



CÁLCULO Y DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DEL APARCAMIENTO DE LA PLAZA DE SANT JAUME DE XÀTIVA (VALENCIA)

Guillem Garcia Martí

Trabajo de final de
Grado en Ingeniería de Obras Públicas
Curso 2014-2015

Dirigido por D. Carlos Gisbert Doménech

Departamento de Ingeniería de la Construcción

Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos Canales y Puertos
Universitat Politècnica de Valencia

Diciembre 2014

CONTENIDO DEL TRABAJO FINAL DE GRADO

1. Memoria de cálculo

2. Anejo de cálculo

3. Documentación gráfica

1. Situación y emplazamiento
2. Distribución y cotas
 - 2.1 Planta sótano 2
 - 2.2 Planta sótano 1
3. Cimentación
 - 3.1 Plano general cimentación
 - 3.2 Zapatas aisladas
 - 3.3 Losa de cimentación de las pantallas
4. Pilares y pantallas
 - 4.1 Cuadro de pilares
 - 4.2 Detalles constructivos
 - 4.3 Pantalla hueco ascensor inferior
 - 4.4 Pantalla hueco ascensor superior
5. Muros pantalla
 - 5.1 Muro pantalla - Medianera 1
 - 5.2 Muro pantalla - Medianera 2
 - 5.3 Muro pantalla - Fases de ejecución
6. Forjados
 - 6.1 Armado longitudinal inferior forjado sótano 2
 - 6.2 Armado transversal inferior forjado sótano 2
 - 6.3 Armado longitudinal superior forjado sótano 2
 - 6.4 Armado transversal superior forjado sótano 2
 - 6.5 Armado longitudinal inferior forjado sótano 1
 - 6.6 Armado transversal inferior forjado sótano 1
 - 6.7 Armado longitudinal superior forjado sótano 1
 - 6.8 Armado transversal superior forjado sótano 1
 - 6.9 Detalles constructivos
 - 6.10 Armado de punzonamiento forjado sótano 1



MEMORIA DE CÁLCULO

Guillem Garcia Martí

Trabajo final de

Grado en Ingeniería de Obras Públicas

Curso 2014-2015

Dirigido por D. Carlos Gisbert Doménech

Departamento de Ingeniería de la Construcción

Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos Canales y Puertos

Universitat Politècnica de Valencia

Diciembre 2014

ÍNDICE

1. Introducción y antecedentes	5
2. Objeto y alcance del trabajo	7
3. Información disponible y condicionantes.....	8
4. Descripción de la solución adoptada	12
5. Modelización	17
5.1. Modelo Cypecad	18
5.2. Modelos simplificados	24
6. Criterios y diseños de armado	27
7. Resultados obtenidos	39
7.1. Comparativa modelos simplificados vs modelo cypecad	40
7.2. Análisis de las soluciones constructivas planteadas.....	42
7.3. Análisis de la solución adoptada	44
8. Conclusiones	45

1. INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES

El siguiente Trabajo de Final de Grado se titula “Cálculo y diseño de la estructura del aparcamiento de la Plaza Sant Jaume de Xàtiva (Valencia)” y ha sido dirigido por D. Carlos Gisbert Doménech, profesor del Departamento de Ingeniería de la Construcción de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.

La idea de llevar a cabo este trabajo surgió durante el primer semestre del cuarto curso de GIOP, mientras se estaba cursando la asignatura “Tecnología de las construcciones de hormigón” impartida por el mencionado profesor.

El procedimiento utilizado para la elección del presente trabajo ha sido el de la modalidad de concierto directo entre profesor y alumno. De entre los posibles temas a realizar ,se escogió el relativo al mencionado aparcamiento subterráneo en la plaza Sant Jaume de Xàtiva, propuesta que posteriormente fue aprobada por la Comisión Académica del Título, con fecha 24 de Febrero de 2014.



Prospección arqueológica en la Plaza Sant Jaume durante la excavación. (vía terraeantiquae.com)

El Trabajo de Final de Grado se estructura básicamente en dos partes: una primera en donde se diseña, explica y calcula la estructura objeto de estudio; y una segunda, que contiene toda la documentación gráfica que refleja los cálculos estructurales previamente realizados.

La primera parte consta de una memoria y su correspondiente anejo de cálculo estructural. La memoria de cálculo muestra el alcance del trabajo, los modelos de cálculo utilizados, las características básicas de la estructura, los resultados obtenidos, y las conclusiones. En el anejo de la memoria se desarrollan los cálculos estructurales tanto por métodos simplificados, como mediante el software informático CYPECAD, y en ambos casos para cuatro soluciones constructivas distintas. Posteriormente se establece una comparativa entre ambos métodos de cálculo, que sirve para decidir la solución que se considera más apropiada.

La segunda parte del trabajo es la dedicada a la documentación gráfica, en donde se incluyen los planos de la solución escogida que definen la estructura del aparcamiento. En ellos se detalla la geometría y el armado de la cimentación, los pilares, los muros pantalla y los forjados, y se definen los materiales a utilizar.

Todos estos documentos tienen como finalidad garantizar una correcta ejecución de la estructura, que permita el cumplimiento de las exigencias para las que ha sido diseñada.

Las fuentes consultadas para la elaboración de este trabajo proceden de los fondos de la Biblioteca de la Universidad Politécnica de Valencia, y de los temarios de varias de las asignaturas cursadas, en especial las de: “Tecnología de las construcciones de hormigón”, “Hormigón armado”, “Análisis de estructuras”, “Geotecnia y cimientos” o “Tipologías y procedimientos de las construcciones de la I.C.”. Además, los recursos empleados para este trabajo han sido: el software de Office, para el procesamiento de textos y hojas de cálculo; Autocad, para la elaboración de planos explicativos; Cypecad, para el cálculo de la estructura y de los muros pantalla; así como el Prontuario Informático de la IECA, para el dimensionado de la armadura frente a punzonamiento. Se ha utilizado Internet para la obtención de fotografías y otros datos.

2. OBJETO Y ALCANCE DEL TRABAJO

El objeto del presente trabajo es el diseño y cálculo de la estructura de un aparcamiento subterráneo en la plaza Sant Jaume, que se encuentra en el casco antiguo de la ciudad de Xàtiva.

Como ya hemos indicado, no se trata de un proyecto en el que se calcula una única solución constructiva, sino que a través del mismo planteamos un conjunto de respuestas posibles a partir de su comportamiento estructural, analizadas por dos vías: la de las formulaciones simplificadas y la del empleo de software informático, para hacer una profunda comparación entre ambos métodos y las tipologías, a fin de hallar la solución idónea para nuestro propósito.

En primer lugar se analiza la información disponible sobre el aparcamiento, para obtener una idea general del proyecto que se pretende desarrollar. A partir de la normativa se obtienen las características de los elementos estructurales y las acciones a considerar sobre la estructura.

Previo al cálculo estructural, se realiza un predimensionado de la geometría de los principales elementos constructivos, con el fin de obtener una primera aproximación a lo que han de ser las dimensiones finales de los mismos.

Se desarrolla el cálculo estructural a partir de formulaciones simplificadas y mediante la versión 2014 del programa de cálculo Cypecad, lo que sirve para estudiar distintas tipologías constructivas para la estructura del aparcamiento, necesarias y convenientes para tomar decisiones posteriores.

Por último se diseña la documentación gráfica que define la geometría y el armado necesario para cada uno de los elementos estructurales de la obra.

3. INFORMACIÓN DISPONIBLE Y CONDICIONANTES

En este apartado analizamos toda la información facilitada por el profesor Carlos Gisbert Doménech, desde la que se ha partido para el desarrollo del trabajo y que, al mismo tiempo, ha condicionado, el diseño estructural del aparcamiento.

En primer lugar, es necesario conocer la necesidad que da lugar a la realización de esta construcción. El motivo principal es la falta de plazas de aparcamiento en el casco antiguo de la ciudad de Xàtiva, por lo que se proyecta un aparcamiento subterráneo en la Plaza Sant Jaume, con la intención de intentar solventar en la medida de lo posible parte de este problema.



Vista aérea de la actual Plaza Sant Jaume (vía google maps)

La plaza tiene forma triangular y en ella confluyen tres calles; por la parte superior este, la calle Hostals; por la parte inferior este, la calle Taquígrafo Martí y por la parte oeste, la calle de la Argenteria.



Situación Plaza Sant Jaume (vía Terrasit)

El aparcamiento se sitúa en el subsuelo, ocupando la zona central de la plaza y parte de los andenes de circulación de vehículos, unos 1120 m² aproximadamente. La parcela se encuentra rodeada por su parte norte y sur por viviendas de entre 3 y 4 alturas. El acceso y la salida del aparcamiento se realiza mediante 2 rampas de sentido único situadas en la calle Hostals.



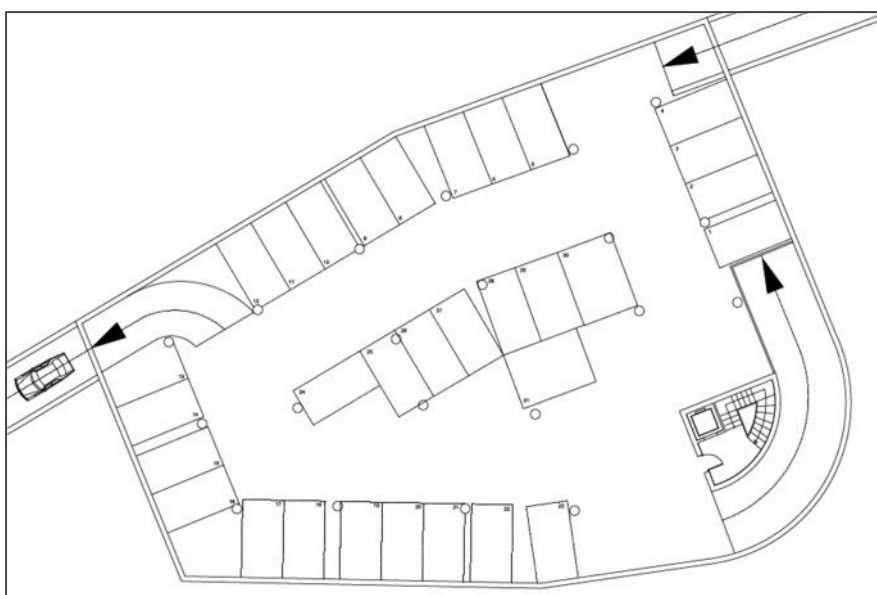
Vista actual de la plaza desde la calle Hostals (vía google maps)

La obra consiste en la construcción de un aparcamiento público de 2,50 metros de altura libre para 66 vehículos colocados en dos plantas: la inferior para 35 plazas y la superior para 31 plazas, dos de las cuales se reservan para minusválidos. Las dimensiones mínimas de las plazas de aparcamiento son 4,50 x 2,40 m², siendo las plazas para minusválidos de 4,50 x 3,30 m². En la parte de cubierta se repondrá el jardín y la zona verde que se eliminará para la construcción.

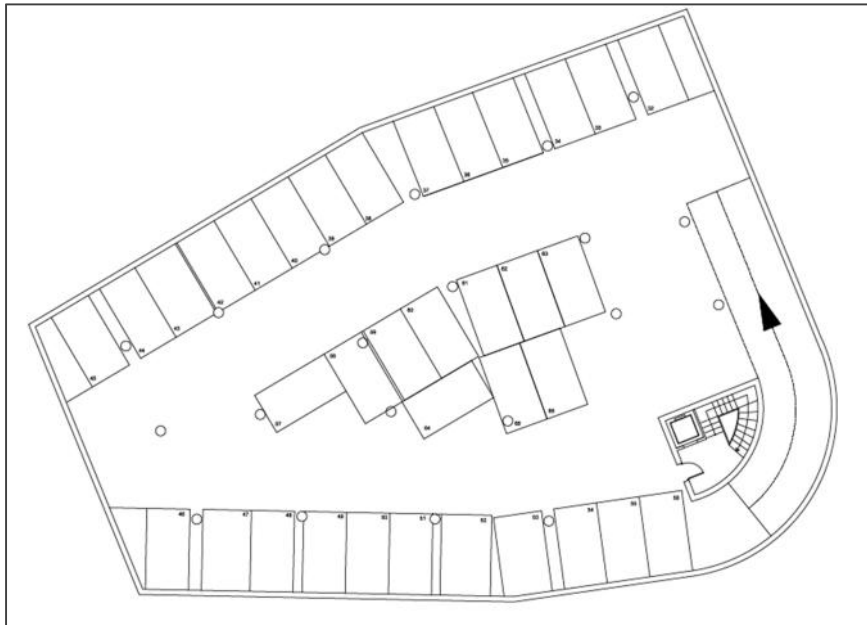


Vista actual de la plaza desde la calle Taquígrafo Martí (vía google maps)

Es de justicia señalar que la información relativa a la geometría de la parcela, el hueco de la escalera y la situación de las rampas de acceso y salida y la rampa entre plantas nos ha sido facilitada por el profesor Carlos Gisbert Doménech. Por nuestra parte hemos llevado a cabo el encaje de los pilares así como de las 66 plazas de aparcamiento, respetando siempre las dimensiones mínimas de las plazas de aparcamiento y los pasillos de circulación.



Plano de distribución del sotano -1 del aparcamiento



Plano de distribución del sótano -2 del aparcamiento

El estudio geotécnico de la obra se ha aportado como información disponible para realizar el trabajo. En él se verifica la no presencia de nivel freático y se identifican los dos estratos que conforman el terreno, así como sus parámetros básicos como la cohesión, el ángulo de rozamiento, etc.

También se incluye un ensayo de agresividad sobre muestras de suelo que indica que no existe ataque químico sobre el hormigón.

4. DESCRIPCIÓN DE LA SOLUCIÓN ADOPTADA

El emplazamiento de la obra y las características de la parcela sugieren adoptar una solución constructiva ejecutada *in situ*, debido a la dificultad de acceso y al reducido espacio de trabajo, por lo que se descarta una estructura a base de elementos prefabricados.

La estructura general del aparcamiento se puede dividir en tres partes claramente diferenciadas:

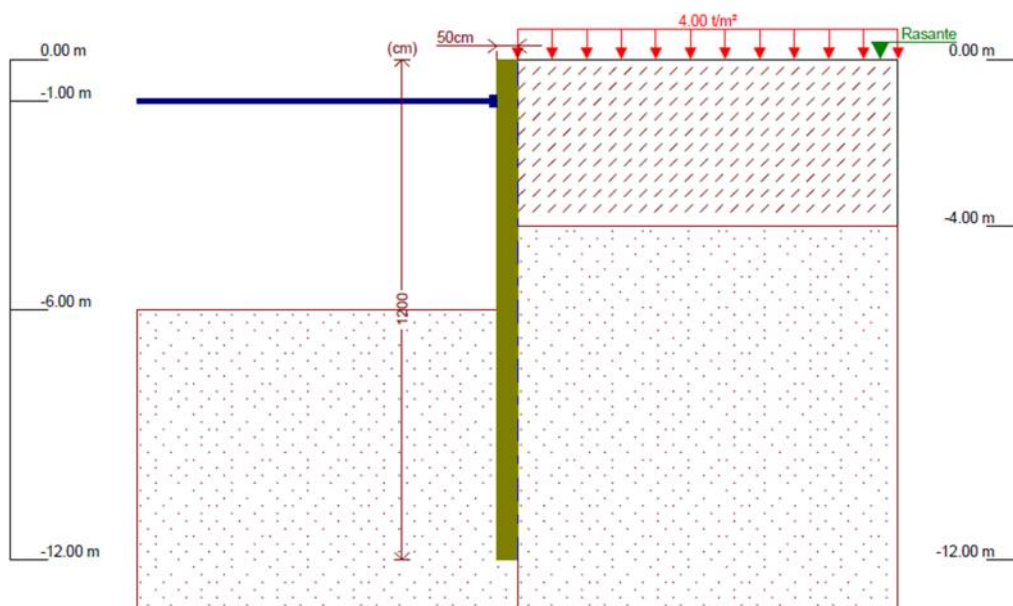
- Los muros pantalla perimetrales, cuya misión principal es la contención del terreno, tanto en fase de construcción como en servicio.
- Los cimientos de la estructura, formados por zapatas aisladas unidas entre sí mediante vigas riostras para los pilares y losa para las pantallas del hueco del ascensor. Son los elementos encargados de transmitir las cargas de la estructura al terreno.
- La estructura propiamente dicha, constituida por pilares y pantallas de hormigón armado, forjado inferior de tipo reticular y forjado superior de losa maciza.

En los siguientes apartados se describen las características de cada una de estas partes que conforman la estructura general del aparcamiento subterráneo. En la documentación gráfica quedan perfectamente definidas las dimensiones y el armado de cada uno de estos elementos.

Muros Pantalla

Los muros pantalla perimetrales se realizan con pilotes *in situ* de hormigón armado. Tienen una altura de 12 metros y un diámetro de 0,50 m, constante en toda su longitud.

Se han considerado dos condiciones de medianera, en función de las construcciones colindantes. La condición de medianera 1 corresponde con la existencia de edificios colindantes de entre 3 y 4 plantas. Para la segunda condición de medianera se ha tenido en cuenta únicamente el peso correspondiente al pavimento de una calle peatonal. Estas condiciones dan lugar a dos tipos de disposición de armado distinto en función de la situación del muro.



Sección muro pantalla durante la fase de excavación a cota -6 metros

Durante la excavación del terreno será necesario disponer de una línea de apuntalamiento a 1 metro de la cota cero, para evitar grandes esfuerzos de flexión en los pilotes. Este tipo de refuerzo será necesario hasta la construcción del forjado inferior.

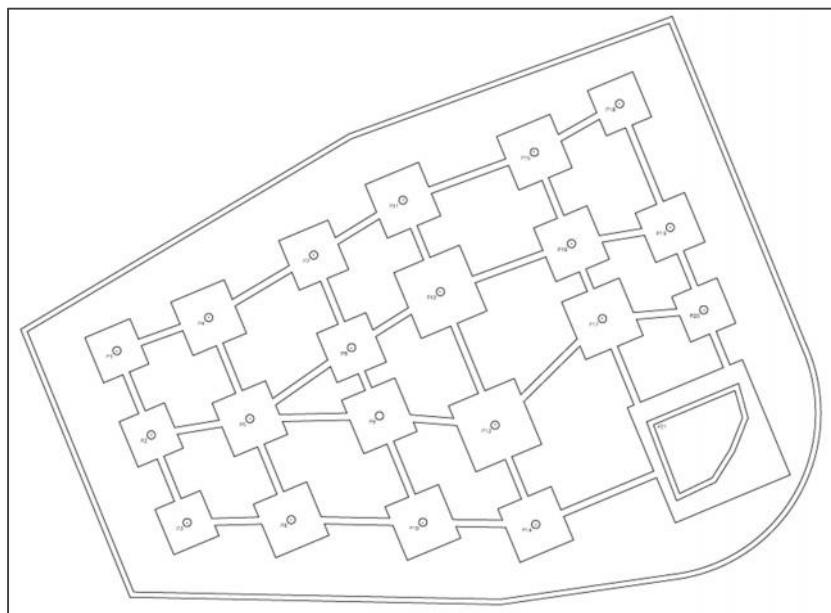
Cimentación

Los elementos de cimentación de hormigón armado son de tipo zapata para los pilares, y tipo losa para el muro pantalla que compone el hueco del ascensor.

Las zapatas aisladas se han unido entre sí mediante riostras. Esta unión no sería necesaria, ya que la aceleración básica es inferior 0,16 g., y hasta dicho valor la solera de hormigón armado puede realizar la función de arriostramiento y sujeción. Desde el punto de vista de la seguridad, es preferible disponerlas para asegurar un mejor agarre frente a los esfuerzos horizontales del sismo.

Existen ocho tipos distintos de zapatas cuadradas, en función de sus dimensiones. Los lados oscilan entre 2,5 y 3,75 metros y el canto entre 0,50 y 0,90 metros. El armado inferior es de Ø20 cada 20 cm, en ambas direcciones.

Las vigas riostras unen las zapatas entre si por su parte superior. La sección de todas ellas es constante de 0,40 x 0,40 m. La armadura longitudinal se compone de dos redondos de Ø12 para cada una de sus caras, y los cercos de Ø8 se disponen cada 30 cm.



Vista en planta de la cimentación del aparcamiento

La losa que soporta el muro pantalla es cuadrada, tiene unas dimensiones de 7,5 x 7,5 metros de lado y un canto de 0,90 metros. El armado dispuesto es de Ø20 cada 20 cm en las dos direcciones, tanto para la cara inferior como para la superior de la losa.

Estructura

La estructura se compone de dos plantas subterráneas, los forjados quedan apoyados en los muros pantalla. La altura libre entre ambos forjados es de 2,50 metros. La superficie en planta de los forjados es de alrededor de 1000 metros cuadrados.

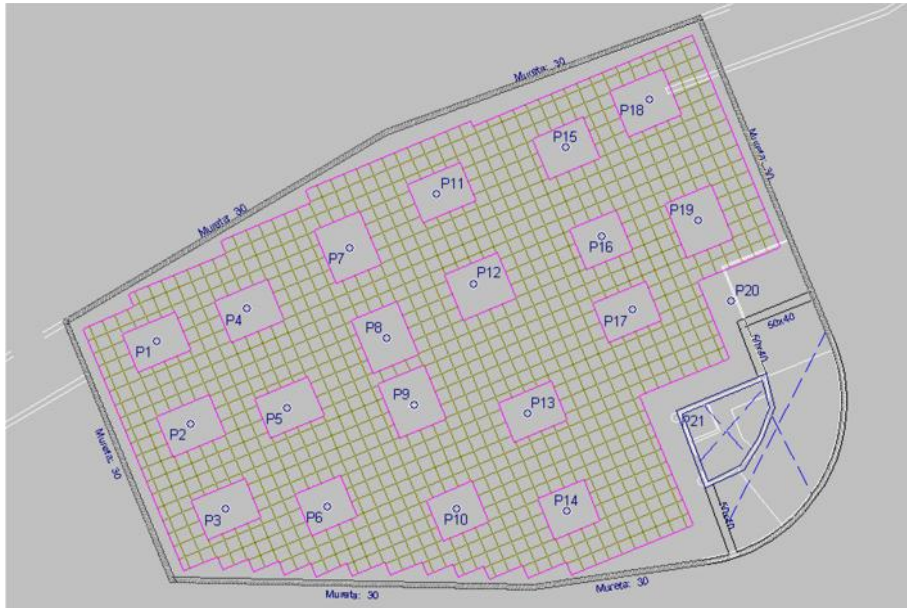
El forjado inferior es de tipo reticular con casetón recuperable de poliestireno expandido (EPS) cuadrado de 80 cm de lado y 30 cm de altura. El canto total del forjado son 40 cm, por lo que la capa de compresión es de 10 cm y el nervio de 12 cm.



Sección forjado inferior

El forjado superior es una losa maciza de hormigón armado de 55 cm de canto. La armadura base superior e inferior son idénticas, se componen de Ø12 cada 15 cm tanto en dirección longitudinal como transversalmente. En la documentación gráfica se adjunta el plano correspondiente a la armadura de refuerzo.

Los forjados disponen de un hueco con forma de cuarto de círculo, de 18 m² aproximadamente, que permitirá la instalación del ascensor y la construcción de las escaleras hasta la cota de calle. Este hueco estará conformado por pantallas de hormigón armado de 30 cm de ancho, con aperturas para el paso de personas. Los forjados acometen sobre estos muros para transmitir los esfuerzos hasta la cimentación.



Planta del forjado reticular inferior

Los pilares son de hormigón armado *in situ*, tienen forma circular y su diámetro es de 45 cm. La disposición de los pilares es fundamental para el uso de la estructura puesto que condiciona el número de plazas de aparcamiento y las calles de circulación.

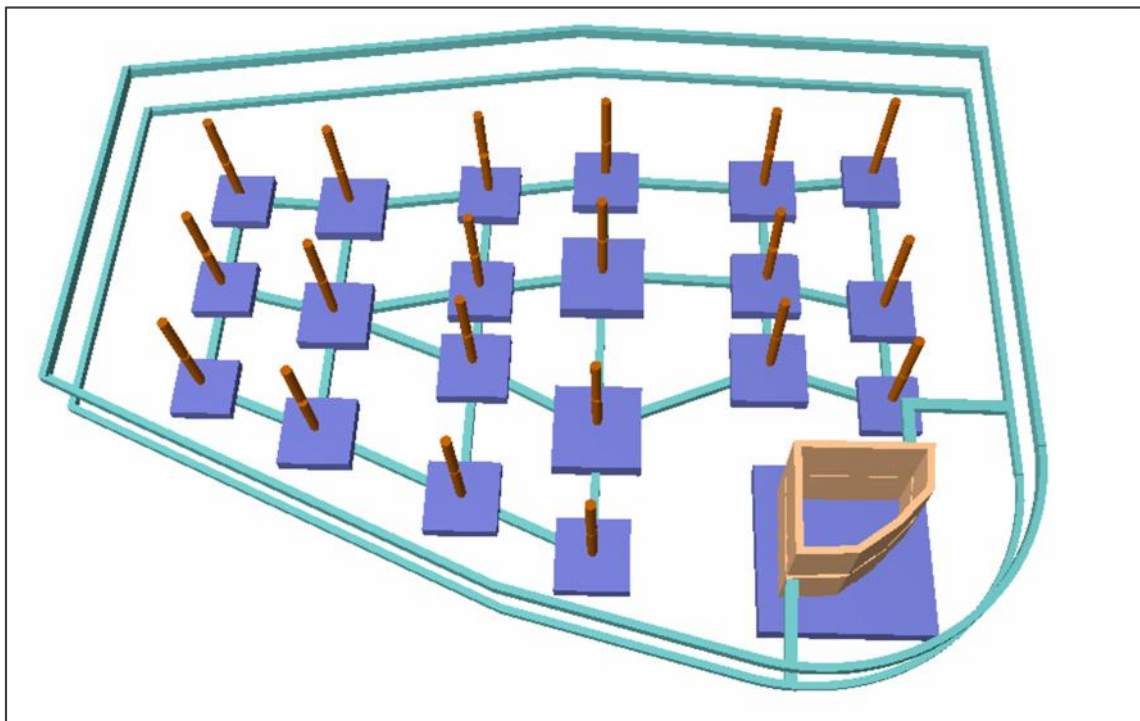
En el aparcamiento se distinguen tres rampas: las de entrada y salida son rampas rectas, y la que conecta ambas plantas es de forma curva. Son losas de hormigón de 30 cm de espesor que se apoyan sobre los forjados y los muros de la estructura. Además de permitir el movimiento de vehículos en el aparcamiento, cumple una función adicional de arriostramiento horizontal de los muros pantalla, transmitiendo los empujes a los forjados, y éstos a la cimentación, de manera análoga a cómo actúan los forjados en el resto de la superficie.

5. MODELIZACIÓN

La estructura del aparcamiento subterráneo ha sido dimensionada y calculada mediante el programa de cálculo CYPECAD (versión 2013), aunque, al mismo tiempo, se han realizado cálculos estructurales simplificados con el fin de comparar los resultados obtenidos por cada modelo de cálculo.

La estructura del aparcamiento está formada por tres elementos principalmente: los muros pantalla perimetrales, que son el sistema de contención de tierras; la cimentación, formada por zapatas aisladas unidas mediante vigas riostras que transmiten las cargas de la estructura al terreno; y la estructura propiamente dicha, constituida por pilares circulares de hormigón armado y forjado reticular.

Los muros pantalla longitudinales, aunque no forman parte de la estructura del propio aparcamiento, han sido calculados en el anejo de esta memoria de cálculo.



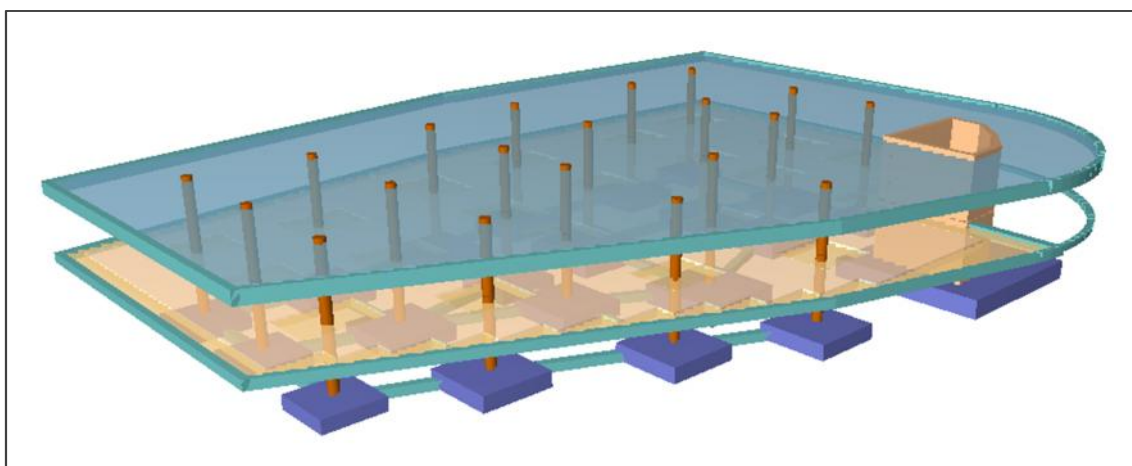
Vista aérea del modelo estructural de Cypecad

5.1. MODELO CYPECAD

El análisis de las solicitaciones se realiza mediante un cálculo espacial en 3D, por métodos matriciales de rigidez, formando todos los elementos que definen la estructura: pilares, pantallas, muros, vigas y forjados.

Se establece la compatibilidad de deformaciones en todos los nudos, considerando 6 grados de libertad, y se crea la hipótesis de indeformabilidad del plano de cada planta, para simular el comportamiento rígido del forjado, impidiendo los desplazamientos relativos entre nudos del mismo (diafragma rígido). Por tanto, cada planta sólo podrá girar y desplazarse en su conjunto, es decir, con 3 grados de libertad.

Para todos los estados de carga se realiza un cálculo estático, excepto cuando se consideran acciones dinámicas por sismo, en cuyo caso se emplea el análisis modal espectral, y se supone un comportamiento lineal de los materiales y, por tanto, un cálculo de primer orden, de cara a la obtención de desplazamientos y esfuerzos.



Perspectiva del modelo estructural de Cypecad

La estructura se discretiza en elementos tipo barra, emparrillados de barras y nudos, y elementos finitos triangulares, de la siguiente manera:

Pilares

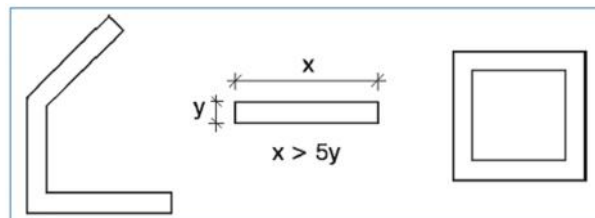
Son barras verticales entre cada planta, con un nudo en arranque de cimentación o en otro elemento, como una viga o forjado, y en la intersección de cada planta, siendo su eje el de la sección transversal. Se consideran las excentricidades debidas a la variación de dimensiones en altura en cada planta.

Pantallas H.A.

Son elementos verticales de sección transversal cualquiera, formada por rectángulos múltiples entre cada planta, y definidas por un nivel inicial y un nivel final. La dimensión de cada lado es constante en altura, pero puede disminuir en espesor.

En una pantalla, una de las dimensiones transversales de cada lado debe ser mayor que cinco veces la otra dimensión, ya que si no se verifica esta condición no es adecuada su discretización como elemento finito y, realmente, se puede considerar un pilar como elemento lineal.

Tanto vigas como forjados se unen a las paredes a lo largo de sus lados, en cualquier posición y dirección, mediante una viga que tiene como ancho el espesor del tramo y canto constante de 25 cm. No coinciden los nodos con los nudos de la viga.



Ejemplos de pantalla

Vigas

Se definen en planta fijando nudos en la intersección con las caras de soportes (pilares, pantallas o muros), así como en los puntos de corte con elementos de forjado o con otras vigas. Así se crean nudos a lo largo del eje y en los extremos, y en las puntas de voladizos o extremos libres, o en contacto con otros elementos de los forjados. Por tanto, una viga entre dos pilares está formada por varias barras consecutivas, cuyos nudos son las intersecciones con las barras de forjados.

Vigas de cimentación

Son vigas flotantes apoyadas sobre suelo elástico, discretizadas en nudos y barras, asignando a los nudos la constante de muelle definida a partir del coeficiente de balasto.

Losas de cimentación

Son losas macizas flotantes cuya discretización es idéntica a las losas normales de planta, con muelles cuya constante se define a partir del coeficiente de balasto. Cada paño puede tener coeficientes diferentes

Forjados de viguetas

Las viguetas son barras que se definen en los paños huecos entre vigas o muros, y que crean nudos en las intersecciones de borde y eje correspondientes de la viga que intersectan. La geometría de la sección en T a la que se asimila cada vigueta, se define en la correspondiente ficha de datos del forjado.

Forjados de placas aligeradas

Son forjados unidireccionales discretizados por barras cada 40 cm. Las características geométricas y sus propiedades resistentes se definen en una ficha de características del forjado. Se pueden calcular de forma aproximada en función del proceso constructivo, modificando para ello el empotramiento en bordes, según un método simplificado.

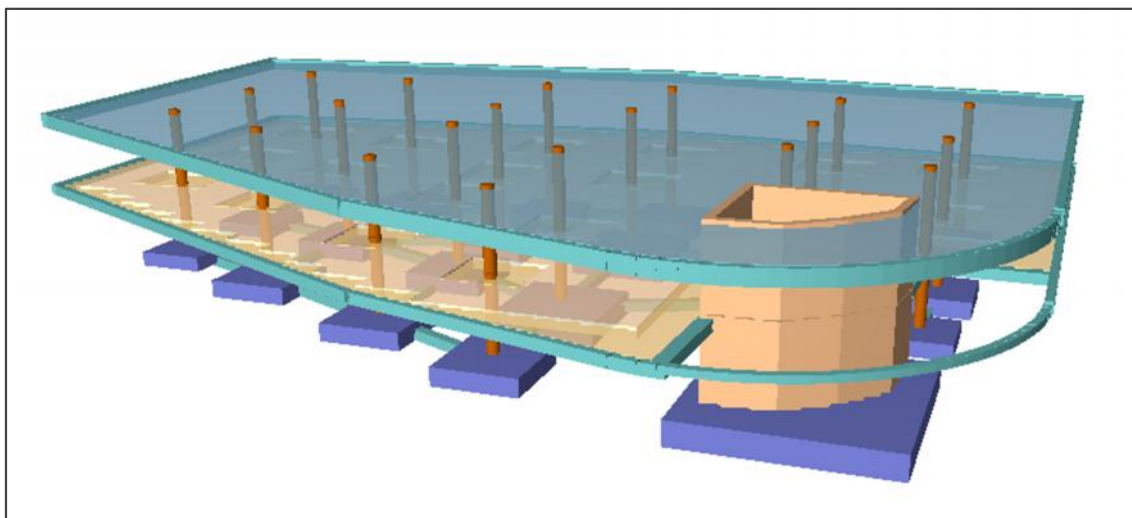
Forjados reticulares

La discretización de los paños de forjado reticular se realiza en mallas de elementos tipo barra, cuyo tamaño es de un tercio del intereje definido entre nervios de la zona aligerada, y cuya inercia a flexión es (tanto en la zona maciza como en la aligerada) la mitad de la zona maciza, y la inercia a torsión el doble de la de flexión.

La dimensión de la malla se mantiene constante tanto en la zona aligerada como en la maciza, adoptando en cada zona las inercias medias antes indicadas. Se tiene en cuenta la deformación por cortante y se mantiene la hipótesis de diafragma rígido. Se considera la rigidez a torsión de los elementos.

Losas macizas

La discretización de los paños de losa maciza se realiza en mallas de elementos tipo barra de tamaño máximo de 25 cm y se efectúa una condensación estática (método exacto) de todos los grados de libertad. Se tiene en cuenta la deformación por cortante y se mantiene la hipótesis de diafragma rígido. Se considera la rigidez a torsión de los elementos.



Perspectiva del modelo estructural de Cypecad

Existen elementos constructivos que no se encuentran en el modelo definido y se han tenido en cuenta del siguiente modo:

- Los muros pantalla se entienden como una condición de borde para los forjados donde se supone su empotramiento.
- Las rampas de comunicación del aparcamiento se introducen como cargas exteriores.

Los forjados del aparcamiento se consideran apoyados sobre vigas (mureta cype) en su parte lateral. Esta simplificación se puede dar como válida ya que el asiento previsto para las zapatas en el terreno se estima en 1 cm.

El proceso general del cálculo de la seguridad estructural y la aptitud en servicio del edificio proyectado, se realiza mediante el método de los Estados Límite, propuesto por la EHE-08 y el CTE. Este método se clasifica en:

- Estados Límite Últimos (ELU): Se trata de un estado límite, tal que, al ser rebasado, la estructura completa o parte de ella puede colapsar por superar su capacidad de resistencia. Algunos ejemplos de estos estados son: los de equilibrio, agotamiento frente a solicitaciones normales, cortante, punzonamiento, inestabilidad, etc.
- Estados Límite de Servicio (ELS): Es un tipo de estado límite que, si es rebasado, produce una pérdida de funcionalidad o deterioro de la estructura, pero no un riesgo a corto plazo. Existen tres manifestaciones de este tipo: vibraciones, fisuración y deformación.
- Estado Límite de Durabilidad (ELD): Es el producido por acciones físicas y químicas diferentes a las cargas y acciones del análisis estructural, que pueden degradar las características del hormigón o de las armaduras hasta límites inaceptables.

El método contempla una serie de coeficientes a disponer para las diferentes acciones y según el tipo de situación, tal y como se expone en las siguientes tablas:

Tipo de acción	Situación persistente o transitoria		Situación accidental	
	Efecto favorable	Efecto desfavorable	Efecto favorable	Efecto desfavorable
Permanente	$\gamma_G = 1,00$	$\gamma_G = 1,35$	$\gamma_G = 1,00$	$\gamma_G = 1,00$
Pretensado	$\gamma_P = 1,00$	$\gamma_P = 1,00$	$\gamma_P = 1,00$	$\gamma_P = 1,00$
Permanente de valor no constante	$\gamma_{G^*} = 1,00$	$\gamma_{G^*} = 1,50$	$\gamma_{G^*} = 1,00$	$\gamma_{G^*} = 1,00$
Variable	$\gamma_Q = 0,00$	$\gamma_Q = 1,50$	$\gamma_Q = 0,00$	$\gamma_Q = 1,00$
Accidental	—	—	$\gamma_A = 1,00$	$\gamma_A = 1,00$

Coeficientes parciales de seguridad para las acciones aplicables en ELU

Tipo de acción		Efecto favorable	Efecto desfavorable
Permanente		$\gamma_G = 1,00$	$\gamma_G = 1,00$
Pretensado	Armadura pretesa	$\gamma_P = 0,95$	$\gamma_P = 1,05$
	Armadura postesa	$\gamma_P = 0,90$	$\gamma_P = 1,10$
Permanente de valor no constante		$\gamma_{G^*} = 1,00$	$\gamma_{G^*} = 1,00$
Variable		$\gamma_Q = 0,00$	$\gamma_Q = 1,00$

Coeficientes parciales de seguridad para las acciones aplicables en ELS

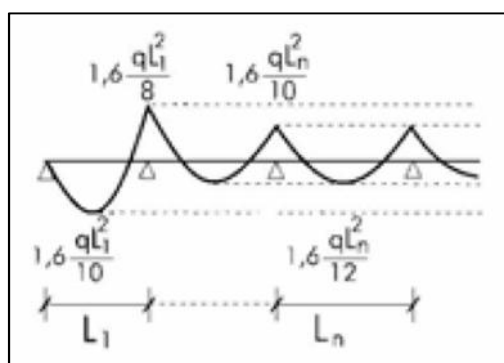
Los coeficientes de seguridad aplicados a las acciones actuantes son mayores en ELU que en ELS, puesto que un fallo por ELU puede provocar grandes daños materiales y humanos.

5.2. MODELOS SIMPLIFICADOS

Los modelos de cálculo que se utilizarán durante el desarrollo de los métodos de cálculo simplificados, tienen como objetivo estimar de manera aproximada los momentos de cálculo producidos en diferentes tipologías constructivas, con el fin de comparar con el modelos de cálculo del software informático.

En primer lugar se explicará el modelo de cálculo utilizado para las tipologías de forjado unidireccional estudiadas (viguetas pretensadas y placas alveolares).

Se ha tomado un modelo de cálculo para vigas continuas, en el que tanto en el primer centro de vano como en el segundo pilar los momentos son mayores, por lo que es conveniente disminuir la primera luz para no obtener grandes esfuerzos en estas secciones.

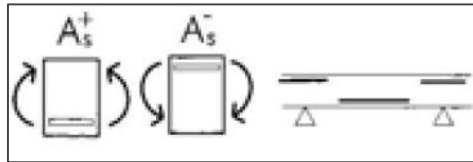


Leyes de momentos en vigas continuas

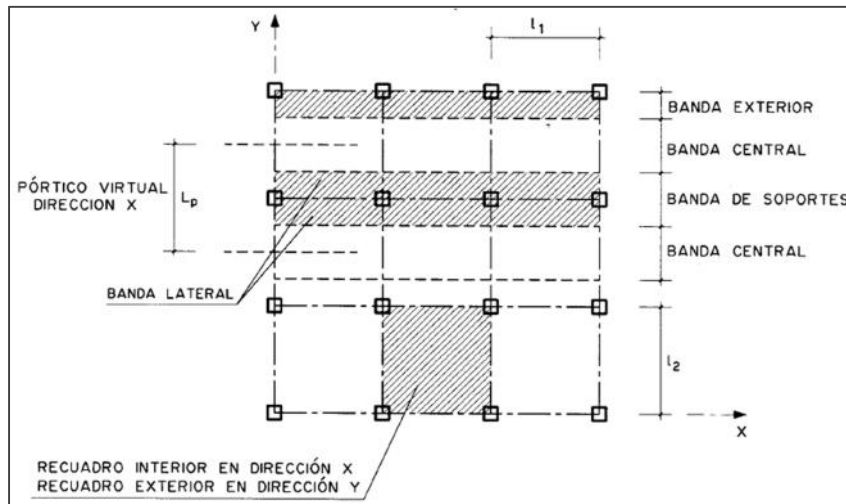
Estas leyes de momentos proporcionan fiabilidad para estructuras con cargas uniformes y no para cargas puntuales.

$$A_S = \frac{M_a}{0,8 \times x \times f_y} \quad A_{S'} = \frac{M_a - M_{li}}{0,8 \times x \times f_y}$$

La armadura se dispone en la cara de tracción, en la zona inferior en el centro de vano, y en la parte superior en los apoyos.



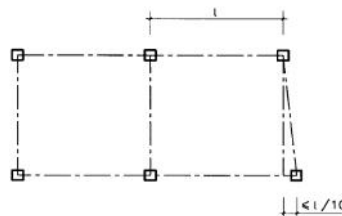
El método directo para placas sobre apoyos aislados correspondiente al artículo 22º de la EHE, ha sido tomado como modelo de cálculo para los forjados bidireccionales analizados (reticular y losa).



Definiciones en un forjado bidireccional

La aplicación de este método requiere del cumplimiento de una serie de condiciones que se enumeran a continuación:

- La malla definida en planta por los soportes será sensiblemente ortogonal. Se entiende por malla sensiblemente ortogonal aquella en la que ningún soporte se desvíe (respecto de la línea de ejes que define al pórtico considerado) más del 10% de la luz normal al mismo correspondiente a la dirección en que se produce la desviación.



- La relación entre el lado mayor y menor del recuadro no debe ser mayor que 2.
- La diferencia entre luces de vanos consecutivos no debe ser mayor que un tercio de la luz del vano mayor.

- La sobrecarga debe ser uniformemente distribuida y no mayor que 2 veces la carga permanente.
- Deberán existir 3 vanos como mínimo en cada dirección.

Los momentos flectores en las secciones críticas, en cada dirección, se determinarán a partir del momento definido a continuación:

$$M_0 = \frac{(g_d + q_d) l_p l_l^2}{8}$$

donde:

g_d : Carga permanente de cálculo aplicada en el recuadro estudiado

q_d : Sobrecarga de cálculo aplicada en el recuadro estudiado

l_l : Distancia entre ejes de soportes en la dirección de cálculo de los momentos

l_p : Anchura del pórtico virtual analizado

Los momentos de las secciones críticas en apoyos y vanos se definen como un porcentaje del momento, de acuerdo con los valores definidos en la tabla siguiente:

	Caso A	Caso B	Caso C
Momento negativo en apoyo exterior	30%	0%	65%
Momento positivo en vano	52%	63%	35%
Momento negativo en apoyo interior	70%	75%	65%

Caso A: Placa elásticamente empotrada en los soportes de borde

Caso B: Placa apoyada en el borde

Caso C: Placa perfectamente empotrada en ambos bordes, o con continuidad en ambos apoyos (vano intermedio)

6. CRITERIOS Y DISEÑOS DE ARMADO

El dimensionado y armado de los elementos estructurales de hormigón armado se realiza siguiendo las directrices de los artículos que se mencionan a continuación, correspondientes a la Instrucción del Hormigón Estructural (EHE – 08).

Capítulo 10: Cálculos relativos a los Estados Límite Últimos

Artículo 42º “Estado Límite de Agotamiento frente a solicitaciones normales”

Artículo 44º “Estado Límite de Agotamiento frente a cortante”

Artículo 45º “Estado Límite de Agotamiento por torsión en elementos lineales”

Artículo 46º “Estado Límite de Agotamiento frente a Punzonamiento”

Capítulo 11: Cálculos relativos a los Estados Límite de Servicio

Artículo 49º “Estado Límite de Fisuración”

Artículo 50º “Estado Límite de Deformación”

Artículo 51º “Estado Límite de Vibraciones”

Capítulo 12: Elementos estructurales

Artículo 53º “Vigas”

Artículo 54º “Soportes”

Artículo 55º “Placas, losas y forjados bidireccionales”

Artículo 57º “Muros”

Artículo 58º “Elementos de cimentación”

Capítulo 13: Ejecución

Artículo 69º “Procesos de elaboración, armado y montaje de las armaduras pasivas”

A continuación se citan alguno de los criterios de diseño y armado más relevantes que aparecen en los artículos anteriormente citados e influyen directamente sobre la construcción estudiada.

Armaduras longitudinales

- Si existen armaduras pasivas en compresión, será preciso que vayan sujetas por cercos para poder tenerlas en cuenta en el cálculo. Estos cercos deben cumplir las siguientes condiciones:

$$s_t \leq 15 \varnothing_{\min} \text{ (diámetro de la barra comprimida más delgada)}$$

$$\varnothing_t \leq 1/4 \varnothing_{\max} \text{ (diámetro de la armadura comprimida más gruesa)}$$

Para las piezas comprimidas, en cualquier caso, s_t debe ser inferior que la dimensión menor del elemento y no mayor que 30 cm.

La armadura pasiva longitudinal resistente, o la de piel, habrá de quedar distribuida convenientemente para evita que queden zonas de hormigón sin armaduras, de forma que la distancia entre dos barras longitudinales consecutivas cumpla las siguientes limitaciones:

$$s \leq 30 \text{ cm}$$

s tres veces el espesor bruto de la parte de la sección del elemento, alma o alas, en las que vayan situadas

En cualquier caso, la separación s_t debe ser inferior que la dimensión menor del elemento y no mayor que 30 cm.

Las cuantías geométricas mínimas, en tanto por mil, para diferentes tipos de elementos estructurales vienen reflejadas en esta tabla:

Tipo de elemento estructural		Tipo de acero	
		Aceros con $f_y = 400 \text{ N/mm}^2$	Aceros con $f_y = 500 \text{ N/mm}^2$
Pilares		4,0	4,0
Losas ⁽¹⁾		2,0	1,8
Forjados unidireccionales	Nervios ⁽²⁾	4,0	3,0
	Armadura de reparto perpendicular a los nervios ⁽³⁾	1,4	1,1
	Armadura de reparto paralela a los nervios ⁽³⁾	0,7	0,6
Vigas ⁽⁴⁾		3,3	2,8
Muros ⁽⁵⁾	Armadura horizontal	4,0	3,2
	Armadura vertical	1,2	0,9

Tabla 42.3.5 de la EHE-08

Armaduras transversales

La separación longitudinal entre armaduras de la siguiente imagen deberá cumplir las condiciones que se expresan a continuación para asegurar un adecuado confinamiento del hormigón sometido a compresión oblicua

$$\begin{array}{llll} s_t & 0,75d(1+\cotg \alpha) & 600 \text{ mm} & \text{si } V_{rd} \leq 1/5 V_{u1} \\ s_t & 0,60d(1+\cotg \alpha) & 450 \text{ mm} & \text{si } 1/5 V_{u1} < V_{rd} \leq 2/3 V_{u1} \\ s_t & 0,30d(1+\cotg \alpha) & 300 \text{ mm} & \text{si } V_{rd} > 2/3 V_{u1} \end{array}$$

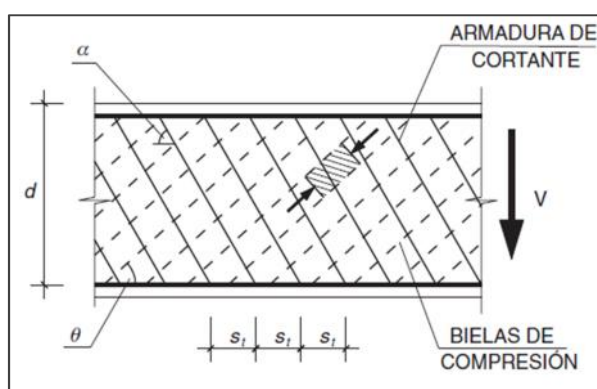


Figura 44.2.3.1 de la EHE-08

La separación transversal entre ramas de armaduras deberá cumplir la siguiente condición:

$$s_{t, \text{trans}} \leq d \leq 500 \text{ mm}$$

En todos los casos, se prolongará la colocación de los estribos, en una longitud igual a medio canto de la pieza, más allá de la sección en la que teóricamente dejen de ser necesarios. En el caso de los apoyos, los cercos se dispondrán hasta el borde de los mismos.

Las armaduras de cortante deben formar con el eje de la viga un ángulo comprendido entre 45 y 90 grados, inclinadas en el mismo sentido que la tensión principal de tracción producida por las cargas exteriores, al nivel del centro de gravedad de la sección de la viga supuesta no fisurada.

Soportes

La armadura principal estará formada, al menos, por seis barras, para el caso de secciones circulares, siendo la separación entre dos consecutivas de 35 cm como máximo.. El diámetro de la barra comprimida más delgada no será inferior a 12 mm. Estas barras irán sujetas por cercos, de acuerdo a lo indicado en el apartado de armaduras transversales, pudiendo tener una forma circular o adoptar una distribución helicoidal.

Doblado

El diámetro mínimo de los mandriles para el doblado de una barra, debe cumplir las condiciones de la siguiente tabla:

Acero	Ganchos, patillas y gancho en U (ver figura 69.5.1.1)		Barras dobladas y otras barras curvadas	
	Diámetro de la barra en mm		Diámetro de la barra en mm	
	$\sigma < 20$	$\sigma \geq 20$	$\sigma \leq 25$	$\sigma > 25$
B 400 S B 400 SD	4 σ	7 σ	10 σ	12 σ
B 500 S B 500 SD	4 σ	7 σ	12 σ	14 σ

Tabla 69.3.4 de la EHE-08

Armado de la ferralla

La distancia libre, horizontal y vertical, entre dos barras aisladas consecutivas, será mayor o igual que el mayor de los 3 valores siguientes:

- 20 mm.
- El diámetro de la barra mayor.
- 1,25 veces el tamaño máximo del árido.

La disposición de puntos de atado de las armaduras principales con las armaduras de cortante, cumplirá las siguientes condiciones para vigas y pilares:

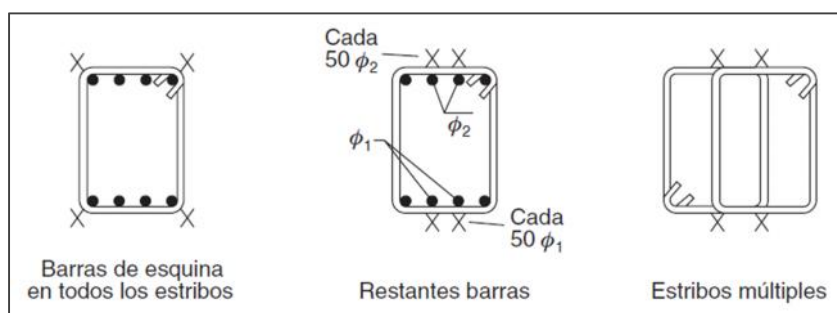


Figura 69.4.3.1 de la EHE-08

Anclaje de las armaduras

La longitud neta de anclaje no podrá adoptar valores inferiores al mayor de los siguientes condicionantes:

- $10 \varnothing$
- 150 mm
- La tercera parte de la longitud básica de anclaje para barras traccionadas y los dos tercios de dicha longitud para barras comprimidas.

La siguientes figuras indican la forma de realizar los anclajes extremos de las barras:

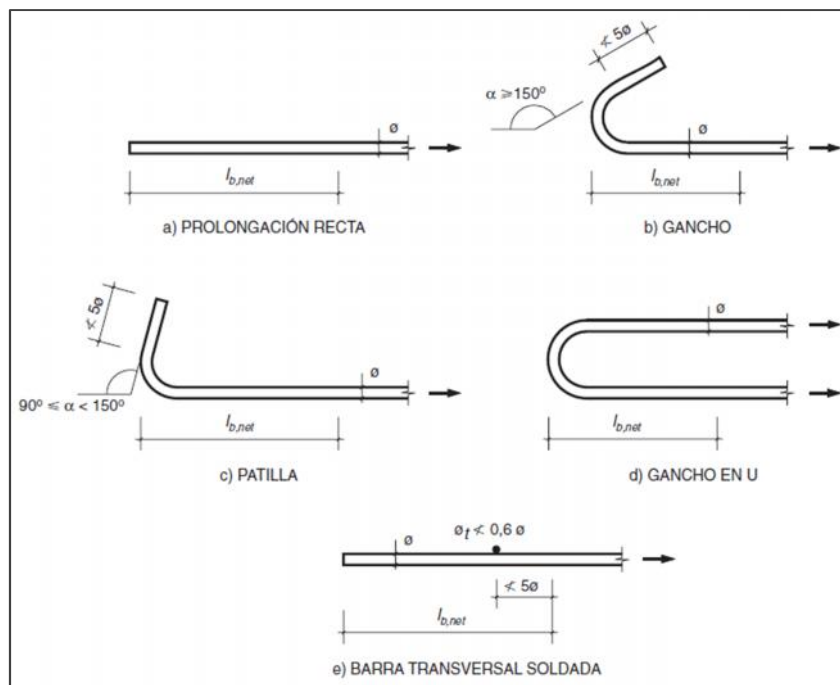
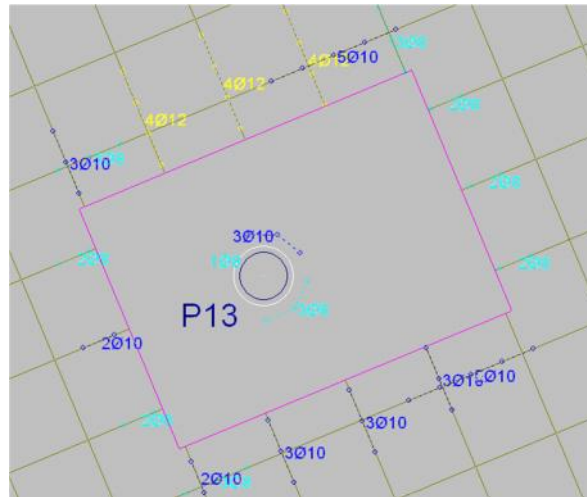


Figura 69.5.1.1 de la EHE-08

Dimensionado frente a punzonamiento

El armado proporcionado por Cypecad para el refuerzo a punzonamiento viene dado como armaduras tipo horquilla, tal y como se muestra en la imagen siguiente.



Refuerzo de punzonamiento en forjado reticular

En lugar de utilizar este tipo de refuerzo, se pretende disponer de barras dobladas como armadura de punzonamiento. Estos nuevos refuerzos han sido dimensionados mediante el Prontuario Informático del Hormigón Estructural del Instituto Español del Cemento y sus Aplicaciones (IECA).

El Prontuario requiere de la introducción de unos datos básicos para realizar el dimensionado de la armadura:

- Características básicas del acero y hormigón empleados
- Geometría y dimensiones de los pilares
- Canto del forjado
- Esquema de armado de la zona exterior de punzonamiento
- F_{sd} , la fuerza de punzonamiento

$$F_{sd} = N_d \cdot \frac{a_{total} - area_{u1}}{a_{total}}$$

El esfuerzo de punzonamiento a introducir en el programa, se expresa como el producto del axil que soporta cada pilar por un coeficiente reductor que depende del área de influencia del esfuerzo a punzonamiento. Para el cálculo de este esfuerzo se ha obviado el coeficiente reductor, de forma que se dimensiona del lado de la seguridad, por lo que N_d será igual a F_{sd} .

Los axiles en los pilares se puede obtener de las comprobaciones de E.L.U. que realiza el programa informático, se agrupan en función del axil soportado con el fin de diseñar, únicamente, y por facilidad constructiva, unos pocos armados “tipo” para el esfuerzo de punzonamiento de los 20 pilares existentes en la estructura.

F_{sd} (kN)	FORJADO SUPERIOR	FORJADO INFERIOR
500		1-2-3-18-19-20
800		4-5-6-7-8-9-10-11-12-13- 14-15-16-17
1500	1-2-3-18-19-20	
2000	4-5-6-7-8-9-10-11-14-15-16	
2750	12-13-17	

Una vez clasificados los pilares, se realiza la comprobación de punzonamiento para el forjado inferior con los esfuerzos dados y se obtiene como resultado que no es necesario de ningún refuerzo a punzonamiento, al cumplirse que la tensión tangencial nominal de cálculo no supera la tensión máxima resistente en el perímetro crítico.

F_{sd} [kN]	800	Inclinación de la armadura	τ_{sd} [MPa]	0.43
$F_{sd,ef}$ [kN]	920.0	α [°]	τ_{rd} [MPa]	0.58
F_{sd} en $u_{n,ef}$ [kN]	800.0			
s [mm]	270			

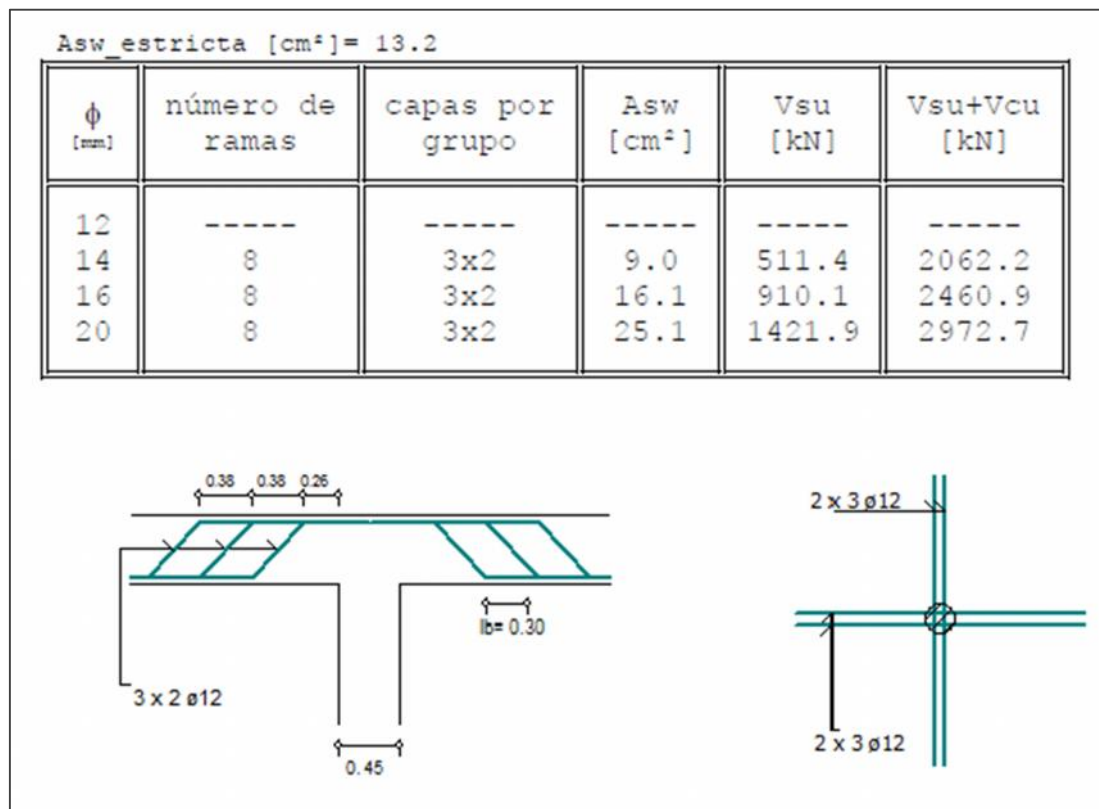
Comprobación a punzonamiento en el prontuario informático de la IECA

Esta misma condición se comprueba para la cimentación de la estructura y se obtiene el mismo resultado. En este caso era previsible, debido al gran canto de las zapatas aisladas que oscila entre 60 y 90 cm.

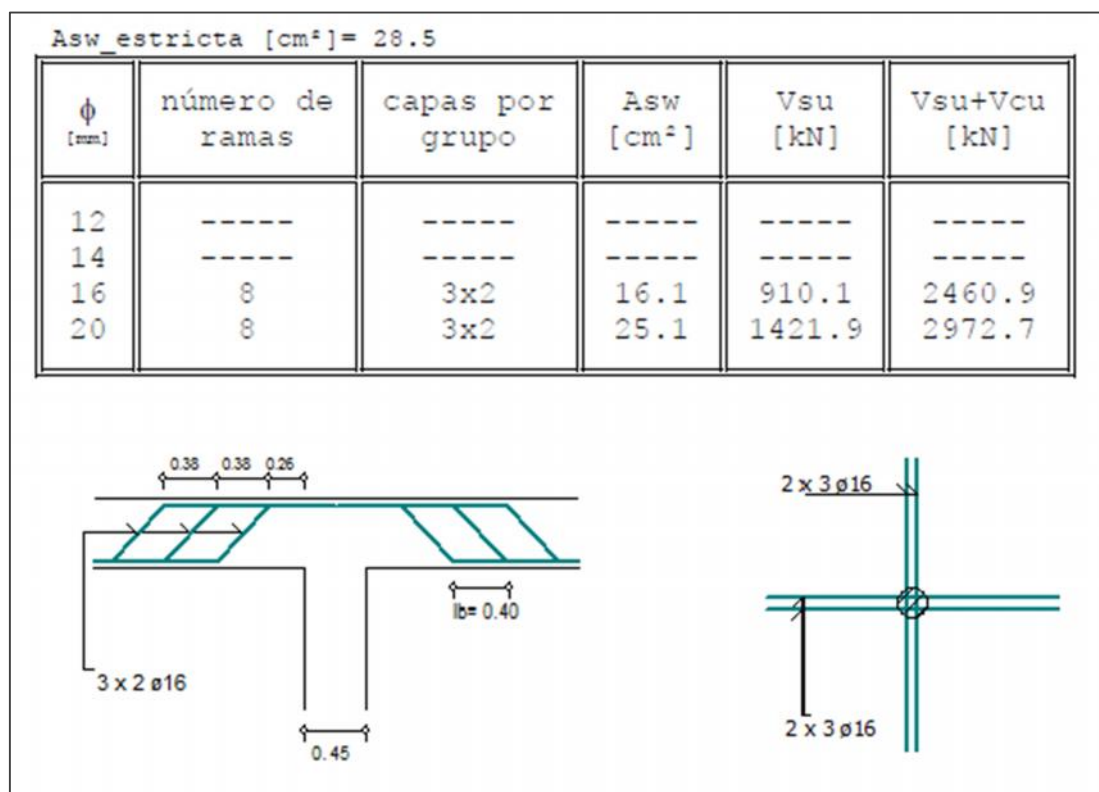
Los axiles en el forjado superior ya presentan unos valores de axil considerables. Se realiza la comprobación de punzonamiento y se observa que es necesario disponer de armadura para todos los pilares con axil (N_d) mayor o igual a 2000 kN. Los pilares con axil igual o menor a 1500 kN (P1, P2, P3, P18, P19 y P20) no requieren de este tipo de refuerzo.

A continuación se detalla el armado para cada grupo de pilares y se le asocia un nombre, para su posterior indicación en el plano 6.10 adjunto a esta memoria de cálculo:

RP – Losa - 1 ($f_{sd} = 2000$ kN, pilares 4-5-6-7-8-9-10-11-14-15-16)



RP – Losa - 2 ($f_{sd} = 2750$ kN, pilares 12-13-17)



Homogeneización de los elementos constructivos

Una vez realizados los cálculos estructurales para la solución escogida mediante Cypecad, se trazan los planos correspondientes a la geometría y la disposición del armado de los distintos elementos constructivos que componen la estructura del aparcamiento subterráneo.

Se puede observar en elementos como zapatas o pilares que, la geometría o la disposición de la armadura varía ligeramente entre elementos constructivos de un mismo tipo. Este hecho obliga a analizar la variabilidad de características de un mismo elemento y homogeneizar los elementos en grupos que facilitarán, posteriormente, la ejecución en obra; aunque, como factor negativo de este proceso, cabe destacar que se utiliza más material (acero y hormigón) del realmente necesario.

La cimentación calculada automáticamente por el programa crea 17 tipologías distintas de zapatas cuadradas con su correspondiente geometría y armado. Al realizar el proceso de homogeneización se consiguen únicamente 6 tipos.

CUADRO DE ELEMENTOS DE CIMENTACIÓN				
Referencias	Dimensiones (cm)	Canto (cm)	Armado inf. X	Armado inf. Y
P1	255x255	55	8ø20c/30	8ø20c/30
P2	285x285	60	10ø20c/27	10ø20c/27
P3	265x265	55	10ø20c/27	10ø20c/27
P4, P10 y P14	315x315	70	19ø16c/16	19ø16c/16
P5 y P17	325x325	70	21ø16c/15	21ø16c/15
P6	315x315	70	12ø20c/25	12ø20c/25
P7	305x305	65	11ø20c/26	11ø20c/26
P8	295x295	65	17ø16c/17	17ø16c/17
P9	315x315	70	13ø20c/24	13ø20c/24
P11	305x305	65	18ø16c/16	18ø16c/16
P12	365x365	85	16ø20c/22	16ø20c/22
P13	375x375	85	17ø20c/21	17ø20c/21
P15	325x325	70	13ø20c/24	13ø20c/24
P16	335x335	75	21ø16c/15	21ø16c/15
P18	275x275	60	15ø16c/18	15ø16c/18
P19	285x285	60	16ø16c/17	16ø16c/17
P20	245x245	50	8ø20c/30	8ø20c/30

Primer cuadro de elementos de cimentación

CUADRO DE ELEMENTOS DE CIMENTACIÓN				
Referencias	Dimensiones (cm)	Canto (cm)	Armado inf. X	Armado inf. Y
P1, P2, P3, P18 y P20	275x275	60	13Ø20c/20	13Ø20c/20
P4, P5, P6, P9, P10, P11, P14, P15 y P16	325x325	70	16Ø20c/20	16Ø20c/20
P7, P8 y P19	300x300	70	14Ø20c/20	14Ø20c/20
P12 y P13	400x400	90	19Ø20c/20	19Ø20c/20
P17	350x350	70	17Ø20c/20	17Ø20c/20

Cuadro de elementos de cimentación homogeneizado

Sucede un hecho similar para los pilares de la estructura, ya que el software calcula por defecto 7 tipologías con diferente armado, pudiendose reducir esta cifra a 4 tipos de pilares distintos.

En todas las pantallas del hueco del ascensor se ha dispuesto el mismo armado obtenido por cálculo para la pantalla que resiste los mayores esfuerzos, quedando, de este modo del lado de la seguridad.

Selección: Planta: 1

☒ Redimensionar al cambiar espesores

Lado izquierdo

Espesor: 0.15 m

Armado vertical: Ø20 a 20 cm

Armado horizontal: Ø16 a 20 cm

Lado derecho

Espesor: 0.15 m

Armado vertical: Ø20 a 20 cm

Armado horizontal: Ø16 a 20 cm

Armado transversal

Número de ramas: 1

Diámetro: Ø8

Separación vertical: 20 cm

Separación horizontal: 20 cm

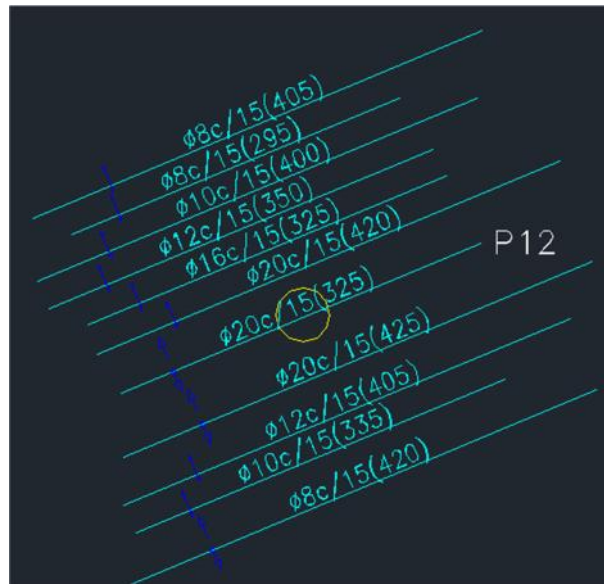
Y Der Izq

Asignar

F.cumplimiento: 100 %

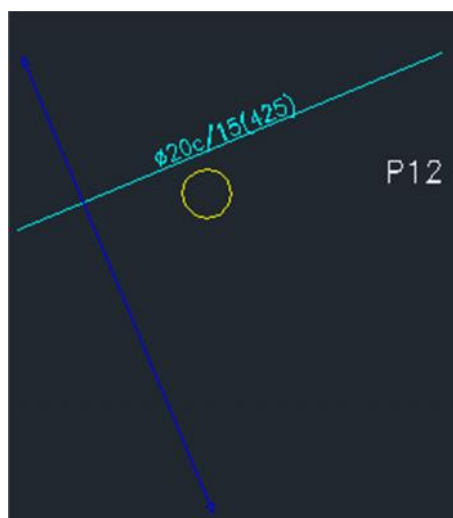
Opción de edición del armado de la pantalla de Cypecad

La homogeneización también se ha aplicado en la armadura de refuerzo que se añade a la armadura base de los forjados de la estructura. En la siguiente imagen se muestra una zona que requiere una armadura de refuerzo compuesta por distintos diámetros según el cálculo realizado por el programa informático.



Refuerzos armadura longitudinal superior losa maciza (P12)

Esta disposición es muy incómoda durante la construcción del forjado, por lo que se tiende a simplificar la solución disponiendo el diámetro mayor del armado necesario en dicha zona. Las longitudes utilizadas para estos refuerzos aumentan cada 25 cm y los diámetros utilizados son $\phi 10$, $\phi 12$, $\phi 16$ y $\phi 20$.



Homogeneización de refuerzos (P12)

7. RESULTADOS OBTENIDOS

El siguiente apartado recoge los resultados obtenidos al concluir el Trabajo de Final de Grado. Se pueden clasificar en tres apartados distintos:

- Comparativa modelos simplificados vs modelo Cypecad
- Análisis de las soluciones constructivas planteadas
- Diseño de la solución adoptada

En las páginas siguientes comentaremos de forma resumida los resultados obtenidos para cada uno de los apartados citados. En el Anejo a la memoria y la documentación gráfica quedan desarrollados estos resultados de forma completa.

7.1. COMPARATIVA MODELOS SIMPLIFICADOS VS MODELO CYPECAD

Los modelos simplificados han servido para la obtención de los momentos de cálculo en los pórticos de los forjados de la estructura. Estos valores se han podido comparar con los resultados obtenidos a partir del modelo de Cypecad, para cada una de las tipologías analizadas. Se han identificado las diferencias en tanto por ciento, entre un modelo y otro para comprobar la precisión de los modelos de cálculo simplificado en una estructura como la del aparcamiento subterráneo de la Plaza Sant Jaume.

Esta primera tabla recoge los resultados obtenidos de la comparación de ambos modelos de cálculo en los forjados unidireccionales estudiados.

TABLA RESUMEN DIFERENCIA MOMENTOS (%)				
PUNTO	VIGUETAS PRETENSADAS		PLACAS ALVEOLARES	
	F. INFERIOR	F. SUPERIOR	F. INFERIOR	F. SUPERIOR
1	+ 5,7	+ 8,9	+ 16,7	+ 17,3
2	+ 7,7	+ 19,8	- 3,8	+ 15,5
3	+ 44	+ 61,9	+ 43,1	+ 58
4	- 30,4	- 23,7	- 34,1	- 24,6
5	+ 28,8	+ 30,6	+ 35,8	+ 35,3
6	- 20,4	- 12,7	- 22,6	- 15,3
7	+ 40,3	+ 49,8	+ 40,9	+ 50,5
8	- 6,6	+ 11,2	- 15,2	+ 4,5
9	+ 0,8	+ 18,2	+ 25,7	+ 31,6

Hay que señalar que el modelo de cálculo simplificado sobredimensiona los momentos de cálculo en el centro de vano para toda la casuística estudiada. Sucede lo contrario en los apoyos centrales (P4 y P6) donde este modelo siempre queda del lado de la inseguridad, con diferencias de momentos negativas entre el 12 - 34 %. En los apoyos laterales (P2 y P8) los resultados obtenidos han sido dispares, obteniéndose tanto diferencias de momentos positivas como negativas.

En general, la diferencia de momentos entre ambos modelos de cálculos se ha incrementado en el forjado superior con respecto al inferior, y, en placas alveolares, con respecto a la solución con viguetas pretensadas. Este hecho se puede explicar

debido a la gran diferencia de sobrecarga de uso entre ambos forjados, y, al mayor peso propio de las placas alveolares con respecto al forjado unidireccional.

En la segunda tabla se pueden observar los valores obtenidos de la comparación de ambos modelos de cálculo, para los casos de forjado bidireccional analizados.

TABLA RESUMEN DIFERENCIA Mo (%)					
FORJADO	EJE	RETICULAR		LOSA	
		P5	P12	P5	P12
Inferior	Mx superior	19,1	41,2	23,2	29,2
	My superior	12,5	48,5	9,8	27,9
Superior	Mx superior	18,1	23,8	33,3	39,2
	My superior	15,4	39,7	12,9	39,6

En las dos tipologías de forjado bidireccional analizadas, se cumple lo que se había pronosticado previamente a la realización de los cálculos; el pilar 12 presenta mayores diferencias de momentos entre ambos modelos puesto que no cumple las condiciones de aplicación del método simplificado. Este análisis advierte del peligro de utilizar modelos simplificados de cálculo para estructuras donde no es recomendado su uso, debido a las limitaciones que presentan. En este caso, no supondría un problema a la integridad estructural de la construcción, puesto que el modelo simplificado está sobredimensionando el esfuerzo.

Observando los resultados, no se puede establecer que una determinada tipología de forjado produzca, debido a sus características o peso propio, mayores diferencias de momentos para un pilar en concreto. Los resultados obtenidos son muy variables en función del eje, del forjado o del pilar estudiado.

7.2. ANÁLISIS DE LAS SOLUCIONES CONSTRUCTIVAS PLANTEADAS

La valoración de las distintas soluciones constructivas se enfoca desde tres puntos de vista diferenciados: ejecución técnica, repercusión económica, y comportamiento estructural.

Se ha elaborado una tabla resumen de todas las cuestiones, a favor y en contra, que ofrece cada tipología constructiva desde el punto de vista de la ejecución en obra.

COMPARATIVA TÉCNICA		
TIPOLOGÍA	A FAVOR	EN CONTRA
VIGUETAS PRETENSADAS		RESISTENCIA VIGUETAS MAYOR VOLUMEN EXCAVACIÓN REPLANTEO ELEMENTOS DIFICULTAD CONSTRUCTIVA
PLACAS ALVEOLARES	RAPIDEZ EJECUCIÓN	NECESIDAD CORTE PLACAS MAYOR VOLUMEN EXCAVACIÓN DIFICULTAD CONSTRUCTIVA
FORJADO RETICULAR	MENOR COMPLEJIDAD ARMADO ALIGERAMIENTO ESTRUCTURA	SISTEMA IMPERMEABILIZACIÓN REPLANTEO ELEMENTOS
LOSA MACIZA	MENOR COMPLEJIDAD ARMADO MEJOR FRENTE A SISMO REPLANTEO ELEMENTOS	MAYOR CONSUMO MATERIAL

También se han obtenido los precios por m² de cada una de las tipologías, a partir de bases de datos de precios de distintas páginas web.

COMPARATIVA ECONÓMICA (€/ m ²)			
TIPOLOGÍA	GENERADOR DE PRECIOS	IVE	MEDIA
Unidireccional	77,40	66,70	72,05
Placas alveolares	125.46*	101,31	113,38
Reticular	73,61	68,95	71,28
Losa	98,78	80,33	89,56

El comportamiento estructural se ha podido observar en cada una de las iteraciones de cálculo empleadas durante la utilización de Cypecad (apartado 7.3 del Anejo de cálculo), en las que se podían ver los errores y avisos que proporcionaba el software informático para cada tipología constructiva analizada.

Las soluciones constructivas correspondientes a forjados unidireccionales (viguetas pretensadas y placas alveolares) no distribuyen los esfuerzos de forma eficiente, para este tipo de construcciones que soportan grandes cargas. El reparto de cargas en una sola dirección obliga a la construcción de vigas de gran sección fuertemente armadas, de gran complejidad constructiva.

En cambio, los forjados bidireccionales son capaces de transmitir los esfuerzos en dos direcciones, evitando el exceso de carga en una zona determinada, por lo que la ejecución de los forjados es más sencilla al repartirse la armadura de una forma más equitativa por la superficie del forjado.

7.3. ANÁLISIS DE LA SOLUCIÓN ADOPTADA

La solución adoptada es la combinación de dos de las cuatro tipologías estudiadas durante el desarrollo del Trabajo de Final de Grado. Se ha optado por realizar la estructura con forjado superior de losa de hormigón armado y forjado inferior de tipo reticular por los siguientes motivos:

1. El funcionamiento bidireccional de los forjados tipo losa, o reticular, distribuyen los esfuerzos por la estructura de una forma más eficiente, evitando la sobrecarga de los pórticos.
2. La disposición de armaduras de forma más equitativa por la superficie del forjado, facilita la construcción del mismo.
3. Ahorro en el consumo de materiales, como hormigón y acero, debido a la presencia de los casetones de EPS en el forjado reticular, que disminuirá el coste de la obra.
4. El forjado de cubierta tipo losa maciza presenta menores problemas de fisuración, hecho que dificulta la aparición de humedades por filtración de agua.

El mayor inconveniente generado en esta solución constructiva es, la dificultad técnica que conlleva para los operarios el ejecutar dos tipologías distintas de forjado en una misma estructura. Este hecho requerirá de un gran control de la ejecución por parte de la Dirección Facultativa de la Obra.

Las dimensiones y armado de los diferentes elementos constructivos que componen la estructura se detallan en el capítulo 4 “Descripción de la solución adoptada” de esta Memoria de cálculo, así como en los 20 planos de estructura que componen la documentación gráfica.

8. CONCLUSIONES

A partir del contenido de la memoria y del anejo de cálculo pueden extraerse una serie de conclusiones que pueden leerse en forma breve, a continuación:

1. El cálculo y diseño de la estructura se ha llevado a cabo desde tres puntos de vista muy diferenciados; el comportamiento estructural, la técnica constructiva y el apartado económico. El equilibrio entre los tres aspectos permite confeccionar una estructura idónea que se ajuste a las necesidades del proyecto.
2. El predimensionado de la estructura a partir de las formulaciones simplificadas recogidas en la normativa, establece un punto de partida con el que realizar las primeras iteraciones de cálculo estructural, tanto para métodos simplificados como para métodos mediante software informático.
3. El análisis y distribución de las cargas actuantes sobre la estructura es muy importante para un buen cálculo estructural. La disposición en damero de las sobrecargas de uso es la distribución más desfavorable que se puede presentar para este tipo de construcciones.
4. Los métodos de cálculo a base de formulaciones simplificadas que se han utilizado resultan de gran ayuda para un primer encaje de la estructura, puesto que proporcionan unas leyes de esfuerzos con un orden de magnitud bastante aproximado a las obtenidas mediante Cypecad.
5. El método de cálculo simplificado para forjados unidireccionales, como norma general, sobrevalora los momentos positivos en el centro del vano e infravalora los momentos negativos en los apoyos, sobre todo en el centro del pórtico estudiado.
6. El método de cálculo simplificado para forjados bidireccionales ha mostrado resultados dispares en función del pórtico virtual donde se ha aplicado. Este método puede ser de aplicación si se cumplen unas condiciones previas, ya que, su formulación es más compleja debido al reparto de esfuerzos en los dos ejes. El pórtico

que cumplía alguna de estas condiciones de aplicación ha obtenido resultados más próximos a la realidad.

7. El uso de cypecad no debe limitarse a realizar el cálculo estructural de una única solución para un proyecto dado, sino que, debe servir como una herramienta que aporte información (esfuerzos, mediciones, cuantías de obra) que permita comparar y escoger entre diversas soluciones tras un pequeño análisis previo.

8. Los resultados obtenidos por cypecad, en cuanto a dimensiones y armadura de los elementos constructivos, aún siendo válidos, se deben revisar con el objetivo de “homogeneizar” elementos constructivos de un mismo tipo. Este proceso consiste en agruparlos de forma que los que tengan características muy similares puedan tener la misma geometría y armadura, hecho que facilitará la ejecución en obra por parte de los operarios, aunque, por el contrario, incrementará el consumo de materiales como el hormigón y el acero.

9. El prontuario informático de la IECA sirve como complemento al cálculo estructural del cypecad, permite el dimensionado o la comprobación de los elementos constructivos de forma rápida y sencilla. En este trabajo, se ha utilizado para redimensionar la armadura de punzonamiento, pasando de refuerzos tipo horquilla a barras dobladas.

10. Los forjados bidireccionales son muy apropiados en el caso de estructuras de grandes luces entre pilares y cargas, ya que, reparten los esfuerzos en dos direcciones de manera eficiente. Los forjados unidireccionales presentan mayores problemas al sobrecargar una única dirección y requieren de vigas de grandes cantos.

11. La solución constructiva adoptada es la combinación de dos tipologías distintas de forjado bidireccional. La losa maciza de hormigón como forjado superior evita la aparición de humedades, en caso de posibles fisuraciones, y el forjado reticular, como forjado inferior, aligera y disminuye el coste de la estructura.

12. El análisis previo de los condicionantes de la parcela, tanto sus características geotécnicas como sus condiciones de medianera y la técnica de excavación a emplear son los principales factores a tener en cuenta para la elección del tipo de muro a ejecutar.

13. La planificación de las fases de excavación requiere de un análisis previo puesto que influye en la cuantía de armado de los muros pantalla. Los esfuerzos durante la fase de los trabajos de excavación pueden ser superiores a los de la fase de servicio de la estructura, ya que, dependen de la altura de excavación y los apuntalamientos dispuestos.