



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA
SUPERIOR INGENIEROS
INDUSTRIALES VALENCIA

TRABAJO FIN DE GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

DISEÑO ESTRUCTURAL DE UN APARCAMIENTO ROBOTIZADO SUBTERRÁNEO, CON CAPACIDAD PARA 96 AUTOMÓVILES

AUTOR: JUAN CARLOS TARÍN TOMÁS

TUTOR: ANDRES LAPUEBLA FERRI

Selección: HÉCTOR SAURA ARNAU

Curso Académico: 2016-17



RESUMEN

En el presente trabajo final de grado se diseña y calcula un aparcamiento robotizado subterráneo con capacidad para 96 automóviles.

Este tipo de edificio está cobrando importancia dado la necesidad de aprovechar mejor el espacio y los recursos disponibles actualmente. Para el diseño del aparcamiento se realiza, en primer lugar, un análisis de las ventajas y desventajas de los diferentes tipos de distribución en planta (circular, rectangular y cuadrada). Una vez elegida la geometría se optimizan las dimensiones del mismo y se procede al modelado y cálculo de la estructura en la herramienta CYPECAD, y a la realización de los planos con el programa AutoCAD y del presupuesto con el programa Arquímedes.

Palabras Clave: Parking robotizado subterráneo, cálculo de estructuras, estructura metálica, Optimización



RESUM

En el present treball final de grau es dissenya i calcula un aparcament robotitzat subterrani amb capacitat per a 96 automòbils. Aquest tipus d'edifici està cobrant importància donat la necessitat d'aprofitar millor l'espai i els recursos disponibles actualment. Per al disseny de l'aparcament es realitza, en primer lloc, una anàlisi dels avantatges i desavantatges dels diferents tipus de distribució en planta (circular, rectangular i quadrada) . Una vegada triada la geometria s'optimitzen les dimensions del mateix i es procedeix al modelatge i càlcul de l'estructura amb la ferramenta CYPECAD, i a la realització dels plànols amb el programa AutoCAD i del pressupost amb el programa Arquimedes."

Paraules Clau:aparcament robotitzat subterrani, càlcul d'estructures, estructura metàl·lica, Optimització



ABSTRACT

This project addresses the calculation and design of an underground robotised parking with a capacity for 96 cars.

This type of building is gaining importance given the need to make better use of the space and resources currently available. For the design of the parking, an analysis of the advantages and disadvantages of different types of plant distribution (circular, rectangular and square) is carried out. Once the geometry is chosen, the dimensions of the parking are optimized and, after that, the modeling and calculation of the structure in the CYPECAD tool is carried out, as well as the drawings with the AutoCAD program and the budget with the Archimedes program.

Key words: Underground robotised parking, structure calculation, metallic structure, optimization



DOCUMENTOS QUE INCLUYE EL TFG

- Documento I: Memoria descriptiva
- Documento II: Anejo 1: Optimización de la geometría
- Documento III: Anejo 2: Cálculo estructural
- Documento IV: Mediciones y Presupuesto
- Documento V: Planos



ÍNDICE GENERAL

1	MEMORIA DESCRIPTIVA	
1	Objeto y alcance del trabajo	2
2	Justificación del trabajo	2
3	Estado del arte	3
3.1	Revisión bibliográfica	3
3.2	Soluciones estructurales diferentes.....	5
3.3	Tipologías geométricas posibles	6
4	Justificación solución adoptada	7
4.1	Requerimientos espaciales del emplazamiento	11
5	Emplazamiento	12
6	Descripción del edificio	14
6.1	Cimentación	14
6.2	Forjados.....	15
6.3	Forjado superior	15
6.4	Estructura metálica del anillo interior	16
6.5	Placa de anclaje	16
5	Resumen presupuesto	17
6	Bibliografía	18
6.1	Normativa aplicada	18
6.2	Páginas consultadas	18
2	ANEJO 1: CÁLCULO DE LA GEOMETRÍA	
1	Porcentajes de aprovechamiento de cada geometría	2
1.1	La geometría cuadrada:	2
1.2	La geometría circular:.....	2
1.3	La geometría rectangular:	3
2	Cálculo geométrico	4
2.1	Introducción	4
2.2	Área de pérdidas interna.....	7



2.3	Área de PÉRDIDAS triangulares.....	8
2.4	Área de pérdidas corona circular	9
2.5	Conclusión	12
2.6	Otras soluciones	13
3	ANEJO 2: CÁLCULO ESTRUCTURAL	
1	Software utilizado	2
2	Materiales	2
2.1	Aceros.....	2
2.2	Pretensados.....	3
2.3	Hormigones	3
3	Acciones de cálculos	3
3.1	Acciones permanentes.....	3
3.2	Acciones sobrecarga de uso	4
3.3	Acciones del terreno	6
3.4	Combinaciones de cálculo.....	6
4	Pre-dimensionado de placas alveolares.....	7
4.1	Introducción	7
4.2	Cálculo	8
5	Comprobaciones de cálculo	8
5.1	Muros	8
5.2	Pilares	11
5.3	Placa de anclaje	21
5.4	Punzonamiento losa inferior.....	22
5.5	Viga de cimentación	26
5.6	Viga HE 180 B	40
5.7	Viga HE 100 B.....	49
4	MEDICIONES Y PRESUPUESTO	
5	PLANOS	



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA
SUPERIOR INGENIEROS
INDUSTRIALES VALENCIA

TRABAJO FIN DE GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

**DISEÑO ESTRUCTURAL DE UN
APARCAMIENTO ROBOTIZADO
SUBTERRÁNEO, CON CAPACIDAD PARA
96 AUTOMÓVILES**

MEMORIA DESCRIPTIVA

AUTOR: JUAN CARLOS TARÍN TOMÁS

TUTOR: ANDRÉS LAPUEBLA FERRI

COTUTOR: HÉCTOR SAURA ARNAU

Curso Académico: 2016-17



MEMORIA DESCRIPTIVA

1	Objeto y alcance del trabajo	2
2	Justificación del trabajo	2
3	Estado del arte	3
3.1	Revisión bibliográfica	3
3.2	Soluciones estructurales diferentes.....	5
3.3	Tipologías geométricas posibles	6
4	Justificación solución adoptada	7
4.1	Requerimientos espaciales del emplazamiento.....	11
5	Emplazamiento.....	12
6	Descripción del edificio	14
6.1	Cimentación	14
6.2	Forjados.....	15
6.3	Forjado superior	15
6.4	Estructura metálica del anillo interior.....	16
6.5	Placa de anclaje	16
5	Resumen presupuesto	17
6	Bibliografía	18
6.1	Normativa aplicada	18
6.2	Páginas consultadas	18



1 OBJETO Y ALCANCE DEL TRABAJO

En este trabajo se pretende diseñar un aparcamiento robotizado subterráneo.

Para alcanzar esta meta, en primer lugar se realiza una revisión bibliográfica con el fin de analizar los diferentes tipos de aparcamientos que han existido a lo largo de la historia.

Posteriormente, se valoran las distintas opciones estructurales (estructura metálica, hormigón armado) y geométricas (cuadrada, rectangular, circular) que se pueden aplicar al aparcamiento que se quiere diseñar y se hace una elección de éstas según las características de la parcela disponible y demás condicionantes como el precio, la rapidez en la ejecución, la eficiencia de cada uno, etc.

Respecto al tipo de estructura, únicamente se optará por una estructura metálica debido a la falta de tiempo, a pesar de que sería interesante hacer la comparativa con respecto a una de hormigón armado en cuanto a coste y comportamiento frente al fuego.

Para finalizar el trabajo, se identifican las acciones actuantes y se procede a su modelado, simulación y análisis mediante la herramienta CypeCad. Tras este paso se dimensionan los elementos estructurales y se elabora la documentación necesaria, tanto escrita como gráfica (memoria, anejos, mediciones, presupuesto y planos), para su posterior ejecución.

2 JUSTIFICACIÓN DEL TRABAJO

Desde el punto de vista técnico, debido a la falta de espacio en las grandes ciudades y con el crecimiento del parque móvil nacional, los aparcamientos robotizados están recibiendo mucha aceptación debido al ahorro de espacio que suponen respecto de los convencionales. Con toda probabilidad serán el futuro de los aparcamientos de nuestro entorno.

A nivel académico con este proyecto se tiene la oportunidad de obtener el título de graduado en tecnologías industriales. Por otro lado, se aplican los conocimientos obtenidos en el grado a un problema real como es el cálculo de estructuras en un caso poco convencional.



3 ESTADO DEL ARTE

3.1 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

En la actualidad, la cantidad de vehículos en las grandes ciudades ha aumentado considerablemente y empieza a existir un problema con la falta de espacio para estacionar en ellas. Esto genera una serie de desplazamientos innecesarios en busca de un sitio donde aparcar que generan colas y disminuyen la eficacia del desplazamiento cuando el destino al que se dirigía el vehículo está relativamente lejos del lugar donde se ha estacionado finalmente.

El origen del problema que se tiene hoy día comenzó a gestarse a mediados del siglo XIX, con la aparición de la tecnología necesaria para la elevación de personas y objetos. Esto generó una transformación en la arquitectura de la época, potenciando las construcciones en altura y aumentando así la cantidad de personas que habitaban los núcleos urbanos. Paralelamente, a finales del siglo XIX y principios del siglo XX, el automóvil tomaba protagonismo y se hacía un componente importante en la sociedad más pudiente de la época.

El primer sistema de parking por medios mecánicos data de la década de 1920. Consistía en una noria vertical que apilaba vehículos en pequeñas plataformas que podían moverse arriba y abajo, como se puede ver en la imagen 1.



Imagen 1. Primer sistema de parking 1920

Imagen 1 obtenida de <https://www.autokaleidoskop.cz/files/200610/20061024-212945.jpg>



Ésta era una solución útil y sencilla que se disponía en solares sin edificar y espacios urbanos que no se podían aprovechar. Una gran ventaja que ha hecho perdurar estos sistemas hasta el día de hoy era su fácil implantación y el hecho de ser desmontables, lo que les da versatilidad.

En la década de los años 30, aparecen conceptos claves de los actuales aparcamientos robotizados como son las cabinas, los elevadores, los almacenes, etc. Comienzan a concebirse como parte de las edificaciones residenciales pero aun así siguen siendo completamente manuales.

En las décadas posteriores se refinan estos conceptos y comienzan a aparecer sistemas de gestión electrónica complementando a los mecanismos originales, lo hace que aparezcan una gran variedad de soluciones distintas a este tipo de edificios, como la que se aprecia en la imagen 2.

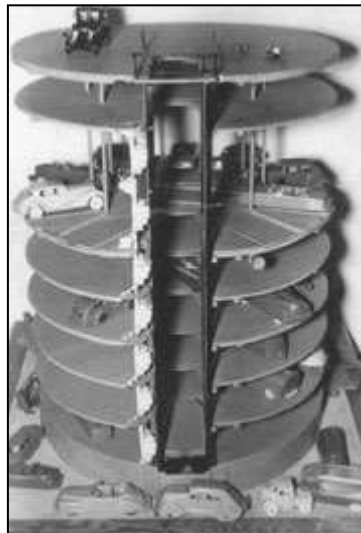


Imagen 2. Sistema de aparcamiento de la década de 1960

A partir de los años 80 aparecen nuevas y distintas geometrías, lo que conlleva un grado importante de adaptabilidad que hace posible soluciones a medida según el caso y la necesidad a resolver.

En los últimos años el desarrollo informático ha hecho que estos parkings sean completamente autónomos y se autogestionen. En el caso del problema que se aborda en este trabajo, se cuenta con diversas posibilidades tanto acerca de la geometría como del tipo de estructura a estudiar que hacen posible analizar las diversas opciones y llegar a una solución óptima para la parcela y situación definidas.



3.2 SOLUCIONES ESTRUCTURALES DIFERENTES

En este apartado existen dos posibilidades diferentes para la estructura: Metálica o de hormigón armado. A continuación se enumeran las principales ventajas de cada una:

1. Metálica

La estructura metálica fue pionera para este tipo de sistemas de aparcamiento debido a sus secciones más esbeltas y a la capacidad de desmontarse como se requería en los inicios de estas estructuras. Sin embargo, en el caso que se aborda en el trabajo la estructura será fija, por lo que esto no sería una ventaja a destacar.

Por otro lado los tiempos de ejecución sí son sensiblemente más rápidos que las estructuras en las que participa el hormigón armado. Los perfiles de los pilares en este caso son más esbeltos como se ha mencionado antes y esto facilita estructuras con una disposición de pilares muy próximos entre sí.

En cuanto a los inconvenientes que presenta esta estructura, los principales son la complejidad de ejecutar las uniones soldadas (aunque esto podría resolverse en ocasiones con uniones atornilladas) y por otro lado el comportamiento que presenta ante el fuego, por lo que debería proyectarse un revestimiento ignífugo para evitar el colapso prematuro de la estructura ante esta situación.

2. Hormigón armado

En cuanto al hormigón armado, sus tiempos de ejecución son más largos y requieren de secciones mayores para los elementos resistentes, pero la mano de obra requerida es menos cualificada y su comportamiento al fuego también es mejor que el de la estructura metálica (Las estructuras metálicas requieren habitualmente de un revestimiento contraincendios).

Como ya se ha mencionado anteriormente, en este trabajo solo se calculará la estructura metálica, aunque sería interesante hacer una comparativa con una de hormigón armado, pero debido a problemas de tiempo y de extensión no ha sido posible.



3.3 TIPOLOGÍAS GEOMÉTRICAS POSIBLES

En cuanto a la geometría apropiada para el parking, se analizan los siguientes tipos:

1. Cuadrada

Esta geometría permite un máximo de cuatro plazas por planta con un ascensor central como se aprecia en la imagen 3.



Imagen 3. Distribución por planta cuadrada

2. Rectangular

En el caso de una geometría rectangular, se disponen de más de 4 plazas por planta con conducciones internas, como se ve en la imagen 4.

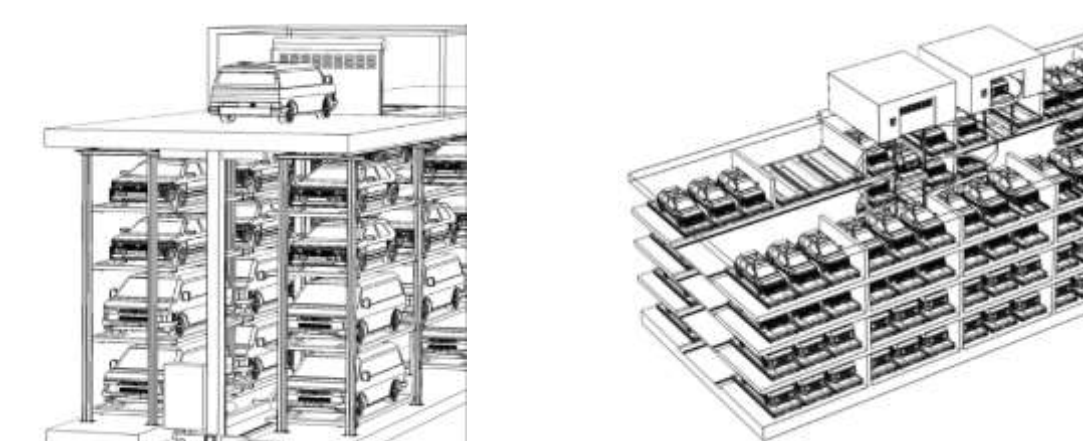


Imagen 4. Distribución por planta rectangular

Imagen 3 obtenida de <http://aparcamientosrobotizados.blogspot.com.es>

Imagen 4 obtenida de <https://www.slideshare.net/park-in/parking-automatico-lp-system>



3. Circular

En este caso, se disponen de más de 4 plazas por planta sin conducciones internas, pero dándole al ascensor la posibilidad de rotar. Esto se aprecia en la imagen 5.



Imagen 5. Distribución por planta circular

4 JUSTIFICACIÓN SOLUCIÓN ADOPTADA

Para la elección de la geometría del edificio a proyectar se deben valorar distintos factores como el económico, el funcional (primando la simplicidad de los mecanismos), el uso eficiente del espacio disponible y por supuesto el número de plazas a las que se puede optar con cada tipología.

1. Economía

En el apartado económico los factores que más influyen son el tamaño de la estructura a realizar y los sistemas mecánicos y sistemas de control internos. En este apartado, la geometría cuadrada sería la más barata dado su reducido tamaño y la simplicidad de sus mecanismos que consisten en un elevador central que asiste a las plazas de aparcamiento. En el extremo opuesto, la geometría más desfavorable sería la geometría rectangular dado su tamaño y el número de mecanismos y sistemas de control que requiere para su uso. En el término medio quedaría la distribución circular, su tamaño es mayor que la cuadrada y sus mecanismos precisan de la libertad de girar pero en ningún son tan complejos como los que precisa la geometría rectangular.

✓ De más a menos económica: Cuadrada-circular-rectangular

Imagen 5 obtenida de <http://nosolotendencias.es/author/marg/>



2. Funcionalidad

En el apartado funcional, el objetivo es conseguir que el parking genere el menor número de problemas a los usuarios y les permita un uso rápido y fluido de las instalaciones. En este apartado, penalizan los tiempos de espera mayores y las probabilidades de fallo en la entrega o recepción de los vehículos que gestionan. Suponiendo una velocidad de movimiento igual para los sistemas de transporte, las geometrías con plazas más alejadas de la zona de entrada/salida generaran mayores tiempos de espera.

✓ De más a menos rapidez: Cuadrada-circular-rectangular

Por otro lado, las disposiciones más propensas a generar problemas son las que disponen de mecanismos internos más complejos.

✓ De más a menos simplicidad en mecanismos: Cuadrada-circular-rectangular

Como conclusión, desde el punto de vista funcional, la tipología más favorable sería la cuadrada por su rapidez y seguridad a fallos de uso, seguida de la circular y por último la tipología rectangular

3. Uso eficiente del espacio

Para analizar el uso del espacio disponible en cada uno de los tipos de distribución en planta, a continuación se muestran ilustraciones en las que se explica cómo se aprovecha este espacio en cada una de estas distribuciones:

- **Cuadrada:** En este caso, como se ve en la figura 1, a continuación, haciendo una división en partes iguales de la parcela el espacio aprovechable del total es de un 44%

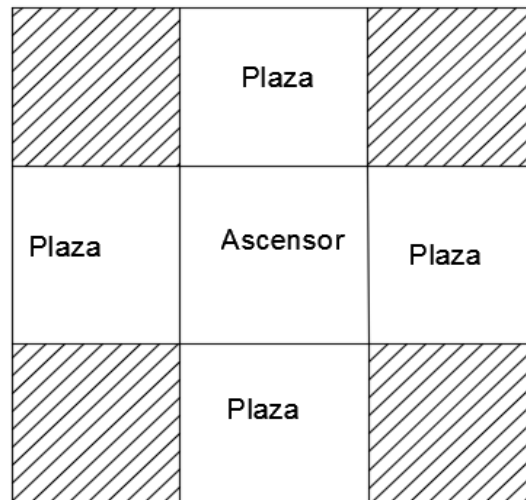


Figura 1. Uso espacio en distribución cuadrada

- **Circular:** En este caso, haciendo una serie de simplificaciones alcanzaríamos un límite ideal de aprovechamiento del 88%. Este es un límite superior pero que nos da una idea de las posibilidades que ofrece esta tipología. Es importante tener en cuenta que lo común es que las parcelas tengan formas rectangulares, con lo que el espacio desaprovechado sería mayor del supuesto. Un ejemplo de este tipo de geometría está en la figura 2.

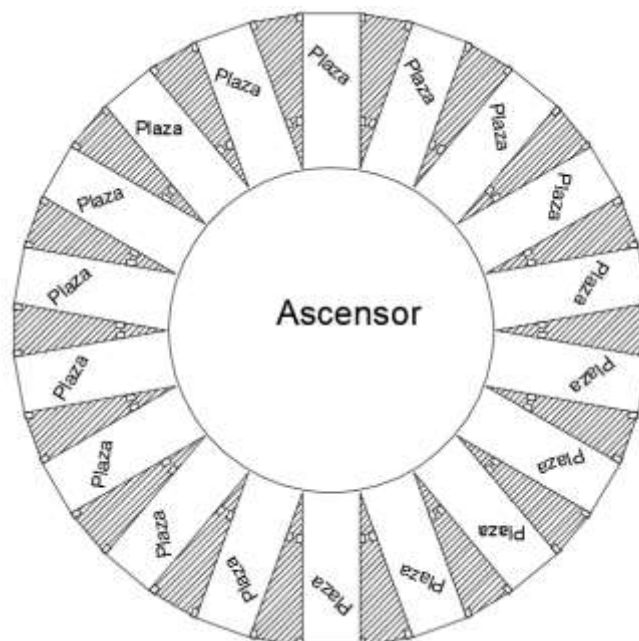


Figura 2. Uso espacio en distribución circular



- **Rectangular:** Un 66% del espacio de la parcela sería un porcentaje máximo y fácilmente accesible para una distribución rectangular como se ve en la figura 3.

Plaza	Plaza	Plaza	Plaza	Plaza	Plaza
Ascensor	Movimiento Ascensor	Movimiento Ascensor	Movimiento Ascensor	Movimiento Ascensor	Movimiento Ascensor
Plaza	Plaza	Plaza	Plaza	Plaza	Plaza

Figura 3. Uso espacio en distribución rectangular

Como conclusión en este apartado, la geometría circular ofrece grandes porcentajes de terreno aprovechado pero es complejo conseguirlos debido a que depende de muchas variables distintas. La geometría rectangular ofrece un rendimiento algo inferior pero este porcentaje es independiente de las dimensiones del mismo, por lo que es más escalable para grandes superficies. Por último, la geometría cuadrada ofrece los peores valores dado todo el espacio inaccesible que genera.

✓ De más a menos espacio aprovechable: Circular-rectangular- cuadrada

4. Cantidad de plazas

En este apartado, el interés reside en lo sencillo o complejo que será albergar un número grande de plazas en cada geometría. En el caso de la geometría cuadrada por ejemplo, albergar más de cuatro plazas por planta requeriría una nueva cabina de transferencia y una nueva estructura adosada. Esto descarta en la mayoría de situaciones optar por esta geometría para situaciones donde la capacidad de plazas sea muy elevada.



Por otro lado, las geometrías circular y rectangular son escalables en este sentido, es decir, pueden dimensionarse para distintos números de plazas por planta. En este caso, la geometría rectangular tiene una clara ventaja sobre el resto permitiendo muchas plazas por planta sin complicar las soluciones constructivas. La geometría circular podría adaptarse pero cuantas más plazas se quiere albergar, más espacio central debe dejarse y esto en muchas ocasiones no es interesante porque podría convertirse en espacio inútil.

✓ De más a menos espacio aprovechable: Rectangular-
Circular- cuadrada

4.1 REQUERIMIENTOS ESPACIALES DEL EMPLAZAMIENTO

En el presente caso la parcela disponible es de un tamaño medio-pequeño debido a estar ubicada en un núcleo urbano donde el espacio es caro y escaso. La geometría cuadrada sería más útil en parcelas mucho más reducidas que la disponible, por lo que se descarta. Por otro lado, la geometría rectangular, no cabría en este espacio debido a su longitud, por lo que, de igual modo que la cuadrada, también se descarta. Esto se ilustra con la figura 4, a continuación.

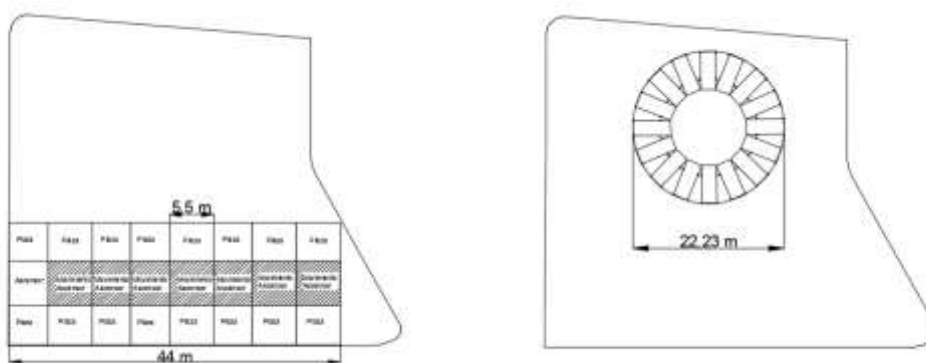


Figura 4. Comparativa entre geometrías

Por tanto, la geometría final del aparcamiento será circular debido a que la parcela elegida para construirlo dispone de 1.814 m², lo implica un parking de tamaño medio para el que la geometría circular se adapta a la perfección.

Para conseguir el máximo porcentaje de espacio aprovechado se ha determinado que el número óptimo de plazas por planta sea de 16 con unas dimensiones de 5,1 metros de largo y 2,2 metros de ancho cada una. (Ver anejo “calculo geometría”).



El aparcamiento tendrá un radio de 10,7 metros, por tanto se necesitará un área cuadrada de 22,23 metros de lado. En este caso la superficie necesaria son 457 m² y el solar dispone de una superficie de 1814 m² según catastro.

La cabina de transferencia tendrá unas dimensiones de 5 metros de radio, similares al hueco interno de la estructura, donde estará situado el ascensor. Se dispone de una zona de espera para la entrada de coches con capacidad para 4 vehículos y una zona de espera para la salida de vehículos con capacidad para otros 2. (Ver apartado bibliografía: normativa aplicada).

5 EMPLAZAMIENTO

Este tipo de parking está ideado para construirse en grandes núcleos urbanos donde el espacio es un recurso limitado y la cantidad de coches es elevada. En este caso se opta por ubicar el aparcamiento en la ciudad de Madrid, una de las ciudades más pobladas de España, concretamente en la calle Antonio De Leyva número 22. En la imagen 6 se muestra la ubicación exacta de la parcela.



Imagen 6. Ubicación emplazamiento del aparcamiento

La parcela escogida tiene una superficie de unos 1.814 m² según catastro y una forma asimilable a un rectángulo (imagen 7). No existe ninguna construcción ni tiene un uso formal. Está cerca de varios edificios de viviendas y en la actualidad se utiliza como aparcamiento improvisado. La parcela dispone de 3 vías para el acceso y un callejón que puede ser adaptado para el tránsito de vehículos.

Imagen 6 obtenida de <https://www.google.es/maps/>



En la imagen 7 se muestra la parcela vista desde arriba y según aparece en el catastro, y una posible configuración del aparcamiento en la misma.

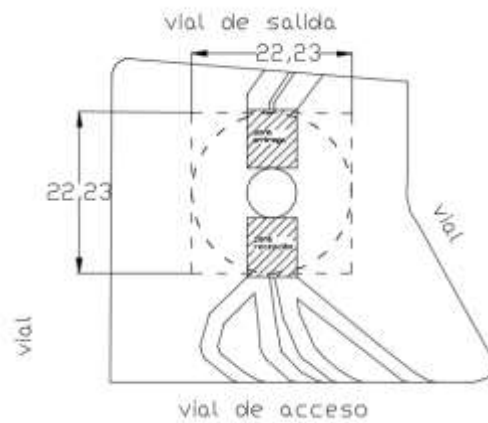


Imagen 7. Ubicación emplazamiento del aparcamiento

Imagen 7 obtenida de <http://www.catastro.meh.es/>



6 DESCRIPCIÓN DEL EDIFICIO

El parking modelado es un edificio con estructura de acero, localizado en la ciudad de Madrid, en la calle Antonio De Leyva 22. Las dimensiones son de 22,23 metros de diámetro y 14 metros de profundidad. Dispone de 6 plantas con capacidad para 16 coches cada una. En la figura 5 a continuación se muestra la vista en 3D.

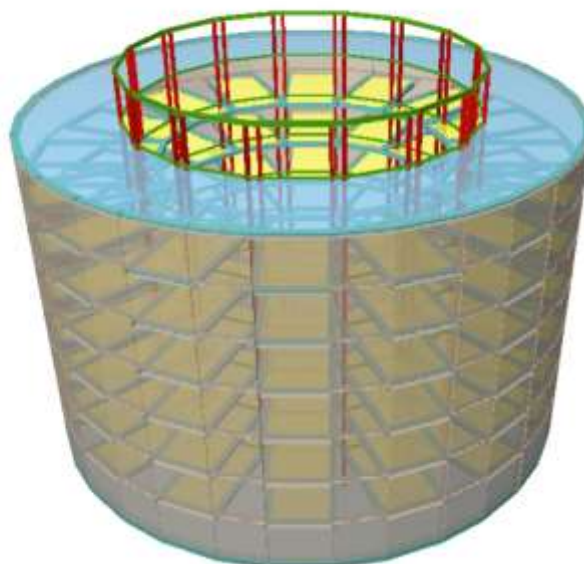


Figura 5. Vista 3D

6.1 CIMENTACIÓN

En este caso se procederá a realizar unos muros pantalla por muro guía hasta una profundidad de unos 14 metros de profundidad y 75 cm de grosor. Tras esto se procederá a la excavación hasta una cota de -14 metros y un una cota de -16 metros en un recuadro interior para el sistema de elevación. Para la zona inferior se ejecutará una losa de 75 cm de espesor como cimentación atando todos los pilares del anillo interior. Los muros pantalla descansan sobre vigas de cimentación de 75 x 75 cm. Esto se ejemplifica con la figura 6.

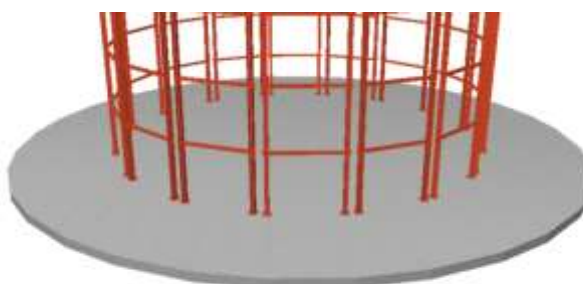


Figura 6. Losa de cimentación



6.2 FORJADOS

En cuanto a los forjados, primero se ha realizado un predimensionado el cual daba un primer valor de 11 cm. Tras este valor se opta por un perfil comercial de 15 cm sin capa de compresión. Los forjados estarán apoyados al muro pantalla y en una viga metálica (perfil HE 100 B) tal y como se muestra en la imagen. La unión de la losa con el muro pantalla se ejecutara con un perfil en L como se ve en la figura 7.

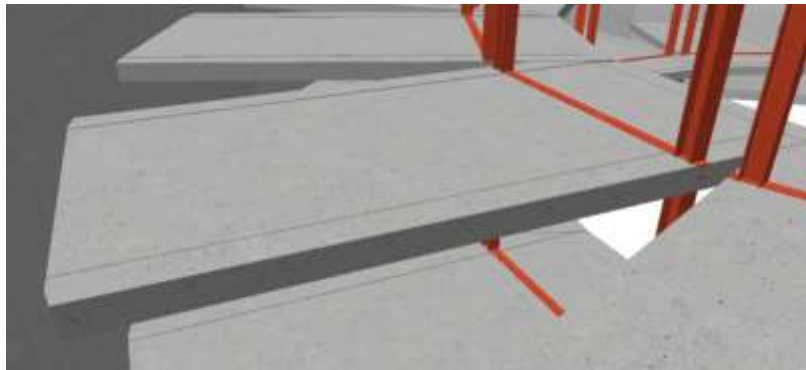


Figura 7. Placa alveolar

6.3 FORJADO SUPERIOR

En la zona superior (cota 0) se opta por una losa maciza de 30 cm. Esta losa estará a pie de calle y admitirá el tránsito de acceso y salida de los coches que gestione el aparcamiento como ilustra la figura 8.



Figura 8. Losa maciza superior



6.4 ESTRUCTURA METÁLICA DEL ANILLO INTERIOR

En este caso se opta por un anillo de pilares interiores HE 180 B y unas vigas HE 180 B que conforman los pórticos sobre los que apoyan los forjados como muestra la figura número 9.



Figura 9. Estructura metálica

6.5 PLACA DE ANCLAJE

Las placas de anclaje tendrán unas dimensiones de 300 mm x 300 mm y un espesor de 14 mm. Dispone de unos rigidizadores dispuestos tal y como muestra la imagen. El material de los pernos B 500 S con un diámetro de 14 mm. Estos están dispuestos en patilla a 90 grados. Un ejemplo de esto está en la figura 10.

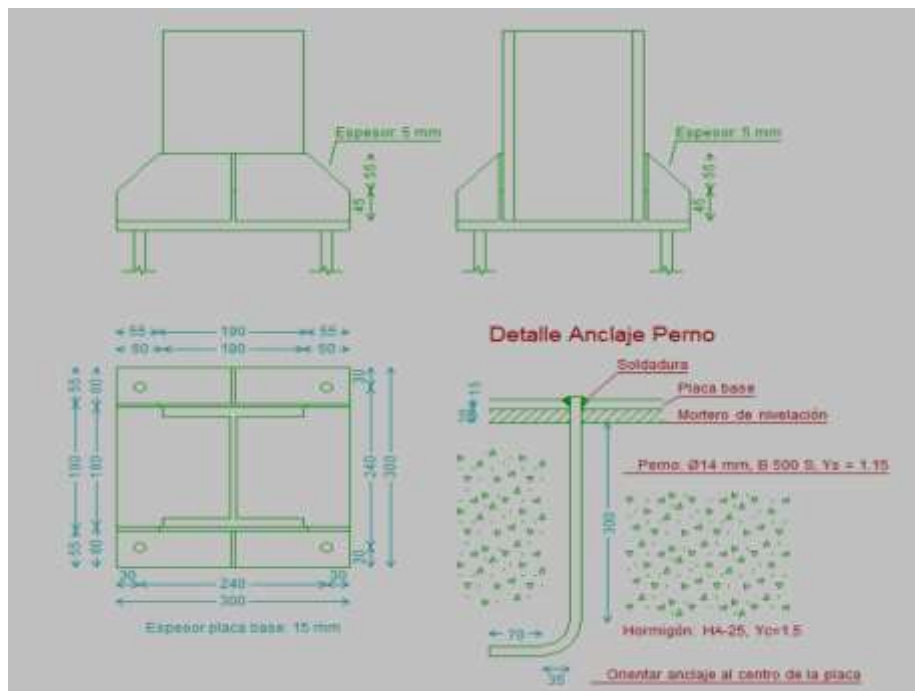


Figura 10. Placa de anclaje



5 RESUMEN PRESUPUESTO

1 Excavación .	153.262,48€
2 Cimentaciones	
2.1 Regularización .	3.039,84€
2.2 Contenciones .	206.433,03€
2.3 Superficiales .	47.006,69€
Total 2 Cimentaciones	256.479,56€
3 Estructuras	
3.1 Acero .	122.256,25€
3.2 Hormigón armado .	18.644,27€
3.3 Hormigón prefabricado .	87.918,78€
Total 3 Estructuras	228.819,30€
Presupuesto de ejecución material	638.561,34€
13% de gastos generales	83.012,97€
6% de beneficio industrial	38.313,68€
Suma	759.887,99€
21% IVA	159.576,48€
Presupuesto de ejecución por contrata	919.464,47€

Asciende el presupuesto de ejecución por contrata a la expresada cantidad de NOVECIENTOS DIECINUEVE MIL CUATROCIENTOS SESENTA Y CUATRO EUROS CON CUARENTA Y SIETE CÉNTIMOS.



6 BIBLIOGRAFÍA

6.1 NORMATIVA APLICADA

En este proyecto se ha aplicado la siguiente normativa:

Código Técnico de la Edificación Documento Básico de Seguridad Estructural (CTE DB SE), aprobado por el Real Decreto 314/2006 el 17 de marzo de 2006.

La instrucción de Hormigón Estructural (EHE-08), aprobada por el Real Decreto 1247/2008 el 18 de julio de 2008. La normativa específica para aparcamientos robotizados de la comunidad de Madrid publicada en el BOCM del pasado 23 de abril de 2001, las Normas Urbanísticas del Plan General de Ordenación Urbana.

Dentro del CTE DB SE, se han aplicado los siguientes documentos: Documento Básico de Seguridad Estructural – Aceros (CTE DB SE-A) con el fin de verificar la seguridad estructural de elementos metálicos realizados con acero en edificación.

6.2 PÁGINAS CONSULTADAS

- *Parking robotizados mecanicos.* (2017). *Integralparksystems.com*. Recuperado 5 Julio 2017, de http://www.integralparksystems.com/aparcamientos_rob_1930.php
- *Aparcamientos Robotizados en España.* (2017). *Aparcamientosrobotizados.blogspot.com.es*. Recuperado 5 Julio 2017, de <http://aparcamientosrobotizados.blogspot.com.es/>
- Gómez, M. (2017). *No Sólo Tendencias*. Recuperado 5 Julio 2017, de <http://nosolotendencias.es/author/marg/>
- *Google Maps.* (2017). *Google Maps*. Recuperado 5 Julio 2017, de <https://www.google.es/maps/>
- *Noria vertical.* (2017). Recuperado 5 Julio 2017, de <https://www.autokaleidoskop.cz/files/200610/20061024-212945.jpg>
- Park-in, A. (2017). *Parking automatico LP system*. *Slideshare.net*. Recuperado 5 Julio 2017, de <https://www.slideshare.net/park-in/parking-automatico-lp-system>
- *Ministerio de Hacienda y función pública.* (2017). *Portal de la Dirección General del Catastro*. Recuperado 5 Julio 2017, de <http://www.catastro.meh.es/>



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA
SUPERIOR INGENIEROS
INDUSTRIALES VALENCIA

TRABAJO FIN DE GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

DISEÑO ESTRUCTURAL DE UN APARCAMIENTO ROBOTIZADO SUBTERRÁNEO, CON CAPACIDAD PARA 96 AUTOMÓVILES

ANEJO 1 : OPTIMIZACIÓN DE LA GEOMETRÍA

AUTOR: JUAN CARLOS TARÍN TOMÁS

TUTOR: ANDRÉS LAPUEBLA FERRI

Selección: HÉCTOR SAURA ARNAU

Curso Académico: 2016-17



ANEJO 1: OPTIMIZACIÓN DE LA GEOMETRÍA

1	Porcentajes de aprovechamiento de cada geometría	2
1.1	La geometría cuadrada:.....	2
1.2	La geometría circular:.....	2
1.3	La geometría rectangular:	3
2	Cálculo geométrico	4
2.1	Introducción	4
2.2	Área de pérdidas interna.....	7
2.3	Área de pérdidas triangulares.....	8
2.4	Área de pérdidas corona circular	9
2.5	Conclusión	12
2.6	Otras soluciones	13



1 PORCENTAJES DE APROVECHAMIENTO DE CADA GEOMETRÍA

En este apartado se calculan los porcentajes del espacio que se puede aprovechar con cada tipo de geometría con el fin de comparar cual es la más adecuada para desperdiciar el mínimo espacio posible de la parcela.

1.1 LA GEOMETRÍA CUADRADA:

En el caso de la geometría cuadrada se observa en la figura 11 que solo se aprovechan 4 de los nueve recuadros iguales en los que se ha dividido la planta. Por tanto $\frac{4}{9} = 0,44$

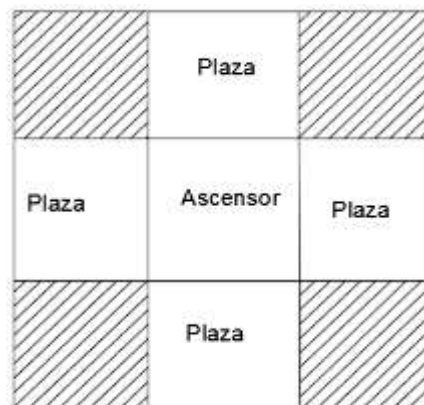


Figura 11. Geometría cuadrada

1.2 LA GEOMETRÍA CIRCULAR:

En este caso no es tan evidente el porcentaje de espacio útil del total. Para poder hacer la comparativa se aproximará a la situación ideal en la que la distribución sea tal como la figura 12 y la parcela sea totalmente circular como la planta.

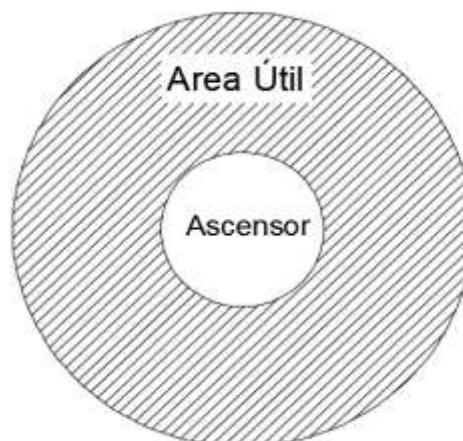


Figura 12. Geometría circular



En este caso el área útil queda definida por $\pi * (R_2^2 - R_1^2)$ con R1 el radio interior y R2 el radio exterior. Si asumimos que en el radio interior debe estar el ascensor, debería tener un radio interior igual a la mitad de un coche, de forma que en el ascensor cupiera un coche entero. Por otro lado, el radio exterior comprendería el primer medio coche del radio interior más un coche entero que corresponde a una plaza cualquiera. Esta aproximación hace que R1 sea $\frac{1}{3} * R_2$. Con esto, el porcentaje de superficie aprovechada sería el siguiente

$$\frac{\pi * (R_2^2 - (\frac{1}{3} * R_2)^2)}{\pi * R_2^2}, \text{ simplificando quedaría } 1 - (\frac{1}{3})^2 = 0,88 \text{ (88\%).}$$

1.3 LA GEOMETRÍA RECTANGULAR:

En este caso es más evidente la proporción útil de la parcela resulta evidente que dos terceras partes se aprovechan (la fila superior e inferior) como se ve en la figura 13 De este modo el aprovechamiento es $\frac{2}{3} = 0,66$.

Plaza	Plaza	Plaza	Plaza	Plaza	Plaza
Ascensor	Movimiento Ascensor	Movimiento Ascensor	Movimiento Ascensor	Movimiento Ascensor	Movimiento Ascensor
Plaza	Plaza	Plaza	Plaza	Plaza	Plaza

Figura 13. Geometría rectangular



2 CÁLCULO GEOMÉTRICO

A continuación, se procederá al dimensionado de la distribución en planta del parking. El objetivo perseguido en este apartado es conseguir aprovechar al máximo el espacio disponible, intentando dar cabida al mayor número de plazas de aparcamiento posibles.

2.1 INTRODUCCIÓN

En primer lugar se establecerá un criterio para poder cuantificar este aprovechamiento del espacio, y compararlo con el de otros aparcamientos. Para ello se tomará el cociente del espacio aprovechado y el espacio total, a lo que se llamará "*rendimiento superficial*" [1].

$$\eta_{Sup} = \frac{\text{Área útil}}{\text{Área total}} \quad [1]$$

Analizando más en detalle los términos de la ecuación [1] se puede observar que el denominador depende del área útil y del área de pérdidas [2]. A partir de este resultado la única forma de mejorar el rendimiento es minimizar el área de pérdidas [3].

$$\text{Área total} = \text{Área útil} + \text{Área pérdidas} \quad [2]$$

$$\eta_{Sup} = \frac{\text{Área útil}}{\text{Área útil} + \text{Área pérdidas}} \quad [3]$$

Una vez determinado el objetivo, se debe hallar la función matemática que representa el área de pérdidas y, posteriormente, derivarla e igualarla a 0. De esta manera, se determinan las dimensiones precisas del parking para garantizar las mínimas pérdidas posibles.

Presentados los parámetros principales, a partir de los que se podrá obtener el valor del rendimiento superficial mediante la función anterior, es necesario encontrar otra función que valide estos resultados. Esta función garantizará un valor real, ya que es una modelización ideal de la geometría y por tanto dará un límite teórico al que el rendimiento superficial tenderá sin alcanzarlo.



Para ello se aprovechará el hecho de que el parking puede modelarse idealmente como dos círculos circunscritos.

En primer lugar, se describirá el *Área útil* como el producto del número de plazas (n) por el ancho (L) y profundo (P) de cada plaza como se ve en la figura 14.

$$\text{Área útil} = n * L * P \quad [4]$$

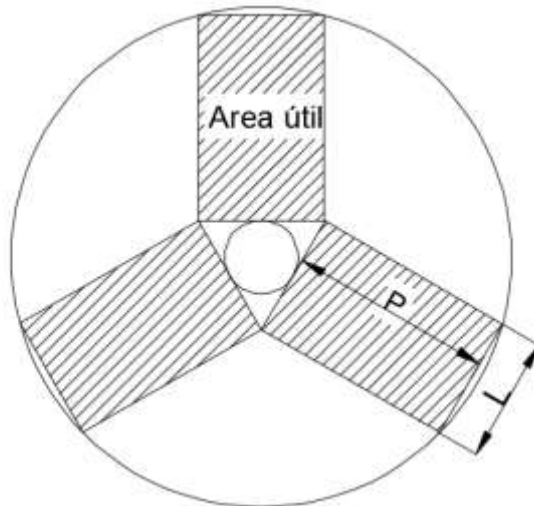


Figura 14. Área útil

Por otro lado, el *Área total* será la diferencia entre el círculo exterior y el interior, como se observa en la figura 15:

$$\text{Áreatotal} = \pi * (R_2^2 - R_1^2) \quad [5]$$

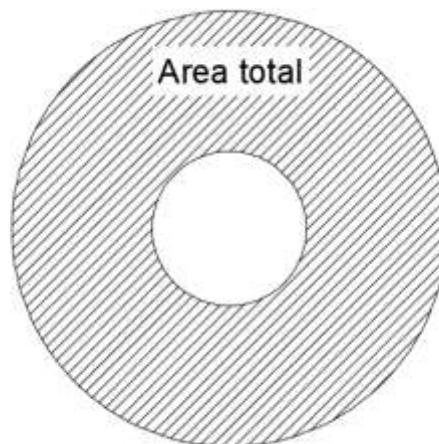


Figura 15. Área total



Así pues, la función que validará nuestros resultados es: $\eta_{sup} = \frac{n \cdot L \cdot P}{\pi \cdot (R_2^2 - R_1^2)}$ [6]

Esta función describe la situación límite ideal, es decir, el máximo rendimiento superficial que teóricamente se puede alcanzar dado un espacio interno determinado, sin importar la disposición de las plazas en la planta. Por tanto, esta función da información acerca del valor ideal del rendimiento superficial, pero no informa sobre el valor óptimo de los parámetros para alcanzar este límite ideal.

A partir de aquí, se procederá a determinar la función que representa el área de pérdidas dependiendo de los parámetros principales, explicada al principio de este apartado [3].

El primer paso es representar dichos parámetros para identificarlos como se observa en la figura 1

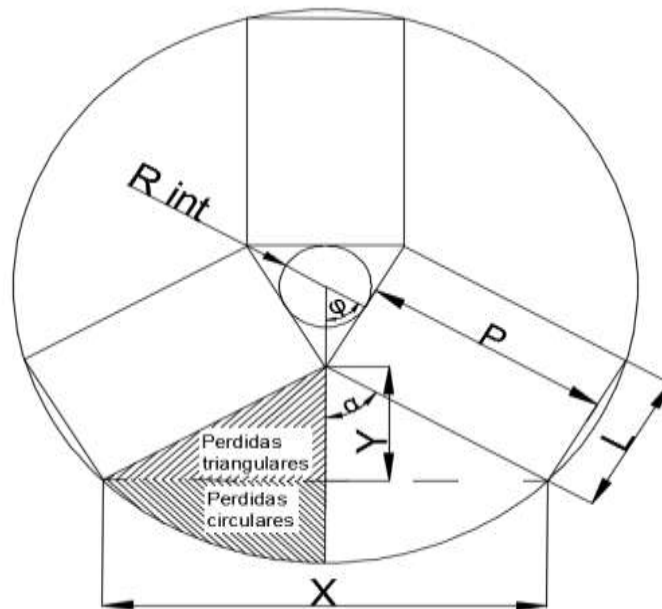


Figura 16. Parámetros principales

- El ángulo $\varphi = \frac{360}{2n}$ Con n siendo el número de lados del polígono interno (número de plazas en nuestro caso), es el ángulo que relaciona el número de plaza n con el radio interno R_{int} y el ancho de la plaza L de la siguiente forma: $\tan \varphi = \frac{L}{2R_1}$. Igualando con la expresión anterior $\frac{360}{2n} = \arctan\left(\frac{L}{2R_1}\right) = \varphi$
- Sea α el semiángulo formado por dos plazas coincide con φ por complementariedad de ángulos.
- X e Y son la base y altura del triángulo que conforma las pérdidas de espacio entre plazas. Siendo su relación trigonométrica con los parámetros anteriores $X = \sin \varphi \cdot P$; $Y = \cos \varphi \cdot P$.



Tras definir estos parámetros se procede a dividir las pérdidas de espacio de tres maneras distintas, con el objetivo de simplificar los cálculos geométricos: el área del triángulo definido por X e Y (A_{triang}), el polígono regular interno (A_{intern}) y el segmento circular que separa el triángulo de la circunferencia (A_{circu}).

La función esperada será:

$$\eta = \frac{\text{Áreautil}}{\text{Áreautil} + A_{triang} + A_{intern} + A_{circu}} \quad [7]$$

2.2 ÁREA DE PERDIDAS INTERNA

El siguiente paso consistirá en determinar cada una de estas áreas por separado.

En primer lugar se definirá el área interna asumiendo que será un polígono regular circunscrito cuyo apotema coincide con el radio interno R_1 y sus lados miden el ancho de las plazas (L) como se ve en la figura 17.

Por tanto esta área se calculará como:

$$A_{intern} = \frac{n \cdot R_1 \cdot L}{2} [8]$$

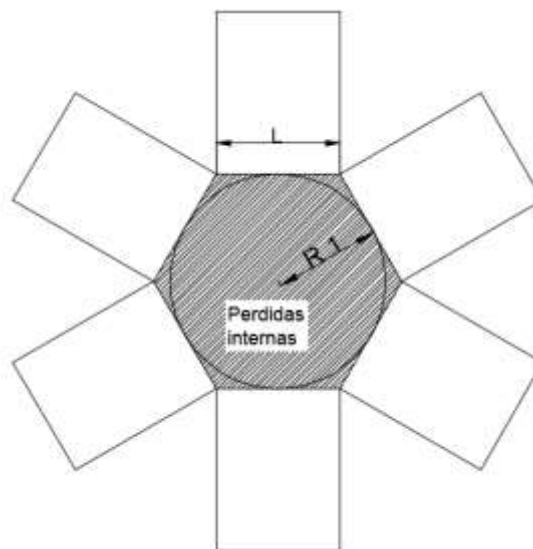


Figura 17. Área pérdidas internas

Analizando esta función [8], se observa que al aumentar el tamaño de ambas variables disminuye el rendimiento, pero es necesario que existan estas pérdidas dado que ese espacio interno es indispensable para colocar el ascensor.



2.3 ÁREA DE PÉRDIDAS TRIANGULARES

Seguidamente, se procede a definir el triángulo comprendido entre dos plazas contiguas. En este caso. ($X = \sin \varphi * P$; $Y = \cos \varphi * P$) visto en la figura 18.

$$A_{\text{triang}} = 2 * \frac{X * Y}{2} = X * Y = P^2 * \sin \varphi \cos \varphi = \frac{\sin 2\varphi}{2} * P^2 \quad [9]$$

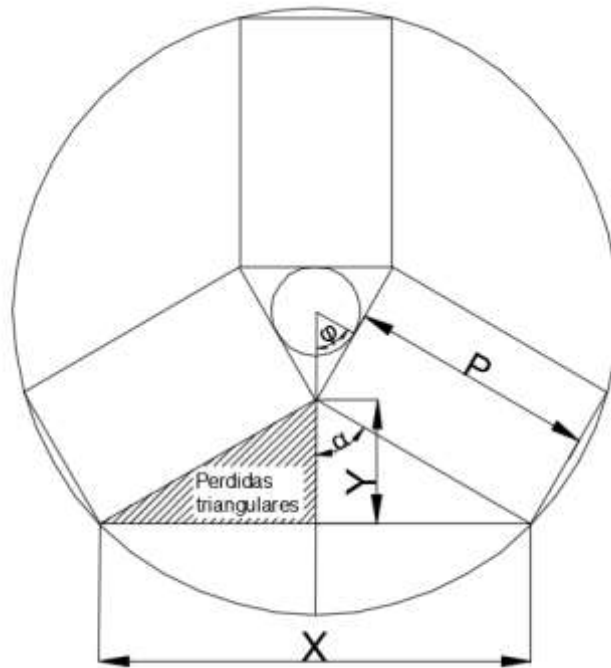


Figura 18. Área pérdidas triangulares

Se pone de manifiesto que aumentar P perjudica en gran medida el rendimiento superficial del aparcamiento.



2.4 ÁREA DE PÉRDIDAS CORONA CIRCULAR

Por último, para determinar las pérdidas de la corona circular en primer lugar se toma un sector circular "B" y se le sustrae el área definida por el triángulo "T". Tras esta operación el resultado es el área de pérdidas de la corona circular como se observa en la figura 19.

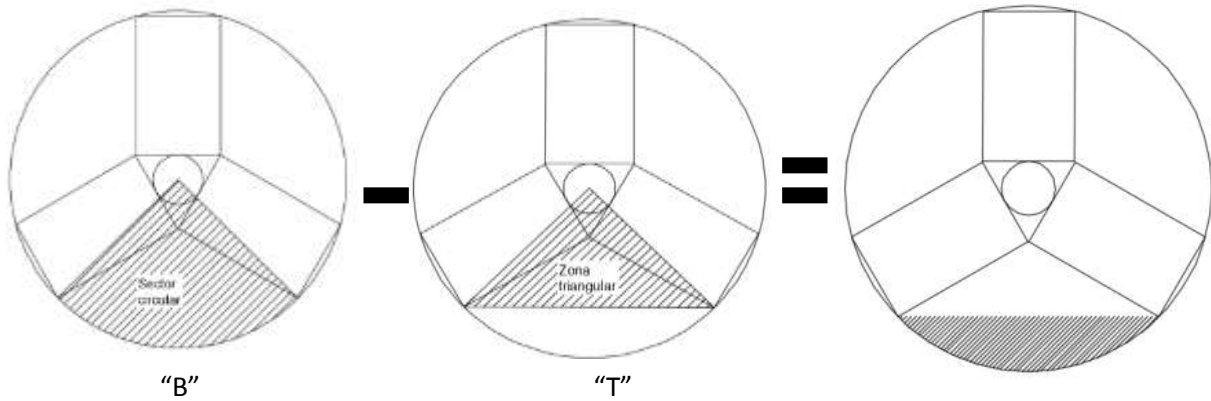


Figura 19. Área de pérdidas corona circular

Para poder realizar esta operación, primeramente se procede a definir el sector circular "B" y la zona triangular "T".

Respecto al sector circular "B", se calcula basándose en los parámetros que es posible conocer en la práctica de forma directa: R_2 y γ . El área de un sector circular es $\frac{1}{2}\gamma R_2^2$ siendo γ el ángulo que forman los lados del sector y R el radio de la circunferencia como se ve en la figura 20.

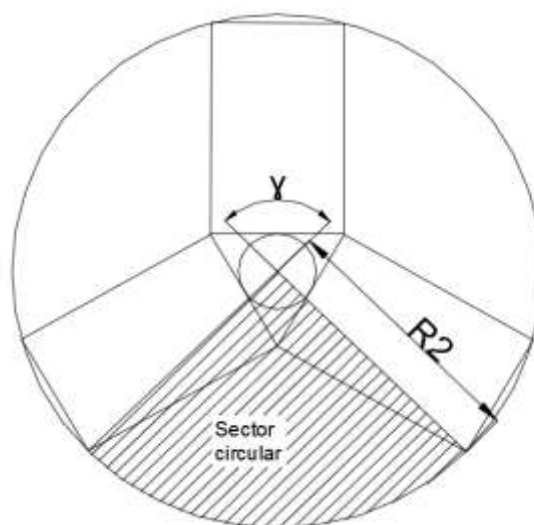


Figura 20. Sector circular "B"



A continuación se definen los parámetros γ y R_2 en función de las dimensiones de las plazas de aparcamiento (largo y ancho). El ángulo γ es deducido por el siguiente triángulo rectángulo formado por el segmento D y el radio de la circunferencia R_2 como muestra la figura 21.

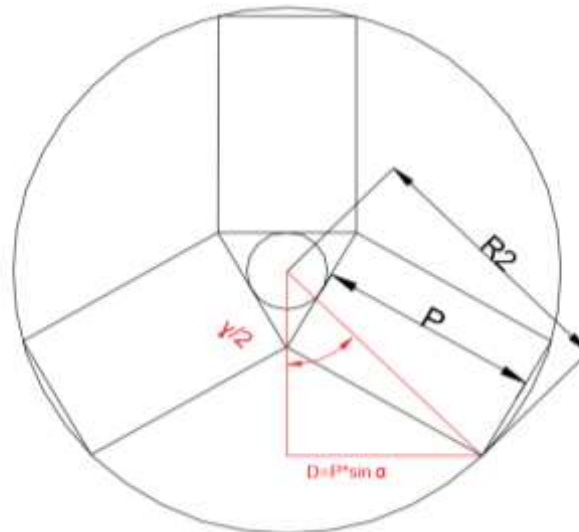


Figura 21. Ángulo γ

En este caso el ángulo $\frac{\gamma}{2} = \sin^{-1} \left(\frac{d}{2 * R_2} \right)$, por lo que el ángulo completo será el doble de este. Por último añadir que el ángulo deberá estar calculado en radianes $\gamma = 2 * \sin^{-1} \left(\frac{d}{2 * R_2} \right)$.

Por otro lado, el sector triangular “T” será definido por los parámetros siguientes: el área del triángulo será $T = \frac{D * h}{2}$, con D como lado desigual del triángulo isósceles que se forma y h como la altura del mismo según la figura 22.

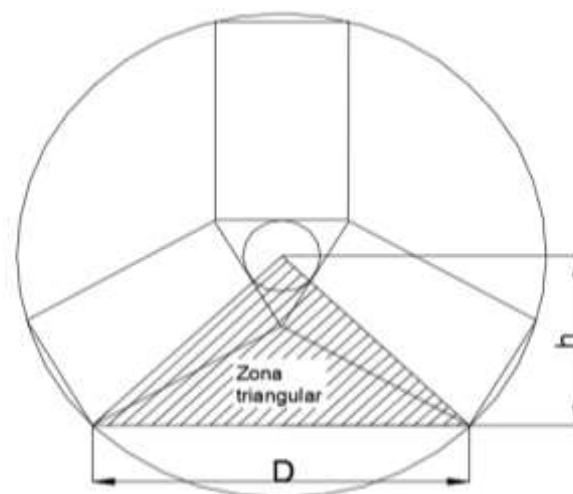


Figura 22. Zona triangular “T”



El lado D se calcula de la misma manera que en el caso de la figura 8 (área de pérdidas triangulares): $D = 2 * P * \sin \varphi$.

Por otro lado, la altura “ h ” se obtiene aplicando Pitágoras al triángulo formado por R_2 y el segmento $D/2$ por lo que quedaría $h = \sqrt{R_2^2 - \left(\frac{d}{2}\right)^2}$ (Figura 23).

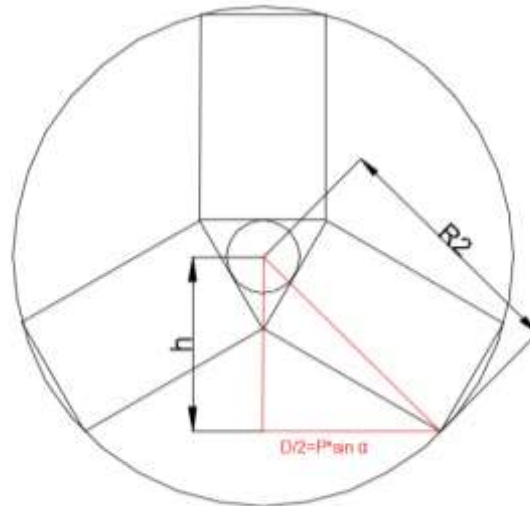


Figura 23. Parámetro “h”

Por último, para definir el radio exterior en función de los parámetros largo y ancho de las plazas, se aplica Pitágoras al triángulo formado por el segmento $L/2$ y la suma de los segmentos R_1 y P . Con todo ello queda $R_2 = \sqrt{\left(\frac{L}{2}\right)^2 + (R_1 + P)^2}$ (Figura 24).

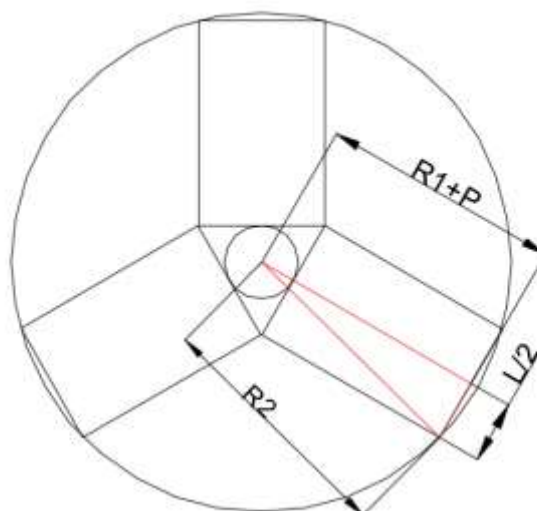


Figura 24. Parámetro “R2”



Agrupando términos y sustituyendo se obtiene la siguiente función, que determina el área de pérdidas del segmento circular expresado con parámetros relacionados con la cantidad de plazas de aparcamiento.

$$A_{circu} = \left[\left(2 * \sin^{-1} \left(\frac{P * \sin \varphi}{\sqrt{\left(\frac{L}{2}\right)^2 + (R_1 + P)^2}} \right) * \frac{\pi}{360} \right) * \left(\sqrt{\left(\frac{L}{2}\right)^2 + (R_1 + P)^2} \right)^2 \right] - \left[P * \sin \varphi * \sqrt{\left(\frac{L}{2}\right)^2 + (R_1 + P)^2 - (P * \sin \varphi)^2} \right].$$

En este caso, si el radio interno R_1 se hace muy pequeño, el ángulo φ aumenta rápidamente y estas pérdidas se hacen muy notables, por lo que no es aconsejable reducir ese parámetro en gran medida. Como ya se ha expuesto anteriormente, es necesario que exista un radio interno mínimo para colocar el ascensor y, por ello, en condiciones normales, estas pérdidas son despreciables frente al resto. Dando valores a la función se observa que su influencia real sobre el rendimiento superficial es despreciable frente al resto.

Como primera conclusión se deduce que la profundidad P debe reducirse al mínimo admisible (que en este caso sería el largo máximo que puede tener un turismo). Según tablas de dimensiones, con una medida de 5,5 m de profundidad sería suficiente. Por otro lado, el ancho de las plazas también es un parámetro que afecta a las pérdidas, no en tanta medida como la profundidad, pero es conveniente minimizarlo para poder conseguir un mayor número de plazas. En este caso, 2,2 m sería suficiente para que la plaza fuese apta para cualquier turismo comercial.

2.5 CONCLUSIÓN

Para finalizar, el paso restante será encontrar el radio interno R_1 óptimo. Para ello se desprecian las pérdidas de la sección circular y se procede a buscar el mínimo de la función $f(x) = A_{triang} + A_{intern}$.

$$f(x) = \frac{R_1 * L}{2} + \frac{\sin 2\varphi}{2} * P^2 \quad \text{Sustituyendo } P=5,5 \text{ y } L=2,2$$

$$\text{Derivando } f'(x) = 1 - \frac{30,25 * \cos\left(2 * \tan^{-1}\left(\frac{1}{R_1}\right)\right)}{R_1^2 + 1}$$



Igualando a cero se obtienen los valores óptimos de R_1 , que son 1,07m y 5,2m. En este caso se requerirá un radio mínimo de la mitad de la longitud máxima de los coches, es decir 2,75m, por lo que se optará por un R_1 de 5,2 metros. Con este valor se obtiene un rendimiento del 50,3%, disponiendo de 16 plazas por planta.

Comparando este valor con los calculados previamente se observa por un lado que dista mucho del 88% que se había estimado para una geometría circular, esto por supuesto es debido a las dimensiones de las plazas que hemos supuesto, ya que ha sido una imposición que se ha determinado y seguramente con otros valores este rendimiento cambiaría mucho.

2.6 OTRAS SOLUCIONES

Podría haberse optado por una disposición rectangular, con un 66% de aprovechamiento del espacio, sin embargo, la parcela debería tener un ancho tal que 8 plazas cupieran a lo largo tal y como muestra la figura 25.

Plaza	Plaza	Plaza	Plaza	Plaza	Plaza
Ascensor	Movimiento Ascensor	Movimiento Ascensor	Movimiento Ascensor	Movimiento Ascensor	Movimiento Ascensor
Plaza	Plaza	Plaza	Plaza	Plaza	Plaza

Figura 25. Distribución rectangular 1

En este caso la parcela debería tener una anchura de 44 metros o una longitud similar. En el presente caso la parcela no podría albergar esta distribución salvo en la parte inferior y en una zona muy concreta de la parcela. Esto dificulta la posibilidad de distribuir las entradas a las cabinas de transferencia y complica en si la construcción.



Otra posibilidad, que solucionaría estos problemas, sería la siguiente, ilustrada en la figura 26.

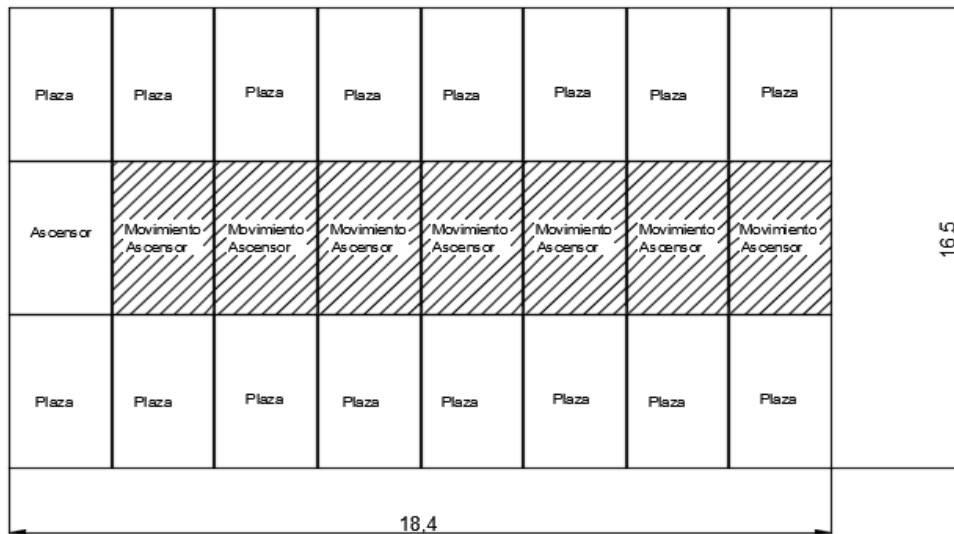


Figura 26. Distribución rectangular 2

Este tipo de distribución sí que podría encajar en el tamaño de la parcela de la que se dispone, pero conllevaría la aplicación de una serie de mecanismos internos más complejos que la distribución circular, por lo que aumentaría el coste del aparcamiento y el riesgo de fallo mecánico. No obstante, a pesar de que sería interesante el estudio de esta solución alternativa, escapa al alcance de este proyecto por problemas de tiempo y extensión.



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA
SUPERIOR INGENIEROS
INDUSTRIALES VALENCIA

TRABAJO FIN DE GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

**DISEÑO ESTRUCTURAL DE UN
APARCAMIENTO ROBOTIZADO
SUBTERRÁNEO, CON CAPACIDAD PARA
96 AUTOMÓVILES**

ANEJO 2 : CÁLCULO ESTRUCTURAL

AUTOR: JUAN CARLOS TARÍN TOMÁS

TUTOR: ANDRÉS LAPUEBLA FERRI

Selección: HÉCTOR SAURA ARNAU

Curso Académico: Selec



ANEJO 2: CÁLCULO ESTRUCTURAL

1	Software utilizado	2
2	Materiales	2
2.1	Aceros.....	2
2.2	Pretensados.....	3
2.3	Hormigones	3
3	Acciones de cálculos	3
3.1	Acciones permanentes	3
3.2	Acciones sobrecarga de uso	4
3.3	Acciones del terreno	6
3.4	Combinaciones de cálculo.....	6
4	Pre-dimensionado de placas alveolares.....	7
4.1	Introducción	7
4.2	Cálculo	8
5	Comprobaciones de cálculo	8
5.1	Muros	8
5.2	Pilares	11
5.3	Placa de anclaje.....	21
5.4	Punzonamiento losa inferior	22
5.5	Viga de cimentación	26
5.6	Viga HE 180B	40
5.7	Viga HE 100 B	49



1 SOFTWARE UTILIZADO

Para el modelado y simulación de la estructura se ha utilizado el Software CYPECAD versión 2017 con la licencia campus. Para los planos se ha utilizado el programa Auto Cad versión 2015 con licencia de alumno. Para el presupuesto se ha utilizado el Arquímedes versión 2017 con licencia campus.

2 MATERIALES

2.1 ACEROS

El acero empleado en los perfiles de la estructura y en las placas de anclaje es un acero laminado S275 (límite elástico 275 Mpa y tensión de rotura 410 Mpa). Para las armaduras y los pernos se ha empleado acero corrugado B500S (Límite elástico 500 Mpa y tensión de rotura 550 Mpa).

Los perfiles de acero estructural empleados han sido los mostrados en la imagen 8.

	<table border="1"> <tbody> <tr><td>Canto total:</td><td>100.0 mm</td></tr> <tr><td>Canto del ala:</td><td>100.0 mm</td></tr> <tr><td>Espesor del alma:</td><td>6.0 mm</td></tr> <tr><td>Espesor del ala:</td><td>10.0 mm</td></tr> <tr><td>Radio de acuerdo entre ala y alma:</td><td>12.0 mm</td></tr> <tr><td>Área sección:</td><td>26.00 cm²</td></tr> <tr><td>Inercia flexión I_{yy}:</td><td>449.50 cm⁴</td></tr> <tr><td>Módulo plástico Z_{yy}:</td><td>104.20 cm³</td></tr> <tr><td>Inercia flexión I_{zz}:</td><td>167.30 cm⁴</td></tr> <tr><td>Módulo plástico Z_{zz}:</td><td>51.42 cm³</td></tr> <tr><td>Inercia a torsión:</td><td>9.25 cm⁴</td></tr> <tr><td>Módulo de alabeo:</td><td>3380.00 cm⁶</td></tr> </tbody> </table>	Canto total:	100.0 mm	Canto del ala:	100.0 mm	Espesor del alma:	6.0 mm	Espesor del ala:	10.0 mm	Radio de acuerdo entre ala y alma:	12.0 mm	Área sección:	26.00 cm ²	Inercia flexión I _{yy} :	449.50 cm ⁴	Módulo plástico Z _{yy} :	104.20 cm ³	Inercia flexión I _{zz} :	167.30 cm ⁴	Módulo plástico Z _{zz} :	51.42 cm ³	Inercia a torsión:	9.25 cm ⁴	Módulo de alabeo:	3380.00 cm ⁶
Canto total:	100.0 mm																								
Canto del ala:	100.0 mm																								
Espesor del alma:	6.0 mm																								
Espesor del ala:	10.0 mm																								
Radio de acuerdo entre ala y alma:	12.0 mm																								
Área sección:	26.00 cm ²																								
Inercia flexión I _{yy} :	449.50 cm ⁴																								
Módulo plástico Z _{yy} :	104.20 cm ³																								
Inercia flexión I _{zz} :	167.30 cm ⁴																								
Módulo plástico Z _{zz} :	51.42 cm ³																								
Inercia a torsión:	9.25 cm ⁴																								
Módulo de alabeo:	3380.00 cm ⁶																								
	<table border="1"> <tbody> <tr><td>Canto total:</td><td>180.0 mm</td></tr> <tr><td>Canto del ala:</td><td>180.0 mm</td></tr> <tr><td>Espesor del alma:</td><td>8.5 mm</td></tr> <tr><td>Espesor del ala:</td><td>14.0 mm</td></tr> <tr><td>Radio de acuerdo entre ala y alma:</td><td>15.0 mm</td></tr> <tr><td>Área sección:</td><td>65.30 cm²</td></tr> <tr><td>Inercia flexión I_{yy}:</td><td>3831.00 cm⁴</td></tr> <tr><td>Módulo plástico Z_{yy}:</td><td>481.40 cm³</td></tr> <tr><td>Inercia flexión I_{zz}:</td><td>1363.00 cm⁴</td></tr> <tr><td>Módulo plástico Z_{zz}:</td><td>231.00 cm³</td></tr> <tr><td>Inercia a torsión:</td><td>42.16 cm⁴</td></tr> <tr><td>Módulo de alabeo:</td><td>93750.00 cm⁶</td></tr> </tbody> </table>	Canto total:	180.0 mm	Canto del ala:	180.0 mm	Espesor del alma:	8.5 mm	Espesor del ala:	14.0 mm	Radio de acuerdo entre ala y alma:	15.0 mm	Área sección:	65.30 cm ²	Inercia flexión I _{yy} :	3831.00 cm ⁴	Módulo plástico Z _{yy} :	481.40 cm ³	Inercia flexión I _{zz} :	1363.00 cm ⁴	Módulo plástico Z _{zz} :	231.00 cm ³	Inercia a torsión:	42.16 cm ⁴	Módulo de alabeo:	93750.00 cm ⁶
Canto total:	180.0 mm																								
Canto del ala:	180.0 mm																								
Espesor del alma:	8.5 mm																								
Espesor del ala:	14.0 mm																								
Radio de acuerdo entre ala y alma:	15.0 mm																								
Área sección:	65.30 cm ²																								
Inercia flexión I _{yy} :	3831.00 cm ⁴																								
Módulo plástico Z _{yy} :	481.40 cm ³																								
Inercia flexión I _{zz} :	1363.00 cm ⁴																								
Módulo plástico Z _{zz} :	231.00 cm ³																								
Inercia a torsión:	42.16 cm ⁴																								
Módulo de alabeo:	93750.00 cm ⁶																								

Imagen 8. Perfiles de acero estructural



2.2 PRETENSADOS

En este caso se ha dispuesto una losa aligerada de canto 15 cm sin capa de compresión como se muestra en la imagen 9. El hormigón de la placa es el HA-30 y el destinado a las juntas es HA-25. El acero de los negativos es B 500 S.

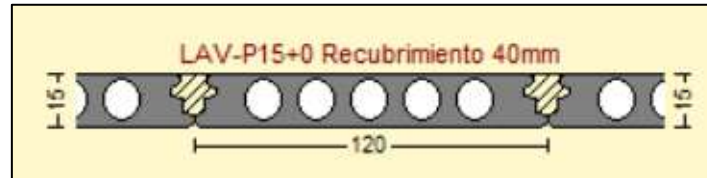


Imagen 9. Losa alveolar

2.3 HORMIGONES

Para las losas de cimentación y del paño superior se ha dispuesto de un hormigón HA- 25 al igual que los muros pantalla y vigas de cimentación de los mismos, como se ve en la figura 27.

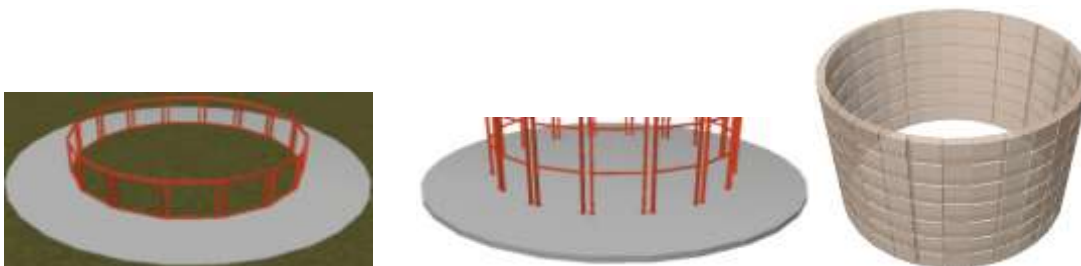


Figura 27. Elementos de hormigón

3 ACCIONES DE CÁLCULOS

Las acciones contempladas para la estructura se dividirán en permanentes, sobrecarga de uso y combinaciones.

3.1 ACCIONES PERMANENTES

Estas son las debidas a la propia estructura y a las losas aligeradas que actúan de forjado para cada plaza. Este tipo de cargas se calculan automáticamente en el programa y ya las tiene en cuenta sin que se definan por el usuario.

En este apartado se han supuesto unas cargas muertas debidas a los solados de los forjados de 1 kN/m^2 , como se observa en la tabla 1.



Planta	Sobrecarga de uso		Cargas muertas (kN/m ²)
	Categoría	Valor (kN/m ²)	
Forjado 8	E	0.0	1.0
Cubierta	E	0.0	1.0
Planta baja	E	0.0	1.0
Sótano 1	E	0.0	1.0
Sótano 2	E	0.0	1.0
Sótano 3	E	0.0	1.0
Sótano 4	E	0.0	1.0
Sótano 5	E	0.0	1.0
Sótano 6	E	0.0	1.0

Tabla 1. Acciones permanentes

3.2 ACCIONES SOBRECARGA DE USO

La sobrecarga de uso, según indica el documento básico de seguridad estructural de la edificación (CTE-DB-SE AE), es el peso de todo elemento que pueda gravitar sobre la estructura debido a su uso. El caso de las zonas de tráfico y aparcamiento para vehículos ligeros es el que se enmarcaría la estructura a calcular (Categoría de uso F). Por lo tanto le corresponde una carga uniforme de 2 kN/m² y una carga concentrada de 20 kN/m² como se ve en la tabla 2.

Categoría de uso		Subcategorías de uso		Carga uniforme [kN/m ²]	Carga concentrada [kN]
A	Zonas residenciales	A1	Viviendas y zonas de habitaciones en, hospitales y hoteles	2	2
		A2	Trasteros	3	2
B	Zonas administrativas			2	2
C	Zonas de acceso al público (con la excepción de las superficies pertenecientes a las categorías A, B, y D)	C1	Zonas con mesas y sillas	3	4
		C2	Zonas con asientos fijos	4	4
		C3	Zonas sin obstáculos que impidan el libre movimiento de las personas como vestíbulos de edificios públicos, administrativos, hoteles; salas de exposición en museos; etc.	5	4
		C4	Zonas destinadas a gimnasio u actividades físicas	5	7
		C5	Zonas de aglomeración (salas de conciertos, estadios, etc)	5	4
D	Zonas comerciales	D1	Locales comerciales	5	4
		D2	Supermercados, hipermercados o grandes superficies	5	7
E	Zonas de tráfico y de aparcamiento para vehículos ligeros (peso total < 30 kN)			2	20 ⁽¹⁾
F	Cubiertas transitables accesibles sólo privadamente ⁽²⁾			1	2
G	Cubiertas accesibles únicamente para conservación ⁽³⁾	G1 ⁽⁷⁾	Cubiertas con inclinación inferior a 20°	1 ⁽⁴⁾⁽⁶⁾	2
			Cubiertas ligeras sobre correas (sin forjado) ⁽⁵⁾	0,4 ⁽⁴⁾	1
		G2	Cubiertas con inclinación superior a 40°	0	2

Tabla 2. Acciones sobrecarga uso



- (1) Deben descomponerse en dos cargas concentradas de 10 kN separadas entre sí 1,8 m. Alternativamente dichas cargas se podrán sustituir por una sobrecarga uniformemente distribuida en la totalidad de la zona de 3,0 kN/m² para el cálculo de elementos secundarios, como nervios o viguetas, doblemente apoyados, de 2,0 kN/m² para el de losas, forjados reticulados o nervios de forjados continuos, y de 1,0 kN/m² para el de elementos primarios como vigas, ábacos de soportes, soportes o zapatas.
- (2) En cubiertas transitables de uso público, el valor es el correspondiente al uso de la zona desde la cual se accede.
- (3) Para cubiertas con un inclinación entre 20° y 40°, el valor de q_s se determina por interpolación lineal entre los valores correspondientes a las subcategorías G1 y G2.
- (4) El valor indicado se refiere a la proyección horizontal de la superficie de la cubierta.
- (5) Se entiende por cubierta ligera aquella cuya carga permanente debida únicamente a su cerramiento no excede de 1 kN/m².
- (6) Se puede adoptar un área tributaria inferior a la total de la cubierta, no menor que 10 m² y situada en la parte más desfavorable de la misma, siempre que la solución adoptada figure en el plan de mantenimiento del edificio.
- (7) Esta sobrecarga de uso no se considera concomitante con el resto de acciones variables.

Imagen 10. Aclaraciones tabla 1

Si se lee la aclaración número 1, expuesta anteriormente en la imagen 10, existen alternativas de cálculo para la carga concentrada que puede ser sustituida por ciertas cargas uniformes.

En este caso podría sustituirse por una carga uniforme de valor 3, 2 o 1 kN/m² según el elemento a comprobar. En este proyecto se ha tomado la suposición más desfavorable (3kN/m²) como hipótesis para todos los elementos de modo que quedan del lado de la seguridad. Con todo esto, el valor de la sobrecarga de uso será de 5 kN/m² en todos los forjados como se expone en la figura 28.

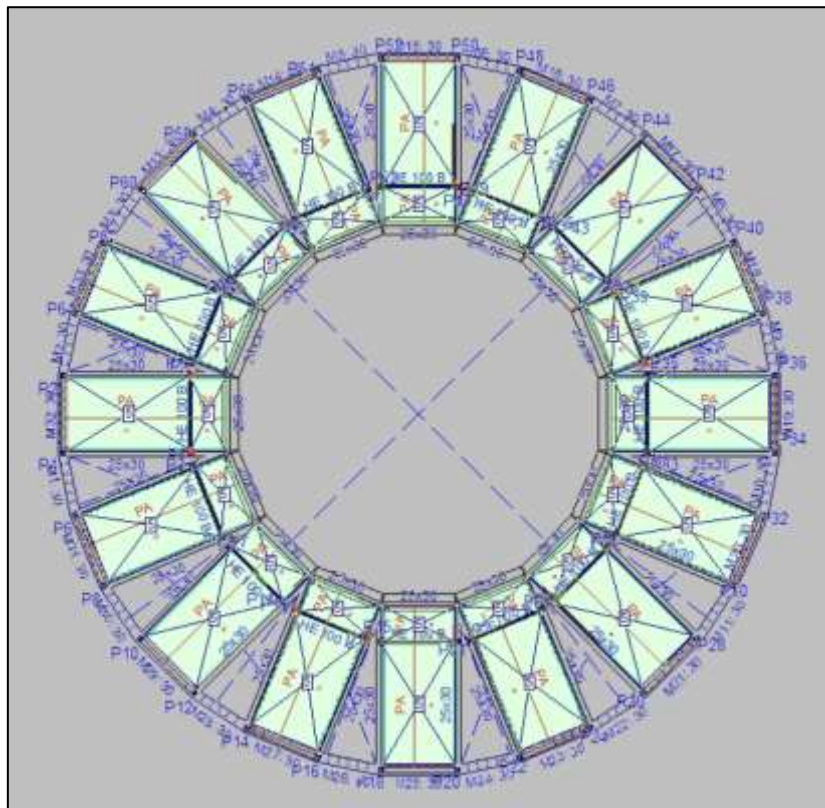


Figura 28. Hipótesis de carga



3.3 ACCIONES DEL TERRENO

Para el cálculo de los muros pantalla se ha supuesto una carga uniforme sobre el terreno de 10 Kn/m^2 , una densidad aparente del mismo de 18 Kn/m^3 y una densidad sumergida de 11 Kn/m^3 . Con esto se ha obtenido una distribución de empuje de esta forma, con su máximo en la parte inferior y con un valor de -131 kN/m^2 como se muestra en la figura 29.

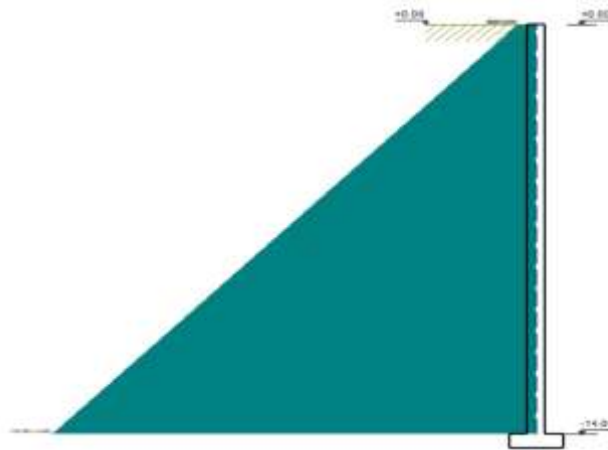


Figura 29. Triángulo de empuje

3.4 COMBINACIONES DE CÁLCULO

Como hipótesis adicionales de cálculo se han supuesto 2 distintas de la principal (todo cargado).

En la primera de ellas se ha determinado una alternancia entre plazas con una carga de 5 kN/m^2 y otra sin carga como se ejemplifica en la figura 30.

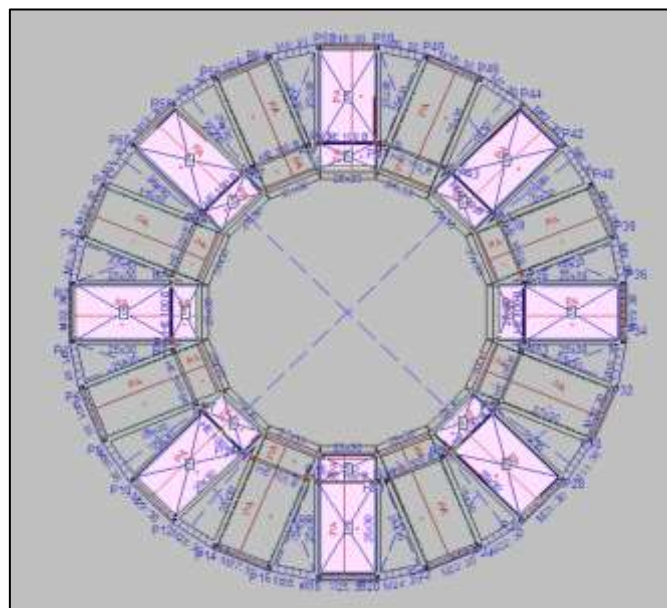


Figura 30. Hipótesis adicional cálculo (1)



En la segunda hipótesis de carga, la alternancia ha sido una plaza cargada y dos no, en este caso ejemplificado en la figura 31.

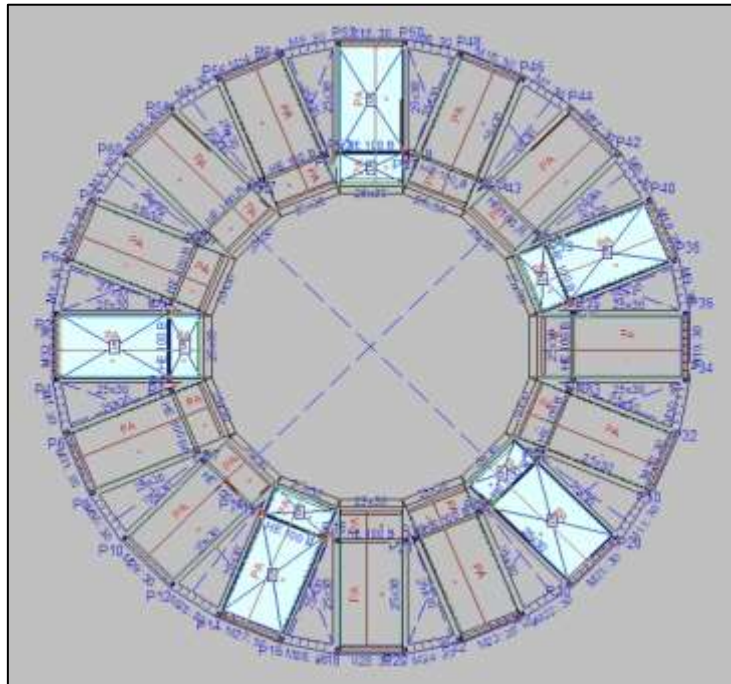


Figura 31. Hipótesis adicional cálculo (2)

Estas hipótesis no son concomitantes entre ellas ni con la sobrecarga de uso porque no se pueden tener distintos estados de cargas al mismo tiempo en la realidad.

4 PRE-DIMENSIONADO DE PLACAS ALVEOLARES

4.1 INTRODUCCIÓN

En primer lugar se realiza un predimensionado por flecha (ELS). En este caso el canto mínimo que debemos aplicar H_{min} debe cumplir esta ecuación.

$$h_{min} = \sqrt{q/7} \times (L/6)^{1/4} \times (L/C)$$

H_{min} es el canto mínimo que se necesita en el forjado.

Q es la carga superficial total que recibirá la placa incluyendo el peso propio en Kn/m²

L es la luz que cubrirá el forjado

C es un parámetro que está definido dependiendo las condiciones constructivas de la placa según muestra la tabla 3.



Tipo de Carga	Aislado
Con tabiques o muros	36
Cubiertas	45
NOTA: En el caso de voladizos, C tomará los valores siguientes: 6 si el forjado recibe la carga de tabiques o muros y 9 en otros casos	

Tabla 3. Coeficiente C

4.2 CÁLCULO

En este caso la luz a salvar son 3,8 metros entre apoyos. La carga del forjado estará en torno a unos 2,4 Kn/m² y la carga de cálculo serán 5 Kn/m² más, por tanto, se tiene una $q=7,4$ Kn/m². En lo que respecta a la C no encaja en ninguno de los casos de la tabla por lo que se coge el más desfavorable que son 36.

Por otro lado disponemos de un volado de 1,5 metros de luz y las mismas cargas. En este caso la C serán 6. Calculando ambos, para el primer caso resulta un canto mínimo de 0.0968 metros, mientras que el tramo volado requiere un canto mínimo de 0.0845 metros.

Por tanto se dispondrá en primer lugar del primer perfil comercial igual o inmediatamente superior a 10 cm.

5 COMPROBACIONES DE CÁLCULO

5.1 MUROS

Listado de armados

Referencia: M3

Sector	Espesores	Arm.ver	Arm.hor	Arm.Trans	F.C.	Estado
Sótano 6 - Sótano 5	0.6 m 0.15 m	Ø16c/15 cm Ø12c/15 cm	Ø16c/15 cm Ø16c/15 cm	1 Ø8c/15 cm V 30 cm H	100 %	---
Sótano 5 - Sótano 4	0.6 m 0.15 m	Ø12c/15 cm Ø12c/15 cm	Ø20c/25 cm Ø20c/25 cm	0	100 %	---
Sótano 4 - Sótano 3	0.6 m 0.15 m	Ø12c/15 cm Ø12c/15 cm	Ø20c/25 cm Ø20c/25 cm	0	100 %	---
Sótano 3 - Sótano 2	0.6 m 0.15 m	Ø12c/15 cm Ø12c/15 cm	Ø20c/25 cm Ø20c/25 cm	0	100 %	---
Sótano 2 - Sótano 1	0.6 m 0.15 m	Ø12c/15 cm Ø12c/15 cm	Ø20c/25 cm Ø20c/25 cm	0	100 %	---
Sótano 1 - Planta baja	0.6 m 0.15 m	Ø12c/15 cm Ø12c/15 cm	Ø20c/25 cm Ø20c/25 cm	0	100 %	---
Planta baja - Cubierta	0.6 m 0.15 m	Ø12c/15 cm Ø12c/15 cm	Ø20c/25 cm Ø20c/25 cm	0	100 %	---



Para cada planta la línea superior hace referencia al lado izquierdo del muro y la inferior al lado derecho.

F.C. = El factor de cumplimiento indica el porcentaje de área en el cual el armado y espesor de hormigón son suficientes.

Listado de pésimos

Referencia: M3

Sector	Estado	Aprovechamiento (%)	Esfuerzos							
			Nx	Ny	Nxy	Mx	My	Mxy	Qx	Qy
Sótano 6 - Sótano 5	Arm. vert. der.	5.81	-	-30.91	-0.99	-	-	13.9	---	---
		0.75	528.00	-14.98	26.21	453.20	58.85	6	---	---
	Arm. horz. der.	82.39	-	-7.54	-	21.11	-	0.33	---	---
		22.56	562.81	-14.98	17.51	-	80.28	9.95	---	---
	Arm. vert. izq.	17.32	-	-30.91	26.21	443.79	-	0.33	---	---
		10.24	445.95	197.52	-0.99	-	62.72	13.9	324.3	-
	Arm. horz. izq.		-		38.02	412.18	-	6	3	14.69
			562.81	-			80.28	---		
	Hormigón		-			453.20	-			
	Arm. transve.		528.00	-		---	58.85			
		-				---				
		497.42								
Sótano 5 - Sótano 4	Arm. vert. der.	1.19	-	-	-0.88	-13.36	12.50	-	---	---
		0.46	356.15	178.05	-1.46	-9.45	9.04	0.68	---	---
	Arm. horz. der.	1.57	-	-	0.88	53.40	12.64	3.57	---	---
		0.70	252.02	181.23	0.14	49.81	20.22	0.89	---	---
	Arm. vert. izq.	4.27	-	-	0.88	53.40	12.64	0.21	---	---
		2.20	354.55	179.02	-	---	---	0.89	-	8.36
	Arm. horz. izq.		-	-	17.47		---	---	69.11	
			317.42	174.53						
	Hormigón		-	-						
	Arm. transve.		354.55	179.02						
		-	-							
		322.40	161.21							
Sótano 4 - Sótano 3	Arm. vert. der.	1.18	-	-38.98	-0.39	-58.19	-7.35	-	---	---
		0.27	308.57	-80.35	1.63	7.10	-3.87	0.01	---	---
	Arm. horz. der.	0.93	-	-91.29	2.11	13.22	7.34	4.44	---	---
		0.34	189.31	-91.29	2.11	-10.06	7.34	0.96	---	---
	Arm. vert. izq.	3.47	-	-38.98	-0.39	-58.19	-7.35	0.96	---	---
		1.74	268.20	-83.21	8.75	---	---	-	54.57	7.52
	Arm. horz. izq.		-				0.01			
			268.20				---			
	Hormigón		-							
	Arm. transve.		308.57							
		-								
		267.95								
Sótano 3 - Sótano 2	Arm. vert. der.	0.85	-	-30.91	-0.49	-34.49	-4.36	0.00	---	---
		0.23	244.74	-72.72	1.44	5.83	-2.05	3.04	---	---
	Arm. horz. der.	0.75	-	-78.57	2.27	13.19	6.30	1.09	---	---
		0.29	155.42	-78.57	2.27	13.19	6.30	1.09	---	---
	Arm. vert. izq.	2.49	-	-30.91	-0.49	-34.49	-4.36	0.00	---	---
		1.18	207.50	-74.25	7.20	---	---	---	37.07	4.60
	Arm. horz. izq.		-							
			207.50							
	Hormigón		-							
	Arm. transve.		244.74							
		-								
		205.22								



Sector	Estado	Aprovechamiento (%)	Esfuerzos							
			Nx	Ny	Nxy	Mx	My	Mxy	Qx	Qy
Sótano 2 - Sótano 1	Arm. vert. der.	0.66	-	-23.47	-0.57	-28.54	-3.61	-	---	---
		0.17	185.78	-52.03	1.37	4.25	-1.72	0.01	---	---
	Arm. horz. der.	0.54	-	-55.10	-1.85	6.05	1.94	2.38	---	---
		0.20	113.43	-55.47	0.10	9.16	4.51	-	---	---
	Arm. vert. izq.	1.94	-	-23.47	-0.57	-28.54	-3.61	1.14	---	---
		0.92	161.33	-54.29	3.93	---	---	0.71	28.75	3.55
	Arm. horz. izq.			-				-		
	Hormigón			148.00				0.01		
	Arm. transve.			-				---		
				185.78						
			-							
			158.22							
Sótano 1 - Planta baja	Arm. vert. der.	0.45	-	-15.94	-0.65	-19.63	-2.48	-	---	---
		0.11	126.19	-34.04	1.24	-2.74	-1.10	0.01	---	---
	Arm. horz. der.	0.35	-73.05	-36.17	-0.78	3.95	1.30	1.63	---	---
		0.13	-	-34.70	0.59	-3.26	2.94	-	---	---
	Arm. vert. izq.	1.33	105.39	-15.94	-0.65	-19.63	-2.48	0.84	---	---
		0.62	-86.84	-35.73	2.33	---	---	0.41	19.36	2.17
	Arm. horz. izq.		-					-		
	Hormigón			126.19				0.01		
Arm. transve.			-				---			
			103.53							
Planta baja - Cubierta	Arm. vert. der.	0.30	-67.16	-8.48	-0.61	-10.99	-1.39	-	---	---
		0.05	-30.87	-13.56	1.54	1.16	-0.64	0.50	---	---
	Arm. horz. der.	0.23	-67.16	-8.48	-0.61	2.52	-1.39	0.72	---	---
		0.05	-50.00	-14.18	0.97	1.88	0.96	-	---	---
	Arm. vert. izq.	0.89	-67.16	-8.48	-0.61	-10.99	-1.39	0.50	---	---
		0.33	-23.67	-5.04	-0.61	---	---	0.55	-	-1.15
	Arm. horz. izq.							-	10.21	
	Hormigón							0.50	---	
Arm. transve.							---			

Aprovechamiento: Nivel de tensiones (relación entre la tensión máxima y la admisible).
 Equivale al inverso del coeficiente de seguridad.

Nx : Axil vertical (kN/m).

Ny : Axil horizontal (kN/m).

Nxy: Axil tangencial (kN/m).

Mx : Momento vertical (alrededor del eje horizontal) (kN·m/m).

My : Momento horizontal (alrededor del eje vertical) (kN·m/m).

Mxy: Momento torsor (kN·m/m).

Qx : Cortante transversal vertical (kN/m).

Qy : Cortante transversal horizontal (kN/m)



5.2 PILARES

- SÓTANO 5 (-14 - -12 M)

Perfil: HE 180 B Material: Acero (S275)							
Cotas del tramo (m)		Altura libre (m)	Características mecánicas				
Pie	Cabeza		Area (cm ²)	$I_x^{(1)}$ (cm ⁴)	$I_y^{(1)}$ (cm ⁴)	$I_t^{(2)}$ (cm ⁴)	
-14.00	-12.00	1.670	65.30	3831.00	1363.00	42.16	
Notas: (1) Inercia respecto al eje indicado (2) Momento de inercia a torsión uniforme							
	Pandeo		Pandeo lateral				
		Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.		
	β	0.70	1.00	1.00	1.00		
	L_k	1.169	1.670	1.670	1.670		
	C_m	0.850	0.850	1.000	1.000		
	C_1	-		1.000			
Notación: β : Coeficiente de pandeo L_k : Longitud de pandeo (m) C_m : Coeficiente de momentos C_1 : Factor de modificación para el momento crítico							

Limitación de esbeltez (CTE DB SE-A, Artículos 6.3.1 y 6.3.2.1 - Tabla 6.3)

La esbeltez reducida $\bar{\lambda}$ de las barras comprimidas debe ser inferior al valor 2.0.

$$\bar{\lambda} : \underline{0.37} \quad \checkmark$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección. **Clase :** 1

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3. **A :** 65.30 cm²

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) **f_y :** 275.00 MPa

N_{cr}: Axil crítico de pandeo elástico. **N_{cr} :** 13052.64 kN

El axil crítico de pandeo elástico **N_{cr}** es el menor de los valores obtenidos en a), b) y c):

a) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y. **N_{cr,y} :** 28470.71 kN

b) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z. **N_{cr,z} :** 20672.16 kN

c) Axil crítico elástico de pandeo por torsión. **N_{cr,T} :** 13052.64 kN



Donde:

I_y : Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y.	I_y : <u>3831.00</u> cm ⁴
I_z : Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z.	I_z : <u>1363.00</u> cm ⁴
I_t : Momento de inercia a torsión uniforme.	I_t : <u>42.16</u> cm ⁴
I_w : Constante de alabeo de la sección.	I_w : <u>93750.00</u> cm ⁶
E : Módulo de elasticidad.	E : <u>210000</u> MPa
G : Módulo de elasticidad transversal.	G : <u>81000</u> MPa
L_{ky} : Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Y.	L_{ky} : <u>1.670</u> m
L_{kz} : Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Z.	L_{kz} : <u>1.169</u> m
L_{kt} : Longitud efectiva de pandeo por torsión.	L_{kt} : <u>1.670</u> m
i_o : Radio de giro polar de la sección bruta, respecto al centro de torsión.	i_o : <u>8.92</u> cm

Siendo:

i_y , i_z : Radios de giro de la sección bruta, respecto a los ejes principales de inercia Y y Z.	i_y : <u>7.66</u> cm
y_o , z_o : Coordenadas del centro de torsión en la dirección de los ejes principales Y y Z, respectivamente, relativas al centro de gravedad de la sección.	i_z : <u>4.57</u> cm
	y_o : <u>0.00</u> mm
	z_o : <u>0.00</u> mm

Abolladura del alma inducida por el ala comprimida (Criterio de CYPE Ingenieros, basado en: Eurocódigo 3 EN 1993-1-5: 2006, Artículo 8)

Se debe satisfacer:

$$17.88 \leq 164.04 \quad \checkmark$$

Donde:

h_w : Altura del alma.	h_w : <u>152.00</u> mm
t_w : Espesor del alma.	t_w : <u>8.50</u> mm
A_w : Área del alma.	A_w : <u>12.92</u> cm ²
A_{fc,ef} : Área reducida del ala comprimida.	A_{fc,ef} : <u>25.20</u> cm ²
k : Coeficiente que depende de la clase de la sección.	k : <u>0.30</u>
E : Módulo de elasticidad.	E : <u>210000</u> MPa
f_{yf} : Límite elástico del acero del ala comprimida.	f_{yf} : <u>275.00</u> MPa

Siendo:



Resistencia a tracción (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.3)

La comprobación no procede, ya que no hay axil de tracción.

Resistencia a compresión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.5)

Se debe satisfacer:

$$\eta : \underline{0.257} \quad \checkmark$$

$$\eta : \underline{0.281} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo - 14.00, para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 1.35 \cdot CM + 1.05 \cdot Qa(A) + 1.5 \cdot Qa(E)$.

$N_{c,Ed}$: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.

$$N_{c,Ed} : \underline{438.91} \text{ kN}$$

La resistencia de cálculo a compresión $N_{c,Rd}$ viene dada por:

$$N_{c,Rd} : \underline{1710.24} \text{ kN}$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

$$A : \underline{65.30} \text{ cm}^2$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.2)

La resistencia de cálculo a pandeo $N_{b,Rd}$ en una barra comprimida viene dada por:

$$N_{b,Rd} : \underline{1560.76} \text{ kN}$$

Donde:

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

$$A : \underline{65.30} \text{ cm}^2$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$



Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) f_y : 275.00 MPa
 γ_{M1} : Coeficiente parcial de seguridad del material. γ_{M1} : 1.05

χ : Coeficiente de reducción por pandeo.

χ_y : 0.98
 χ_z : 0.95
 χ_T : 0.91

Siendo:

ϕ_y : 0.54
 ϕ_z : 0.57
 ϕ_T : 0.61

α : Coeficiente de imperfección elástica.

α_y : 0.34
 α_z : 0.49
 α_T : 0.49

$\bar{\lambda}$: Esbeltez reducida.

$\bar{\lambda}_y$: 0.25
 $\bar{\lambda}_z$: 0.29
 $\bar{\lambda}_T$: 0.37

N_{cr} : Axil crítico elástico de pandeo, obtenido como el menor de los siguientes valores:

N_{cr} : 13052.64 kN

$N_{cr,y}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

$N_{cr,y}$: 28470.71 kN

$N_{cr,z}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

$N_{cr,z}$: 20672.16 kN

$N_{cr,T}$: Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

$N_{cr,T}$: 13052.64 kN

Resistencia a flexión eje Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

η : 0.079 ✓

Para flexión positiva:

M_{Ed}^+ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

M_{Ed}^+ : 0.00 kN·m

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo -12.00, para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 1.35 \cdot CM + 1.5 \cdot Qa(A) + 1.05 \cdot Qa(1)(E)$.

M_{Ed}^- : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

M_{Ed}^- : 9.99 kN·m

El momento flector resistente de cálculo $M_{c,Rd}$ viene dado por:

$M_{c,Rd}$: 126.08 kN·m



Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

Clase : 1

$W_{pl,y}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$W_{pl,y}$: 481.40 cm³

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 261.90 MPa

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 275.00 MPa

γ_{MO} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{MO} : 1.05

Resistencia a pandeo lateral: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.2)

Para esbelteces $\bar{\lambda}_{LT} \leq 0.4$ se puede omitir la comprobación frente a pandeo, y comprobar únicamente la resistencia de la sección transversal.

$\bar{\lambda}_{LT}$: 0.37

M_{cr} : Momento crítico elástico de pandeo lateral.

M_{cr} : 982.51 kN·m

El momento crítico elástico de pandeo lateral **M_{cr}** se determina según la teoría de la elasticidad:

Siendo:

M_{LTv} : Componente que representa la resistencia por torsión uniforme de la barra.

M_{LTv} : 588.14 kN·m

M_{LTw} : Componente que representa la resistencia por torsión no uniforme de la barra.

M_{LTw} : 787.03 kN·m

Siendo:

$W_{el,y}$: Módulo resistente elástico de la sección bruta, obtenido para la fibra más comprimida.

$W_{el,y}$: 425.67 cm³

I_z : Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z.

I_z : 1363.00 cm⁴

I_t : Momento de inercia a torsión uniforme.

I_t : 42.16 cm⁴

E: Módulo de elasticidad.

E : 210000 MPa

G: Módulo de elasticidad transversal.

G : 81000 MPa

L_c^+ : Longitud efectiva de pandeo lateral del ala superior.

L_c^+ : 1.670 m

L_c^- : Longitud efectiva de pandeo lateral del ala inferior.

L_c^- : 1.670 m

C_1 : Factor que depende de las condiciones de apoyo y de la forma de la ley de momentos flectores sobre la barra.

C_1 : 1.00



$i_{f,z}$: Radio de giro, respecto al eje de menor inercia de la sección, del soporte formado por el ala comprimida y la tercera parte de la zona comprimida del alma adyacente al ala comprimida.

$$i_{f,z}^+ : \underline{4.99} \text{ cm}$$

$$i_{f,z}^- : \underline{4.99} \text{ cm}$$

Resistencia a flexión eje Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta : \underline{0.054} \checkmark$$

Para flexión positiva:

M_{Ed}^+ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^+ : \underline{0.00} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo -14.00, para la combinación de acciones $1.35\cdot PP + 1.35\cdot CM + 1.05\cdot Qa(A) + 1.5\cdot Qa(E)$.

M_{Ed}^- : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^- : \underline{3.26} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

El momento flector resistente de cálculo $M_{c,Rd}$ viene dado por:

$$M_{c,Rd} : \underline{60.50} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

$W_{pl,z}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$$W_{pl,z} : \underline{231.00} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

γ_{m0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{m0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a corte Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta : \underline{0.027} \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones $1.35\cdot PP + 1.35\cdot CM + 1.5\cdot Qa(A) + 1.05\cdot Qa(1)(E)$.



V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{8.23} \text{ kN}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$ viene dado por:

$$V_{c,Rd} : \underline{306.81} \text{ kN}$$

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

$$A_v : \underline{20.29} \text{ cm}^2$$

Siendo:

h : Canto de la sección.

$$h : \underline{180.00} \text{ mm}$$

t_w : Espesor del alma.

$$t_w : \underline{8.50} \text{ mm}$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Abolladura por cortante del alma: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.4)

Aunque no se han dispuesto rigidizadores transversales, no es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:

$$14.35 < 64.71 \quad \checkmark$$

Donde:

λ_w : Esbeltez del alma.

$$\lambda_w : \underline{14.35}$$

$\lambda_{m\acute{a}x}$: Esbeltez máxima.

$$\lambda_{m\acute{a}x} : \underline{64.71}$$

ϵ : Factor de reducción.

$$\epsilon : \underline{0.92}$$

Siendo:

f_{ref} : Límite elástico de referencia.

$$f_{ref} : \underline{235.00} \text{ MPa}$$

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

Resistencia a corte Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta : \underline{0.003} \quad \checkmark$$



El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 1.35 \cdot CM + 1.05 \cdot Qa(A) + 1.5 \cdot Qa(E)$.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. $V_{Ed} : \underline{2.00}$ kN

El esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$ viene dado por:

$V_{c,Rd} : \underline{792.04}$ kN

Donde:

A_v : Área transversal a cortante. $A_v : \underline{52.38}$ cm²

Siendo:

A : Área de la sección bruta. $A : \underline{65.30}$ cm²

d : Altura del alma. $d : \underline{152.00}$ mm

t_w : Espesor del alma. $t_w : \underline{8.50}$ mm

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero. $f_{yd} : \underline{261.90}$ MPa

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) $f_y : \underline{275.00}$ MPa

γ_{MO} : Coeficiente parcial de seguridad del material. $\gamma_{MO} : \underline{1.05}$

Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante $V_{c,Rd}$.

$$8.23 \text{ kN} \leq 153.40 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 1.35 \cdot CM + 1.5 \cdot Qa(A) + 1.05 \cdot Qa(1)(E)$.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. $V_{Ed} : \underline{8.23}$ kN

$V_{c,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo. $V_{c,Rd} : \underline{306.81}$ kN



Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante $V_{c,Rd}$.

$$2.00 \text{ kN} \leq 396.02 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones
 $1.35 \cdot PP + 1.35 \cdot CM + 1.05 \cdot Qa(A) + 1.5 \cdot Qa(E)$.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. $V_{Ed} : \underline{2.00} \text{ kN}$

$V_{c,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo. $V_{c,Rd} : \underline{792.04} \text{ kN}$

Resistencia a flexión y axil combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta : \underline{0.336} \quad \checkmark$$

$$\eta : \underline{0.330} \quad \checkmark$$

$$\eta : \underline{0.341} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo -12.00, para la combinación de acciones
 $1.35 \cdot PP + 1.35 \cdot CM + 1.05 \cdot Qa(A) + 1.5 \cdot Qa(E)$.

Donde:

$N_{c,Ed}$: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo. $N_{c,Ed} : \underline{437.78} \text{ kN}$

$M_{y,Ed}, M_{z,Ed}$: Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente. $M_{y,Ed}^- : \underline{9.97} \text{ kN}\cdot\text{m}$

$M_{z,Ed}^+$: $M_{z,Ed}^+ : \underline{0.08} \text{ kN}\cdot\text{m}$

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de sus elementos planos, para axil y flexión simple. **Clase** : $\underline{1}$

$N_{pl,Rd}$: Resistencia a compresión de la sección bruta. $N_{pl,Rd} : \underline{1710.24} \text{ kN}$

$M_{pl,Rd,y}, M_{pl,Rd,z}$: Resistencia a flexión de la sección bruta en condiciones plásticas, respecto a los ejes Y y Z, respectivamente. $M_{pl,Rd,y} : \underline{126.08} \text{ kN}\cdot\text{m}$

$M_{pl,Rd,z}$: $M_{pl,Rd,z} : \underline{60.50} \text{ kN}\cdot\text{m}$

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.4.2)

A: Área de la sección bruta. $A : \underline{65.30} \text{ cm}^2$



$\bar{W}_{pl,y}$, $\bar{W}_{pl,z}$: Módulos resistentes plásticos correspondientes a la fibra comprimida, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.
 f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$\bar{W}_{pl,y} : \underline{481.40} \text{ cm}^3$$

$$\bar{W}_{pl,z} : \underline{231.00} \text{ cm}^3$$

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)
 γ_{M1} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

$$\gamma_{M1} : \underline{1.05}$$

k_y , k_z , $k_{y,LT}$: Coeficientes de interacción.

$$k_y : \underline{1.01}$$

$$k_z : \underline{1.00}$$

$$k_{y,LT} : \underline{0.89}$$

$C_{m,y}$, $C_{m,z}$, $C_{m,LT}$: Factores de momento flector uniforme equivalente.

$$C_{m,y} : \underline{0.85}$$

$$C_{m,z} : \underline{0.85}$$

$$C_{m,LT} : \underline{1.00}$$

χ_y , χ_z : Coeficientes de reducción por pandeo, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.

$$\chi_y : \underline{0.98}$$

$$\chi_z : \underline{0.95}$$

χ_{LT} : Coeficiente de reducción por pandeo lateral.

$$\chi_{LT} : \underline{1.00}$$

$\bar{\lambda}_y$, $\bar{\lambda}_z$: Esbelteces reducidas con valores no mayores que 1.00, en relación a los ejes Y y Z, respectivamente.

$$\bar{\lambda}_y : \underline{0.25}$$

$$\bar{\lambda}_z : \underline{0.29}$$

α_y , α_z : Factores dependientes de la clase de la sección.

$$\alpha_y : \underline{0.60}$$

$$\alpha_z : \underline{0.60}$$

Resistencia a flexión, axil y cortante combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir las resistencias de cálculo a flexión y a axil, ya que se puede ignorar el efecto de abolladura por esfuerzo cortante y, además, el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} es menor o igual que el 50% del esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$.

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones
 $1.35 \cdot PP + 1.35 \cdot CM + 1.5 \cdot Qa(A) + 1.05 \cdot Qa(1)(E)$.

$$8.23 \text{ kN} \leq 153.40 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Donde:

$V_{Ed,z}$: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.
 $V_{c,Rd,z}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{Ed,z} : \underline{8.23} \text{ kN}$$

$$V_{c,Rd,z} : \underline{306.81} \text{ kN}$$



Resistencia a torsión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.7)

La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor.

Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

5.3 PLACA DE ANCLAJE

Referencia: P55 -Placa base: Ancho X: 300 mm Ancho Y: 300 mm Espesor: 14 mm -Pernos: 4Ø14 mm L=30 cm Patilla a 90 grados -Disposición: Posición X: Centrada Posición Y: Centrada		
Comprobación	Valores	Estado
Separación mínima entre pernos: <i>3 diámetros</i>	Mínimo: 42 mm Calculado: 241 mm	Cumple
Separación mínima pernos-borde: <i>1.5 diámetros</i>	Mínimo: 21 mm Calculado: 30 mm	Cumple
Longitud mínima del perno: <i>Se calcula la longitud de anclaje necesaria por adherencia.</i>	Mínimo: 15 cm Calculado: 30 cm	Cumple
Anclaje perno en hormigón: - Tracción: - Cortante: - Tracción + Cortante:	Máximo: 46.67 kN Calculado: 0 kN Máximo: 32.67 kN Calculado: 1.55 kN Máximo: 46.67 kN Calculado: 2.22 kN	Cumple Cumple Cumple
Tracción en vástago de pernos:	Máximo: 61.6 kN Calculado: 0 kN	Cumple
Tensión de Von Mises en vástago de pernos:	Máximo: 476.19 MPa Calculado: 19.3894 MPa	Cumple
Aplastamiento perno en placa: <i>Límite del cortante en un perno actuando contra la placa</i>	Máximo: 102.67 kN Calculado: 1.55 kN	Cumple
Tensión de Von Mises en secciones globales: - Derecha: - Izquierda:	Máximo: 261.905 MPa Calculado: 183.732 MPa Calculado: 256.281 MPa	Cumple Cumple



Referencia: P55 -Placa base: Ancho X: 300 mm Ancho Y: 300 mm Espesor: 14 mm -Pernos: 4Ø14 mm L=30 cm Patilla a 90 grados -Disposición: Posición X: Centrada Posición Y: Centrada		
Comprobación	Valores	Estado
- Arriba:	Calculado: 244.42 MPa	Cumple
- Abajo:	Calculado: 196.818 MPa	Cumple
Flecha global equivalente: <i>Limitación de la deformabilidad de los vuelos</i>		
	Mínimo: 250	
- Derecha:	Calculado: 712.191	Cumple
- Izquierda:	Calculado: 489.369	Cumple
- Arriba:	Calculado: 532.116	Cumple
- Abajo:	Calculado: 682.566	Cumple
Tensión de Von Mises local: <i>Tensión por tracción de pernos sobre placas en voladizo</i>		
	Máximo: 261.905 MPa	
	Calculado: 0 MPa	Cumple
Se cumplen todas las comprobaciones		
Información adicional: - Relación rotura pésima sección de hormigón: 0.132		

5.4 PUNZONAMIENTO LOSA INFERIOR

1.- DESCRIPCIÓN

Cálculo de los perímetros de punzonamiento	
	Perímetro del soporte (P59)
	u ₀ : 1200 mm
	Perímetro crítico
	u ₁ : 9987 mm
	x _G : 7844 mm
	y _G : 17622 mm
	W _{1x} : 101089.4 cm ²
	W _{1y} : 101089.4 cm ²

2.- COMPROBACIONES

2.1.- Perímetro del soporte (P59)



2.1.1.- Zona adyacente al soporte o carga (Situaciones persistentes)

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·CM+1.5·Qa(E).
 Se debe satisfacer:

$$0.42 \text{ N/mm}^2 \leq 5.00 \text{ N/mm}^2 \quad \checkmark$$

Donde:

τ_{sd} : Tensión tangencial nominal de cálculo en el perímetro crítico.

$$\tau_{sd} : \underline{0.42} \text{ N/mm}^2$$

$\tau_{rd,max}$: Tensión máxima resistente a punzonamiento en el perímetro crítico.

$$\tau_{rd,max} : \underline{5.00} \text{ N/mm}^2$$

La tensión tangencial nominal de cálculo en el perímetro crítico se obtiene mediante la siguiente expresión (EHE-08, 46.4.3):

$$\tau_{sd} : \underline{0.42} \text{ N/mm}^2$$

Donde:

F_{sd} : Esfuerzo de punzonamiento de cálculo.

$$F_{sd} : \underline{350.59} \text{ kN}$$

β : Coeficiente que tiene en cuenta los efectos de la excentricidad de la carga. Según EHE-08, comentarios al artículo 46.3, alternativamente puede utilizarse cualquier procedimiento que permita una evaluación más precisa de τ_{sd} , como el indicado en UNE-EN 1992-1-1:2010, 6.4.3.

$$\beta : \underline{1.01}$$

k_x : Coeficiente que depende de la relación entre las dimensiones c_y (dimensión en la dirección del eje y) y c_x (dimensión en la dirección del eje x) del pilar (UNE-EN 1992-1-1:2010, Tabla 6.1).

$$k_x : \underline{0.60}$$

k_y : Coeficiente que depende de la relación entre las dimensiones c_x (dimensión en la dirección del eje x) y c_y (dimensión en la dirección del eje y) del pilar (UNE-EN 1992-1-1:2010, Tabla 6.1).

$$k_y : \underline{0.60}$$

M_{xd} : Momento de cálculo alrededor del eje x, respecto al centro de gravedad del perímetro crítico u_1 .

$$M_{xd} : \underline{2.12} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

M_{yd} : Momento de cálculo alrededor del eje y, respecto al centro de gravedad del perímetro crítico u_1 .

$$M_{yd} : \underline{3.26} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

M_{xdp} : Momento de cálculo alrededor del eje x, respecto al centro de gravedad del pilar.

$$M_{xdp} : \underline{2.03} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

M_{ydp} : Momento de cálculo alrededor del eje y, respecto al centro de gravedad del pilar.

$$M_{ydp} : \underline{3.36} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

u_1 : Perímetro crítico de punzonamiento (EHE-08, 46.2).

$$u_1 : \underline{9987} \text{ mm}$$

$$W_{1x} : \underline{101089.4} \text{ cm}^2$$

dl : Elemento diferencial de longitud del perímetro crítico.



e_y : Distancia desde dl hasta el eje alrededor del cual actúa el momento M_{xd} .

$$W_{1y} : \underline{101089.4} \text{ cm}^2$$

e_x : Distancia desde dl hasta el eje alrededor del cual actúa el momento M_{yd} .

u_0 : Perímetro crítico de comprobación de la zona adyacente al soporte o carga (EHE-08, 46.4.3).

$$u_0 : \underline{1200} \text{ mm}$$

d : Canto útil de la losa.

$$d : \underline{700} \text{ mm}$$

La tensión máxima resistente a punzonamiento en el perímetro crítico se obtiene mediante la siguiente expresión (EHE-08, 46.4.3):

$$\tau_{rd,max} : \underline{5.00} \text{ N/mm}^2$$

f_{1cd} : Resistencia a compresión del hormigón

$$f_{1cd} : \underline{10.00} \text{ N/mm}^2$$

Donde:

f_{ck} : Resistencia característica a compresión del hormigón.

$$f_{ck} : \underline{25.00} \text{ N/mm}^2$$

f_{cd} : Resistencia de cálculo a compresión del hormigón.

$$f_{cd} : \underline{16.67} \text{ N/mm}^2$$

2.2.- Perímetro crítico (P59)

2.2.1.- Zona sin armadura de punzonamiento (Situaciones persistentes)

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 1.35 \cdot CM + 1.5 \cdot Qa(A)$.

Se debe satisfacer:

$$0.09 \text{ N/mm}^2 \leq 0.47 \text{ N/mm}^2 \quad \checkmark$$

Donde:

τ_{sd} : Tensión tangencial nominal de cálculo en el perímetro crítico.

$$\tau_{sd} : \underline{0.09} \text{ N/mm}^2$$

$\tau_{rd,c}$: Tensión máxima resistente de una losa sin armadura de punzonamiento en el perímetro crítico.

$$\tau_{rd,c} : \underline{0.47} \text{ N/mm}^2$$

La tensión tangencial nominal de cálculo en el perímetro crítico se obtiene mediante la siguiente expresión (EHE-08, 46.3):

$$\tau_{sd} : \underline{0.09} \text{ N/mm}^2$$

Donde:

F_{sd} : Esfuerzo de punzonamiento de cálculo.

$$F_{sd} : \underline{549.84} \text{ kN}$$



β : Coeficiente que tiene en cuenta los efectos de la excentricidad de la carga. Según EHE-08, comentarios al artículo 46.3, alternativamente puede utilizarse cualquier procedimiento que permita una evaluación más precisa de τ_{sd} , como el indicado en UNE-EN 1992-1-1:2010, 6.4.3.

β : 1.11

k_x : Coeficiente que depende de la relación entre las dimensiones c_y (dimensión en la dirección del eje y) y c_x (dimensión en la dirección del eje x) del pilar (UNE-EN 1992-1-1:2010, Tabla 6.1).

k_x : 0.60

k_y : Coeficiente que depende de la relación entre las dimensiones c_x (dimensión en la dirección del eje x) y c_y (dimensión en la dirección del eje y) del pilar (UNE-EN 1992-1-1:2010, Tabla 6.1).

k_y : 0.60

M_{xd} : Momento de cálculo alrededor del eje x, respecto al centro de gravedad del perímetro crítico u_1 .

M_{xd} : -23.14 kN·m

M_{yd} : Momento de cálculo alrededor del eje y, respecto al centro de gravedad del perímetro crítico u_1 .

M_{yd} : 80.10 kN·m

M_{xdp} : Momento de cálculo alrededor del eje x, respecto al centro de gravedad del pilar.

M_{xdp} : -22.99 kN·m

M_{ydp} : Momento de cálculo alrededor del eje y, respecto al centro de gravedad del pilar.

M_{ydp} : 79.95 kN·m

u_1 : Perímetro crítico de punzonamiento (EHE-08, 46.2).

u_1 : 9987 mm

W_{1x} : 101089.4 cm²

dl : Elemento diferencial de longitud del perímetro crítico.

e_y : Distancia desde dl hasta el eje alrededor del cual actúa el momento M_{xd} .

W_{1y} : 101089.4 cm²

e_x : Distancia desde dl hasta el eje alrededor del cual actúa el momento M_{yd} .

d : Canto útil de la losa.

d : 700 mm

La tensión máxima resistente de una losa sin armadura de punzonamiento en el perímetro crítico se obtiene mediante la siguiente expresión (EHE-08, 46.3):

$\tau_{rd,c}$: 0.47 N/mm²

con un valor mínimo de:

$\tau_{rd,c,min}$: 0.47 N/mm²

Donde:



γ_c : Coeficiente de minoración de la resistencia del hormigón.

$$\gamma_c : \underline{1.50}$$

ξ : Coeficiente que depende del canto útil 'd'.

$$\xi : \underline{1.53}$$

f_{cv} : Resistencia efectiva de hormigón a cortante.

$$f_{cv} : \underline{25.00} \text{ N/mm}^2$$

f_{ck} : Resistencia característica a compresión del hormigón.

$$f_{ck} : \underline{25.00} \text{ N/mm}^2$$

ρ_l : Cuantía geométrica de la armadura longitudinal principal de tracción.

$$\rho_l : \underline{0.0020}$$

Donde:

ρ_x : Cuantía en la dirección X.

$$\rho_x : \underline{0.0017}$$

ρ_y : Cuantía en la dirección Y.

$$\rho_y : \underline{0.0024}$$

σ'_{cd} : Tensión axial media en la superficie crítica de comprobación (compresión positiva), con un valor máximo de $\sigma'_{cd,max}$.

$$\sigma'_{cd} : \underline{0.00} \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma'_{cd,max} : \underline{5.00} \text{ N/mm}^2$$

f_{cd} : Resistencia de cálculo a compresión del hormigón.

$$f_{cd} : \underline{16.67} \text{ N/mm}^2$$

5.5 VIGA DE CIMENTACIÓN

1.- DESCRIPCIÓN

Datos de la viga		
	Geometría	
	Dimensiones	: 75x75
	Luz libre	: 2.4 m
	Recubrimiento geométrico superior	: 4.0 cm
	Recubrimiento geométrico inferior	: 4.0 cm
	Recubrimiento geométrico lateral	: 4.0 cm
Materiales		
Hormigón	: HA-25, $\gamma_c=1.5$	
Armadura longitudinal	: B 500 S, $\gamma_s=1.15$	
Armadura transversal	: B 500 S, $\gamma_s=1.15$	



2.- RESUMEN DE LAS COMPROBACIONES

Vano	COMPROBACIONES DE RESISTENCIA (INSTRUCCIÓN DE HORMIGÓN ESTRUCTURAL EHE-08)														Estado	
	Disp.	Arm.	Q	N,M	T _c	T _{st}	T _{sl}	TNM _x	TV _x	TV _y	TV _{xSt}	TV _{ySt}	T,Geom.	T,Disp. _{sl}		T,Disp. _{st}
-	Cumple	Cumple	0.565 m' η = 12.4	0.000 m' η = 3.8	N.P. ⁽¹⁾	N.P. ⁽¹⁾	N.P. ⁽¹⁾	N.P. ⁽²⁾	N.P. ⁽¹⁾	N.P. ⁽¹⁾	N.P. ⁽¹⁾	N.P. ⁽¹⁾	N.P. ⁽¹⁾	N.P. ⁽¹⁾	N.P. ⁽¹⁾	CUMPLE η = 12.4
<p>Notación: Disp.: Disposiciones relativas a las armaduras Arm.: Armadura mínima y máxima Q: Estado límite de agotamiento frente a cortante (combinaciones no sísmicas) N,M: Estado límite de agotamiento frente a solicitaciones normales (combinaciones no sísmicas) T_c: Estado límite de agotamiento por torsión. Compresión oblicua. T_{st}: Estado límite de agotamiento por torsión. Tracción en el alma. T_{sl}: Estado límite de agotamiento por torsión. Tracción en las armaduras longitudinales. TNM_x: Estado límite de agotamiento por torsión. Interacción entre torsión y esfuerzos normales. Flexión alrededor del eje X. TV_x: Estado límite de agotamiento por torsión. Interacción entre torsión y cortante en el eje X. Compresión oblicua TV_y: Estado límite de agotamiento por torsión. Interacción entre torsión y cortante en el eje Y. Compresión oblicua TV_{xSt}: Estado límite de agotamiento por torsión. Interacción entre torsión y cortante en el eje X. Tracción en el alma. TV_{ySt}: Estado límite de agotamiento por torsión. Interacción entre torsión y cortante en el eje Y. Tracción en el alma. T,Geom.: Estado límite de agotamiento por torsión. Relación entre las dimensiones de la sección. T,Disp._{sl}: Estado límite de agotamiento por torsión. Separación entre las barras de la armadura longitudinal. T,Disp._{st}: Estado límite de agotamiento por torsión. Separación entre las barras de la armadura transversal. x: Distancia al origen de la barra η: Coeficiente de aprovechamiento (%) N.P.: No procede</p> <p>Comprobaciones que no proceden (N.P.): ⁽¹⁾ La comprobación del estado límite de agotamiento por torsión no procede, ya que no hay momento torsor. ⁽²⁾ La comprobación no procede, ya que no hay interacción entre torsión y esfuerzos normales.</p>																

Vano	COMPROBACIONES DE FISURACIÓN (INSTRUCCIÓN DE HORMIGÓN ESTRUCTURAL EHE-08)							Estado
	σ _c	W _{k,C,sup.}	W _{k,C,Lat.Der.}	W _{k,C,inf.}	W _{k,C,Lat.Izq.}	σ _{sr}	V _{fis}	
-	x: 0 m Cumple	N.P. ⁽¹⁾	N.P. ⁽¹⁾	N.P. ⁽¹⁾	N.P. ⁽¹⁾	N.P. ⁽¹⁾	Cumple	CUMPLE
<p>Notación: σ_c: Fisuración por compresión W_{k,C,sup.}: Fisuración por tracción: Cara superior W_{k,C,Lat.Der.}: Fisuración por tracción: Cara lateral derecha W_{k,C,inf.}: Fisuración por tracción: Cara inferior W_{k,C,Lat.Izq.}: Fisuración por tracción: Cara lateral izquierda σ_{sr}: Área mínima de armadura V_{fis}: Fisuración por cortante x: Distancia al origen de la barra η: Coeficiente de aprovechamiento (%) N.P.: No procede</p> <p>Comprobaciones que no proceden (N.P.): ⁽¹⁾ La comprobación no procede, ya que la tensión de tracción máxima en el hormigón no supera la resistencia a tracción del mismo.</p>								

3.- COMPROBACIONES DE RESISTENCIA

-

Disposiciones relativas a las armaduras (EHE-08, Artículos 42.3, 54 y 69.4.1.1)

Armadura longitudinal

La distancia libre d_l, horizontal y vertical, entre dos barras aisladas consecutivas debe ser igual o superior a s_{min} (Artículo 69.4.1.1):

$$179 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm} \quad \checkmark$$

Donde:

s_{min}: Valor máximo de s₁, s₂, s₃.

$$s_{\min} : \underline{25} \text{ mm}$$

$$s_1 : \underline{20} \text{ mm}$$

$$s_2 : \underline{19} \text{ mm}$$



$$s_3 : \underline{25} \text{ mm}$$

Siendo:

d_a : Tamaño máximo del árido.

$$d_a : \underline{15} \text{ mm}$$

\emptyset_{max} : Diámetro de la barra más gruesa.

$$\emptyset_{max} : \underline{25} \text{ mm}$$

La armadura pasiva longitudinal resistente habrá de quedar distribuida convenientemente para evitar que queden zonas de hormigón sin armaduras, de forma que la distancia entre dos barras longitudinales consecutivas (s) cumpla las siguientes limitaciones (Artículo 42.3.1):

$$221 \text{ mm} \leq 300 \text{ mm} \checkmark$$

Siendo:

b_0 : Espesor bruto del elemento.

$$b_0 : \underline{750} \text{ mm}$$

Estribos

La distancia libre d_l , horizontal y vertical, entre dos barras aisladas consecutivas debe ser igual o superior a s_{min} (Artículo 69.4.1.1):

$$292 \text{ mm} \geq 20 \text{ mm} \checkmark$$

Donde:

s_{min} : Valor máximo de s_1, s_2, s_3 .

$$s_{min} : \underline{20} \text{ mm}$$

$$s_1 : \underline{20} \text{ mm}$$

$$s_2 : \underline{19} \text{ mm}$$

$$s_3 : \underline{8} \text{ mm}$$

Siendo:

d_a : Tamaño máximo del árido.

$$d_a : \underline{15} \text{ mm}$$

\emptyset_{max} : Diámetro de la barra más gruesa de la armadura transversal.

$$\emptyset_{max} : \underline{8} \text{ mm}$$

Armadura mínima y máxima (EHE-08, Artículo 42.3)

Flexión negativa alrededor del eje x:

En secciones sometidas a flexión simple o compuesta, la cuantía geométrica de armadura principal de tracción ρ_l con barras de acero $f_{yk}=500.00$ MPa debe cumplir:

$$0.00349 \geq 0.00280 \checkmark$$

Donde:

$$\rho_{l,min} : \underline{0.00280}$$



Armadura longitudinal mínima para secciones en flexión simple o compuesta (Artículo 42.3.2)

Flexión negativa alrededor del eje x:

En secciones sometidas a flexión simple, la armadura principal de tracción debe cumplir la siguiente limitación:

$$19.64 \text{ cm}^2 \geq 1.04 \text{ cm}^2 \quad \checkmark$$

Donde:

$$A_{s,\min} : \underline{1.04} \text{ cm}^2$$

Siendo:

$A_{s,\text{nec}}$: Área de la sección de armadura de tracción necesaria por cálculo.

$$A_{s,\text{nec}} : \underline{0.71} \text{ cm}^2$$

$$\alpha : \underline{1.459}$$

A_c : Área total de la sección de hormigón.

$$A_c : \underline{5625.00} \text{ cm}^2$$

f_{cd} : Resistencia de cálculo a compresión del hormigón.

$$f_{cd} : \underline{16.67} \text{ MPa}$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{434.78} \text{ MPa}$$

Estado límite de agotamiento frente a cortante (combinaciones no sísmicas) (EHE-08, Artículo 44)

Se debe satisfacer:

$$\eta : \underline{0.016} \quad \checkmark$$

Donde:

$V_{rd1,y}$: Esfuerzo cortante efectivo de cálculo.

$$V_{rd1,y} : \underline{41.63} \text{ kN}$$

$V_{u1,y}$: Esfuerzo cortante de agotamiento por compresión oblicua en el alma.

$$V_{u1,y} : \underline{2585.63} \text{ kN}$$

$$\eta : \underline{0.124} \quad \checkmark$$

Donde:

$V_{rd2,y}$: Esfuerzo cortante efectivo de cálculo.

$$V_{rd2,y} : \underline{41.63} \text{ kN}$$

$V_{u2,y}$: Esfuerzo cortante de agotamiento por tracción en el alma.

$$V_{u2,y} : \underline{334.84} \text{ kN}$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en '0.565 m', para la combinación de hipótesis "1.35·PP+1.35·CM+1.5·Qa(A)+1.05·Qa(E)".

Esfuerzo cortante de agotamiento por compresión oblicua en el alma.

El esfuerzo cortante de agotamiento por compresión oblicua del alma se deduce de la siguiente expresión:



Cortante en la dirección Y:

$$V_{u1} : \underline{2585.63} \text{ kN}$$

Donde:

K: Coeficiente que depende del esfuerzo axil.

$$K : \underline{1.00}$$

σ'_{cd} : Tensión axil efectiva en el hormigón (compresión positiva), calculada teniendo en cuenta la compresión absorbida por las armaduras.

$$\sigma'_{cd} : \underline{-0.24} \text{ MPa}$$

N_d: Esfuerzo normal de cálculo.

$$N_d : \underline{0.00} \text{ kN}$$

A_c: Área total de la sección de hormigón.

$$A_c : \underline{5625.00} \text{ cm}^2$$

A'_s: Área total de la armadura comprimida.

$$A'_s : \underline{3.14} \text{ cm}^2$$

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{434.78} \text{ MPa}$$

f_{1cd}: Resistencia a compresión del hormigón

$$f_{1cd} : \underline{10.00} \text{ MPa}$$

f_{ck}: Resistencia característica del hormigón.

$$f_{ck} : \underline{25.00} \text{ MPa}$$

f_{cd}: Resistencia de cálculo a compresión del hormigón.

$$f_{cd} : \underline{16.67} \text{ MPa}$$

b_o: Anchura neta mínima del elemento.

$$b_o : \underline{750.00} \text{ mm}$$

d: Canto útil de la sección en mm referido a la armadura longitudinal de flexión.

$$d : \underline{689.50} \text{ mm}$$

α: Ángulo de los estribos con el eje de la pieza.

$$\alpha : \underline{90.0} \text{ grados}$$

θ: Ángulo entre la biela de compresión de hormigón y el eje de la pieza.

$$\theta : \underline{45.0} \text{ grados}$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en '0.565 m', para la combinación de hipótesis "1.35·PP+1.35·CM+1.5·Qa(A)+1.05·Qa(E)".

Esfuerzo cortante de agotamiento por tracción en el alma.

Cortante en la dirección Y:

El esfuerzo cortante de agotamiento por tracción en el alma considerando la contribución de los estribos se obtiene como:

$$V_{u2} : \underline{334.84} \text{ kN}$$

con un valor mínimo de:

$$V_{u2,min} : \underline{246.73} \text{ kN}$$

Donde:

V_{su}: Contribución de la armadura transversal del alma a la resistencia a esfuerzo cortante.

$$V_{su} : \underline{166.37} \text{ kN}$$



Donde:

A_{α} : Área por unidad de longitud de cada grupo de armaduras que forman un ángulo A_{α} con la directriz de la pieza.

$f_{y\alpha,d}$: Resistencia de cálculo de la armadura A_{α} .

α : Ángulo de los estribos con el eje de la pieza.

θ : Ángulo entre la biela de compresión de hormigón y el eje de la pieza.

z : Brazo mecánico.

$$A_{\alpha} : \underline{6.70} \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$f_{y\alpha,d} : \underline{400.00} \text{ MPa}$$

$$\alpha : \underline{90.0} \text{ grados}$$

$$\theta : \underline{45.0} \text{ grados}$$

$$z : \underline{620.55} \text{ mm}$$

V_{cu} : Contribución del hormigón a la resistencia a esfuerzo cortante.

$$V_{cu} : \underline{168.46} \text{ kN}$$

Donde:

b_0 : Anchura neta mínima del elemento.

d : Canto útil de la sección en mm referido a la armadura longitudinal de flexión.

γ_c : Coeficiente de minoración de la resistencia del hormigón.

ξ : Coeficiente que depende del canto útil 'd'.

$$b_0 : \underline{750.00} \text{ mm}$$

$$d : \underline{689.50} \text{ mm}$$

$$\gamma_c : \underline{1.5}$$

$$\xi : \underline{1.54}$$

f_{cv} : Resistencia efectiva del hormigón a cortante en N/mm².

$$f_{cv} : \underline{25.00} \text{ MPa}$$

f_{ck} : Resistencia característica del hormigón.

$$f_{ck} : \underline{25.00} \text{ MPa}$$

σ'_{cd} : Tensión axil efectiva en el hormigón (compresión positiva), calculada teniendo en cuenta la compresión absorbida por las armaduras.

$$\sigma'_{cd} : \underline{0.00} \text{ MPa}$$

N_d : Esfuerzo normal de cálculo.

$$N_d : \underline{0.00} \text{ kN}$$

A_c : Área total de la sección de hormigón.

$$A_c : \underline{5625.00} \text{ cm}^2$$

f_{cd} : Resistencia de cálculo a compresión del hormigón.

$$f_{cd} : \underline{16.67} \text{ MPa}$$

ρ_l : Cuantía geométrica de la armadura longitudinal principal de tracción.

$$\rho_l : \underline{0.0038}$$

A_s : Área de la armadura longitudinal principal de tracción.

$$A_s : \underline{19.64} \text{ cm}^2$$

Separación de las armaduras transversales

Cortante en la dirección Y:



La separación longitudinal s_t entre armaduras transversales debe cumplir la siguiente condición para asegurar un adecuado confinamiento del hormigón a compresión oblicua:

$$300 \text{ mm} \leq 517 \text{ mm} \quad \checkmark$$

Donde:

d: Canto útil de la sección en mm referido a la armadura longitudinal de flexión.
 α : Ángulo de los estribos con el eje de la pieza.

$$d : \frac{689.50}{\text{ mm}}$$
$$\alpha : \frac{90.0}{\text{ grados}}$$

La separación transversal $s_{t,trans}$ entre ramas de armaduras transversales debe cumplir la condición siguiente:

$$254 \text{ mm} \leq 500 \text{ mm} \quad \checkmark$$

Cuantía mecánica mínima de la armadura transversal.

Cortante en la dirección Y:

$$29.7065 \geq 26.1464 \quad \checkmark$$

Donde:

A_α : Área por unidad de longitud de cada grupo de armaduras que forman un ángulo A_α con la directriz de la pieza.

$f_{y,\alpha,d}$: Resistencia de cálculo de la armadura A_α .

α : Ángulo de los estribos con el eje de la pieza.

b_0 : Anchura neta mínima del elemento.

$f_{ct,m}$: Resistencia media a tracción del hormigón.

$$A_\alpha : \frac{6.70}{\text{ cm}^2/\text{m}}$$
$$f_{y,\alpha,d} : \frac{434.78}{\text{ MPa}}$$
$$\alpha : \frac{90.0}{\text{ grados}}$$
$$b_0 : \frac{750.00}{\text{ mm}}$$
$$f_{ct,m} : \frac{2.56}{\text{ MPa}}$$

Siendo:

$$f_{ck} : \text{ Resistencia característica del hormigón.} \quad f_{ck} : \frac{25.00}{\text{ MPa}}$$

Estado límite de agotamiento frente a sollicitaciones normales (combinaciones no sísmicas) (EHE-08, Artículo 42)

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en '0.000 m', para la combinación de hipótesis "Envoltente de momentos mínimos en situaciones persistentes o transitorias".

Se debe satisfacer:

$$\eta : \frac{0.038}{\text{ }} \quad \checkmark$$

Comprobación de resistencia de la sección (η_1)

N_{ed}, M_{ed} son los esfuerzos de cálculo de primer orden, incluyendo, en su caso, la excentricidad mínima según 42.2.1:

N_{ed} : Esfuerzo normal de cálculo.

M_{ed} : Momento de cálculo de primer orden.

$$N_{ed} : \frac{0.00}{\text{ kN}}$$
$$M_{ed,x} : \frac{-21.18}{\text{ kN}\cdot\text{m}}$$
$$M_{ed,y} : \frac{0.00}{\text{ kN}\cdot\text{m}}$$



N_{Rd}, M_{Rd} son los esfuerzos que producen el agotamiento de la sección con las mismas excentricidades que los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos.

N_{Rd} : Axil de agotamiento.

M_{Rd} : Momentos de agotamiento.

N_{Rd} : 0.00 kN

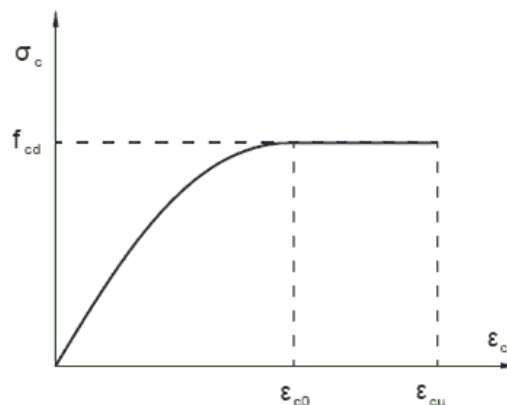
$M_{Rd,x}$: -555.20 kN·m

$M_{Rd,y}$: 0.00 kN·m

Cálculo de la capacidad resistente

El cálculo de la capacidad resistente última de las secciones se efectúa a partir de las hipótesis generales siguientes (Artículo 42.1):

- (a) El agotamiento se caracteriza por el valor de la deformación en determinadas fibras de la sección, definidas por los dominios de deformación de agotamiento.
- (b) Las deformaciones del hormigón siguen una ley plana.
- (c) Las deformaciones ϵ_s de las armaduras pasivas se mantienen iguales a las del hormigón que las envuelve.
- (d) Diagramas de cálculo.
 - (i) El diagrama de cálculo tensión-deformación del hormigón es del tipo parábola rectángulo. No se considera la resistencia del hormigón a tracción.



f_{cd} : Resistencia de cálculo a compresión del hormigón.

ϵ_{cd} : Deformación de rotura del hormigón en compresión simple.

ϵ_{cu} : Deformación de rotura del hormigón en flexión.

Se considera como resistencia de cálculo del hormigón en compresión el valor:

f_{cd} : 16.67 MPa

ϵ_{cd} : 0.0020

ϵ_{cu} : 0.0035

α_{cc} : Factor que tiene en cuenta el cansancio del hormigón cuando está sometido a altos niveles de tensión de compresión debido a cargas de larga duración.

f_{ck} : Resistencia característica del hormigón.

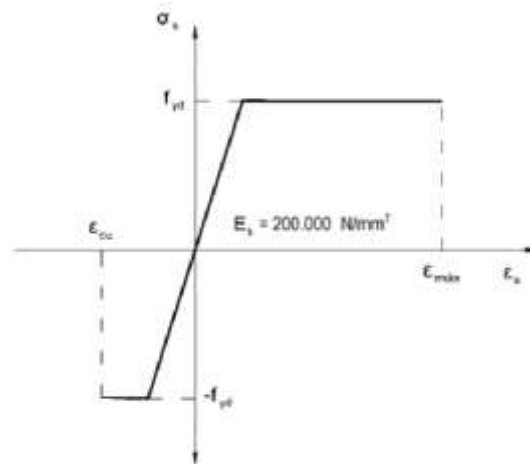
γ_c : Coeficiente de minoración de la resistencia del hormigón.

α_{cc} : 1.00

f_{ck} : 25.00 MPa

γ_c : 1.5

- (ii) Se adopta el siguiente diagrama de cálculo tensión-deformación del acero de las armaduras pasivas.



f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 434.78 MPa

ϵ_{max} : Deformación máxima del acero en tracción.

ϵ_{max} : 0.0100

ϵ_{cu} : Deformación de rotura del hormigón en flexión.

ϵ_{cu} : 0.0035

Se considera como resistencia de cálculo del acero el valor:

f_{yk} : Resistencia característica de proyecto

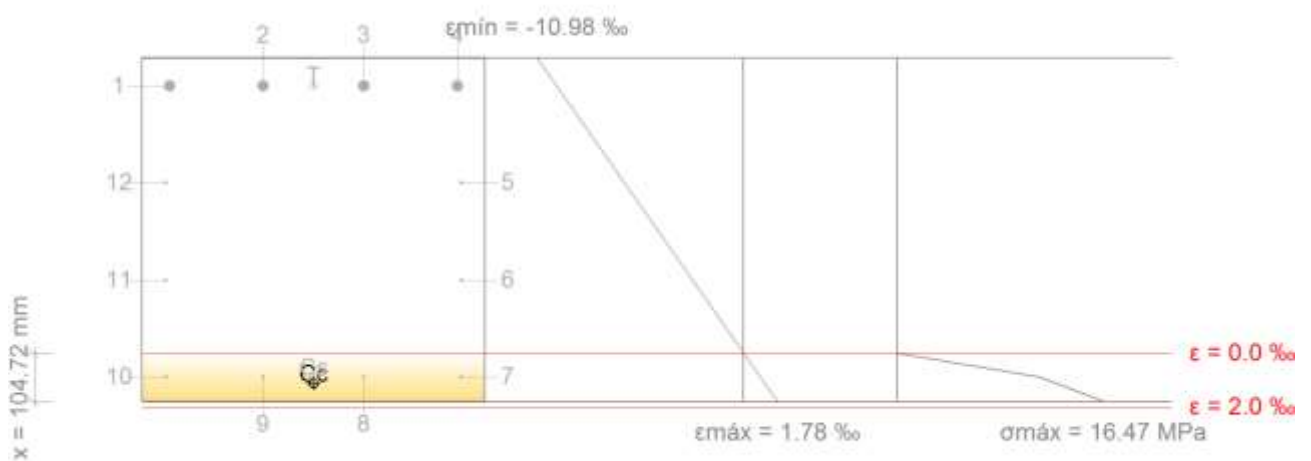
f_{yk} : 500.00 MPa

γ_s : Coeficiente parcial de seguridad.

γ_s : 1.15

(e) Se aplican a las resultantes de tensiones en la sección las ecuaciones generales de equilibrio de fuerzas y de momentos.

Equilibrio de la sección para los esfuerzos de agotamiento, calculados con las mismas excentricidades que los esfuerzos de cálculo pésimos:



Barra	Designación	Coord. X (mm)	Coord. Y (mm)	σ_s (MPa)	ϵ
1	Ø25	-314.50	314.50	-434.78	-0.009950
2	Ø25	-110.33	314.50	-434.78	-0.009950
3	Ø25	110.33	314.50	-434.78	-0.009950
4	Ø25	314.50	314.50	-434.78	-0.009950
5	Ø8	323.00	102.33	0.00	-0.006340



Barra	Designación	Coord. X (mm)	Coord. Y (mm)	σ_s (MPa)	ϵ
6	Ø8	323.00	-109.83	0.00	-0.002730
7	Ø10	322.00	-322.00	+176.00	+0.000880
8	Ø10	110.33	-322.00	+176.00	+0.000880
9	Ø10	-110.33	-322.00	+176.00	+0.000880
10	Ø10	-322.00	-322.00	+176.00	+0.000880
11	Ø8	-323.00	-109.83	0.00	-0.002730
12	Ø8	-323.00	102.33	0.00	-0.006340

	Resultante (kN)	e.x (mm)	e.y (mm)
Cc	819.86	0.00	-336.41
Cs	33.84	0.00	-322.00
T	853.70	0.00	314.50

$$N_{Rd} : \underline{0.00} \text{ kN}$$

$$M_{Rd,x} : \underline{-555.20} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{Rd,y} : \underline{0.00} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

C_c: Resultante de compresiones en el hormigón.

C_s: Resultante de compresiones en el acero.

T: Resultante de tracciones en el acero.

e_{cc}: Excentricidad de la resultante de compresiones en el hormigón en la dirección de los ejes X e Y.

e_{cs}: Excentricidad de la resultante de compresiones en el acero en la dirección de los ejes X e Y.

e_T: Excentricidad de la resultante de tracciones en el acero en la dirección de los ejes X e Y.

ε_{cmax}: Deformación de la fibra más comprimida de hormigón.

ε_{smax}: Deformación de la barra de acero más traccionada.

σ_{cmax}: Tensión de la fibra más comprimida de hormigón.

σ_{smax}: Tensión de la barra de acero más traccionada.

$$C_c : \underline{819.86} \text{ kN}$$

$$C_s : \underline{33.84} \text{ kN}$$

$$T : \underline{853.70} \text{ kN}$$

$$e_{cc,x} : \underline{0.00} \text{ mm}$$

$$e_{cc,y} : \underline{-336.41} \text{ mm}$$

$$e_{cs,x} : \underline{0.00} \text{ mm}$$

$$e_{cs,y} : \underline{-322.00} \text{ mm}$$

$$e_{T,x} : \underline{0.00} \text{ mm}$$

$$e_{T,y} : \underline{314.50} \text{ mm}$$

$$\epsilon_{cmax} : \underline{0.0018}$$

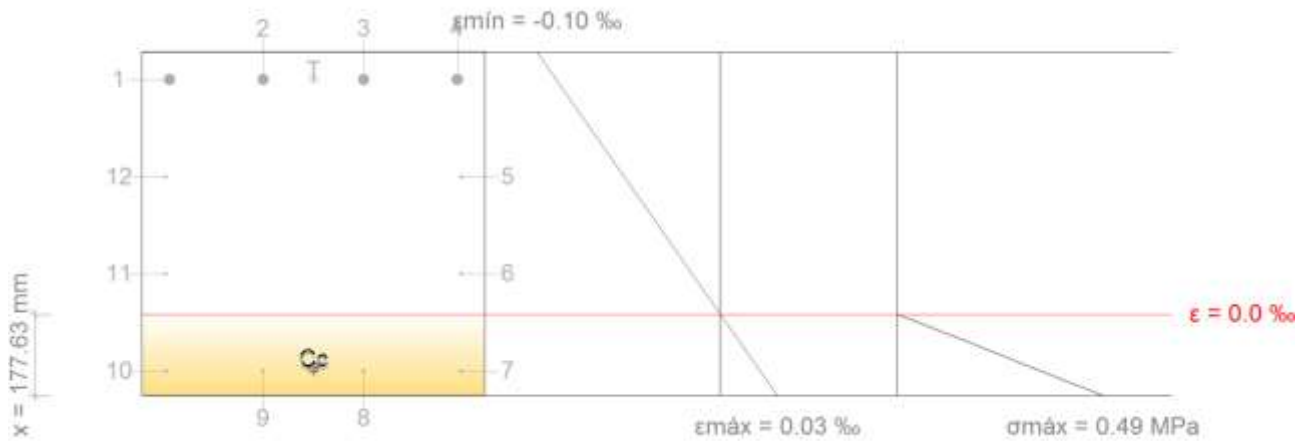
$$\epsilon_{smax} : \underline{0.0100}$$

$$\sigma_{cmax} : \underline{16.47} \text{ MPa}$$

$$\sigma_{smax} : \underline{434.78} \text{ MPa}$$



Equilibrio de la sección para los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos:



Barra	Designación	Coord. X (mm)	Coord. Y (mm)	σ_s (MPa)	ϵ
1	Ø25	-314.50	314.50	-17.12	-0.000086
2	Ø25	-110.33	314.50	-17.12	-0.000086
3	Ø25	110.33	314.50	-17.12	-0.000086
4	Ø25	314.50	314.50	-17.12	-0.000086
5	Ø8	323.00	102.33	0.00	-0.000050
6	Ø8	323.00	-109.83	0.00	-0.000015
7	Ø10	322.00	-322.00	+4.17	+0.000021
8	Ø10	110.33	-322.00	+4.17	+0.000021
9	Ø10	-110.33	-322.00	+4.17	+0.000021
10	Ø10	-322.00	-322.00	+4.17	+0.000021
11	Ø8	-323.00	-109.83	0.00	-0.000015
12	Ø8	-323.00	102.33	0.00	-0.000050

	Resultante (kN)	e.x (mm)	e.y (mm)
Cc	32.81	0.00	-315.72
Cs	0.80	0.00	-322.00
T	33.61	0.00	314.50

$N_{ed} : 0.00$ kN

$M_{ed,x} : -21.18$ kN·m

$M_{ed,y} : 0.00$ kN·m

Donde:

C_c: Resultante de compresiones en el hormigón.

C_s: Resultante de compresiones en el acero.

C_c : 32.81 kN

C_s : 0.80 kN



T : Resultante de tracciones en el acero.	T : $\frac{33.61}{}$ kN
e_{cc} : Excentricidad de la resultante de compresiones en el hormigón en la dirección de los ejes X e Y.	e_{cc,x} : $\frac{0.00}{}$ mm
	e_{cc,y} : $\frac{-315.72}{}$ mm
e_{cs} : Excentricidad de la resultante de compresiones en el acero en la dirección de los ejes X e Y.	e_{cs,x} : $\frac{0.00}{}$ mm
	e_{cs,y} : $\frac{-322.00}{}$ mm
e_T : Excentricidad de la resultante de tracciones en el acero en la dirección de los ejes X e Y.	e_{T,x} : $\frac{0.00}{}$ mm
	e_{T,y} : $\frac{314.50}{}$ mm
ε_{cmax} : Deformación de la fibra más comprimida de hormigón.	ε_{cmax} : $\frac{0.0000}{}$
ε_{smax} : Deformación de la barra de acero más traccionada.	ε_{smax} : $\frac{0.0001}{}$
σ_{cmax} : Tensión de la fibra más comprimida de hormigón.	σ_{cmax} : $\frac{0.49}{}$ MPa
σ_{smax} : Tensión de la barra de acero más traccionada.	σ_{smax} : $\frac{17.12}{}$ MPa

Estado límite de agotamiento por torsión. Compresión oblicua. (EHE-08, Artículo 45.2.2.1)

La comprobación del estado límite de agotamiento por torsión no procede, ya que no hay momento torsor.

Estado límite de agotamiento por torsión. Tracción en el alma. (EHE-08, Artículo 45.2.2.2)

La comprobación del estado límite de agotamiento por torsión no procede, ya que no hay momento torsor.

Estado límite de agotamiento por torsión. Tracción en las armaduras longitudinales. (EHE-08, Artículo 45.2.2.3)

La comprobación del estado límite de agotamiento por torsión no procede, ya que no hay momento torsor.

Estado límite de agotamiento por torsión. Interacción entre torsión y esfuerzos normales. Flexión alrededor del eje X. (EHE-08, Artículo 45.3.2.1)

La comprobación no procede, ya que no hay interacción entre torsión y esfuerzos normales.

Estado límite de agotamiento por torsión. Interacción entre torsión y cortante en el eje X. Compresión oblicua (EHE-08, Artículo 45.3.2.2)

La comprobación del estado límite de agotamiento por torsión no procede, ya que no hay momento torsor.

Estado límite de agotamiento por torsión. Interacción entre torsión y cortante en el eje Y. Compresión oblicua (EHE-08, Artículo 45.3.2.2)

La comprobación del estado límite de agotamiento por torsión no procede, ya que no hay momento torsor.

Estado límite de agotamiento por torsión. Interacción entre torsión y cortante en el eje X. Tracción en el alma. (EHE-08, Artículo 45.3.2.2)

La comprobación del estado límite de agotamiento por torsión no procede, ya que no hay momento torsor.



Estado límite de agotamiento por torsión. Interacción entre torsión y cortante en el eje Y. Tracción en el alma. (EHE-08, Artículo 45.3.2.2)

La comprobación del estado límite de agotamiento por torsión no procede, ya que no hay momento torsor.

Estado límite de agotamiento por torsión. Relación entre las dimensiones de la sección. (EHE-08, Artículo 45.1)

La comprobación del estado límite de agotamiento por torsión no procede, ya que no hay momento torsor.

Estado límite de agotamiento por torsión. Separación entre las barras de la armadura longitudinal. (EHE-08, Artículo 45.2.2)

La comprobación del estado límite de agotamiento por torsión no procede, ya que no hay momento torsor.

Estado límite de agotamiento por torsión. Separación entre las barras de la armadura transversal. (EHE-08, Artículo 45.2.3)

La comprobación del estado límite de agotamiento por torsión no procede, ya que no hay momento torsor.



4.- COMPROBACIÓN DE FISURACIÓN

-

Fisuración por compresión (EHE-08, Artículo 49.2.1)

Se debe satisfacer:

$$0.42 \text{ MPa} \leq 17.73 \text{ MPa} \quad \checkmark$$

La tensión de compresión máxima se produce en el nudo, para la combinación de acciones PP+CM+0.6·Qa(A)+0.6·Qa(E).

Donde:

σ_c : Tensión de compresión del hormigón.	$\sigma_c : \underline{0.42} \text{ MPa}$
$f_{ck,j}$: Resistencia característica del hormigón a la edad de 'j' días. Se adopta $j = 120$.	$f_{ck,j} : \underline{29.55} \text{ MPa}$

Donde:

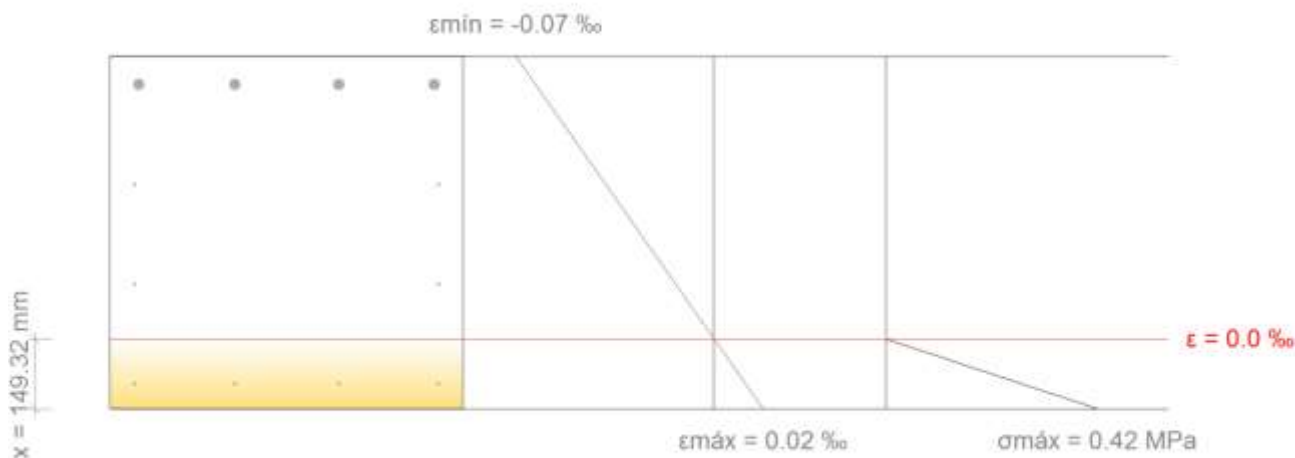
$f_{ck,28}$: Resistencia característica del hormigón a la edad de 28 días.	$f_{ck,28} : \underline{25.00} \text{ MPa}$
β_{cc} : Coeficiente que depende de la edad del hormigón.	$\beta_{cc} : \underline{1.14}$

Donde:

s : Coeficiente que depende del tipo de cemento. Se adopta el valor correspondiente a cementos normales.	$s : \underline{0.25}$
--	------------------------

Equilibrio de la sección para los esfuerzos solicitantes de la combinación:

N_{ed} : Esfuerzo axial solicitante (valores positivos indican compresión).	$N_{ed} : \underline{0.00} \text{ kN}$
$M_{ed,x}$: Momento flector solicitante alrededor del eje 'X'.	$M_{ed,x} : \underline{0.00} \text{ kN}\cdot\text{m}$
$M_{ed,y}$: Momento flector solicitante alrededor del eje 'Y'.	$M_{ed,y} : \underline{-15.38} \text{ kN}\cdot\text{m}$





Fisuración por tracción: Cara superior (EHE-08, Artículo 49.2.3)

La comprobación no procede, ya que la tensión de tracción máxima en el hormigón no supera la resistencia a tracción del mismo.

Fisuración por tracción: Cara lateral derecha (EHE-08, Artículo 49.2.3)

La comprobación no procede, ya que la tensión de tracción máxima en el hormigón no supera la resistencia a tracción del mismo.

Fisuración por tracción: Cara inferior (EHE-08, Artículo 49.2.3)

La comprobación no procede, ya que la tensión de tracción máxima en el hormigón no supera la resistencia a tracción del mismo.

Fisuración por tracción: Cara lateral izquierda (EHE-08, Artículo 49.2.3)

La comprobación no procede, ya que la tensión de tracción máxima en el hormigón no supera la resistencia a tracción del mismo.

Área mínima de armadura (Criterio de CYPE Ingenieros)

La comprobación no procede, ya que la tensión de tracción máxima en el hormigón no supera la resistencia a tracción del mismo.

Fisuración por cortante (EHE-08, Artículo 49.3)

Al cumplirse las indicaciones del Artículo 44º Estado Límite Último frente a Cortante, el control de la fisuración en servicio está asegurado sin comprobaciones adicionales.

5.6 VIGA HE 180B

1.- DESCRIPCIÓN

Datos de la viga	
	Geometría
	Referencia del perfil : HE 180 B
	Materiales
Acero : S275	

2.- RESUMEN DE LAS COMPROBACIONES

Tramo	COMPROBACIONES DE RESISTENCIA (CTE DB SE-A)														Estado	
	$\bar{\lambda}$	λ_w	N_t	N_c	M_y	M_z	V_z	V_y	$M_y V_z$	$M_z V_y$	$N M_y M_z$	$N M_y M_z V_y$	M_t	$M_t V_z$		$M_t V_y$
P59 - P57	N.P. ⁽¹⁾	$\lambda_w \leq \lambda_{w,máx}$ Cumple	$N_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽²⁾	$N_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽³⁾	$x: 2.177$ m $\eta = 12.5$	$M_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽⁴⁾	$x: 2.177$ m $\eta = 14.6$	$V_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽⁵⁾	$\eta < 0.1$	N.P. ⁽⁶⁾	N.P. ⁽⁷⁾	N.P. ⁽⁸⁾	$x: 0$ m $\eta = 8.2$	$x: 2.177$ m $\eta = 12.6$	N.P. ⁽⁹⁾	CUMPLE E $\eta = 14.6$



Tramo	COMPROBACIONES DE RESISTENCIA (CTE DB SE-A)														Estado
	$\bar{\lambda}$	λ_w	N_t	N_c	M_y	M_z	V_z	V_y	M_yV_z	M_zV_y	NM_yM_z	$NM_yM_zV_y$	M_t	M_tV_z	
<p>Notación:</p> <p>$\bar{\lambda}$: Limitación de esbeltez λ_w: Abolladura del alma inducida por el ala comprimida N_t: Resistencia a tracción N_c: Resistencia a compresión M_y: Resistencia a flexión eje Y M_z: Resistencia a flexión eje Z V_z: Resistencia a corte Z V_y: Resistencia a corte Y M_yV_z: Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados M_zV_y: Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados NM_yM_z: Resistencia a flexión y axil combinados $NM_yM_zV_y$: Resistencia a flexión, axil y cortante combinados M_t: Resistencia a torsión M_tV_z: Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados M_tV_y: Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados x: Distancia al origen de la barra η: Coeficiente de aprovechamiento (%) N.P.: No procede</p> <p>Comprobaciones que no proceden (N.P.):</p> <p>(1) La comprobación no procede, ya que no hay axil de compresión ni de tracción. (2) La comprobación no procede, ya que no hay axil de tracción. (3) La comprobación no procede, ya que no hay axil de compresión. (4) La comprobación no procede, ya que no hay momento flector. (5) La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante. (6) No hay interacción entre momento flector y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede. (7) No hay interacción entre axil y momento flector ni entre momentos flectores en ambas direcciones para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede. (8) No hay interacción entre momento flector, axil y cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede. (9) No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.</p>															

Viga	Sobrecarga (Característica) $f_{i,Q} \leq f_{i,Q,lim}$ $f_{i,Q,lim} = L/350$	Instantánea (Cuasipermanente) $f_{i,tot,max} \leq f_{i,tot,lim}$ $f_{i,tot,lim} = L/300$	Activa (Característica) $f_{A,max} \leq f_{A,lim}$ $f_{A,lim} = L/400$	Estado
P59 - P57	$f_{i,Q}$: 0.27 mm $f_{i,Q,lim}$: 6.22 mm	$f_{i,tot,max}$: 0.40 mm $f_{i,tot,lim}$: 7.26 mm	$f_{A,max}$: 0.33 mm $f_{A,lim}$: 5.44 mm	CUMPLE

3.- COMPROBACIONES DE RESISTENCIA

P59 - P57

Limitación de esbeltez (CTE DB SE-A, Artículos 6.3.1 y 6.3.2.1 - Tabla 6.3)

La comprobación no procede, ya que no hay axil de compresión ni de tracción.

Abolladura del alma inducida por el ala comprimida (Criterio de CYPE Ingenieros, basado en: Eurocódigo 3 EN 1993-1-5: 2006, Artículo 8)

Se debe satisfacer:

$$17.88 \leq 164.04 \quad \checkmark$$

Donde:

h_w : Altura del alma.

$$h_w : \frac{152.00}{1} \text{ mm}$$

t_w : Espesor del alma.

$$t_w : \frac{8.50}{1} \text{ mm}$$

A_w : Área del alma.

$$A_w : \frac{12.92}{1} \text{ cm}^2$$

$A_{fc,ef}$: Área reducida del ala comprimida.

$$A_{fc,ef} : \frac{25.20}{1} \text{ cm}^2$$

k : Coeficiente que depende de la clase de la sección.

$$k : \frac{0.30}{1}$$

E : Módulo de elasticidad.

$$E : \frac{210000}{1} \text{ MPa}$$

f_{yf} : Límite elástico del acero del ala comprimida.

$$f_{yf} : \frac{275.00}{1} \text{ MPa}$$

Siendo:



Resistencia a tracción (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.3)

La comprobación no procede, ya que no hay axil de tracción.

Resistencia a compresión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.5)

La comprobación no procede, ya que no hay axil de compresión.

Resistencia a flexión eje Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta : \underline{0.116} \quad \checkmark$$

$$\eta : \underline{0.125} \quad \checkmark$$

Para flexión positiva:

M_{Ed}^+ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^+ : \underline{0.00} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo P57,
para la combinación de acciones
 $1.35 \cdot PP + 1.35 \cdot CM + 1.05 \cdot Qa(A) + 1.5 \cdot Qa(E)$.

M_{Ed}^- : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^- : \underline{14.65} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

El momento flector resistente de cálculo $M_{c,Rd}$ viene dado por:

$$M_{c,Rd} : \underline{126.08} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

$W_{pl,y}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$$W_{pl,y} : \underline{481.40} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

γ_{MO} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{MO} : \underline{1.05}$$

Resistencia a pandeo lateral: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.2)

El momento flector resistente de cálculo $M_{b,Rd}$ viene dado por:

$$M_{b,Rd}^+ : \underline{126.08} \text{ kN}\cdot\text{m}$$



$$M_{b,Rd}^- : \underline{117.30} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

$W_{pl,y}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$$W_{pl,y} : \underline{481.40} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

γ_{M1} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M1} : \underline{1.05}$$

χ_{LT} : Factor de reducción por pandeo lateral.

$$\chi_{LT}^+ : \underline{1.00}$$

$$\chi_{LT}^- : \underline{0.93}$$

Siendo:

$$\phi_{LT}^+ : \underline{0.00}$$

$$\phi_{LT}^- : \underline{0.64}$$

α_{LT} : Coeficiente de imperfección elástica.

$$\alpha_{LT} : \underline{0.21}$$

$\bar{\lambda}_{LT}$: Esbeltez reducida.

$$\bar{\lambda}_{LT}^+ : \underline{0.00}$$

$$\bar{\lambda}_{LT}^- : \underline{0.48}$$

M_{cr} : Momento crítico elástico de pandeo lateral.

$$M_{cr}^+ : \underline{\infty}$$

$$M_{cr}^- : \underline{574.26} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

El momento crítico elástico de pandeo lateral M_{cr} se determina según la teoría de la elasticidad:

Siendo:

M_{LTV} : Componente que representa la resistencia por torsión uniforme de la barra.

$$M_{LTV}^+ : \underline{\infty}$$

$$M_{LTV}^- : \underline{416.73} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

M_{LTW} : Componente que representa la resistencia por torsión no uniforme de la barra.

$$M_{LTW}^+ : \underline{\infty}$$

$$M_{LTW}^- : \underline{395.12} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Siendo:

$W_{el,y}$: Módulo resistente elástico de la sección bruta, obtenido para la fibra más comprimida.

$$W_{el,y} : \underline{425.67} \text{ cm}^3$$



I_z : Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z.	I_z : <u>1363.00</u> cm ⁴
I_t : Momento de inercia a torsión uniforme.	I_t : <u>42.16</u> cm ⁴
E : Módulo de elasticidad.	E : <u>210000</u> MPa
G : Módulo de elasticidad transversal.	G : <u>81000</u> MPa
L_c⁺ : Longitud efectiva de pandeo lateral del ala superior.	L_c⁺ : <u>0.000</u> m
L_c⁻ : Longitud efectiva de pandeo lateral del ala inferior.	L_c⁻ : <u>2.357</u> m
C₁ : Factor que depende de las condiciones de apoyo y de la forma de la ley de momentos flectores sobre la barra.	C₁ : <u>1.00</u>
i_{f,z}⁺ : Radio de giro, respecto al eje de menor inercia de la sección, del soporte formado por el ala comprimida y la tercera parte de la zona comprimida del alma adyacente al ala comprimida.	i_{f,z}⁺ : <u>4.99</u> cm
	i_{f,z}⁻ : <u>4.99</u> cm

Resistencia a flexión eje Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

La comprobación no procede, ya que no hay momento flector.

Resistencia a corte Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta : \mathbf{0.146} \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo P57, para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 1.35 \cdot CM + 1.05 \cdot Qa(A) + 1.5 \cdot Qa(E)$.

$$\mathbf{V_{Ed}}$$
: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. **V_{Ed}** : 44.93 kN

El esfuerzo cortante resistente de cálculo **V_{c,Rd}** viene dado por:

$$\mathbf{V_{c,Rd}}$$
 : 306.81 kN

Donde:

$$\mathbf{A_v}$$
: Área transversal a cortante. **A_v** : 20.29 cm²

Siendo:

$$\mathbf{h}$$
: Canto de la sección. **h** : 180.00 mm

$$\mathbf{t_w}$$
: Espesor del alma. **t_w** : 8.50 mm

$$\mathbf{f_{yd}}$$
: Resistencia de cálculo del acero. **f_{yd}** : 261.90 MPa

Siendo:



f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)
 γ_{MO} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

f_y : 275.00 MPa
 γ_{MO} : 1.05

Abolladura por cortante del alma: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.4)

Aunque no se han dispuesto rigidizadores transversales, no es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:

$$14.35 < 64.71 \quad \checkmark$$

Donde:

λ_w : Esbeltez del alma.

λ_w : 14.35

$\lambda_{m\acute{a}x}$: Esbeltez máxima.

$\lambda_{m\acute{a}x}$: 64.71

ε : Factor de reducción.

ε : 0.92

Siendo:

f_{ref} : Límite elástico de referencia.

f_{ref} : 235.00 MPa

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 275.00 MPa

Resistencia a corte Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante.

Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante $V_{c,Rd}$.

$$44.85 \text{ kN} \leq 153.40 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 1.35 \cdot CM + 1.05 \cdot Qa(A) + 1.5 \cdot Qa(E)$.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

V_{Ed} : 44.85 kN

$V_{c,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$V_{c,Rd}$: 306.81 kN



Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento flector y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a flexión y axil combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre axil y momento flector ni entre momentos flectores en ambas direcciones para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a flexión, axil y cortante combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento flector, axil y cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a torsión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.7)

Se debe satisfacer:

$$\eta : \underline{0.082} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo P59, para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 1.35 \cdot CM + 1.5 \cdot Qa(E)$.

$M_{T,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{T,Ed} : \underline{0.37} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

El momento torsor resistente de cálculo $M_{T,Rd}$ viene dado por:

$$M_{T,Rd} : \underline{4.55} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T : \underline{30.11} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

γ_{m0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{m0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta : \underline{0.126} \quad \checkmark$$



Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo P57, para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 1.35 \cdot CM + 1.5 \cdot Qa(1)(A) + 1.05 \cdot Qa(1)(E)$.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{37.56} \text{ kN}$$

$M_{T,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{T,Ed} : \underline{0.30} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo reducido $V_{pl,T,Rd}$ viene dado por:

$$V_{pl,T,Rd} : \underline{298.71} \text{ kN}$$

Donde:

$V_{pl,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{pl,Rd} : \underline{306.81} \text{ kN}$$

$\tau_{T,Ed}$: Tensiones tangenciales por torsión.

$$\tau_{T,Ed} : \underline{9.85} \text{ MPa}$$

Siendo:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T : \underline{30.11} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.



4.- COMPROBACIONES DE FLECHA

Sobrecarga (Característica)	Instantánea (Cuasipermanente)	Activa (Característica)	Estado
$f_{i,Q} \leq f_{i,Q,lim}$ $f_{i,Q,lim} = L/350$	$f_{i,tot,max} \leq f_{i,tot,lim}$ $f_{i,tot,lim} = L/300$	$f_{A,max} \leq f_{A,lim}$ $f_{A,lim} = L/400$	
$f_{i,Q}: 0.27 \text{ mm}$ $f_{i,Q,lim}: 6.22 \text{ mm}$	$f_{i,tot,max}: 0.40 \text{ mm}$ $f_{i,tot,lim}: 7.26 \text{ mm}$	$f_{A,max}: 0.33 \text{ mm}$ $f_{A,lim}: 5.44 \text{ mm}$	CUMPLE

Flecha total instantánea para el conjunto de las cargas de tipo "Sobrecarga" para la combinación "Característica" de acciones

La flecha máxima se produce en la sección "1.09 m" para la combinación de acciones: Peso propio+Cargas muertas - Tabiquería+Cargas muertas - Pavimento+Sobrecarga (Uso E)

$$0.27 \text{ mm} \leq 6.22 \text{ mm} \quad \checkmark$$

$f_{i,Q,lim}$: límite establecido para la flecha instantánea producida por las sobrecargas de uso

$$f_{i,Q,lim} = L/350$$

L: longitud de referencia

$$f_{i,Q,lim} : \underline{6.22} \text{ mm}$$

$$L : \underline{2.18} \text{ m}$$

$f_{i,Q}$: flecha instantánea producida por las sobrecargas de uso aplicadas

$$f_{i,Q} : \underline{0.27} \text{ mm}$$

Flecha total instantánea para la combinación "Cuasipermanente" de acciones

La flecha máxima se produce en la sección "1.09 m" para la combinación de acciones: Peso propio+Cargas muertas - Tabiquería+Cargas muertas - Pavimento+0.6Sobrecarga (Uso E)

$$0.40 \text{ mm} \leq 7.26 \text{ mm} \quad \checkmark$$

$f_{i,tot,lim}$: límite establecido para la flecha total instantánea

$$f_{i,tot,lim} = L/300$$

L: longitud de referencia

$$f_{i,tot,lim} : \underline{7.26} \text{ mm}$$

$$L : \underline{2.18} \text{ m}$$

$f_{i,tot,max}$: valor máximo de la flecha total instantánea

$$f_{i,tot,max} : \underline{0.40} \text{ mm}$$

Flecha activa a partir del instante "3 meses", para la combinación de acciones "Característica"

La flecha máxima se produce en la sección "1.09 m" para la combinación de acciones: Peso propio+Cargas muertas - Tabiquería+Cargas muertas - Pavimento+Sobrecarga (Uso E)

$$0.33 \text{ mm} \leq 5.44 \text{ mm} \quad \checkmark$$

$f_{A,lim}$: límite establecido para la flecha activa

$$f_{A,lim} = L/400$$

$$f_{A,lim} : \underline{5.44} \text{ mm}$$



L: longitud de referencia

L : 2.18 m

$f_{A,max}$: flecha activa máxima producida a partir del instante "3 meses"

$f_{A,max}$: 0.33 mm

$$f_{A,max} = f_T - f_i (t = t_{ed})$$

f_T : flecha instantánea máxima

f_T : 0.51 mm

$f_i (t = t_{ed})$: flecha instantánea en el instante $t = t_{ed}$

$f_i (t = t_{ed})$: 0.18 mm

t_{ed} : Construcción del elemento dañable

t_{ed} : 3 meses

5.7 VIGA HE 100 B

1.- DESCRIPCIÓN

Datos de la viga	
	Geometría
	Referencia del perfil : HE 100 B
	Materiales
	Acero : S275

2.- RESUMEN DE LAS COMPROBACIONES

Tramo	COMPROBACIONES DE RESISTENCIA (CTE DB SE-A)														Estado	
	$\bar{\lambda}$	λ_w	N_t	N_c	M_y	M_z	V_z	V_y	$M_y V_z$	$M_z V_y$	$N M_y$ M_z	$N M_y M_z V_y$ V_z	M_t	$M_t V_z$		$M_t V_y$
M3 - P61	N.P. ⁽¹⁾	x: 0 m $\lambda_w \leq$ $\lambda_{w,max}$ Cumple	$N_{Ed} =$ 0.00 N.P. ⁽²⁾	$N_{Ed} =$ 0.00 N.P. ⁽³⁾	x: 0 m $\eta =$ 10.2	$M_{Ed} =$ 0.00 N.P. ⁽⁴⁾	x: 0 m $\eta =$ 2.5	$V_{Ed} =$ 0.00 N.P. ⁽⁵⁾	x: 0 m $\eta <$ 0.1	N.P. ⁽⁶⁾	N.P. ⁽⁷⁾	N.P. ⁽⁸⁾	$M_{Ed} =$ 0.00 N.P. ⁽⁹⁾	N.P. ⁽¹⁰⁾	N.P. ⁽¹⁰⁾	CUMPLE $\eta =$ 10.2
<p>Notación:</p> <ul style="list-style-type: none"> $\bar{\lambda}$: Limitación de esbeltez λ_w: Abolladura del alma inducida por el ala comprimida N_t: Resistencia a tracción N_c: Resistencia a compresión M_y: Resistencia a flexión eje Y M_z: Resistencia a flexión eje Z V_z: Resistencia a corte Z V_y: Resistencia a corte Y $M_y V_z$: Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados $M_z V_y$: Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados $N M_y$: Resistencia a flexión y axil combinados $N M_y M_z V_z$: Resistencia a flexión, axil y cortante combinados M_t: Resistencia a torsión $M_t V_z$: Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados $M_t V_y$: Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados x: Distancia al origen de la barra η: Coeficiente de aprovechamiento (%) N.P.: No procede <p>Comprobaciones que no proceden (N.P.):</p> <ul style="list-style-type: none"> ⁽¹⁾ La comprobación no procede, ya que no hay axil de compresión ni de tracción. ⁽²⁾ La comprobación no procede, ya que no hay axil de tracción. ⁽³⁾ La comprobación no procede, ya que no hay axil de compresión. ⁽⁴⁾ La comprobación no procede, ya que no hay momento flector. ⁽⁵⁾ La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante. ⁽⁶⁾ No hay interacción entre momento flector y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede. ⁽⁷⁾ No hay interacción entre axil y momento flector ni entre momentos flectores en ambas direcciones para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede. ⁽⁸⁾ No hay interacción entre momento flector, axil y cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede. ⁽⁹⁾ La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor. ⁽¹⁰⁾ No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede. 																

Viga	Sobrecarga (Característica) $f_{i,Q} \leq f_{i,Q,lim}$ $f_{i,Q,lim} = L/350$	Instantánea (Cuasipermanente) $f_{i,tot,max} \leq f_{i,tot,lim}$ $f_{i,tot,lim} = L/300$	Activa (Característica) $f_{A,max} \leq f_{A,lim}$ $f_{A,lim} = L/400$	Estado
M3 - P61	$f_{i,Q}$: 0.37 mm $f_{i,Q,lim}$: 10.55 mm	$f_{i,tot,max}$: 1.32 mm $f_{i,tot,lim}$: 12.31 mm	$f_{A,max}$: 0.47 mm $f_{A,lim}$: 9.23 mm	CUMPLE



3.- COMPROBACIONES DE RESISTENCIA

M3 - P61

Limitación de esbeltez (CTE DB SE-A, Artículos 6.3.1 y 6.3.2.1 - Tabla 6.3)

La comprobación no procede, ya que no hay axil de compresión ni de tracción.

Abolladura del alma inducida por el ala comprimida (Criterio de CYPE Ingenieros, basado en: Eurocódigo 3 EN 1993-1-5: 2006, Artículo 8)

Se debe satisfacer:

$$13.33 \leq 158.72 \quad \checkmark$$

Donde:

h_w : Altura del alma.

t_w : Espesor del alma.

A_w : Área del alma.

$A_{fc,ef}$: Área reducida del ala comprimida.

k : Coeficiente que depende de la clase de la sección.

E : Módulo de elasticidad.

f_{yf} : Límite elástico del acero del ala comprimida.

Siendo:

$$h_w : \frac{80.00}{1} \text{ mm}$$

$$t_w : \frac{6.00}{1} \text{ mm}$$

$$A_w : \frac{4.80}{1} \text{ cm}^2$$

$$A_{fc,ef} : \frac{10.00}{1} \text{ cm}^2$$

$$k : \frac{0.30}{1}$$

$$E : \frac{210000}{1} \text{ MPa}$$

$$f_{yf} : \frac{275.00}{1} \text{ MPa}$$

Resistencia a tracción (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.3)

La comprobación no procede, ya que no hay axil de tracción.

Resistencia a compresión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.5)

La comprobación no procede, ya que no hay axil de compresión.

Resistencia a flexión eje Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta : \underline{0.080} \quad \checkmark$$

$$\eta : \underline{0.102} \quad \checkmark$$

Para flexión positiva:

M_{Ed}^+ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^+ : \underline{0.00} \text{ kN}\cdot\text{m}$$



Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo M3,
para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 1.35 \cdot CM + 1.5 \cdot Qa(E)$.

M_{Ed}^- : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^- : \underline{2.17} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

El momento flector resistente de cálculo $M_{c,Rd}$ viene dado por:

$$M_{c,Rd} : \underline{27.29} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

$W_{pl,y}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$$W_{pl,y} : \underline{104.20} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a pandeo lateral: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.2)

El momento flector resistente de cálculo $M_{b,Rd}$ viene dado por:

$$M_{b,Rd} : \underline{21.29} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

$W_{pl,y}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$$W_{pl,y} : \underline{104.20} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

γ_{M1} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M1} : \underline{1.05}$$

χ_{LT} : Factor de reducción por pandeo lateral.

$$\chi_{LT} : \underline{0.78}$$

Siendo:

$$\phi_{LT} : \underline{0.91}$$

α_{LT} : Coeficiente de imperfección elástica.

$$\alpha_{LT} : \underline{0.21}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} : \underline{0.83}$$

M_{cr} : Momento crítico elástico de pandeo lateral.

$$M_{cr} : \underline{41.95} \text{ kN}\cdot\text{m}$$



El momento crítico elástico de pandeo lateral M_{cr} se determina según la teoría de la elasticidad:

Siendo:

M_{LTV} : Componente que representa la resistencia por torsión uniforme de la barra.

$$M_{LTV} : \underline{40.91} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

M_{LTW} : Componente que representa la resistencia por torsión no uniforme de la barra.

$$M_{LTW} : \underline{9.26} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Siendo:

$W_{el,y}$: Módulo resistente elástico de la sección bruta, obtenido para la fibra más comprimida.

$$W_{el,y} : \underline{89.90} \text{ cm}^3$$

I_z : Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z.

$$I_z : \underline{167.30} \text{ cm}^4$$

I_t : Momento de inercia a torsión uniforme.

$$I_t : \underline{9.25} \text{ cm}^4$$

E : Módulo de elasticidad.

$$E : \underline{210000} \text{ MPa}$$

G : Módulo de elasticidad transversal.

$$G : \underline{81000} \text{ MPa}$$

L_c^+ : Longitud efectiva de pandeo lateral del ala superior.

$$L_c^+ : \underline{3.940} \text{ m}$$

L_c^- : Longitud efectiva de pandeo lateral del ala inferior.

$$L_c^- : \underline{3.940} \text{ m}$$

C_1 : Factor que depende de las condiciones de apoyo y de la forma de la ley de momentos flectores sobre la barra.

$$C_1 : \underline{1.00}$$

$i_{f,z}$: Radio de giro, respecto al eje de menor inercia de la sección, del soporte formado por el ala comprimida y la tercera parte de la zona comprimida del alma adyacente al ala comprimida.

$$i_{f,z}^+ : \underline{2.78} \text{ cm}$$

$$i_{f,z}^- : \underline{2.78} \text{ cm}$$

Resistencia a flexión eje Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

La comprobación no procede, ya que no hay momento flector.

Resistencia a corte Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta : \underline{0.025} \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo M3, para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 1.35 \cdot CM + 1.5 \cdot Qa(E)$.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{3.39} \text{ kN}$$



El esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$ viene dado por:

$$V_{c,Rd} : \underline{136.09} \text{ kN}$$

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

$$A_v : \underline{9.00} \text{ cm}^2$$

Siendo:

h : Canto de la sección.

$$h : \underline{100.00} \text{ mm}$$

t_w : Espesor del alma.

$$t_w : \underline{6.00} \text{ mm}$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Abolladura por cortante del alma: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.4)

Aunque no se han dispuesto rigidizadores transversales, no es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:

$$9.33 < 64.71 \quad \checkmark$$

Donde:

λ_w : Esbeltez del alma.

$$\lambda_w : \underline{9.33}$$

$\lambda_{m\acute{a}x}$: Esbeltez máxima.

$$\lambda_{m\acute{a}x} : \underline{64.71}$$

ε : Factor de reducción.

$$\varepsilon : \underline{0.92}$$

Siendo:

f_{ref} : Límite elástico de referencia.

$$f_{ref} : \underline{235.00} \text{ MPa}$$

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

Resistencia a corte Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante.

Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)



No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante $V_{c,Rd}$.

$$3.39 \text{ kN} \leq 68.04 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo M3, para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 1.35 \cdot CM + 1.5 \cdot Qa(E)$.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. $V_{Ed} : \underline{3.39} \text{ kN}$

$V_{c,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo. $V_{c,Rd} : \underline{136.09} \text{ kN}$

Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento flector y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a flexión y axil combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre axil y momento flector ni entre momentos flectores en ambas direcciones para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a flexión, axil y cortante combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento flector, axil y cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a torsión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.7)

La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor.

Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.



4.- COMPROBACIONES DE FLECHA

Sobrecarga (Característica)	Instantánea (Cuasipermanente)	Activa (Característica)	Estado
$f_{i,Q} \leq f_{i,Q,lim}$ $f_{i,Q,lim} = L/350$	$f_{i,tot,max} \leq f_{i,tot,lim}$ $f_{i,tot,lim} = L/300$	$f_{A,max} \leq f_{A,lim}$ $f_{A,lim} = L/400$	
$f_{i,Q}: 0.37 \text{ mm}$ $f_{i,Q,lim}: 10.55 \text{ mm}$	$f_{i,tot,max}: 1.32 \text{ mm}$ $f_{i,tot,lim}: 12.31 \text{ mm}$	$f_{A,max}: 0.47 \text{ mm}$ $f_{A,lim}: 9.23 \text{ mm}$	CUMPLE

Flecha total instantánea para el conjunto de las cargas de tipo "Sobrecarga" para la combinación "Característica" de acciones

La flecha máxima se produce en la sección "2.15 m" para la combinación de acciones: Peso propio+Cargas muertas - Tabiquería+Cargas muertas - Pavimento+0.7Sobrecarga (Uso A)+Sobrecarga (Uso E)

$$0.37 \text{ mm} \leq 10.55 \text{ mm} \quad \checkmark$$

$f_{i,Q,lim}$: límite establecido para la flecha instantánea producida por las sobrecargas de uso

$$f_{i,Q,lim} = L/350$$

L: longitud de referencia

$$f_{i,Q,lim} : \underline{10.55} \text{ mm}$$

$$L : \underline{3.69} \text{ m}$$

$f_{i,Q}$: flecha instantánea producida por las sobrecargas de uso aplicadas

$$f_{i,Q} : \underline{0.37} \text{ mm}$$

Flecha total instantánea para la combinación "Cuasipermanente" de acciones

La flecha máxima se produce en la sección "2.15 m" para la combinación de acciones: Peso propio+Cargas muertas - Tabiquería+Cargas muertas - Pavimento+0.6Sobrecarga (Uso A)+0.6Sobrecarga (Uso E)

$$1.32 \text{ mm} \leq 12.31 \text{ mm} \quad \checkmark$$

$f_{i,tot,lim}$: límite establecido para la flecha total instantánea

$$f_{i,tot,lim} = L/300$$

L: longitud de referencia

$$f_{i,tot,lim} : \underline{12.31} \text{ mm}$$

$$L : \underline{3.69} \text{ m}$$

$f_{i,tot,max}$: valor máximo de la flecha total instantánea

$$f_{i,tot,max} : \underline{1.32} \text{ mm}$$

Flecha activa a partir del instante "3 meses", para la combinación de acciones "Característica"

La flecha máxima se produce en la sección "2.15 m" para la combinación de acciones: Peso propio+Cargas muertas - Tabiquería+Cargas muertas - Pavimento+0.7Sobrecarga (Uso A)+Sobrecarga (Uso E)

$$0.47 \text{ mm} \leq 9.23 \text{ mm} \quad \checkmark$$



$f_{A,lim}$: límite establecido para la flecha activa $f_{A,lim} = L/400$ L : longitud de referencia	$f_{A,lim}$: <u>9.23</u> mm L : <u>3.69</u> m
$f_{A,max}$: flecha activa máxima producida a partir del instante "3 meses" $f_{A,max} = f_T - f_i (t = t_{ed})$ f_T : flecha instantánea máxima $f_i (t = t_{ed})$: flecha instantánea en el instante $t = t_{ed}$ t_{ed} : Construcción del elemento dañable	$f_{A,max}$: <u>0.47</u> mm f_T : <u>1.47</u> mm $f_i (t = t_{ed})$: <u>1.00</u> mm t_{ed} : <u>3 meses</u>



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA
SUPERIOR INGENIEROS
INDUSTRIALES VALENCIA

TRABAJO FIN DE GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

DISEÑO ESTRUCTURAL DE UN APARCAMIENTO ROBOTIZADO SUBTERRÁNEO, CON CAPACIDAD PARA 96 AUTOMÓVILES

MEDICIONES Y PRESUPUESTO

AUTOR: JUAN CARLOS TARÍN TOMÁS

TUTOR: ANDRÉS LAPUEBLA FERRI

COTUTOR: HÉCTOR SAURA ARNAU

Curso Académico: Selec

TRABAJO FINAL DE GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES
 “Diseño estructural de un aparcamiento robotizado subterráneo,
 con capacidad para 96 automóviles”



TFG	Capítulo	TFG	638.561,34	638.561,34	
A	Capítulo	Excavación	153.262,48	153.262,48	
ADL005	Partida	m ² Desbroce y limpieza del terreno, hasta una profundidad mínima de 25 cm, con medios mecánicos, retirada de los materiales excavados y carga a camión, sin incluir transporte a vertedero autorizado. Desbroce y limpieza del terreno, con medios mecánicos. Comprende los trabajos necesarios para retirar de las zonas previstas para la edificación o urbanización: pequeñas plantas, maleza, broza, maderas caídas, escombros, basuras o cualquier otro material existente, hasta una profundidad no menor que el espesor de la capa de tierra vegetal, considerando como mínima 25 cm. Incluso transporte de la maquinaria, retirada de los materiales excavados y carga a camión, sin incluir transporte a vertedero autorizado. Incluye: Replanteo en el terreno. Remoción mecánica de los materiales de desbroce. Retirada y disposición mecánica de los materiales objeto de desbroce. Carga mecánica a camión. Criterio de medición de proyecto: Superficie medida en proyección horizontal, según documentación gráfica de Proyecto.	1.814,000	0,82	1.487,48
mq01pan010a	Maquinaria	h	0,017	40,13	0,68
mo113	Mano de obra	h	0,006	16,33	0,10
%		%	2,000	0,78	0,02
		ADL005	1.814,000	0,82	1.487,48
ADE005	Partida	m ³ Excavación de sótanos con el muro pantalla ya ejecutado en suelo de arcilla dura con grava compacta, con medios mecánicos, retirada de los materiales excavados y carga a camión. Excavación de tierras a cielo abierto para formación de sótanos con muro pantalla debidamente arriostrado, que en todo su perímetro quedan por debajo de la rasante natural, en suelo de arcilla dura con grava compacta, con medios mecánicos, hasta alcanzar la cota de profundidad indicada en el Proyecto. Incluso transporte de la maquinaria, formación de rampa provisional para acceso de la maquinaria al fondo de la excavación y su posterior retirada, refinado de paramentos y fondo de excavación, extracción de tierras fuera de la excavación, retirada de los materiales excavados y carga a camión. Incluye: Replanteo general y fijación de los puntos y niveles de referencia. Excavación en sucesivas franjas horizontales y extracción de tierras. Refinado de fondos y laterales a mano, con extracción de las tierras. Carga a camión de las tierras excavadas. Criterio de medición de proyecto: Volumen medido sobre las secciones teóricas de la excavación, según documentación gráfica de Proyecto.	6.500,000	23,35	151.775,00
mq01exn050c	Maquinaria	h	0,307	64,84	19,91
mo113	Mano de obra	h	0,142	16,33	2,32
%		%	2,000	22,23	0,44
		ADE005	6.500,000	23,35	151.775,00
		A	153.262,48	153.262,48	
C	Capítulo	Cimentaciones	256.479,56	256.479,56	
CR	Capítulo	Regularización	3.039,84	3.039,84	
CRL030	Partida	m ² Capa de hormigón de limpieza HL-150/B/20, fabricado en central y vertido desde camión, de 10 cm de espesor. Formación de capa de hormigón de limpieza y nivelado de fondos de cimentación, de 10 cm de espesor, de hormigón HL-150/B/20, fabricado en central y vertido desde camión, en el fondo de la excavación previamente realizada. Incluye: Replanteo. Colocación de toques y/o formación de maestras. Vertido y compactación del hormigón. Coronación y enrase del hormigón. Criterio de medición de proyecto: Superficie medida sobre la superficie teórica de la excavación, según documentación gráfica de Proyecto. sin incluir los incrementos por excesos de excavación no autorizados.	422,200	7,20	3.039,84
mt10hmf011fb	Material	m ³	0,105	60,72	6,38
mo045	Mano de obra	h	0,009	18,75	0,17
mo092	Mano de obra	h	0,017	17,54	0,30
%		%	2,000	6,85	0,14
		CRL030	422,200	7,20	3.039,84
		CR	3.039,84	3.039,84	
CC	Capítulo	Contenciones	206.433,03	206.433,03	
CCP001	Partida	Ud	1,000	5.671,37	5.671,37

TRABAJO FINAL DE GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES
 “Diseño estructural de un aparcamiento robotizado subterráneo,
 con capacidad para 96 automóviles”



Desplazamiento, montaje, desmontaje y retirada de la obra de equipo de perforación, para la realización de muros pantalla de 45 cm de espesor, a una distancia de hasta 200 km. Incluso p/p de desplazamiento del personal especializado.
 Incluye: Transporte a la obra. Montaje del equipo. Desmontaje del equipo. Retirada del equipo.

mq03pae050m	Maquinaria	Ud	Transporte, puesta en obra y retirada de equipo completo de máquina pantalladora, para muros pantalla de 45 cm de espesor, a una distancia de hasta 200 km.	1,055	5.116,80	5.398,22
%	%	%	Costes directos complementarios CCP001	2,000 1,000	5.398,22 5.671,37	107,96 5.671,37
CCP002	Partida	Ud	Transporte, puesta en obra y retirada de equipo completo de lodos tixotrópicos (bentonita), a una distancia de entre 50 y 100 km. Desplazamiento, montaje, desmontaje y retirada de la obra de equipo de tratamiento de lodos tixotrópicos (bentonita) para la realización de muros pantalla, a una distancia de entre 50 y 100 km. Incluso p/p de desplazamiento del personal especializado y regeneración de lodos. Incluye: Transporte a la obra. Montaje del equipo. Desmontaje del equipo. Retirada del equipo.	1,000	2.692,84	2.692,84
mq03pae051b	Maquinaria	Ud	Transporte, puesta en obra y retirada de equipo completo de lodos tixotrópicos (bentonita), a una distancia de entre 50 y 100 km.	1,055	2.429,53	2.563,15
%	%	%	Costes directos complementarios CCP002	2,000 1,000	2.563,15 2.692,84	51,26 2.692,84
CCP005	Partida	m	Doble murete guía de hormigón armado para muro pantalla, realizado con hormigón HA-25/B/20/IIa fabricado en central, y vertido desde camión, y acero UNE-EN 10080 B 500 S, 25 kg/m, sección 70x25 cm, montaje y desmontaje del sistema de encofrado a dos caras, con demolición de murete guía con retroexcavadora con martillo rompedor y carga de escombros mecánica. Formación de doble murete guía, para muro pantalla, de hormigón armado de sección 70x25 cm; realizado con hormigón HA-25/B/20/IIa fabricado en central, y vertido desde camión, y acero UNE-EN 10080 B 500 S, con una cuantía aproximada de 25 kg/m; montaje y desmontaje del sistema de encofrado a dos caras de los muretes. Incluso p/p de elaboración de la ferralla (corte, doblado y conformado de elementos) en taller industrial y montaje en el lugar definitivo de su colocación en obra, separadores, aplicación de líquido desencofrante, demolición de murete guía con retroexcavadora con martillo rompedor y carga de escombros mecánica y limpieza. Incluye: Replanteo y trazado de los muretes guía. Montaje del sistema de encofrado. Colocación de la armadura. Vertido y compactación del hormigón. Desmontaje del sistema de encofrado. Regularización y limpieza superficial del paramento visto. Acotación de la longitud de cada panel sobre los muretes guía ya realizados. Replanteo de la cota del fondo de la perforación, de la rasante del hormigón y de las armaduras. Demolición del elemento con retroexcavadora con martillo rompedor. Limpieza y recogida de restos. Carga mecánica de escombros sobre camión o contenedor.	70,000	112,79	7.895,30
mt08eme040	Material	m ²	Paneles metálicos de dimensiones varias, para encofrar elementos de hormigón.	0,007	52,00	0,36
mt50spa052b	Material	m	Tablón de madera de pino, de 20x7,2 cm.	0,028	4,39	0,12
mt50spa081a	Material	Ud	Puntal metálico telescópico, de hasta 3 m de altura.	0,018	13,37	0,24
mt08eme051a	Material	m	Fleje para encofrado metálico.	0,140	0,29	0,04
mt08var050	Material	kg	Alambre galvanizado para atar, de 1,30 mm de diámetro.	0,070	1,10	0,08
mt08var060	Material	kg	Puntas de acero de 20x100 mm.	0,140	7,00	0,98
mt08dba010b	Material	l	Agente desmoldeante, a base de aceites especiales, emulsionable en agua para encofrados metálicos, fenólicos o de madera.	0,042	1,98	0,08
mt07aco020a	Material	Ud	Separador homologado para cimentaciones.	3,000	0,13	0,39
mt07aco010c	Material	kg	Ferralla elaborada en taller industrial con acero en barras corrugadas, UNE-EN 10080 B 500 S, diámetros varios.	25,000	0,81	20,25
mt08var050	Material	kg	Alambre galvanizado para atar, de 1,30 mm de diámetro.	0,200	1,10	0,22
mt10haf010nga	Material	m ³	Hormigón HA-25/B/20/IIa, fabricado en central.	0,385	70,73	27,23
mq01exn020a	Maquinaria	h	Retroexcavadora hidráulica sobre neumáticos, de 105 kW.	0,258	46,24	11,93
mq01ret010	Maquinaria	h	Miniretrocargadora sobre neumáticos de 15 kW.	0,120	40,85	4,90
mo044	Mano de obra	h	Oficial 1ª encofrador.	0,619	18,75	11,61
mo091	Mano de obra	h	Ayudante encofrador.	0,825	17,54	14,47
mo043	Mano de obra	h	Oficial 1ª ferrallista.	0,147	18,75	2,76
mo090	Mano de obra	h	Ayudante ferrallista.	0,147	17,54	2,58
mo045	Mano de obra	h	Oficial 1ª estructurista, en trabajos de puesta en obra del hormigón.	0,040	18,75	0,75
mo092	Mano de obra	h	Ayudante estructurista, en trabajos de puesta en obra del hormigón.	0,159	17,54	2,79
mo113	Mano de obra	h	Peón ordinario construcción.	0,341	16,33	5,57
%	%	%	Costes directos complementarios	2,000	107,35	2,15

TRABAJO FINAL DE GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES
 "Diseño estructural de un aparcamiento robotizado subterráneo,
 con capacidad para 96 automóviles"



			CCP005	70,000	112,79	7.895,30
CCP020	Partida	m ²	Muro pantalla de hormigón armado de 80 cm de espesor y hasta 30 m de profundidad, o hasta encontrar roca o capas duras de terreno, realizado por bataches de 2,65 m de longitud, excavados en terreno cohesivo sin rechazo en el SPT, estabilizado mediante el uso de lodos tixotrópicos; realizado con hormigón HA-25/L/12/Ila fabricado en central, y vertido desde camión, a través de tubo Tremie, y acero UNE-EN 10080 B 500 S, cuantía 30 kg/m ² . Formación de muro pantalla de hormigón armado de 80 cm de espesor y hasta 30 m de profundidad, o hasta encontrar roca o capas duras de terreno, realizado por bataches de 2,65 m de longitud, excavados en terreno cohesivo sin rechazo en el SPT, estabilizado mediante el uso de lodos tixotrópicos; realizado con hormigón HA-25/L/12/Ila fabricado en central, y vertido desde camión, con hormigonado continuo sumergido a través de tubo Tremie, y acero UNE-EN 10080 B 500 S, con una cuantía aproximada de 30 kg/m ² . Incluso p/p de limpieza del fondo de la excavación; empleo de lodos, recogida de los sobrantes y regeneración de los mismos; elaboración de la ferralla (corte, doblado y conformado de elementos) en taller industrial y montaje en el lugar definitivo de su colocación en obra, separadores, y colocación y extracción de los encofrados de junta en los extremos verticales de los paneles. Incluye: Excavación por paneles según el orden proyectado, con uso de lodos tixotrópicos. Limpieza de la excavación. Colocación de la armadura. Colocación de los encofrados de juntas entre paneles. Colocación del tubo Tremie. Vertido y compactación del hormigón. Recogida de los lodos tixotrópicos que afloran a medida que se vierte el hormigón y posterior regeneración. Extracción de encofrados de junta. Repetición de las operaciones hasta completar todos los paneles cumpliendo el orden previsto.	968,550	181,30	175.598,12
mt07aco020l	Material	Ud	Separador homologado para muros pantalla.	2,000	0,09	0,18
mt07aco010c	Material	kg	Ferralla elaborada en taller industrial con acero en barras corrugadas, UNE-EN 10080 B 500 S, diámetros varios.	30,000	0,81	24,30
mt08var050	Material	kg	Alambre galvanizado para atar, de 1,30 mm de diámetro.	0,180	1,10	0,20
mt10haf010naa	Material	m ³	Hormigón HA-25/L/12/Ila, fabricado en central.	1,012	77,17	78,10
mq03pae060lh	Maquinaria	h	Maquinaria para excavación de muro pantalla de 80 cm de espesor y hasta 30 m de profundidad, excavación con uso de lodos tixotrópicos, en terreno cohesivo sin rechazo en el SPT, realizada por bataches de 2,65 m de longitud.	0,317	49,92	15,82
mq07gte010c	Maquinaria	h	Grúa autopropulsada de brazo telescópico con una capacidad de elevación de 30 t y 27 m de altura máxima de trabajo.	0,199	66,84	13,30
mq03lod010	Maquinaria	h	Maquinaria para lodos de perforación: desarenadores de lodos, mezcladores de lodos, bombas de lodos, deslimadores y depósitos de almacenamiento.	0,739	8,29	6,13
mo043	Mano de obra	h	Oficial 1ª ferrallista.	0,221	18,75	4,14
mo090	Mano de obra	h	Ayudante ferrallista.	0,221	17,54	3,88
mo045	Mano de obra	h	Oficial 1ª estructurista, en trabajos de puesta en obra del hormigón.	0,298	18,75	5,59
mo092	Mano de obra	h	Ayudante estructurista, en trabajos de puesta en obra del hormigón.	1,193	17,54	20,93
%		%	Costes directos complementarios	2,000	172,57	3,45
CCP020				968,550	181,30	175.598,12
CCP061	Partida	m	Encuentro de muro pantalla y losa de cimentación, mediante la fijación con resina epoxi, cada 400 cm, de 2 barras corrugadas de 16 mm de diámetro de acero B 500 S, en rebaje perimetral ejecutado mediante fresado continuo, sobre el paramento del muro pantalla. Resolución de encuentro de muro pantalla y losa de cimentación, mediante 2 barras corrugadas de 16 mm de diámetro y 100 cm de longitud, de acero UNE-EN 10080 B 500 S, fijadas con resina epoxi cada 400 cm en orificios de 20 mm de diámetro y 250 mm de profundidad, practicados en rebaje perimetral con forma de media caña, de 5 cm de profundidad, ejecutado mediante fresado continuo del paramento del muro pantalla. Incluso p/p de fresado del muro, replanteo de los orificios utilizando sistemas de detección de armaduras, ejecución de los taladros y limpieza de los mismos con aire a presión, inyección de la resina, colocación de las armaduras de espera, acopio, retirada y carga de escombros sobre camión o contenedor. Incluye: Fresado del encuentro entre muro pantalla y losa de cimentación. Replanteo de los orificios sobre el rebaje fresado. Ejecución de los taladros. Limpieza del polvo del interior de los taladros. Inyección de resina epoxi. Colocación de las armaduras de espera. Limpieza de los restos generados.	70,000	79,24	5.546,80
mt07anq010	Material	Ud	Cartucho de adhesivo tixotrópico de dos componentes a base de resina epoxi, de 330 ml, para conexión de barra corrugada de acero y muro pantalla.	0,325	29,73	9,66
mt07aco010g	Material	kg	Acero en barras corrugadas, UNE-EN 10080 B 500 S, suministrado en obra en barras sin elaborar, diámetros varios.	7,900	0,62	4,90
mq03fre010a	Maquinaria	h	Equipo de fresado, para muro pantalla.	0,401	64,90	26,02
mq01pan070b	Maquinaria	h	Mini pala cargadora sobre neumáticos, de 52 kW/1 m ³ kW.	0,424	32,78	13,90
mq06eim060	Maquinaria	h	Aplicador manual para cartuchos de inyección de resinas, con accesorio mezclador.	1,435	1,54	2,21

TRABAJO FINAL DE GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES
 "Diseño estructural de un aparcamiento robotizado subterráneo,
 con capacidad para 96 automóviles"



mo042	Mano de obra	h	Oficial 1ª estructurista.	0,516	18,75	9,68
mo089	Mano de obra	h	Ayudante estructurista.	0,516	17,54	9,05
%		%	Costes directos complementarios CCP061	2,000 70,000	75,42 79,24	1,51 5.546,80
CCP051	Partida	m	Descabezado de la coronación de los paneles del muro pantalla de 80 cm de espesor, con retroexcavadora con martillo rompedor. Demolición del exceso de hormigón existente en la coronación de los paneles del muro pantalla, de 80 cm de espesor, mediante el repicado mecánico con martillo rompedor del tramo comprendido entre el nivel de llenado del hormigón y el nivel de descabezado, hasta asegurar la ausencia de hormigón contaminado por lodos y la calidad descrita en el Proyecto. Incluso p/p de replanteo, marcado y corte del nivel de descabezado, picado manual con compresor portátil de los restos del descabezado, enderezado de las armaduras de espera del muro que pudieron doblarse con el repicado, limpieza de la superficie picada de hormigón y retirada y carga de escombros sobre camión o contenedor. Incluye: Replanteo, marcado y corte del nivel de descabezado. Picado mecánico con martillo rompedor del hormigón contaminado existente en la coronación de la pantalla. Picado manual con compresor portátil de los restos del descabezado. Enderezado de las armaduras. Limpieza de la superficie de hormigón. Recogida de restos. Carga de escombros sobre camión o contenedor..	70,000	128,98	9.028,60
mq01exn050c	Maquinaria	h	Retroexcavadora sobre neumáticos, de 85 kW, con martillo rompedor.	0,446	64,84	28,92
mq05pdm010a	Maquinaria	h	Compresor portátil eléctrico 2 m³/min de caudal.	0,971	3,80	3,69
mq05mai030	Maquinaria	h	Martillo neumático.	1,943	4,07	7,91
mo112	Mano de obra	h	Peón especializado construcción.	3,317	16,63	55,16
mo113	Mano de obra	h	Peón ordinario construcción.	1,658	16,33	27,08
%		%	Costes directos complementarios CCP051	2,000 70,000	122,76 128,98	2,46 9.028,60
CC				206.433,03	206.433,03	
CS	Capítulo		Superficiales	47.006,69	47.006,69	
CSL030	Partida	m³	Losa de cimentación de hormigón armado, realizada con hormigón HA-25/B/20/IIa fabricado en central y vertido con cubilote, y acero UNE-EN 10080 B 500 S, cuantía 47,9 kg/m³; acabado superficial liso mediante regla vibrante. Formación de losa de cimentación de hormigón armado, realizada con hormigón HA-25/B/20/IIa fabricado en central y vertido con cubilote, y acero UNE-EN 10080 B 500 S, con una cuantía aproximada de 47,9 kg/m³; acabado superficial liso mediante regla vibrante. Incluso p/p de refuerzos, pliegues, encuentros, arranques y esperas en muros, escaleras y rampas, cambios de nivel, malla metálica de alambre en cortes de hormigonado, formación de foso de ascensor, elaboración y montaje de la ferralla en el lugar definitivo de su colocación en obra, separadores, colocación y fijación de colectores de saneamiento en losa, vibrado del hormigón con regla vibrante, formación de juntas de construcción y curado del hormigón. Incluye: Replanteo y trazado de la losa y de los pilares u otros elementos estructurales que apoyen en la misma. Colocación de separadores y fijación de las armaduras. Conexionado, anclaje y emboquillado de las redes de instalaciones proyectadas. Vertido y compactación del hormigón. Coronación y enrase de cimientos. Curado del hormigón.	316,650	148,45	47.006,69
mt07aco020a	Material	Ud	Separador homologado para cimentaciones.	5,000	0,13	0,65
mt07aco010g	Material	kg	Acero en barras corrugadas, UNE-EN 10080 B 500 S, suministrado en obra en barras sin elaborar, diámetros varios.	48,830	0,62	30,27
mt08var050	Material	kg	Alambre galvanizado para atar, de 1,30 mm de diámetro.	0,240	1,10	0,26
mt10haf010nga	Material	m³	Hormigón HA-25/B/20/IIa, fabricado en central.	1,050	70,73	74,27
mq06vib020	Maquinaria	h	Regla vibrante de 3 m.	0,383	4,66	1,78
mo043	Mano de obra	h	Oficial 1ª ferrallista.	0,376	18,75	7,05
mo090	Mano de obra	h	Ayudante ferrallista.	0,565	17,54	9,91
mo045	Mano de obra	h	Oficial 1ª estructurista, en trabajos de puesta en obra del hormigón.	0,430	18,75	8,06
mo092	Mano de obra	h	Ayudante estructurista, en trabajos de puesta en obra del hormigón.	0,516	17,54	9,05
%		%	Costes directos complementarios CSL030	2,000 316,650	141,30 148,45	2,83 47.006,69
CS				47.006,69	47.006,69	
C				256.479,56	256.479,56	
E	Capítulo		Estructuras	228.819,30	228.819,30	
EA	Capítulo		Acero	122.256,25	122.256,25	

TRABAJO FINAL DE GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES
 "Diseño estructural de un aparcamiento robotizado subterráneo,
 con capacidad para 96 automóviles"



EAS030	Partida	Ud	Placa de anclaje de acero S275JR en perfil plano, de 300x300 mm y espesor 14 mm, con 4 pernos de acero corrugado UNE-EN 10080 B 500 S de 14 mm de diámetro y 48,3973 cm de longitud total, soldados. Suministro y montaje de placa de anclaje de acero UNE-EN 10025 S275JR en perfil plano, de 300x300 mm y espesor 14 mm, con 4 pernos soldados de acero corrugado UNE-EN 10080 B 500 S de 14 mm de diámetro y 48,3973 cm de longitud total. Trabajado y montado en taller. Incluso p/p de taladro central, preparación de bordes, biselado alrededor del taladro para mejorar la unión del perno a la cara superior de la placa, soldaduras, cortes, pletinas, piezas especiales, despuntes y reparación en obra de cuantos desperfectos se originen por razones de transporte, manipulación o montaje. Incluye: Limpieza y preparación del plano de apoyo. Replanteo y marcado de los ejes. Colocación y fijación provisional de la placa. Aplomado y nivelación.	12,000	33,86	406,32
mt07ala011d	Material	kg	Pletina de acero laminado UNE-EN 10025 S275JR, para aplicaciones estructurales.	10,598	1,34	14,20
mt07aco010c	Material	kg	Ferralla elaborada en taller industrial con acero en barras corrugadas, UNE-EN 10080 B 500 S, diámetros varios.	2,344	0,81	1,90
mo047	Mano de obra	h	Oficial 1ª montador de estructura metálica.	0,485	18,75	9,09
mo094	Mano de obra	h	Ayudante montador de estructura metálica.	0,485	17,54	8,51
%		%	Costes directos complementarios EAS030b	2,000 10,000	33,70 35,40	0,67 354,00
EAS030c	Partida	Ud	Placa de anclaje de acero S275JR en perfil plano, con rigidizadores, de 300x300 mm y espesor 15 mm, con 4 pernos de acero corrugado UNE-EN 10080 B 500 S de 14 mm de diámetro y 48,4973 cm de longitud total, soldados. Suministro y montaje de placa de anclaje de acero UNE-EN 10025 S275JR en perfil plano, con rigidizadores, de 300x300 mm y espesor 15 mm, con 4 pernos soldados de acero corrugado UNE-EN 10080 B 500 S de 14 mm de diámetro y 48,4973 cm de longitud total. Trabajado y montado en taller. Incluso p/p de taladro central, preparación de bordes, biselado alrededor del taladro para mejorar la unión del perno a la cara superior de la placa, soldaduras, cortes, pletinas, piezas especiales, despuntes y reparación en obra de cuantos desperfectos se originen por razones de transporte, manipulación o montaje. Incluye: Limpieza y preparación del plano de apoyo. Replanteo y marcado de los ejes. Colocación y fijación provisional de la placa. Aplomado y nivelación.	10,000	44,29	442,90
mt07ala011d	Material	kg	Pletina de acero laminado UNE-EN 10025 S275JR, para aplicaciones estructurales.	13,028	1,34	17,46
mt07aco010c	Material	kg	Ferralla elaborada en taller industrial con acero en barras corrugadas, UNE-EN 10080 B 500 S, diámetros varios.	2,344	0,81	1,90
mo047	Mano de obra	h	Oficial 1ª montador de estructura metálica.	0,628	18,75	11,78
mo094	Mano de obra	h	Ayudante montador de estructura metálica.	0,628	17,54	11,02
%		%	Costes directos complementarios EAS030c	2,000 10,000	42,16 44,29	0,84 442,90
EAS040	Partida	kg	Acero S275JR en pilares, con piezas simples de perfiles laminados en caliente de la serie HEB, con uniones atornilladas en obra. Suministro y montaje de acero UNE-EN 10025 S275JR, en pilares, con piezas simples de perfiles laminados en caliente de la serie HEB, con uniones atornilladas en obra. Trabajado y montado en taller, con preparación de superficies en grado SA21/2 según UNE-EN ISO 8501-1 y aplicación posterior de dos manos de imprimación con un espesor mínimo de película seca de 30 micras por mano. Incluso p/p de preparación de bordes, tornillos, cortes, piezas especiales, placas de arranque y transición de pilar inferior a superior, mortero sin retracción para retacado de placas, despuntes y reparación en obra de cuantos desperfectos se originen por razones de transporte, manipulación o montaje, con el mismo grado de preparación de superficies e imprimación. Incluye: Limpieza y preparación del plano de apoyo. Replanteo y marcado de los ejes. Colocación y fijación provisional del soporte. Aplomado y nivelación. Ejecución de las uniones. Reparación de defectos superficiales.	26.248,000	2,30	60.370,40
mt07ala010h	Material	kg	Acero laminado UNE-EN 10025 S275JR, en perfiles laminados en caliente, piezas simples, para aplicaciones estructurales.	1,050	0,99	1,04
mt27pfi010	Material	l	Imprimación de secado rápido, formulada con resinas alquídicas modificadas y fosfato de zinc.	0,050	4,80	0,24
mo047	Mano de obra	h	Oficial 1ª montador de estructura metálica.	0,025	18,75	0,47
mo094	Mano de obra	h	Ayudante montador de estructura metálica.	0,025	17,54	0,44
%		%	Costes directos complementarios EAS040	2,000 26.248,000	2,19 2,30	0,04 60.370,40
EAV030	Partida	kg	Acero S275JR en vigas, con piezas simples de perfiles laminados en caliente de la serie HEB, con uniones atornilladas en obra.	25.980,960	2,26	58.716,97

TRABAJO FINAL DE GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES
 “Diseño estructural de un aparcamiento robotizado subterráneo,
 con capacidad para 96 automóviles”



Suministro y montaje de acero UNE-EN 10025 S275JR, en vigas con piezas simples de perfiles laminados en caliente de la serie HEB, con uniones atornilladas en obra. Trabajado y montado en taller, con preparación de superficies en grado SA21/2 según UNE-EN ISO 8501-1 y aplicación posterior de dos manos de imprimación con un espesor mínimo de película seca de 30 micras por mano. Incluso p/p de preparación de bordes, tornillos, cortes, piezas especiales, despuntes y reparación en obra de cuantos desperfectos se originen por razones de transporte, manipulación o montaje, con el mismo grado de preparación de superficies e imprimación.

Incluye: Limpieza y preparación del plano de apoyo. Replanteo y marcado de los ejes. Colocación y fijación provisional de la viga. Aplomado y nivelación. Ejecución de las uniones. Reparación de defectos superficiales.

mt07ala010h	Material	kg	Acero laminado UNE-EN 10025 S275JR, en perfiles laminados en caliente, piezas simples, para aplicaciones estructurales.	1,050	0,99	1,04
mt27pfi010	Material	l	Imprimación de secado rápido, formulada con resinas alquídicas modificadas y fosfato de zinc.	0,050	4,80	0,24
mo047	Mano de obra	h	Oficial 1ª montador de estructura metálica.	0,024	18,75	0,45
mo094	Mano de obra	h	Ayudante montador de estructura metálica.	0,024	17,54	0,42
%	%	%	Costes directos complementarios EAV030	2,000 25.980,960	2,15 2,26	0,04 58.716,97

EAV030b	Partida	kg	Acero S275JR en vigas, con piezas simples de perfiles laminados en caliente de la serie IPE, con uniones atornilladas en obra. Suministro y montaje de acero UNE-EN 10025 S275JR, en vigas con piezas simples de perfiles laminados en caliente de la serie IPE, con uniones atornilladas en obra. Trabajado y montado en taller, con preparación de superficies en grado SA21/2 según UNE-EN ISO 8501-1 y aplicación posterior de dos manos de imprimación con un espesor mínimo de película seca de 30 micras por mano. Incluso p/p de preparación de bordes, tornillos, cortes, piezas especiales, despuntes y reparación en obra de cuantos desperfectos se originen por razones de transporte, manipulación o montaje, con el mismo grado de preparación de superficies e imprimación. Incluye: Limpieza y preparación del plano de apoyo. Replanteo y marcado de los ejes. Colocación y fijación provisional de la viga. Aplomado y nivelación. Ejecución de las uniones. Reparación de defectos superficiales.	869,760	2,26	1.965,66
----------------	---------	----	---	---------	------	----------

mt07ala010h	Material	kg	Acero laminado UNE-EN 10025 S275JR, en perfiles laminados en caliente, piezas simples, para aplicaciones estructurales.	1,050	0,99	1,04
mt27pfi010	Material	l	Imprimación de secado rápido, formulada con resinas alquídicas modificadas y fosfato de zinc.	0,050	4,80	0,24
mo047	Mano de obra	h	Oficial 1ª montador de estructura metálica.	0,024	18,75	0,45
mo094	Mano de obra	h	Ayudante montador de estructura metálica.	0,024	17,54	0,42
%	%	%	Costes directos complementarios EAV030b	2,000 869,760	2,15 2,26	0,04 1.965,66

			EA	122.256,25	122.256,25
EH	Capítulo	Hormigón armado		18.644,27	18.644,27

EHL030	Partida	m ²	Losa maciza de hormigón armado, horizontal, canto 20 cm, realizada con hormigón HA-25/B/20/IIa fabricado en central y vertido con cubilote, y acero UNE-EN 10080 B 500 S, cuantía 16,9 kg/m ² ; montaje y desmontaje del sistema de encofrado de madera; altura libre de planta de hasta 3 m. Sin incluir repercusión de pilares. Formación de losa maciza de hormigón armado, horizontal, con altura libre de planta de hasta 3 m, canto 20 cm, realizada con hormigón HA-25/B/20/IIa fabricado en central y vertido con cubilote, y acero UNE-EN 10080 B 500 S, con una cuantía aproximada de 16,9 kg/m ² ; montaje y desmontaje del sistema de encofrado continuo con puntales, sopandas metálicas y superficie encofrante de madera tratada reforzada con varillas y perfiles. Incluso p/p de replanteo, nervios y zunchos perimetrales de planta y huecos, elaboración de la ferralla (corte, doblado y conformado de elementos) en taller industrial y montaje en el lugar definitivo de su colocación en obra, y curado del hormigón. Sin incluir repercusión de pilares. Incluye: Replanteo del sistema de encofrado. Montaje del sistema de encofrado. Replanteo de la geometría de la planta sobre el encofrado. Colocación de armaduras con separadores homologados. Vertido y compactación del hormigón. Regleado y nivelación de la capa de compresión. Curado del hormigón. Desmontaje del sistema de encofrado. Reparación de defectos superficiales. Criterio de medición de proyecto: Superficie medida en verdadera magnitud desde las caras exteriores de los zunchos del perímetro, según documentación gráfica de Proyecto, deduciendo los huecos de superficie mayor de 6 m ² .	210,100	88,74	18.644,27
---------------	---------	----------------	---	---------	-------	-----------

mt08efl010a	Material	m ²	Sistema de encofrado continuo para losa de hormigón armado, hasta 3 m de altura libre de planta, compuesto de: puntales, sopandas metálicas y superficie encofrante de madera tratada reforzada con varillas y perfiles.	1,100	14,78	16,26
mt07aco020i	Material	Ud	Separador homologado para losas macizas.	3,000	0,08	0,24

TRABAJO FINAL DE GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES
 "Diseño estructural de un aparcamiento robotizado subterráneo,
 con capacidad para 96 automóviles"



mt07aco010c	Material	kg	Ferralla elaborada en taller industrial con acero en barras corrugadas, UNE-EN 10080 B 500 S, diámetros varios.	16,926	0,81	13,71
mt08var050	Material	kg	Alambre galvanizado para atar, de 1,30 mm de diámetro.	0,203	1,10	0,22
mt10haf010nga	Material	m ³	Hormigón HA-25/B/20/IIa, fabricado en central.	0,210	70,73	14,85
mo044	Mano de obra	h	Oficial 1ª encofrador.	0,678	18,75	12,71
mo091	Mano de obra	h	Ayudante encofrador.	0,678	17,54	11,89
mo043	Mano de obra	h	Oficial 1ª ferrallista.	0,275	18,75	5,16
mo090	Mano de obra	h	Ayudante ferrallista.	0,229	17,54	4,02
mo045	Mano de obra	h	Oficial 1ª estructurista, en trabajos de puesta en obra del hormigón.	0,060	18,75	1,13
mo092	Mano de obra	h	Ayudante estructurista, en trabajos de puesta en obra del hormigón.	0,244	17,54	4,28
%		%	Costes directos complementarios EHL030	2,000 210,100	84,47 88,74	1,69 18.644,27
EH				18.644,27	18.644,27	18.644,27
EP	Capítulo	Hormigón prefabricado		87.918,78	87.918,78	87.918,78
EPF020	Partida	m ²	Losa de placas alveolares prefabricadas 'LAV-P15+0 Recubrimiento 40mm, referencia LAV-P15/1' "VIBRAVIO (TENERIFE)" de hormigón pretensado, de canto 15 cm; acero UNE-EN 10080 B 500 S, cuantía 1,3 kg/m ² ; hormigón HA-25/B/12/IIa fabricado en central y vertido con cubilote. Sin incluir repercusión de apoyos ni pilares. Suministro y colocación de placas alveolares prefabricadas 'LAV-P15+0 Recubrimiento 40mm, referencia LAV-P15/1' "VIBRAVIO (TENERIFE)" de 15 cm de canto y 120 cm de anchura, para formación de losa de canto 15 cm; acero UNE-EN 10080 B 500 S, en zona de negativos, cuantía 1,3 kg/m ² y hormigón HA-25/B/12/IIa fabricado en central y vertido con cubilote en relleno de juntas entre placas y zonas de enlace con apoyos. Incluso p/p de cortes longitudinales paralelos a los laterales de las placas alveolares; cortes transversales oblicuos, cajeados, taladros y formación de huecos, 1 kg/m ² de piezas de acero UNE-EN 10025 S275JR tipo Omega, en posición invertida, laminado en caliente, con recubrimiento galvanizado, montaje mediante grúa, apeos necesarios y curado del hormigón. Sin incluir repercusión de apoyos ni pilares. Incluye: Replanteo de la geometría de la planta. Montaje de las placas alveolares. Enlace de la losa con sus apoyos. Cortes, taladros y huecos. Colocación de las armaduras con separadores homologados. Vertido y compactación del hormigón. Curado del hormigón. Reparación de defectos superficiales.	1.468,740	59,86	87.918,78
mt07pha021dt1f	Material	m ²	Placa alveolar prefabricada de hormigón pretensado de 15 cm de canto y 120 cm de anchura, con junta lateral abierta superiormente. Según UNE-EN 1168.	1,000	30,00	30,00
mt07ala250b	Material	kg	Acero laminado UNE-EN 10025 S275JR, en pieza para apoyo de placa prefabricada de hormigón en hueco de forjado, compuesta por perfiles laminados en caliente de las series L, LD, T y pletina, trabajado en taller, acabado galvanizado en caliente.	1,000	2,64	2,64
mt07aco010c	Material	kg	Ferralla elaborada en taller industrial con acero en barras corrugadas, UNE-EN 10080 B 500 S, diámetros varios.	1,259	0,81	1,02
mt10haf010nca	Material	m ³	Hormigón HA-25/B/12/IIa, fabricado en central.	0,010	72,57	0,73
mq07gte010c	Maquinaria	h	Grúa autopropulsada de brazo telescópico con una capacidad de elevación de 30 t y 27 m de altura máxima de trabajo.	0,175	66,84	11,70
mo046	Mano de obra	h	Oficial 1ª montador de estructura prefabricada de hormigón.	0,300	18,75	5,63
mo093	Mano de obra	h	Ayudante montador de estructura prefabricada de hormigón.	0,300	17,54	5,26
%		%	Costes directos complementarios EPF020	2,000 1.468,740	56,98 59,86	1,14 87.918,78
EP				87.918,78	87.918,78	87.918,78
E				228.819,30	228.819,30	228.819,30
TFG				638.561,34	638.561,34	638.561,34



RESUMEN PRESUPUESTO :

1 Excavación .	153.262,48€
2 Cimentaciones	
2.1 Regularización .	3.039,84€
2.2 Contenciones .	206.433,03€
2.3 Superficiales .	47.006,69€
Total 2 Cimentaciones	256.479,56€
3 Estructuras	
3.1 Acero .	122.256,25€
3.2 Hormigón armado .	18.644,27€
3.3 Hormigón prefabricado .	87.918,78€
Total 3 Estructuras	228.819,30€
Presupuesto de ejecución material	638.561,34€
13% de gastos generales	83.012,97€
6% de beneficio industrial	38.313,68€
Suma	759.887,99€
21% IVA	159.576,48€
Presupuesto de ejecución por contrata	919.464,47€

Asciende el presupuesto de ejecución por contrata a la expresada cantidad de NOVECIENTOS DIECINUEVE MIL CUATROCIENTOS SESENTA Y CUATRO EUROS CON CUARENTA Y SIETE CÉNTIMOS.



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA
SUPERIOR INGENIEROS
INDUSTRIALES VALENCIA

TRABAJO FIN DE GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

DISEÑO ESTRUCTURAL DE UN APARCAMIENTO ROBOTIZADO SUBTERRÁNEO, CON CAPACIDAD PARA 96 AUTOMÓVILES

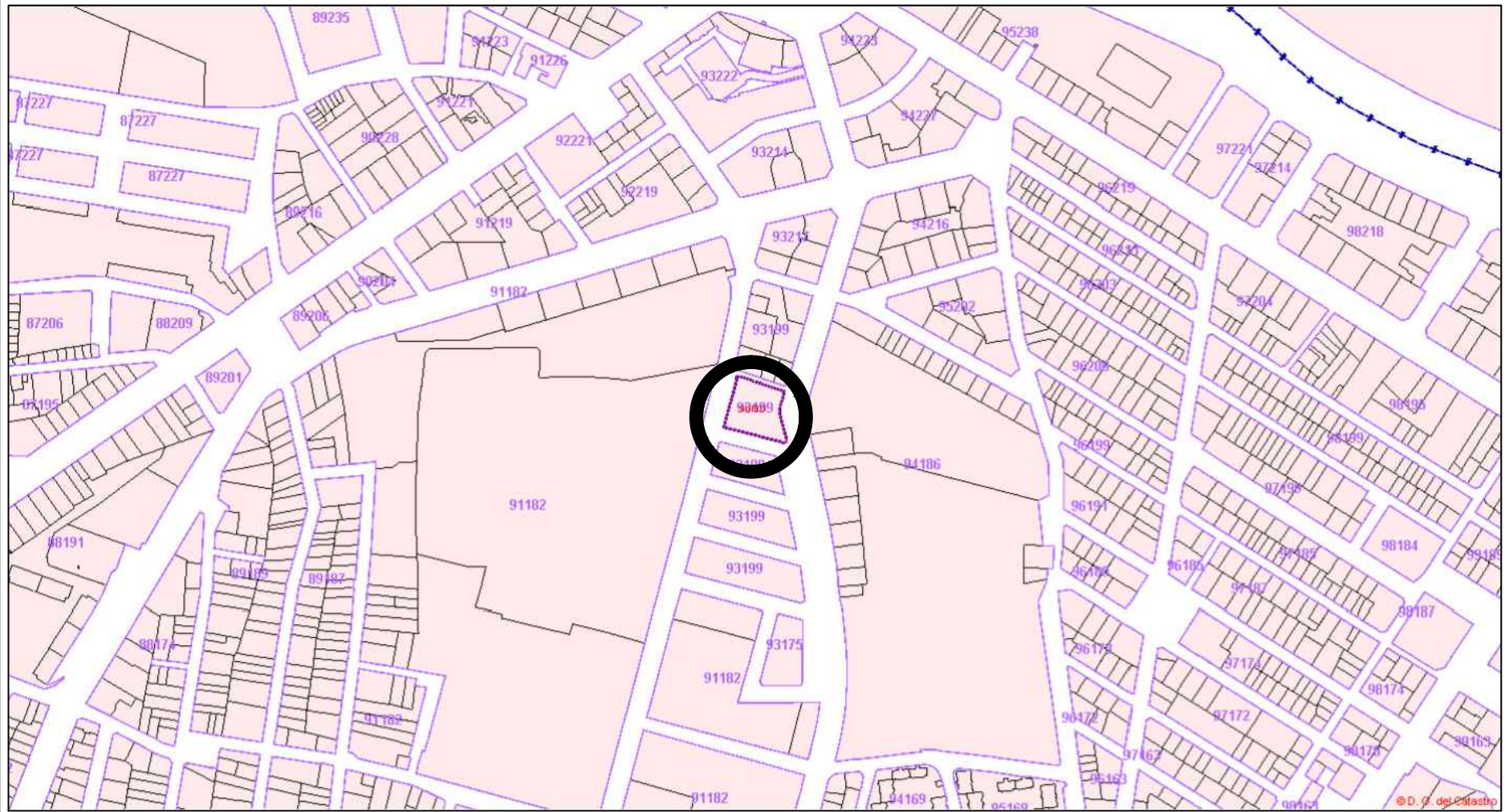
PLANOS

AUTOR: JUAN CARLOS TARÍN TOMÁS

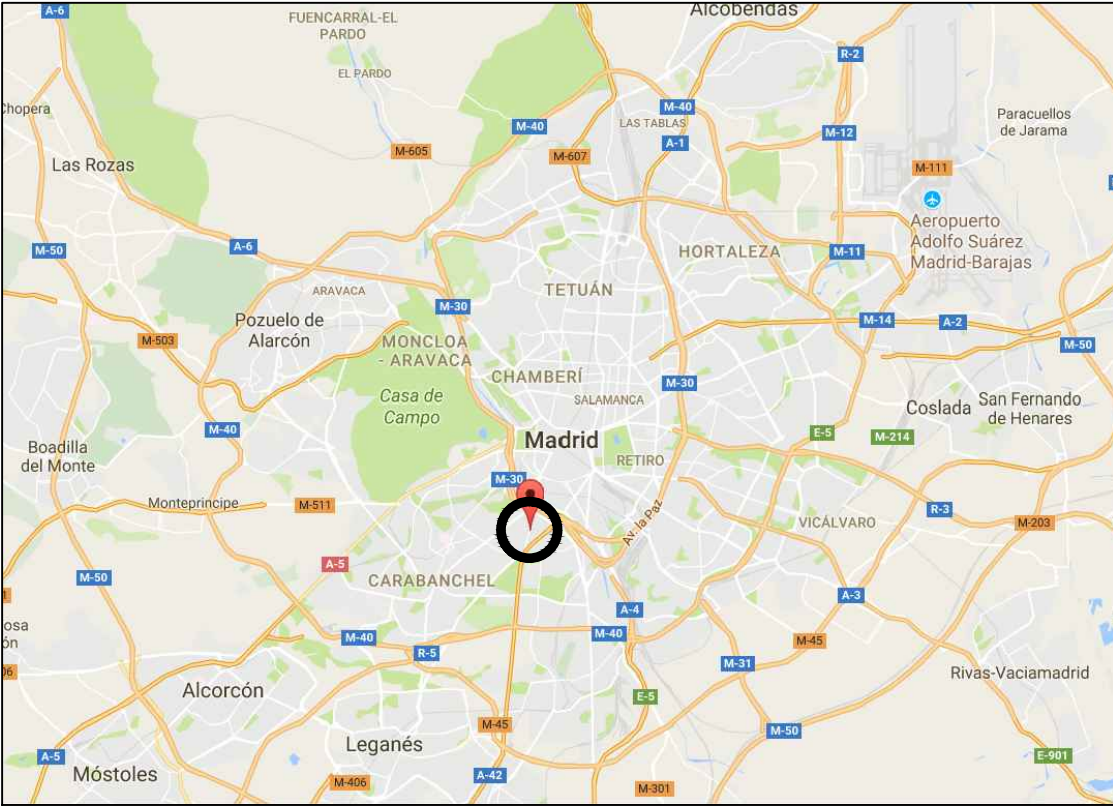
TUTOR: ANDRÉS LAPUEBLA FERRI

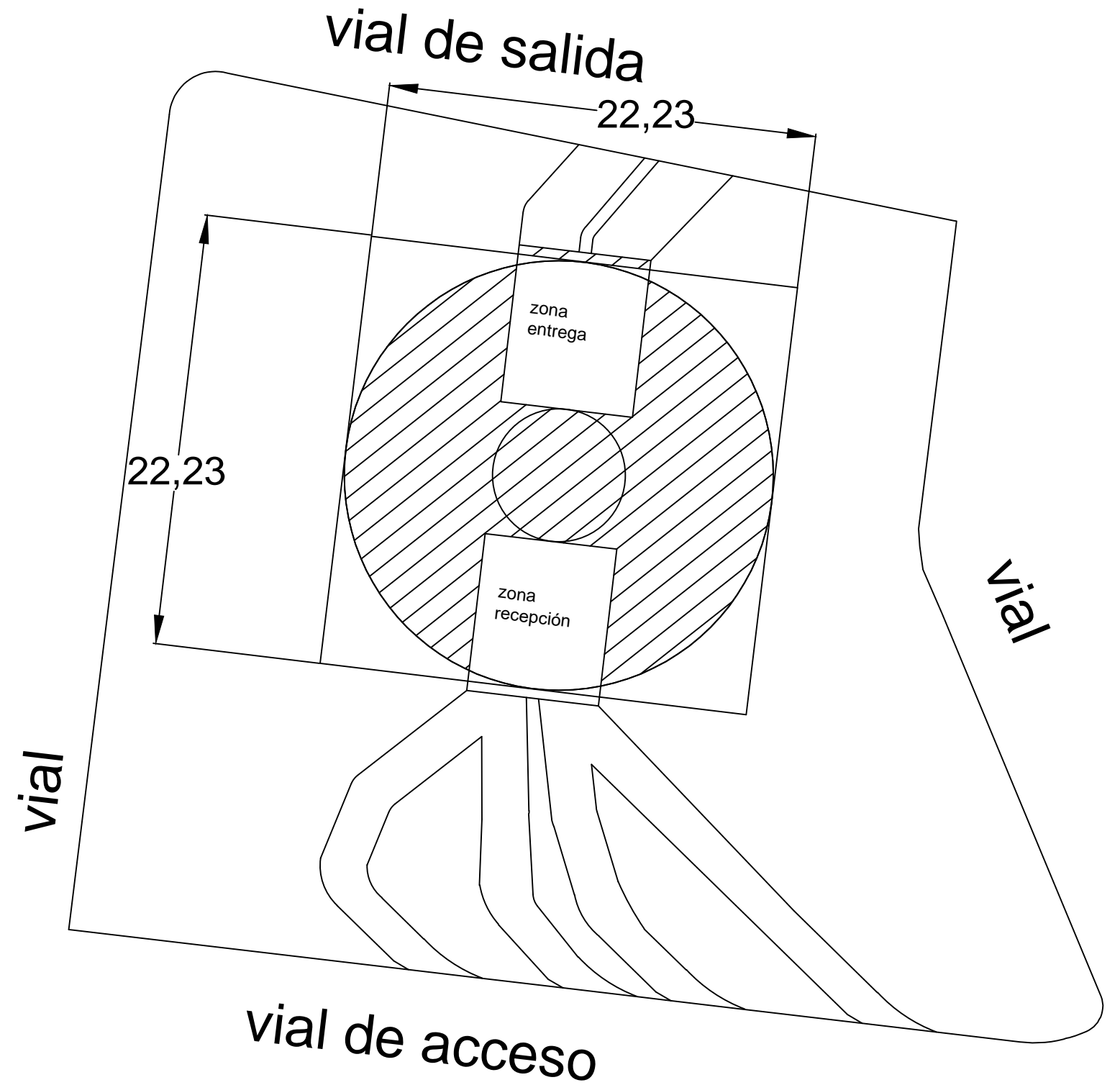
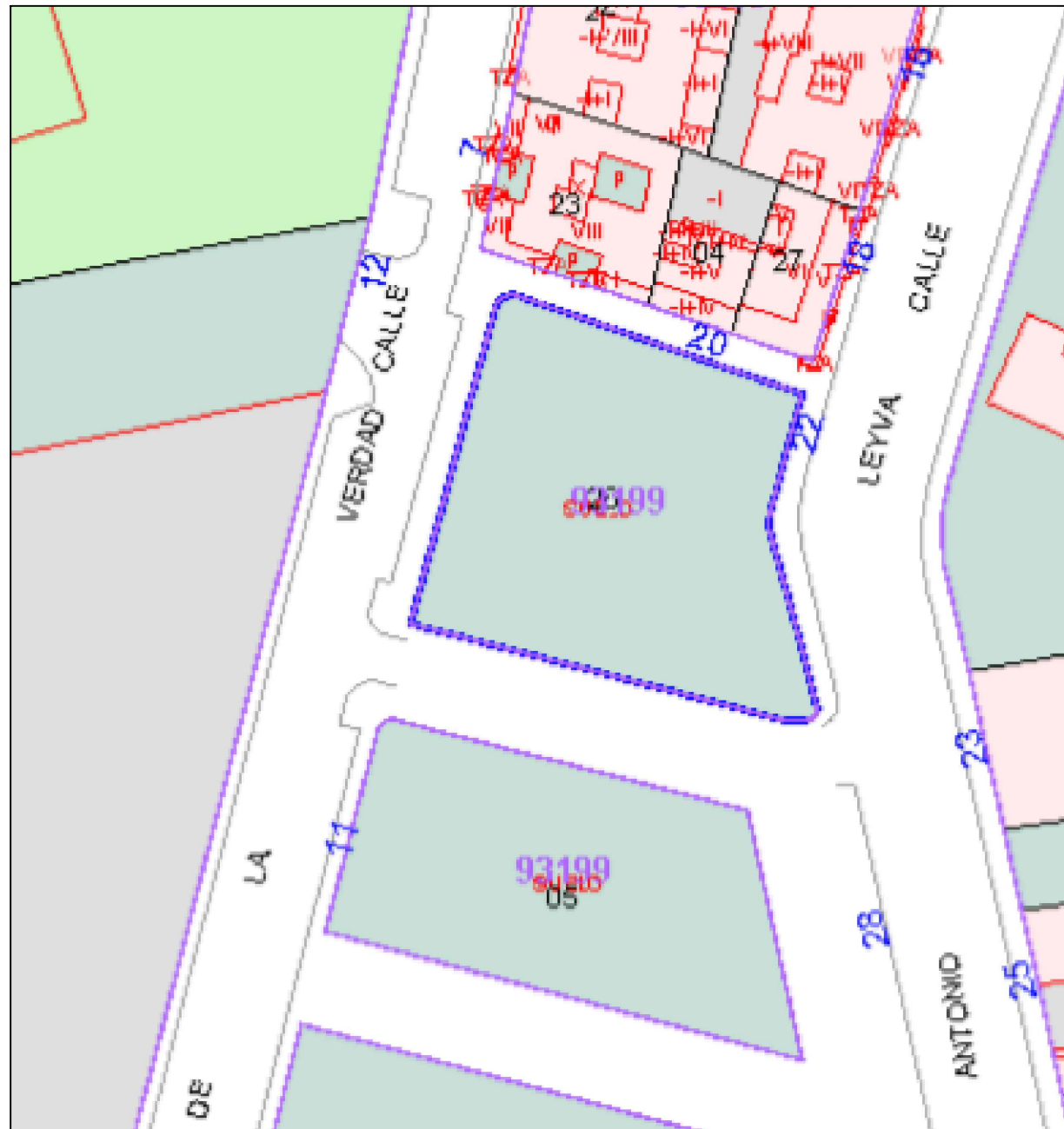
Selección: HÉCTOR SAURA ARNAU

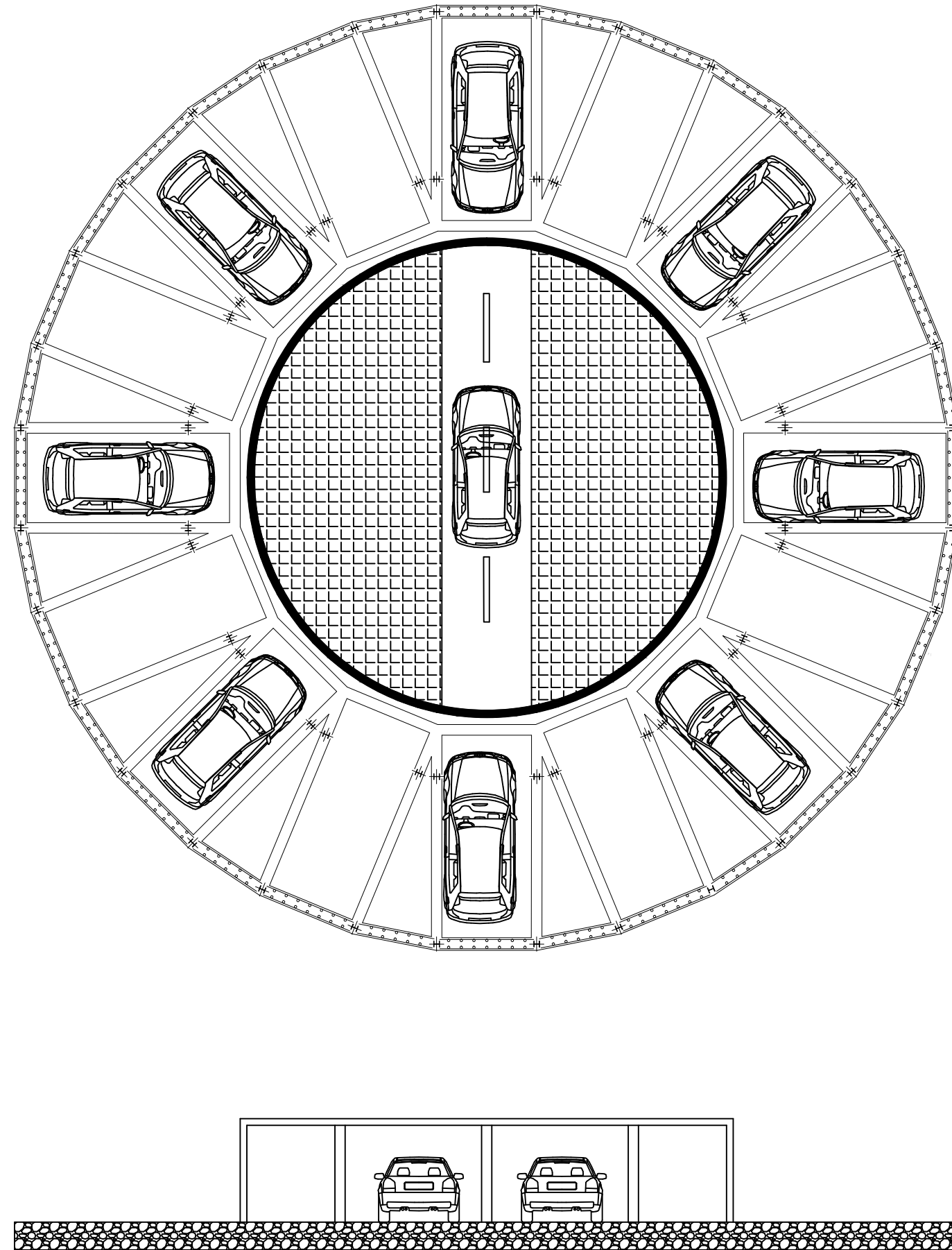
Curso Académico: Selec

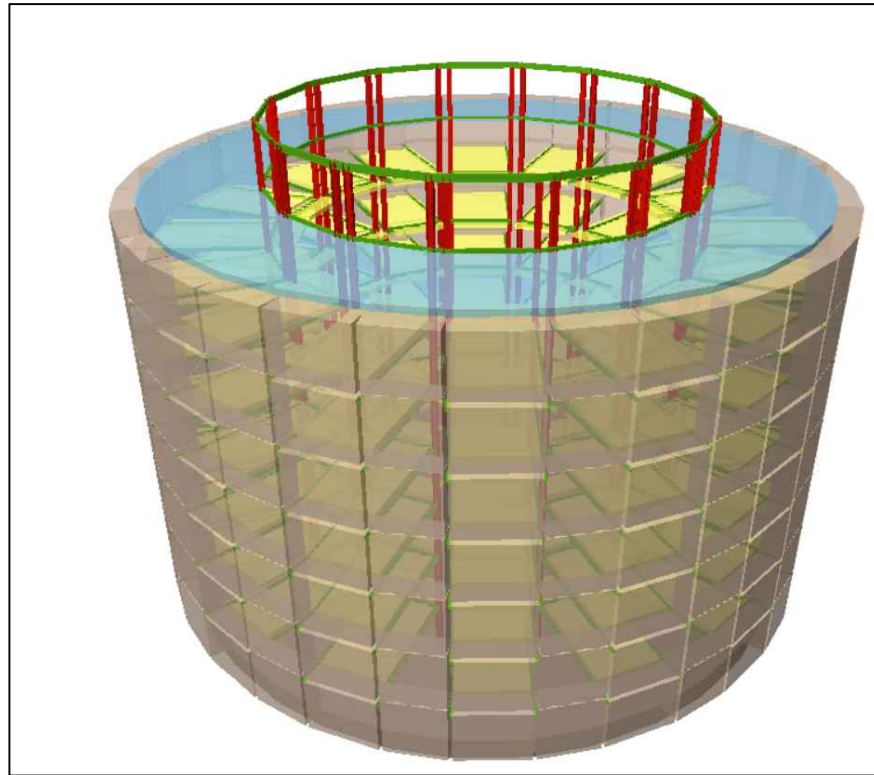


1:5000

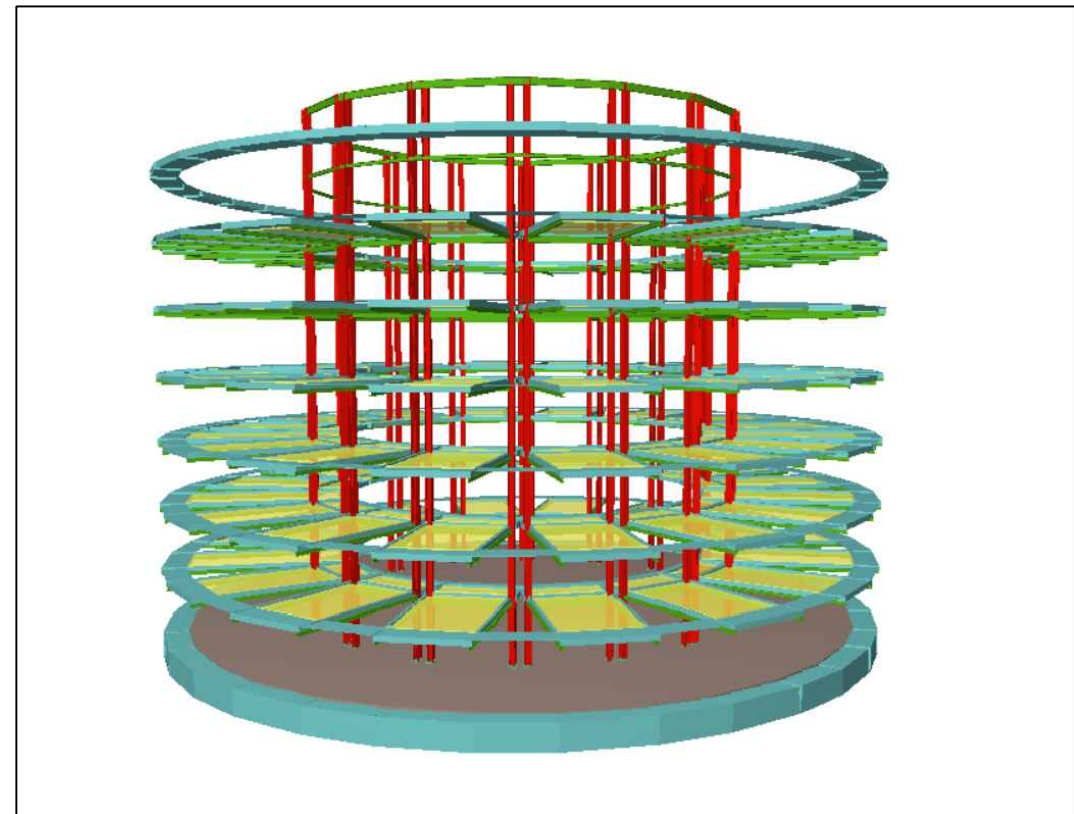




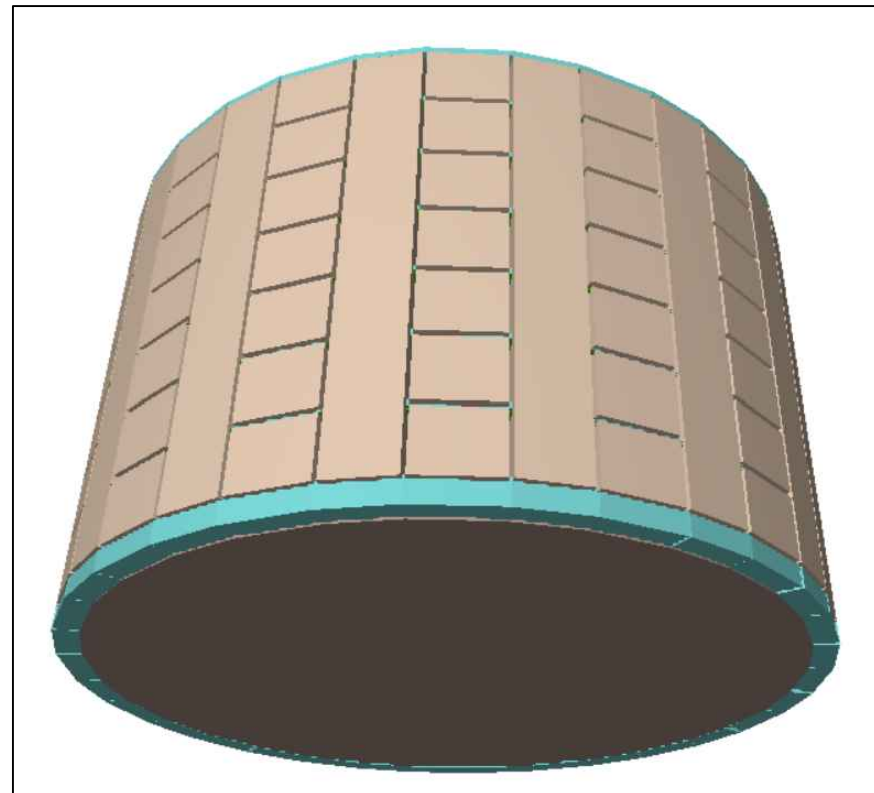




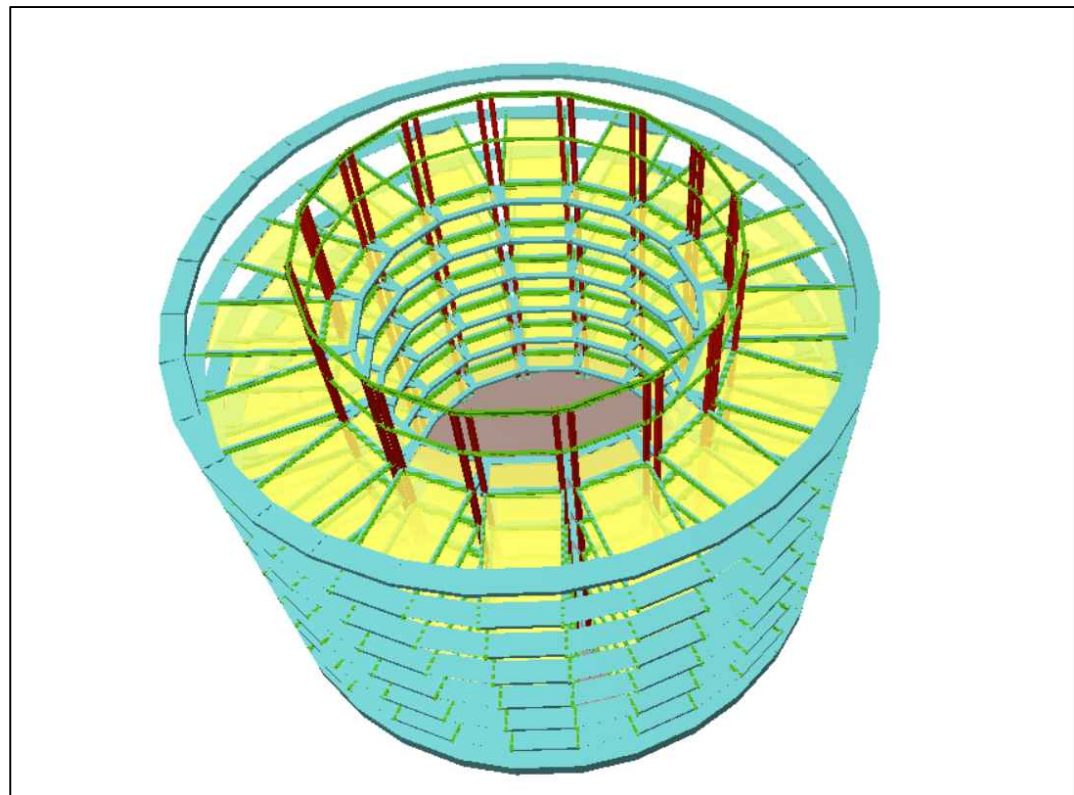
VISTA 3D ESTRUCTURA COMPLETA



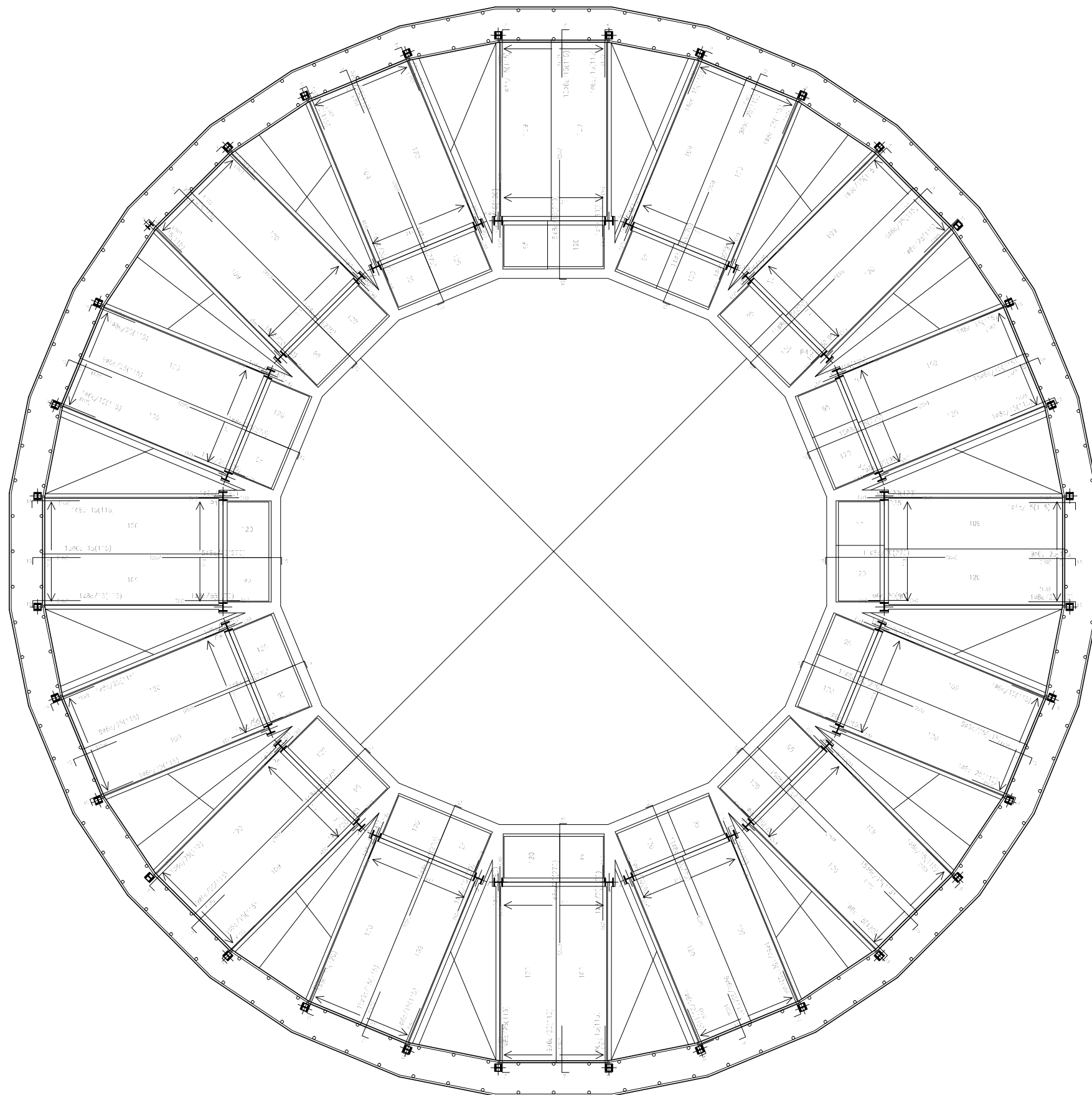
ESTRUCTURA METÁLICA Y FORJADOS



VIGA Y LOSA DE CIMENTACIÓN

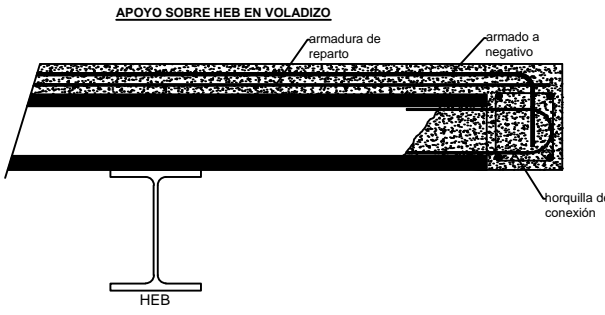


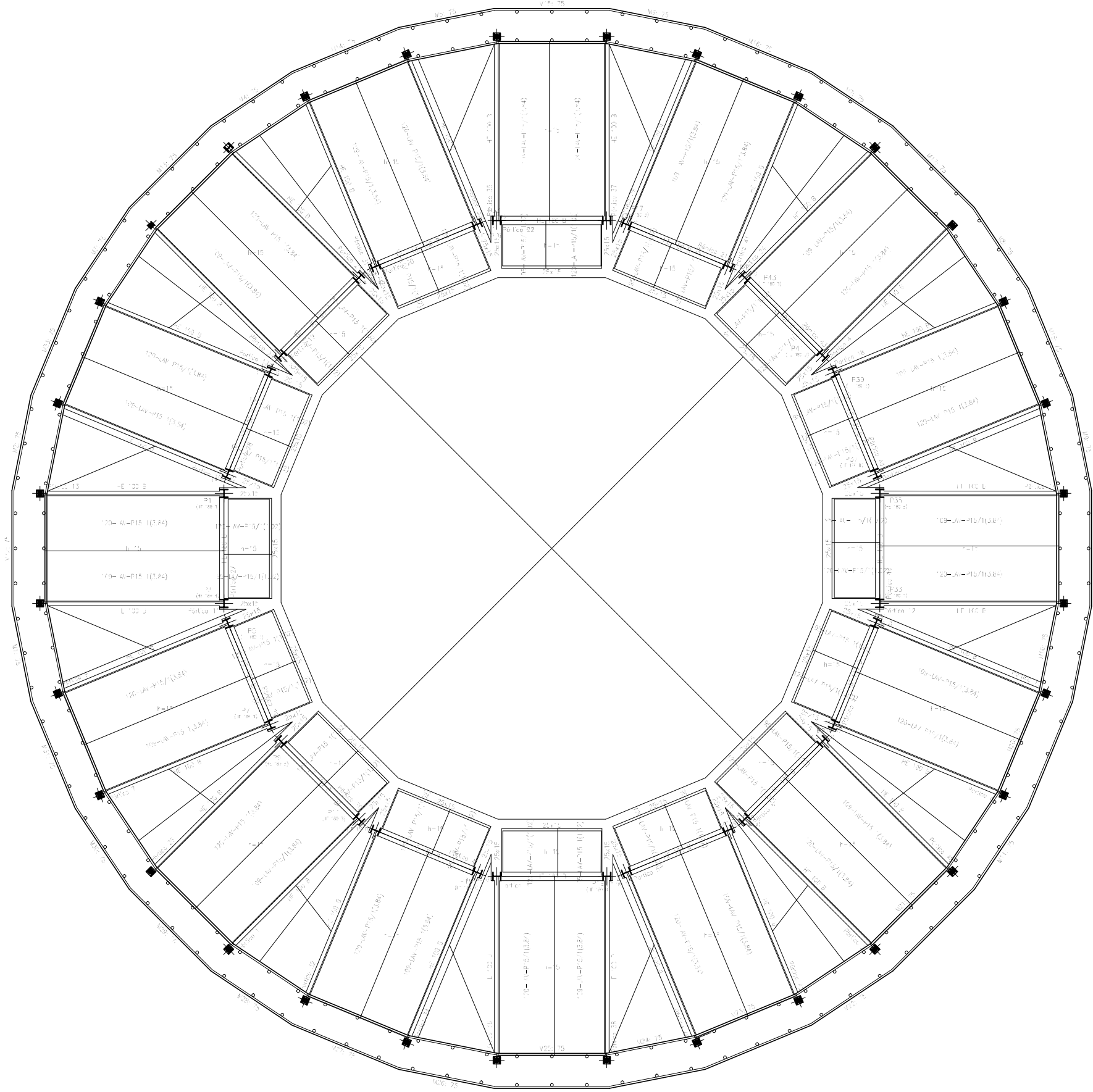
VISTA SUPERIOR HUECO INTERNO



Estado: Superior
 Proyecto: Estructuras
 Acciones: Estructuras
 Acciones en edificios: Estructuras
 Consultas de cálculos: Estructuras
 Consultas de cálculos: Estructuras
 Consultas de cálculos: Estructuras
 Consultas de cálculos: Estructuras

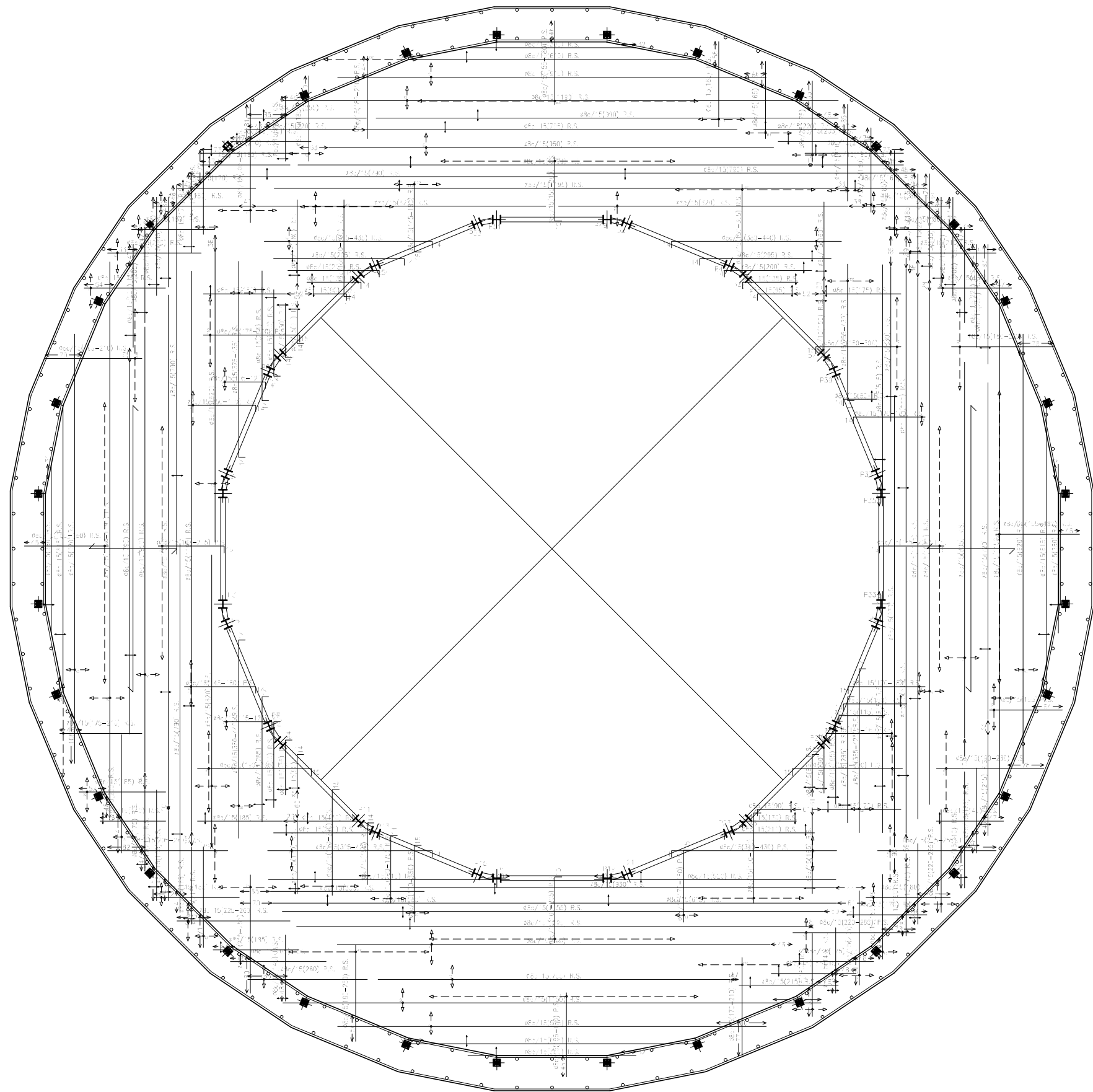
Apoyo en extremo de vano sobre viga metálica.
 Forjado reticular.
 Bloques perdidos.



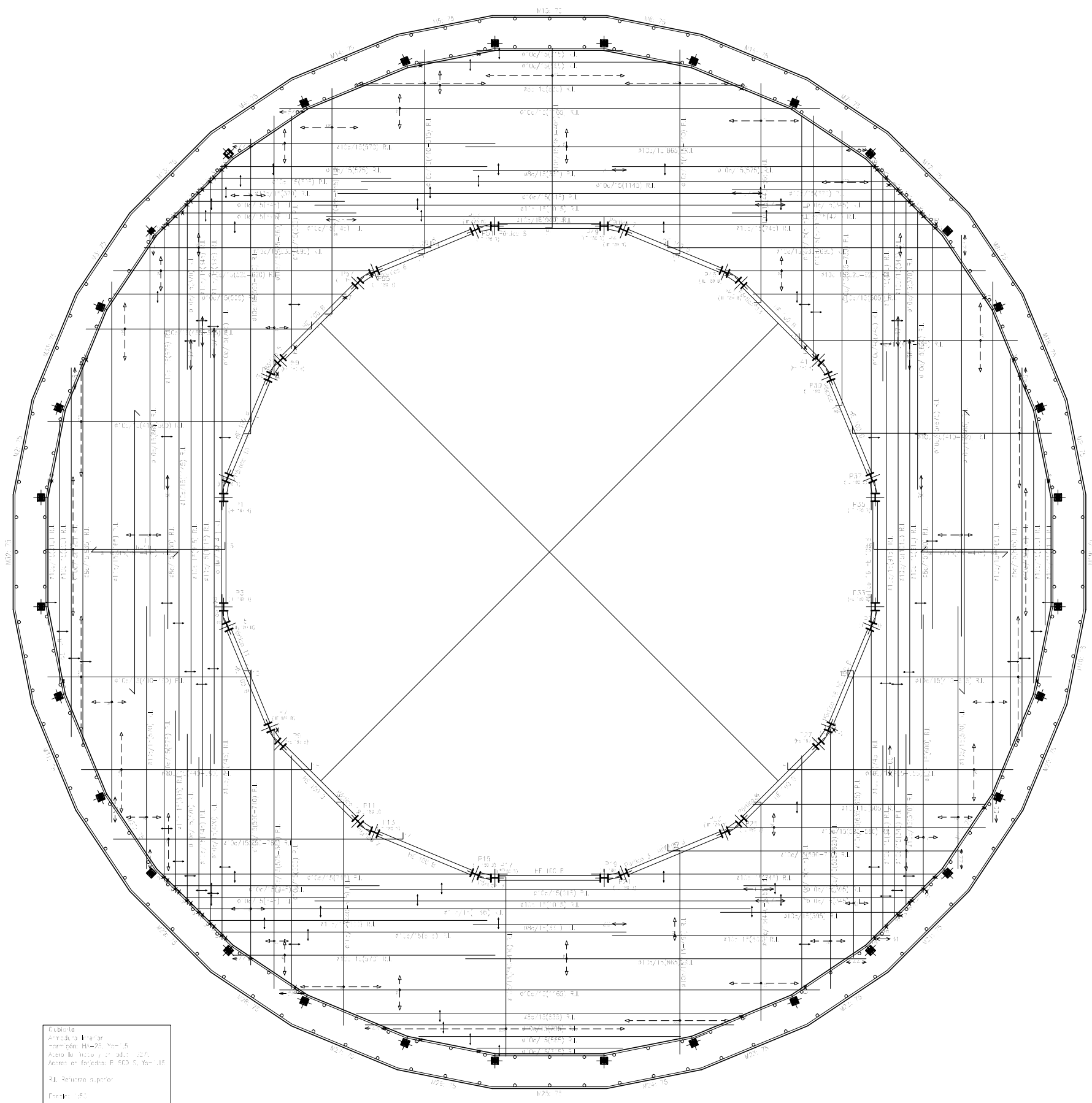


Sección 2
 Ancho: 1.00 m
 Altura: 2.50 m
 Área: 2.50 m²
 Volumen: 6.25 m³
 Peso: 15.625 kN
 Centro de gravedad: X=0.50 m, Y=1.25 m
 Momento de inercia: I_x=0.083 m⁴, I_y=0.083 m⁴
 Momento de torsión: J_t=0.000 m⁴
 Módulo de elasticidad: E=210000 N/mm²
 Coeficiente de dilatación: α=12 x 10⁻⁶ 1/°C
 Fuente: [1]

Sección 3
 Ancho: 1.00 m
 Altura: 2.50 m
 Área: 2.50 m²
 Volumen: 6.25 m³
 Peso: 15.625 kN
 Centro de gravedad: X=0.50 m, Y=1.25 m
 Momento de inercia: I_x=0.083 m⁴, I_y=0.083 m⁴
 Momento de torsión: J_t=0.000 m⁴
 Módulo de elasticidad: E=210000 N/mm²
 Coeficiente de dilatación: α=12 x 10⁻⁶ 1/°C
 Fuente: [1]



1. Forma
 A. 1/200.000
 B. 1/200.000
 C. 1/200.000
 D. 1/200.000
 E. 1/200.000
 F. 1/200.000
 G. 1/200.000
 H. 1/200.000
 I. 1/200.000
 J. 1/200.000
 K. 1/200.000
 L. 1/200.000
 M. 1/200.000
 N. 1/200.000
 O. 1/200.000
 P. 1/200.000
 Q. 1/200.000
 R. 1/200.000
 S. 1/200.000
 T. 1/200.000
 U. 1/200.000
 V. 1/200.000
 W. 1/200.000
 X. 1/200.000
 Y. 1/200.000
 Z. 1/200.000



Cubierta Armada superior
 Formación: H=25, N=5
 Área de la losa: 70,04 m²
 Área en losas: P. RCD 5, N=15
 R.I. Reinforce superior
 Escala: 1:200

Características de los materiales - Losas Vigas

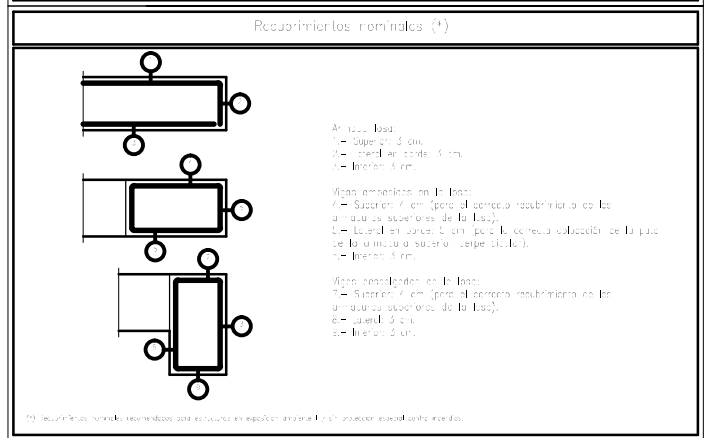
Materiales	Armado					Acero		
	Clasificación	Clase	Clase	Clase	Clase	Clase	Clase	Clase
Albano / Mortar	M300	M300	M300	M300	M300	M300	M300	M300
Acero	A-60	A-60	A-60	A-60	A-60	A-60	A-60	A-60

Clase de Acero: A-60
 Acero: A-60

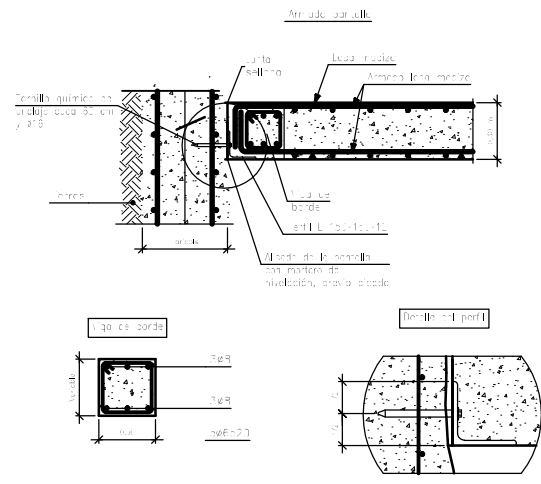
Exposición ambiente: I, II, III, IV, V
 Posición de losa: 1, 2, 3, 4, 5

Datos de la losa-Floja 7

Cargas	Sección tipo losa
en el piso: 20 kg/m ²	
debe tener de uso: 11 kg/m ²	
Cargas muertas: 10 kg/m ²	
Cargas vivas: 30 kg/m ²	



Enlace superior en muro pantalla mediante angulares continuos. Losa maciza.



$AA' = BB' = CC' = DD'$

