m
10 Plantas	38,50 m
11 Plantas	41,80 m

Se permite sobrepasar la altura máxima si el proyecto de edificación propone el diseño de un elemento singular no habitable en la zona que rebase la altura máxima.

c) Coeficiente de Edificabilidad Neta.

El Índice de Edificabilidad Neta es de $1,6611 \text{ m}^2\text{t}/\text{m}^2\text{s}$ para la zona RES-6.

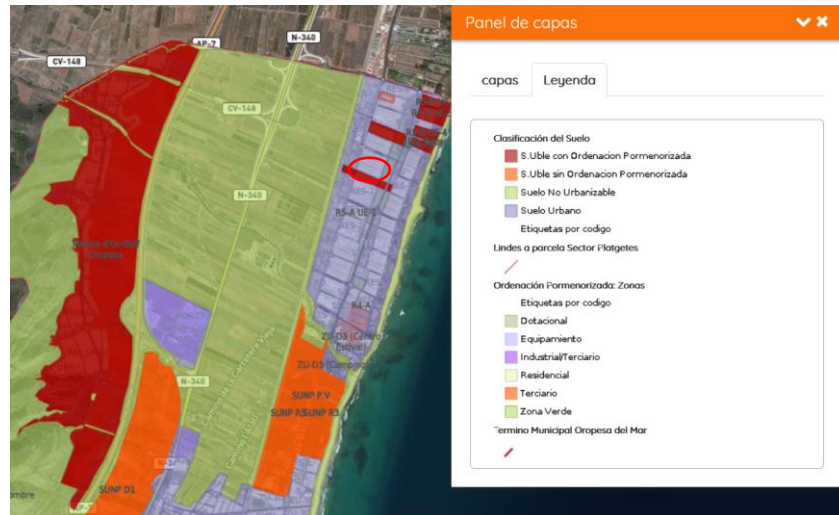


Figura 2. Usos del suelo PGOU Oropesa del Mar

3.2. Hidráulicos

A partir de los datos expuestos en el Plan de Acción Territorial sobre Prevención del Riesgo de Inundación de la Comunidad Valenciana (PATRICOVA), se comprueba que la zona de actuación no presenta peligrosidad frente a inundaciones a menos que se trate de sucesos excepcionales.

En la siguiente imagen se puede apreciar como la parcela en cuestión se encuentra alejada de las zonas de riesgo de inundación encontradas en el Municipio de Oropesa del Mar y alrededores.

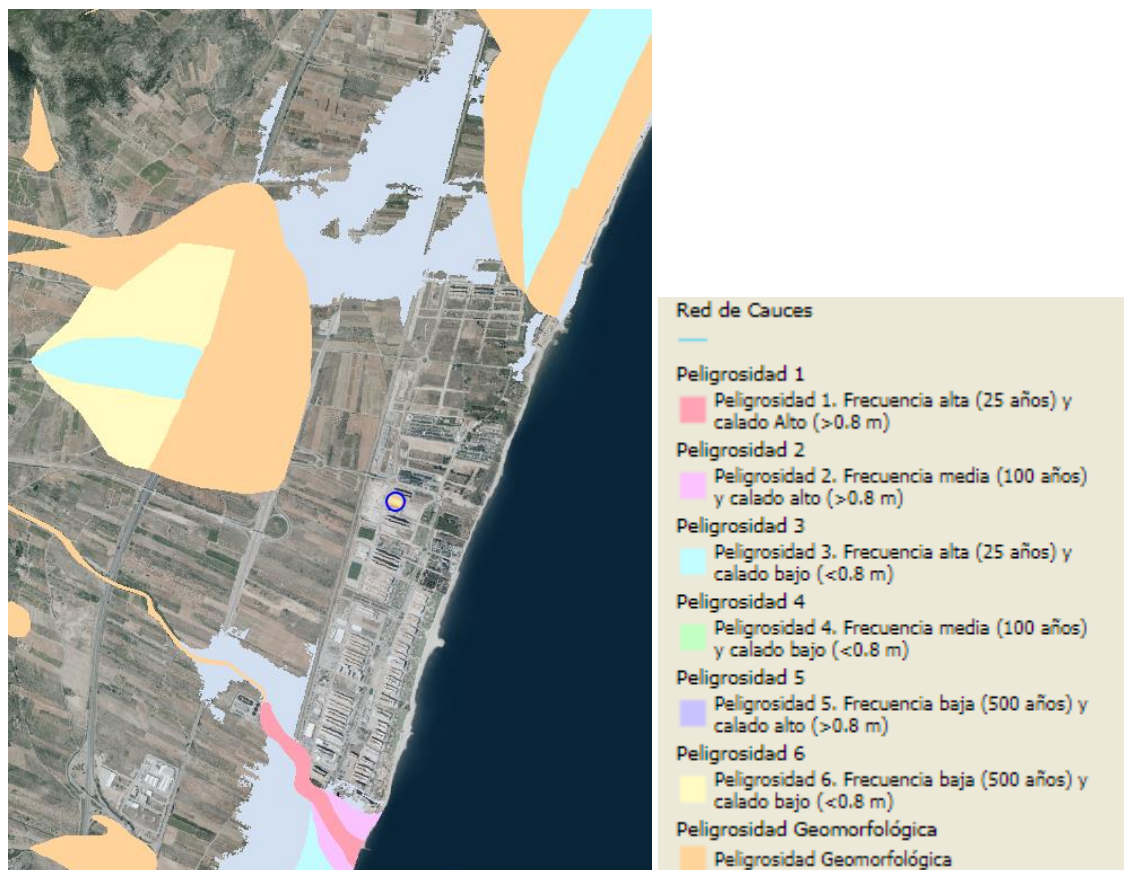


Figura 3. Zonas de Riesgo de Inundación según PATRICOVA

4. Topografía

El solar presenta una forma rectangular de 49,96 m de lado corto y 100 m de lado más largo, con una superficie total de unos 4.996 m². Linda a dos calles y dos parcelas, por lo que se sitúa en la esquina de la manzana. Los lindes se dan a la Avenida Central al noroeste, a la Calle Ausias March al noreste, a un solar sin desarrollar al sudeste y a un edificio residencial al suroeste.



Figura 4. Datos topográficos obtenidos del IDECV

5. Geotecnia

Se obtienen las características del terreno a partir del estudio geotécnico que se adjunta a la memoria. En él se encuentran los sondeos y trabajos realizados, así como las conclusiones que se obtienen del análisis del suelo.

El área objeto de estudio se halla enclavada en el extremo suroeste de la hoja 616 de Villafamés, editada por el IGME a escala 1:50.000.

La zona de estudio apoya sobre materiales cuaternarios que forman un coluvial a base de arcillas rojizas de baja plasticidad con cantos angulosos intercalados en su interior, que en algunas zonas forman capas de conglomerado producto de la cementación de las arcillas.

La estratigrafía que se obtiene de los sondeos efectuados es la siguiente:

NIVEL	NATURALEZA DEL SUBSUELO
I	Tierra vegetal.
II	Arenas arcillosas con gravas y bolos.
III	Conglomerados.

Las conclusiones obtenidas son:

- Se ha detectado nivel freático a la cota de -6 m bajo la cota de suelo.
- Respecto a la cimentación, se recomienda realizarla de manera superficial con zapatas aisladas y/o corridas, arriostradas entre sí.
- Según los ensayos realizados, el terreno reconocido se clasifica como no agresivo según la EHE, por lo que no es necesario el empleo de hormigón específico por ninguna causa. El hormigón de la cimentación se encuentra en una clase general IIa sin clase específica de exposición.
- Las características del terreno que se recomienda adoptar para los cálculos son:
 - Nivel I de Tierra vegetal:
 - Ángulo de rozamiento interno: 25°
 - Densidad: 1'6 t/m³
 - Cohesión: nula.
 - Subnivel IIa de Arenas arcillosas con gravas y bolos medias:
 - Ángulo de rozamiento interno: 30°
 - Densidad: 1'8 t/m³
 - Cohesión: nula del lado de la seguridad
 - Subnivel IIb de Arenas arcillosas con gravas y bolos muy compactas:
 - Ángulo de rozamiento interno: 32°
 - Densidad: 1'9 t/m³
 - Cohesión: 2'0 t/m³
- La excavación del nivel superior con restos vegetales y antrópicos podrá realizarse con medios convencionales. Una vez se intercepte el nivel II de arenas arcillosas con gravas y bolos será necesario el empleo de medios mecánicos energéticos para su excavación, dada la presencia de tramos parcialmente encostrados y/o con alto contenido en bolos.
- Para la solución adoptada, el valor de la carga de hundimiento se considera independiente de la forma de la cimentación. Por tanto, obtenemos una tensión admisible de 2'50 Kg/cm² en el subnivel IIa y 3'50 Kg/cm² en el subnivel IIb.

6. Descripción del edificio

Se pretende diseñar un edificio de seis plantas que va a ser utilizado como hotel. Con dos plantas destinadas a la cocina y comedor y una planta baja diáfana que se empleará como vestíbulo y café-bar. Se ejecutará también un sótano destinado al aparcamiento de vehículos.

Se dispondrá de una altura entre forjados de 3,35 m en las plantas destinadas a habitaciones y de 3,85 m en las plantas de comedor y cocina. La planta baja se diseña con una altura entre forjados de 4,2 m. Por lo que la altura desde rasante cumple con la normativa urbanística del municipio de Oropesa del Mar, siendo esta limitación de 25,3 m para un edificio de seis plantas.

El aparcamiento subterráneo se situará a nivel de cimentación, 3,85 m por debajo del forjado de planta baja.

Tabla 1. Información por plantas

Planta	Uso	Distancia entre forjados (m)
Sótano	Parking (categoría E)	3,85
Baja	Vestíbulo y cafetería (categoría C3)	4,20
Primera	Salón comedor (categoría C1)	3,85
Segunda	Cocina (categoría C1)	3,85
Tercera	Habitaciones (categoría A1)	3,35
Cuarta	Habitaciones (categoría A1)	3,35
Quinta	Habitaciones (categoría A1)	3,35
Sexta	Habitaciones (categoría A1)	3,35
Cubierta	Accesible solo conservación (categoría G1)	-

En la siguiente imagen se define las dimensiones de la planta general propuesta. Se representa en rojo la línea de fachada y en azul los salientes para balcones o terrazas. Se puede observar como aparecen dos lados de mayor longitud respecto al resto de la planta de 20 y 28,7 m.

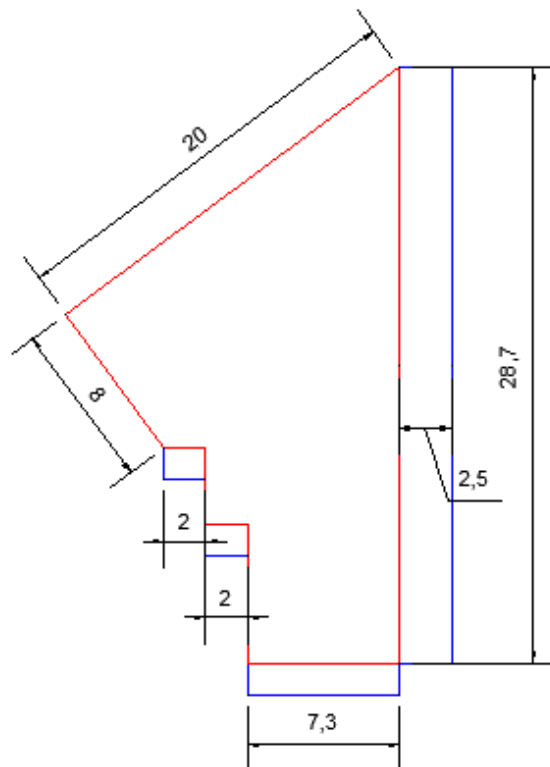


Figura 5. Geometría de la planta tipo

Por tanto, se obtiene un área interior de 267 m², que aumenta a 356 m² al tener en cuenta los elementos en voladizo.

Además, en los planos de propuesta arquitectónica, se puede apreciar como el lado de 20 m y el de 8 m están destinados a albergar el hueco de ascensor y dos tramos de escalera, por lo que

resultarán muy útiles para emplearlos a modo de arriostramiento frente a esfuerzos horizontales si fuera necesario. Por otro lado, el resto de fachada, o bien dan a terraza, o se presenta en ellos un tramo acristalado, lo cual imposibilita, por parte de la propiedad, emplear elementos de arriostramiento en estos lados.

En los planos de distribución en planta se prevén algunos pilares en el interior, aunque se expresa la necesidad de que el comedor, situado en planta primera, y la cafetería, situada en planta baja, se presenten como espacios diáfanos.

Por otro lado, la planta del sótano se amplía con respecto a las plantas superiores de la manera que se detalla en la siguiente imagen. Al ampliarse la superficie a 818 m², se amplía también el forjado de planta baja, que cubrirá la superficie del aparcamiento. Se ha de tener en cuenta que esta cubierta forma parte de la cafetería y vestíbulo pese a quedar fuera de la línea de fachada, por lo que habrá de tenerse en cuenta la sobrecarga debida a la deambulación de personas.

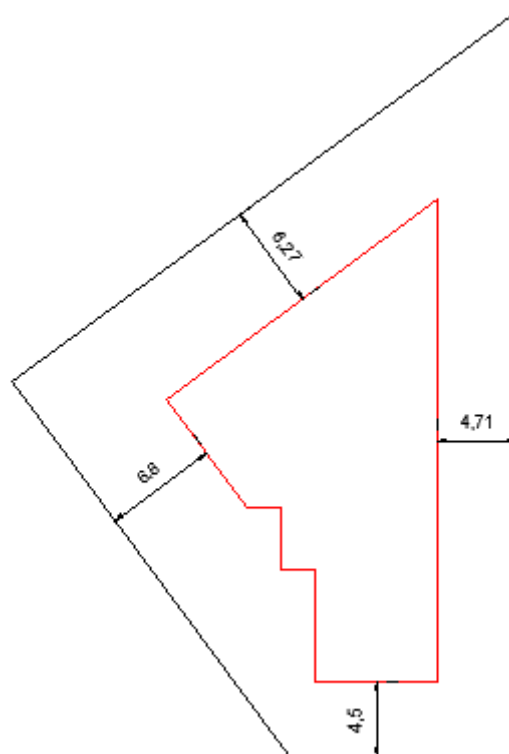


Figura 6. Superficie planta sótano

Los elementos construidos desde el forjado de planta baja (este inclusive) hasta la cimentación se realizarán con hormigón armado con el objeto de proteger los elementos de madera de humedades por exposición a agentes externos y a los elementos de hormigón.

7. Estudio de soluciones

En este apartado se exponen las soluciones estructurales que se han estudiado para realizar el diseño del edificio hotelero. Además de exponer las soluciones, se realiza un análisis

multicriterio que nos asegura obtener la solución óptima y que se adapte a unos criterios que han de ser definidos previamente.

Se describe una solución en madera y otra en hormigón con el fin de mostrar que ambos materiales son perfectamente válidos y comparables cuando se prepara el diseño estructural de edificios de alturas ya considerables. Por lo que no hay motivo de relegar a la madera, como material de construcción, a un segundo plano.

7.1. Criterios de evaluación

Los criterios que se han escogido para realizar una adecuada elección de la solución son:

- **Ligereza:** El criterio de ligereza premia a la estructura con menor peso propio y, por tanto, menor afección a la cimentación. Se le otorga un peso de ponderación del 15%, ya que es la única manera de valorar el coste de la cimentación sin la necesidad de realizar un predimensionamiento de la misma.
- **Economía:** Es el criterio con mayor peso ponderado, 40%, ya que, al fin y al cabo suele ser uno de los mayores condicionantes de una obra.
- **Afección al medioambiente:** Este criterio se evaluará teniendo presente la cantidad de CO₂ que se emite a la atmósfera a causa de la ejecución de cada una de las soluciones. El peso otorgado es del 35% porque uno de los objetivos de este trabajo es el de encontrar una forma de conseguir un sistema de construcción más sostenible
- **Estética:** Este criterio posee un peso ponderado del 10% y pretende que, como en toda obra, se obtenga una solución con cierta belleza, además de funcionalidad.

Como se puede comprobar, los criterios que se van a evaluar requieren de un diseño estructural previo, aunque se trate de un predimensionamiento. Por esto, las soluciones que se van a describir a continuación han sido calculadas para poder obtener un orden de magnitud.

7.2. Solución en madera

Se propone una solución estructural de entramado pesado de elementos de madera y sus derivados. Con esta solución se pretende aportar ligereza a la estructura y reducir las emisiones de CO₂ a la atmósfera para así contribuir a la minoración de los efectos del cambio climático.

La solución se trata de un sistema de pórticos sobre los que apoya un forjado de viguetas mixtas con tablero de fibras tipo OSB. Esta solución permite una gran flexibilidad en el diseño, lo cual es de gran importancia a la hora de conseguir una planta baja diáfana.

El forjado unidireccional tiene una dirección ortogonal a las vigas principales de pórticos, consiguiendo, de esta manera, transmitir las cargas debidas a la operatividad del hotel y funcionar como un elemento diafragma que arriestre cada planta frente a las acciones horizontales de viento y sismo. Las viguetas serán de madera aserrada de clase resistente C24 de escuadría 15x25 cada 60 cm y el tablero OSB de un espesor de 20 mm.

Por otro lado, se decide que el forjado de planta baja se construya con hormigón armado debido a la necesidad de protección frente a los agentes climáticos y el uso que se le va a dar y las sobrecargas que esto conlleva. Por tanto, la parte que difiere de la solución estructural de hormigón armado serán los elementos de planta baja hacia coronación.

El resto de los elementos, vigas y pilares, se realizarán con madera laminada encolada, ya que este material posee muy buen comportamiento tanto a compresión como a flexión y su uso se encuentra altamente recomendado para la construcción de edificios de varias plantas

empleando el sistema de entramado pesado. La clase resistente del material escogido es GL24h, ya que es el más habitual en construcción y tiene una comercialización más extendida.

El predimensionamiento de estos elementos se realizará mediante el programa de cálculo de estructuras SAP2000, con el que se obtendrán los esfuerzos, y cálculos manuales siguiente de DBSE-M.

El modelo que se va a realizar en SAP2000, tiene como objeto obtener un predimensionamiento de los elementos estructurales, es por esto que se considerará como una primera aproximación al modelo que realizaría más detalladamente si resultara la solución escogida.

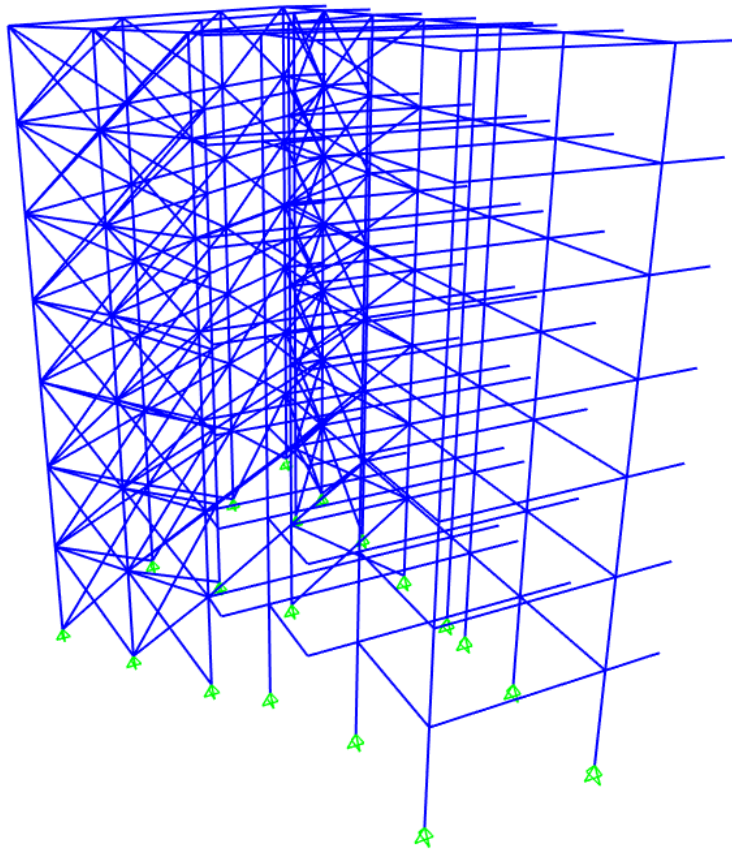


Figura 7. Vista 3d del modelo en SAP2000

Según el predimensionamiento realizado en el modelo de cálculo, se obtienen las siguientes conclusiones:

- Los pilares tendrán una sección de 50x50 cm.
- Las vigas principales tendrán una sección de 30x70 cm.
- Las vigas secundarias tendrán una sección de 15x25 cm.

En la siguiente table se han representado las características evaluables mediante los criterios definidos a modo de resumen:

Tabla 2. Características de la solución en madera

Criterio	Solución en madera
Peso propio de la estructura (kN)	5897,075
Coste de ejecución de la estructura (€)	429.453,75
Repercusión en emisiones de t de CO ₂	-365,91

7.3. Solución en hormigón armado

Se propone una solución estructural con un material convencional para esta clase de edificaciones como es el hormigón armado, empleando forjados reticulares, debido a la irregularidad geométrica de la planta y a las luces a salvar, y pilares de hormigón armado. Además, se aprovechan los huecos de ascensor y escaleras para realizar un núcleo rígido de muros de hormigón armado frente a los esfuerzos horizontales.

Para obtener los datos necesarios para el análisis de las soluciones, se realiza un predimensionamiento de la estructura mediante el programa CYPECAD, de la casa comercial CYPE Ingenieros.

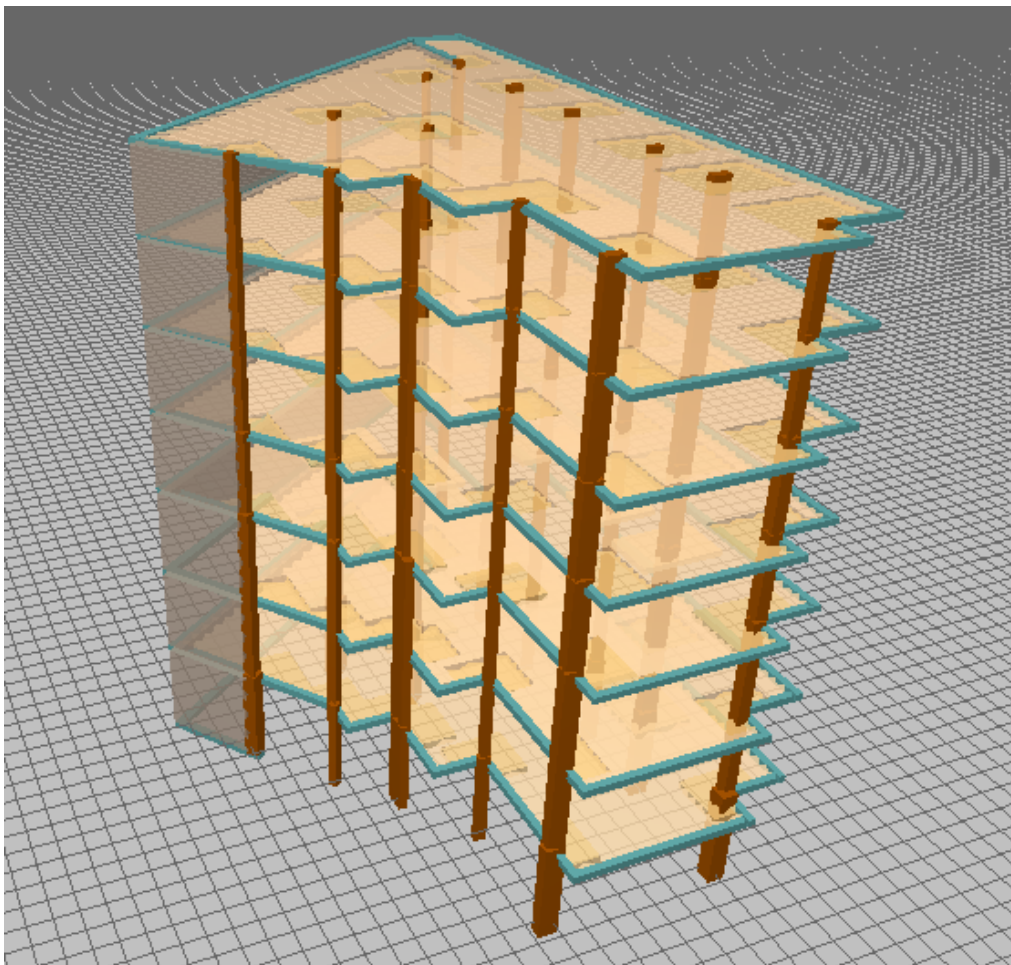


Figura 8. Vista 3d del modelo de CYPECAD

Se disponen dos tipos de forjado según la planta en la que se sitúen. Para las plantas de habitaciones y cubierta se propone un forjado reticular con casetón perdido de 25 cm de canto (20+5) de 82 cm de intereje y 12 cm de ancho de nervio. Por otro lado, el forjado de cocina y comedor, como va a estar expuesto a unas sobrecargas mayores, se aumenta el canto a 30 cm (25+5).

Por otro lado, los pilares a disponer varían en sección según su situación. Las secciones más representativas son de 50x80 cm y de 50x50 cm, todos con cuatro redondos de acero de 12 mm de diámetro de armado longitudinal en las esquinas.

Se dispone también de un núcleo rígido en el muro de ascensor y escaleras, formado por un muro de hormigón armado de 40 cm de espesor.

En la siguiente tabla se han representado las características evaluables mediante los criterios definidos a modo de resumen:

Tabla 3. Características de la solución en hormigón armado

Criterio	Solución en Hormigón
Peso propio de la estructura (kN)	22441,44
Coste de ejecución de la estructura (€)	250.729,93
Repercusión en emisiones de t de CO ₂	462,61

7.4. Análisis de las soluciones

Una vez expuestas las soluciones estructurales debidamente, se procede al análisis de sus características según los criterios establecidos previamente.

Tabla 4. Evaluación de las soluciones

Criterio	Peso (%)	Solución madera	Solución hormigón
Ligereza	15	10	2,63
Economía	40	5,84	10
Emisiones CO ₂	35	10	0,00
Estética	10	10	7
Puntuación final		8,34	5,09

Por lo que la solución escogida resulta ser la de madera, con una puntuación de 8,34/10 frente a la puntuación de la solución en hormigón de 5,09/10.

7.5. Conclusiones

Se da por justificada la elección de la solución estructural basada en elementos procedentes de la madera, después de haber expuesto los criterios de evaluación y de haber detallado las características necesarias de cada una de las soluciones.

Cabe destacar en este anejo algunos detalles importantes:

- Se comprueba, en primer lugar, que la construcción de edificios de madera en altura siguiendo los métodos clásicos, como es el entramado pesado, resulta bastante más caro de construir, aunque puedan hacerse en un tiempo menor que con el empleo de materiales convencionales, como es el hormigón armado.
- También resulta interesante destacar que, frente al problema medioambiental que atraviesa la humanidad, se podría mitigar en gran medida la contribución del sector de la edificación si se empleara en más ocasiones soluciones estructurales de madera. De hecho, se puede comprobar que para obtener un balance neutro basándonos en estas soluciones, bastaría con construir en madera 4 edificios cada 3 construidos en hormigón.
- Por último, conviene tener en cuenta que, entre las políticas que se están adoptando para hacer frente al cambio climático, aparece cada vez con más fuerza la llamada “Créditos de carbono”. Esta medida se asemejaría a una especie de bolsa de mercado en la que los distintos agentes y empresas compran y venden derechos de emisiones de carbono. Por tanto, una empresa que emite menos gases o que incluso consigue almacenarlos, se encuentra en posición de vender dichos créditos a empresas que emiten gases de carbono. El precio en 2020 de la tonelada de carbono en este mercado fluctuante se encuentra en los 100€/t, aproximadamente. Si se le aplicara a nuestras dos soluciones, el coste total de la estructura de madera sería de 392.862,75 €, mientras que el de la solución en hormigón sería de 296.990,93 €, por lo que la diferencia de coste se ve reducida considerablemente.

8. Estructura de madera

Para la evaluación de la seguridad estructural del edificio y el dimensionamiento de los elementos que van a conformar el entramado estructural del mismo, se llevará a cabo un modelo que represente fielmente el comportamiento de la estructura empleando el programa SAP 2000. A partir de la modelización se obtendrán los esfuerzos y desplazamientos necesarios para realizar el dimensionado de los elementos mediante la herramienta de Excel siguiendo las normas y guías necesarias.

En este apartado, se presentan los resultados obtenidos después de haber calculado la estructura de manera que cumpla satisfactoriamente con los ELU, ELS y habiendo realizado la comprobación frente a incendio.

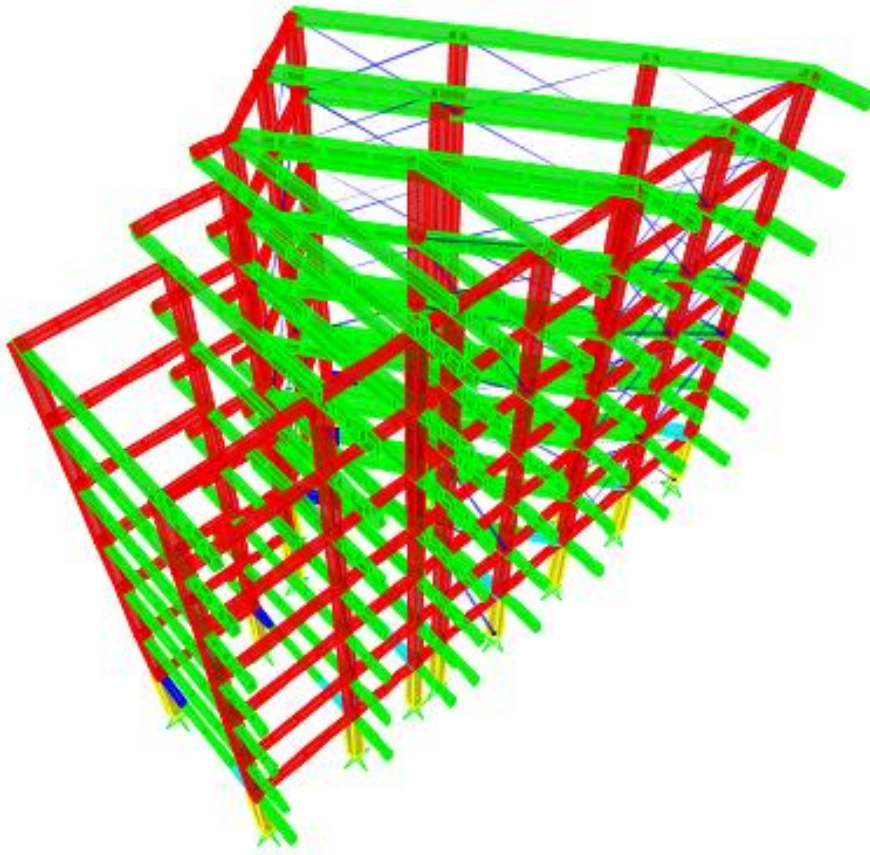


Figura 9. Vista 3D del modelo de cálculo en SAP2000

En la siguiente tabla se resumen las características de las diferentes secciones que se han obtenido como resultado del cálculo estructural de los elementos:

Tabla 5. Secciones calculadas

Secciones en cm	Forjado	Vigas principales	Vigas secundarias	Pilares	Cables arriostramiento
Sección tipo	<ul style="list-style-type: none"> • Vigueta 12x25 con intereje 62,5 • Tablero de 520x250x2 	22x60	14x25	40x50 30x30 20x20	Cordón 1+9+9 modelo AA 22 mm de diámetro.
Elementos singulares	Forjado reticular de hormigón armado	<ul style="list-style-type: none"> • 22x70 en las vigas más cargadas • 22x80 en uniones con pilares 			

9. Estructuras de hormigón armado

Una vez diseñada la parte superior del edificio, de planta baja hasta coronación, se propone el cálculo de todos los elementos por debajo de la cota de la planta baja, es decir, forjado de planta baja, muros de sótano, pilares entre las dos plantas y la cimentación. Para ello, se emplea el programa CYPECAD de CYPE Ingenieros.

Se realiza un modelo de cálculo al que se le introducen los datos básicos del terreno y las cargas en cabeza de pilar obtenidas a partir del modelo de SAP2000 empleado para la realización del cálculo estructural en madera.

El resultado del cálculo de los elementos estructurales de hormigón es:

- Forjado: Se ha optado por el empleo de forjado reticular para solventar la planta baja debido a la irregularidad de su geometría y a las luces a salvar. Forjado reticular de casetón perdido de 35 cm de canto, incluyendo una capa de compresión de 5 cm, intereje de nervios de 82 cm y anchura de nervios de 12 cm. También se calculo el armado base, siendo:

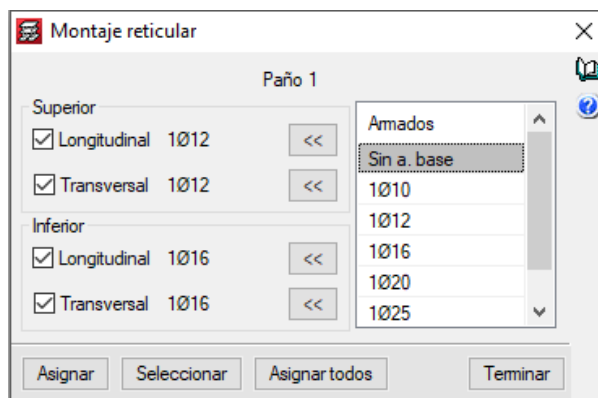


Figura 10. Armado base de forjado

- Pilares: Se obtienen tres secciones diferentes de pilares en función de las cargas que han de soportar. En el siguiente cuadro se presentan las secciones obtenidas:

Tabla 6. Resumen de medición de pilares

Resumen de medición - Forjado 1								
Pilares	Dimensiones (cm)	Encofrado (m ²)	Hormigón HA-30, Yc=1.5 (m ³)	Armaduras B 500 S, Ys=1.15				Cantidad (kg/m ³)
				Longitudinal		Estribos Ø6 (kg)	Total +10 % (kg)	
				Ø16 (kg)	Ø12 (kg)			
P1, P2, P4, P5, P11, P13 y P18	35x35	34.30	3.00	168.7	-	58.1	249.5	75.60
P3, P6, P8, P9, P10, P12, P14 y P15	30x30	33.60	2.52	-	108.8	62.4	188.3	67.94
P7, P16, P17 y P19	40x40	22.40	2.24	-	108.4	44.0	167.6	68.04
Total		90.30	7.76	168.7	217.2	164.5	605.4	70.93

- Muros de sótano: Los muros de sótano son cuatro y se sitúan en el perímetro de la excavación. Los cuatro sótanos tienen la misma sección de hormigón armado de 30 cm de canto.

10. Cimentación

En el mismo modelo de CYPECAD empleado para el cálculo de los elementos de hormigón armado, se calcula y dimensiona también la cimentación del edificio.

Debido a la buena capacidad portante del estrato en el que apoya la cimentación, se opta por un diseño de zapatas aisladas bajo pilares y zapata corrida bajo muros de sótano.

Las zapatas aisladas vienen resumidas en la siguiente tabla:

Tabla 7. Geometría zapatas aisladas

Referencias	Geometría	Armado
P1	Zapata cuadrada Anchura: 245.0 cm Canto: 55.0 cm	X: 15Ø16c/16 Y: 15Ø16c/16
P2	Zapata cuadrada Anchura: 235.0 cm Canto: 50.0 cm	X: 15Ø16c/15 Y: 15Ø16c/15
P3	Zapata cuadrada Anchura: 210.0 cm Canto: 45.0 cm	X: 8Ø20c/27 Y: 8Ø20c/27
P4	Zapata cuadrada Anchura: 235.0 cm Canto: 50.0 cm	X: 14Ø16c/16 Y: 14Ø16c/16
P5	Zapata cuadrada Anchura: 225.0 cm Canto: 50.0 cm	X: 9Ø20c/26 Y: 9Ø20c/26
P6	Zapata cuadrada Anchura: 160.0 cm Canto: 35.0 cm	X: 12Ø12c/12.5 Y: 12Ø12c/12.5
P7	Zapata cuadrada Anchura: 290.0 cm Canto: 65.0 cm	X: 14Ø20c/21 Y: 14Ø20c/21
P8	Zapata rectangular excéntrica Ancho zapata X: 180.0 cm Ancho zapata Y: 180.0 cm Canto: 40.0 cm	X: 14Ø12c/12 Y: 14Ø12c/12
P9	Zapata cuadrada Anchura: 210.0 cm Canto: 45.0 cm	X: 11Ø16c/18 Y: 11Ø16c/18
P10	Zapata cuadrada Anchura: 160.0 cm Canto: 35.0 cm	X: 12Ø12c/13 Y: 12Ø12c/13
P11	Zapata cuadrada Anchura: 225.0 cm Canto: 50.0 cm	X: 13Ø16c/17 Y: 13Ø16c/17
P12	Zapata cuadrada Anchura: 180.0 cm Canto: 40.0 cm	X: 14Ø12c/12.5 Y: 14Ø12c/12.5
P13	Zapata cuadrada Anchura: 225.0 cm Canto: 50.0 cm	X: 8Ø20c/27 Y: 8Ø20c/27
P16, P19	Zapata rectangular excéntrica Ancho zapata X: 230.0 cm Ancho zapata Y: 230.0 cm Canto: 50.0 cm	X: 14Ø16c/16 Y: 14Ø16c/16

Referencias	Geometría	Armado
P17	Zapata rectangular excéntrica Ancho zapata X: 270.0 cm Ancho zapata Y: 270.0 cm Canto: 60.0 cm	X: 11Ø20c/24 Y: 11Ø20c/24
P18	Zapata rectangular excéntrica Ancho zapata X: 215.0 cm Ancho zapata Y: 215.0 cm Canto: 45.0 cm	X: 13Ø16c/16 Y: 13Ø16c/16
(P14-P15)	Zapata rectangular excéntrica Ancho zapata X: 280.0 cm Ancho zapata Y: 280.0 cm Canto: 65.0 cm	Sup X: 15Ø12c/19 Sup Y: 15Ø12c/19 Inf X: 13Ø20c/22 Inf Y: 15Ø12c/19

Por otro lado, se obtiene también el dimensionamiento de las zapatas corridas bajo muros de sótano:

Tabla 8. Geometría zapatas corridas

Referencias	GEOMETRÍA	ARMADO
M1	Vuelo a la izquierda: 25.0 cm Vuelo a la derecha: 25.0 cm Ancho total: 80.0 cm Canto de la zapata: 30.0 cm	Inferior Longitudinal: Ø12c/30 Inferior Transversal: Ø12c/30
M2	Vuelo a la izquierda: 25.0 cm Vuelo a la derecha: 25.0 cm Ancho total: 80.0 cm Canto de la zapata: 30.0 cm	Inferior Longitudinal: Ø12c/30 Inferior Transversal: Ø12c/30
M3	Vuelo a la izquierda: 25.0 cm Vuelo a la derecha: 25.0 cm Ancho total: 80.0 cm Canto de la zapata: 30.0 cm	Inferior Longitudinal: Ø12c/30 Inferior Transversal: Ø12c/30
M4	Vuelo a la izquierda: 25.0 cm Vuelo a la derecha: 25.0 cm Ancho total: 80.0 cm Canto de la zapata: 30.0 cm	Inferior Longitudinal: Ø12c/30 Inferior Transversal: Ø12c/30

11. Valoración económica

Capítulo 1 Acciones Previas	59.279,79
Capítulo 2 Cimentaciones	14.111,59
Capítulo 2.1 Regularización	1.406,76
Capítulo 2.2 Superficiales	12.704,83
Capítulo 3 Estructuras	463.570,65
Capítulo 3.1 Hormigón armado	91.154,24
Capítulo 3.2 Estructuras de madera	372.416,41
<hr/>	
Presupuesto de ejecución material	536.962,03
13% de gastos generales	69.805,06
6% de beneficio industrial	32.217,72
<hr/>	
Suma	638.984,81
21% IVA	134.186,81
<hr/>	
Presupuesto de ejecución por contrata	773.171,62

Asciende el presupuesto de ejecución por contrata a la expresada cantidad de SETECIENTOS SETENTA Y TRES MIL CIENTO SETENTA Y UN EUROS CON SESENTA Y DOS CÉNTIMOS.

12. Contenido de la memoria valorada

DOCUMENTO N°1: MEMORIA Y ANEJOS

1.1. Memoria

1.2. Anejos a la Memoria

- Anejo n°1: Estudio geológico y geotécnico
- Anejo n°2: Topográfico
- Anejo n°3: Normativa aplicable
- Anejo n°4: Propiedades y bases de cálculo de la madera
- Anejo n°5: Estudio de soluciones
- Anejo n°6: Cálculo estructural
- Anejo n°7: Cimentación
- Anejo n°8: Mediciones
- Anejo n°9: Valoración económica

DOCUMENTO N°2: PLANOS

1. Localización y emplazamiento
 - 1.1. Localización
 - 1.2. Emplazamiento
2. Alzado, planta y perfil
 - 2.1. Planta general
 - 2.2. Alzados
3. Cimentación
4. Cuadro de pilares
5. Muros de sótano
6. Forjados
 - 6.1. Replanteo forjado Planta Baja
 - 6.2. Armados forjado Planta Baja
 - 6.3. Refuerzos a punzonamiento forjado Planta Baja
 - 6.4. Replanteo forjados de madera
7. Detalles