Centro Universitario de la Defensa
en la Escuela Naval Militar

TRABAJO FIN DE GRADO

Propuesta de diseño y cálculo de cubierta para las pistas de pádel de la Escuela Naval Militar

Grado en Ingeniería Mecánica

ALUMNO: Rafael Carrillo Navarro

DIRECTORES: D. Arturo González Gil

D. Miguel Ángel Gómez Rodríguez

CURSO ACADÉMICO: 2017-2018

Universidade Vigo

Centro Universitario de la Defensa
en la Escuela Naval Militar

TRABAJO FIN DE GRADO

Propuesta de diseño y cálculo de cubierta para las pistas de pádel de la Escuela Naval Militar

Grado en Ingeniería Mecánica

Intensificación en Tecnología Naval

Cuerpo General

Universidade Vigo

RESUMEN

Este proyecto se plantea como continuación del Trabajo de Fin de Grado del entonces AF Gilabert Gamboa, en el que se proponía una nueva distribución de las instalaciones deportivas exteriores de la Escuela Naval Militar. En particular se aborda el diseño y dimensionado de una estructura de cubierta para las pistas de pádel en la ENM.

En primer lugar, se analizan los tipos de cubiertas existentes en el mundo del pádel, así como las principales ventajas y desventajas que presentan cada uno de los materiales que se pudieran utilizar. Posteriormente, se procede a explicar los principios básicos de cálculo para la propuesta elegida.

Para realizar los cálculos de los elementos estructurales, incluyéndose la cimentación, se hace uso del software para arquitectura, ingeniería y construcción CYPE, así como el software de diseño asistido por computadora AutoCAD para la realización de los planos.

Se propone una cubierta curva con perfiles de acero tipo HEB para los pilares, tipo IPE para las correas y tipo L para las barras de las celosías curvas. Como material de cubierta se propone policarbonato celular translúcido. El proyecto incluye asimismo un presupuesto aproximado de construcción.

Este trabajo se puede tomar como análisis preliminar para que la ENM valore la posibilidad de mejorar las pistas de pádel existentes, así como documento de apoyo en el caso de que se llevase a cabo el diseño propuesto.

PALABRAS CLAVE

Cubierta, celosía, normativa de construcción, CYPE, cálculo de estructura, cimentación.

AGRADECIMIENTOS

Quisiera agradecer a todas las personas que me han aportado un apoyo imprescindible y han sido un pilar fundamental tanto durante el desarrollo de este trabajo como durante mi estancia en la Escuela Naval Militar.

En primer lugar a mi familia, por haber estado preocupándose por mí cada día que pasaba lejos de casa, y por haberme proporcionado apoyo moral y haberme dado fuerzas y ánimos siempre que lo necesitaba.

En segundo lugar quisiera agradecer a la persona más especial para mí, mi novia Paula Sánchez Beneroso, por haber confiado en mí en cada momento, incluso cuando yo no lo hacía, por todo el cariño incondicional que me ha prestado cuando lo necesitaba y porque gracias a ella estoy aquí.

También quisiera agradecer a todos mis compañeros, los cuales han sabido sacarme una sonrisa en momentos difíciles y han estado siempre ahí para ayudarme. En especial querría agradecer a Julio Castresana Pardo, al cual corresponde parte de este proyecto, por su ayuda desinteresada, pues siempre que aparecía algún dilema, él estaba ahí para dedicarme su tiempo y su conocimiento. También me gustaría hacer mención a Ramiro San Martín Canosa, el cual me ha proporcionado ayuda con sus conocimientos de arquitectura.

No podría finalizar estos agradecimientos sin hacer mención especial a mi tutor D. Arturo González Gil, por proporcionarme la posibilidad de trabajar junto a él, así como todos sus conocimientos mediante todos los medios posibles, por su tiempo dedicado e incluso por los ánimos que me proporcionaba. Muchas gracias profesor.

CONTENIDO

Contenido 1
Índice de Figuras 3
Índice de Tablas 6
1 Introducción y objetivos 7
1.1 Introducción y motivación del proyecto 7
1.2 Emplazamiento 8
1.3 Objetivos 10
1.4 Metodología y recursos empleados 10
1.4.1 Metodología general 10
1.4.2 Recursos empleados 11
2 Estado del arte 13
2.1 Características de los principales tipos de cubiertas y estructuras 13
2.1.1 Tipos de cubiertas 13
2.1.2 Materiales estructurales: Madera, acero y hormigón 15
2.2 Normativa actual aplicable al diseño de cubiertas para pistas de pádel 17
2.2.1 Diseño 17
2.2.2 Cálculo estructural 18
3 Propuestas de diseño 19
3.1 Posibles alternativas de cubierta las pistas de pádel 19
3.1.1 Primera propuesta: Cubiertas a dos aguas 19
3.1.2 Segunda propuesta: Cubiertas a un agua 20
3.1.3 Tercera propuesta: Cubiertas curvas autoportantes 21
3.1.4 Cuarta propuesta: Cubiertas curvas no autoportantes 22
3.2 Propuesta elegida 23
4 Dimensionamiento y cálculo de la estructura 26
4.1 Dimensiones básicas de la estructura 26
4.2 Fundamentos del cálculo estructural 27
4.2.1 Acciones sobre la estructura 27
4.2.2 Combinación de acciones 32
4.2.3 Correas 34
4.2.4 Celosías 35
4.2.5 Pilares 37
4.2.6 Cimentación 37

4.2.7 Placas de anclaje 39
4.2.8 Uniones 40
4.3 Cálculo de los elementos estructurales mediante CYPE 40
4.4 Resultados de dimensionado 43
5 Presupuesto 48
6 Conclusiones y líneas futuras 49
6.1 Conclusiones 49
6.2 Líneas futuras 49
7 Bibliografía 50
Anexo I: Desarrollo del cálculo de la estructura en CYPE 54
Anexo II: Cálculos en CYPE 74
Anexo III: Presupuesto 119
Anexo IV: Planos 129

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1. Vista satélite de Marín (Google Earth) 9
Figura 1-2. Vista satélite de las pistas de pádel de la Escuela Naval Militar (Google Earth) 9
Figura 1-3. Distribución de las pistas de pádel en la Escuela Naval Militar [3] 10
Figura 1-4. Menú CYPE 2013 12
Figura 2-1. Cubierta curva autoportante con cables [8] 13
Figura 2-2. Cubierta curva con celosía pequeña [9] 14
Figura 2-3. Cubierta a dos aguas [11] 14
Figura 2-4. Comparación del impacto medioambiental entre la madera, el acero y el hormigón [14] y [15] 15
Figura 3-1. Diseño de cubierta a dos aguas perspectiva 1 [Autoría propia]] 20
Figura 3-2. Diseño de cubierta a dos aguas perspectiva 2 [Autoría propia] 20
Figura 3-3. Diseño de cubierta a un agua perspectiva 1 [Autoría propia]] 21
Figura 3-4. Diseño de cubierta a un agua perspectiva 2 [Autoría propia] 21
Figura 3-5. Diseño de cubierta autoportante perspectiva 1 [Autoría propia] 22
Figura 3-6. Diseño de cubierta autoportante perspectiva 2 [Autoría propia] 22
Figura 3-7. Diseño de cubierta curva no autoportante perspectiva 1 [Autoría propia] 23
Figura 3-8. Diseño de cubierta curva no autoportante perspectiva 2 [Autoría propia] 23
Figura 3-9. Diseño de propuesta elegida de cubierta curva con celosía [Autoría propia] 24
Figura 3-10. Perfil tipo IPE [37] 24
Figura 3-11. Perfil tipo HEB [10] 25
Figura 3-12. Perfil tipo L [10] 25
Figura 4-1. Valores característicos de la sobrecarga de uso [27] 28
Figura 4-2. Mapa de España con los diferentes valores de $\boldsymbol{vb}$ en zonas A, B y C [27] 29
Figura 4-3. Valores del coeficiente de exposición [27] 29
Figura 4-4. Tabla marquesinas a dos aguas [27] 30
Figura 4-5. Sobrecarga de nieve en capitales de provincia y ciudades autónomas [27] 31
Figura 4-6. Mapa de peligrosidad sísmica de España de la normativa sismorresistente NCSE [33] 32
Figura 4-7. Coeficientes parciales γ para las acciones [39] 33
Figura 4-8. Coeficientes de simultaneidad Ψ [26] 33
Figura 4-9. Celosía realizada en AutoCAD [Autoría propia] 35
Figura 4-10. Nudo A de la celosía aislado [Autoría propia] 35
Figura 4-11. Sección de la celosía de la estructura [Autoría propia] 36
Figura 4-12. Longitudes de pandeo [29] 37

Figura 4-13. Presiones admisibles dependientes del tipo de terreno [28] 38
Figura 4-14. Zapata aislada. [Autoría propia] 38
Figura 4-15. Placa de anclaje 39
Figura 4-16. Diseño de la cubierta en CYPE [Autoría propia] 41
Figura 4-17. Resultado de cálculo y dimensionado óptimo de la estructura [Autoría propia] 42
Figura 4-18. Vista 2D de zapata con placa de anclaje 42
Figura 4-19. Resolución de todos los nudos con uniones soldadas 43
Figura 4-20. Cubierta con diferentes tipos de elementos diferenciados por colores [Autoría propia] 44
Figura 4-21. Celosía de un extremo con diferentes tipos de elementos diferenciados por colores [Autoría propia] 44
Figura 4-22. Celosía central con diferentes tipos de elementos diferenciados por colores [Autoría propia] 45
Figura 4-23. Disposición general de zapatas en la cimentación 46
Figura 4-24. Resultado final de la estructura con cimentación. [Autoría propia] 47

Figura A1.1. Diseño de barras en CYPE 54
Figura A1.2. Diseño de nudos 55
Figura A1.3. Diseño de la cubierta en CYPE 55
Figura A1.4. Vinculación exterior en CYPE 56
Figura A1.5. Tipos de vinculaciones exteriores de CYPE 56
Figura A1.6. Pilares con vinculación exterior fija en CYPE 57
Figura A1.7. Agrupar/desagrupar barras en CYPE 57
Figura A1.8. Agrupamiento de correas en CYPE 58
Figura A1.9. Describir perfil en CYPE 58
Figura A1.10. Selección del tipo de perfil en CYPE 59
Figura A1.11. Perfiles seleccionados en la estructura de CYPE 60
Figura A1.12. Aplicar pandeo y pandeo lateral en CYPE 60
Figura A1.13. Pandeo lateral en todos los elementos estructurales en CYPE 61
Figura A1.14. Pandeo en pilares en CYPE 61
Figura A1.15. Pandeo en celosía en CYPE 62
Figura A1.16. Aplicar flecha en CYPE 62
Figura A1.17. Aplicar flecha a la estructura en CYPE 63
Figura A1.18. Introducir paños en CYPE 63
Figura A1.19. Resultado de paños definidos sobre la estructura en CYPE 64
Figura A1.20. Editar cargas sobre paños en CYPE 64
Figura A1.21. Cargas aplicadas sobre un paño determinado 65
Figura A1.22. Calcular elementos de la estructura 65

Figura A1.23. Tipo de cálculo y dimensionamiento 66
Figura A1.24. Comprobar barras tras el cálculo 66
Figura A1.25. Resultado de cálculo y dimensionado óptimo 67
Figura A1.26. Acceder a datos generales 67
Figura A1.27. Datos generales 68
Figura A1.28. Generar zapatas y vigas 68
Figura A1.29. Dimensionado de zapatas 69
Figura A1.30. Tipos de dimensionados para la cimentación 69
Figura A1.31. Resultado de cálculo y dimensionado óptimo de las zapatas 69
Figura A1.32. Crear placas de anclaje 70
Figura A1.33. Tipo de dimensionamiento de uniones 70
Figura A1.34. Resultado 2D para una zapata con placa de anclaje 71
Figura A1.35. Resultado 3D de placa de anclaje 71
Figura A1.36. Resultado final de la estructura con su cimentación. Perspectiva 1 72
Figura A1.37. Resultado final de la estructura con su cimentación. Perspectiva 2 72
Figura A1.38. Resultado final de la estructura con su cimentación. Perspectiva 3 73

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1. Principales motivos por los que se he ha practicado deporte en 2017 expresados en porcentajes [1] 7
Tabla 2-1. Diferentes tipos de comparaciones entre madera, acero y hormigón. [19] 17
Tabla 4-1. Resultado final de elementos de la estructura [Autoría propia] 45
Tabla 4-2. Características de las zapatas 46
Tabla 4-3. Características de las placas de anclaje 46
Tabla 5-1. Presupuesto total de obras 48

1 INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

1.1 Introducción y motivación del proyecto

Hoy en día, y cada vez más, el deporte es un pilar fundamental en la sociedad. La práctica del mismo viene motivada por muchas razones, siendo las principales la forma física, el entretenimiento, motivos de salud o simplemente el hecho de usarlo para la relajación como se puede apreciar en la Tabla 1-1, correspondiente al documento del Ministerio de Educación, Cultura y Deporte [1], en la que se muestran los resultados de cada colectivo en porcentajes.

	Hombres	**Mujeres**	**Total**
Estar en forma	27.6	32.7	29.9
Diversión o entretenimiento	27.0	18.4	23.0
Motivos de salud	12.6	17.4	14.8
Relajarse	10.9	17.1	13.7
Le gusta el deporte	14.9	8.3	11.9
Como forma de relación social	2.4	2.9	2.6
Por superación personal	1.7	1.9	1.8
Le gusta competir	2.0	0.9	1.5
Por profesión	0.9	0.5	0.7

Tabla 1-1. Principales motivos por los que se he ha practicado deporte en 2017 expresados en porcentajes [1]

En las Fuerzas Armadas el deporte es esencial, principalmente para mantener a sus miembros con un buen estado de forma física, así como para fomentar el compañerismo, la competición y la unidad. Esto se

ve reflejado en los artículos 72 y 77 de las Reales Ordenanzas de las Fuerzas Armadas [2], en los que textualmente se menciona lo siguiente:.

- *Artículo 72. Espíritu de equipo. "Se fomentará el espíritu de equipo para aumentar la cohesión de su unidad y la convergencia de esfuerzos con el fin de alcanzar el máximo rendimiento individual y de conjunto."*
- *Artículo 77. Actividades culturales deportivas y recreativas. "Se fomentará las actividades culturales y deportivas y facilitará las recreativas del personal a sus órdenes y, siempre que sea posible, las integrará en el entorno civil en el que la unidad se desenvuelva.*

Se puede ver esto diariamente en los barcos donde la dotación, o parte de ella, realiza deportes en su tiempo libre. También se puede apreciar en las escuelas de enseñanza militares como la Escuela Naval Militar, la Academia General Militar o la Academia General de Aire entre otras.

Actualmente hay una gran variedad de deportes que se practican en la ENM, siendo el pádel uno de los más ejercidos. Entre otras muchas características este deporte destaca por jugarse utilizando los muros y laterales que rodean la pista en sí. Por este motivo es muy importante tener una pista adecuada, pues la cancha, tanto si es de cemento como si es de césped sintético, influirá directa o indirectamente; y las paredes o cristales templados que influirán directamente en la dirección de la pelota. Debido principalmente a la meteorología de la zona, estas pistas son inutilizables la mayoría del tiempo. Cuando precipita, el césped artificial se moja imposibilitando la práctica del deporte debido a que resbala y a que la pelota de pádel no bota entre otras razones.

Teniéndose en cuenta lo anterior, los motivos que principalmente han potenciado el desarrollo de este proyecto son:

- Dotar a los alumnos y dotación de la Escuela Naval Militar de unas pistas de pádel en condiciones óptimas independientemente de la meteorología mediante una cubierta para las mismas.
- Diseñar una cubierta para dichas pistas que pueda servir como modelo cuando fuera necesario para otras escuelas militares.
- Poner en práctica los conocimientos obtenidos durante el estudio de la Ingeniería, y en especial de la asignatura de Teoría de estructuras y construcciones industriales.

1.2 Emplazamiento

Las pistas de pádel a cubrir se encuentran en la Escuela Naval Militar, centro de formación de futuros oficiales de la Armada Española. Dicho centro se encuentra emplazado en el municipio de Marín perteneciente a la provincia de Pontevedra cuya comunidad autónoma es Galicia.

La posición de Marín dentro de la Ría de Pontevedra se puede apreciar en la Figura 1-1, y la ubicación de las pistas de pádel dentro de la Escuela Naval Militar en la Figura 1-2.

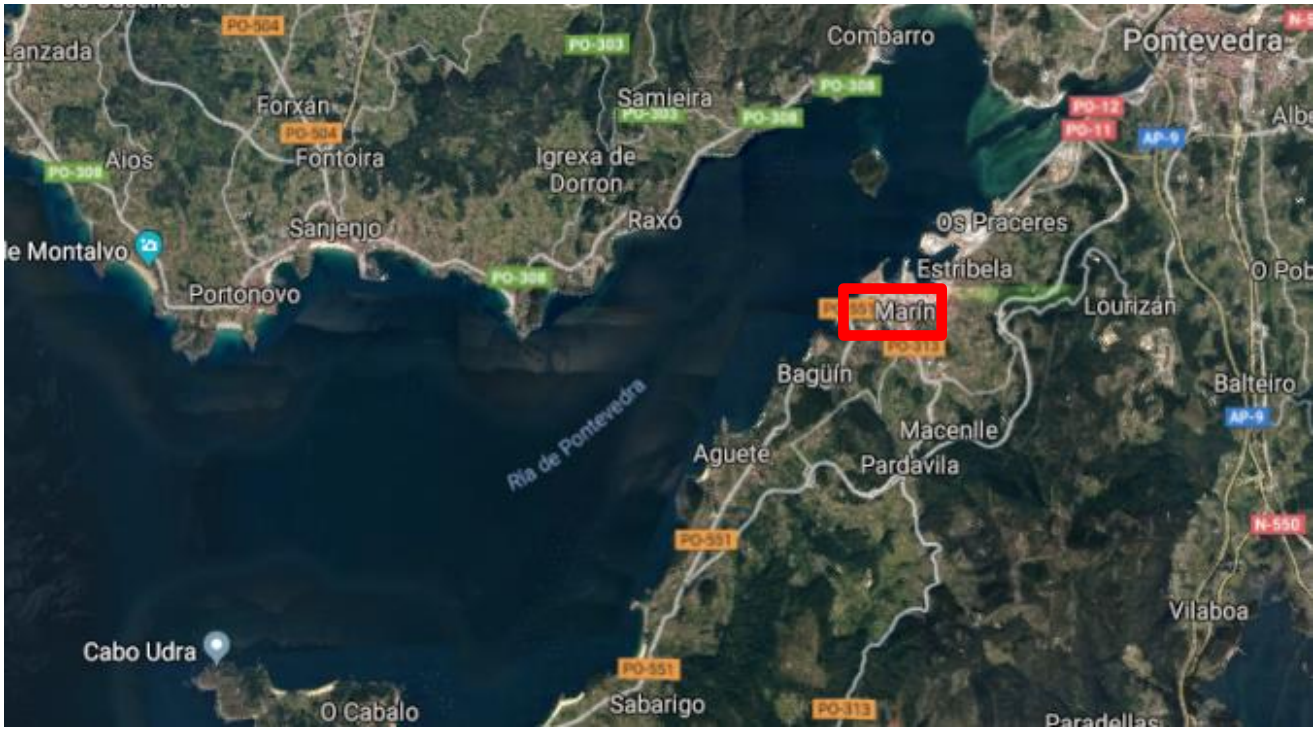


Figura 1-1. Vista satélite de Marín (Google Earth)

Figura 1-2. Vista satélite de las pistas de pádel de la Escuela Naval Militar (Google Earth)

Aunque este es el emplazamiento en el que se encuentran las pistas actualmente, no es la distribución de pistas que se utiliza en el proyecto. Se mantiene la ubicación pero la distribución que se utiliza es una de tres pistas en lugar de dos tal y como se puede ver en la Figura 1-3, presentada en el trabajo fin de grado del entonces AF Gilabert Gamboa [3], en el que se analizaron varias propuestas variando la

distribución de las pistas, siendo esta última la que más ventajas presentaba, y por lo tanto, sobre la que se desarrollará el trabajo actual.

Figura 1-3. Distribución de las pistas de pádel en la Escuela Naval Militar [3]

1.3 Objetivos

Los principales objetivos que se establecen en el presente trabajo son:

- Estudio de diferentes alternativas de diseño de cubierta para las pistas de pádel propuestas en el Trabajo de Fin de Grado del AF Gilabert Gamboa [3].
- Selección de la alternativa de diseño más adecuada de forma justificada y cálculo de sus principales elementos estructurales, incluida la cimentación.
- Confección de presupuesto aproximado de la obra.

El objetivo último de este proyecto es proporcionar a la Escuela Naval un estudio de referencia de construcción de cubiertas para sus pistas de pádel que sirva además de estímulo para la construcción de las mismas para el óptimo uso de su personal.

1.4 Metodología y recursos empleados

1.4.1 Metodología general

Para la realización de este proyecto se han ido realizando las siguientes fases:

- Estudio de los diferentes tipos de geometrías de cubiertas y materiales existentes para las pistas de pádel. Para ello se analiza las ventajas y desventajas de diversas cubiertas curvas e inclinadas. Para la elección de material se tiene en cuenta el impacto medioambiental, y otras propiedades de los mismos como la durabilidad. Se realiza la comparación entre la madera, el acero y el hormigón.
- Propuesta de diferentes alternativas de diseño para cubrir las pistas de pádel de la ENM. Entre estas propuestas de diseño se escoge la mejor de forma justificada. La visualización de estas propuestas se realizan mediante el software SketchUP.
- Recopilación de la normativa actual de construcción, en base a la cual se efectúa el dimensionamiento básico de la estructura y se explican los fundamentos de cálculo.
- Diseño y cálculo de los elementos estructurales principales, incluida la cimentación mediante el software CYPE.

- Presentación de los resultados obtenidos (perfiles, dimensiones, material, etc.) así como la elaboración de los planos mediante el software AutoCAD.
- Confección de un presupuesto de obra aproximado para las cubiertas. Esto se realiza mediante el análisis económico por partidas obtenidas del software CYPE a través del generador de precios actualizado.
- Desarrollo de las conclusiones y líneas futuras.

1.4.2 Recursos empleados

En este subapartado se relacionan las principales herramientas utilizadas para la realización del proyecto:

1.4.2.1 CYPE

Para realizar el trabajo se ha usado la *"Versión After Hours"* de CYPE 2013, una versión oficial de libre acceso que permite acceder a casi todo el contenido del programa, pero con limitaciones horarias (de 22:00h a 08:00h). CYPE se trata de un software técnico para los profesionales de Arquitectura, Ingeniería y Construcción. Mediante este software se puede realizar tanto diseño y análisis estructural como diseño y cálculo de instalaciones, permitiendo a su vez realizar la mayor parte de la gestión de la obra e incluso la documentación del proyecto como se recoge en su página web oficial [4]. Además este programa aplica toda la normativa vigente actual a la hora de realizar los cálculos.

Al abrir CYPE 2013, se ve el menú representado en la Figura 1-4 donde se aprecia que el programa permite realizar estructuras, instalaciones, gestión y documentación. Para este trabajo se usa principalmente el submenú de estructuras y concretamente Nuevo Metal 3D, así como el submenú Generados de precios, de la pestaña de Gestión.

- Nuevo Metal 3D – Permite realizar estructuras tridimensionales de barras con perfiles de acero, aluminio y madera, así como la optimización de los mismos teniendo en cuenta las diferentes cargas que se le incluyan. Incluye cálculos de cimentación como son las zapatas, los encepados, vigas centradoras. Además permite el diseño de las uniones y las placas de anclaje para estructuras metálicas. También se puede precisar de un listado de la obra en el que se incluyen una serie de subapartados como son cálculos y el peso de la estructura entre otros.
- Generador de precios – Incluye precios descompuestos por partidas, de esta forma se halla el presupuesto de cada tipo de elemento de la estructura, para luego, determinar el presupuesto final correspondiente.

Figura 1-4. Menú CYPE 2013

1.4.2.2 SketchUp

Para realizar los diferentes diseños de cubiertas que se propondrán para cubrir las pistas de pádel se ha requerido este software de modelado 3D. Se ha utilizado la versión oficial de prueba gratuita de 30 días de SketchUp 2017, no obstante también se puede comprar una licencia para obtener la versión SketchUp Pro, además también está disponible para Mac.

Este programa permite diseñar modelos 3D e incluso descargarlos de internet, pues tiene la opción de poder subir el proyecto a una galería 3D compartida y ponerlos en común con el resto de la comunidad. A cada elemento creado se le puede asignar un material determinado (acero, cristales translucidos, vidrios...). También tiene la opción de crear modelos con animaciones, escenas, luces y sombras. El modelo realizado se puede llegar a imprimir mediante una impresora 3D. Es compatible con otros softwares o herramientas de modelado 3D, de manera que se pueden importar archivos de estos o exportarlos para posteriormente usarlos en otro. Además puede interactuar con Google Earth de forma que se trabaje sobre una base sacada de una vista aérea e importada en forma de imagen. Se puede apreciar esto en la página oficial de SketchUp [5], donde también se indica paso a paso como realizar cada función de forma correcta.

1.4.2.3 AutoCAD

Para la elaboración de los planos constructivos se ha utilizado AutoCAD 2017 en versión oficial y gratuita de 30 días, aunque también se dispone de una versión completa de uso profesional para comprar si se desea, tanto para Windows como para Mac.

Este programa consta de una amplia variedad de funciones como crear y editar geometrías 2D, crear y editar modelos 3D con sólidos, superficies y objetos de malla o anotar dibujos con cotas entre otros que se pueden leer en su página web [6]. No obstante la aplicación que se le ha dado en este proyecto ha sido la modificación de planos, pues el software CYPE presentaba ciertos problemas a la hora de representar los nudos de las barras en los planos, así como otros inconvenientes con la representación de las cotas.

2 ESTADO DEL ARTE

2.1 Características de los principales tipos de cubiertas y estructuras

En este apartado se comentará las generalidades y las propiedades más destacas de los principales tipos de cubiertas que se pueden encontrar hoy en día en el campo de la construcción, y que podría servir para cubrir las pistas de pádel. En primer lugar se tendrá en cuenta la forma geométrica de la cubierta y, posteriormente, se atenderá al material de la estructura en sí.

2.1.1 Tipos de cubiertas

2.1.1.1 Cubiertas curvas

Existen diferentes tipos de cubiertas curvas, como son las autoportantes o las que necesitan bien de una celosía o bien de un perfil curvado que sostenga el techado.

En cuanto a las cubiertas autoportantes son los tirantes los elementos que absorben los esfuerzos horizontales, dejando para los apoyos únicamente los esfuerzos verticales. La tipología de esta cubierta, como se puede apreciar en la Figura 2-1, es de un arco con un tirante interior que cruza el vano. [7]

Figura 2-1. Cubierta curva autoportante con cables [8]

La principal característica de este tipo de cubiertas es que constituyen un cerramiento en el que las tensiones se distribuyen de forma uniforme sobre los pilares, los cuales contribuyen a su vez al reparto de carga de forma lineal y uniforme a los cimientos. Además gracias a su acabado superficial, así como su geometría, el agua de la lluvia fluye de forma adecuada y la nieve se desliza sin problemas. Al ser aerodinámica se reduce el empuje del viento reduciendo momentos flectores en los apoyos de la

estructura. Otra característica a contemplar es su rápida y sencilla construcción debido a que no necesita elementos como vigas o correas.

Las cubiertas curvas no autoportantes en cuanto a su forma y características geométricas son prácticamente iguales a las autoportantes, sin embargo estas no requieren de los tensores. Por este motivo, en cuanto al reparto de esfuerzos, se asemeja más a otros tipos de cubiertas que disponen de vigas y correas. Este tipo de cubiertas se puede ver en la Figura 2-2.

Figura 2-2. Cubierta curva con celosía pequeña [9]

2.1.1.2 Cubiertas inclinadas

Se diferencia, entre otros tipos, las cubiertas a dos aguas como se puede ver en la Figura 2-3 y las cubiertas a un agua, que por definición es aquella cuya inclinación de los faldones es superior al 10%. Cuanto mayor sea esta pendiente, más velocidad adquiere el agua que circula por la cubierta y menor es la probabilidad de que penetre, sin embargo, si la pendiente es poco acusada, será primordial asegurar bien el solape entre los elementos de la misma. Estas construcciones son más antiguas que las anteriores. [10]

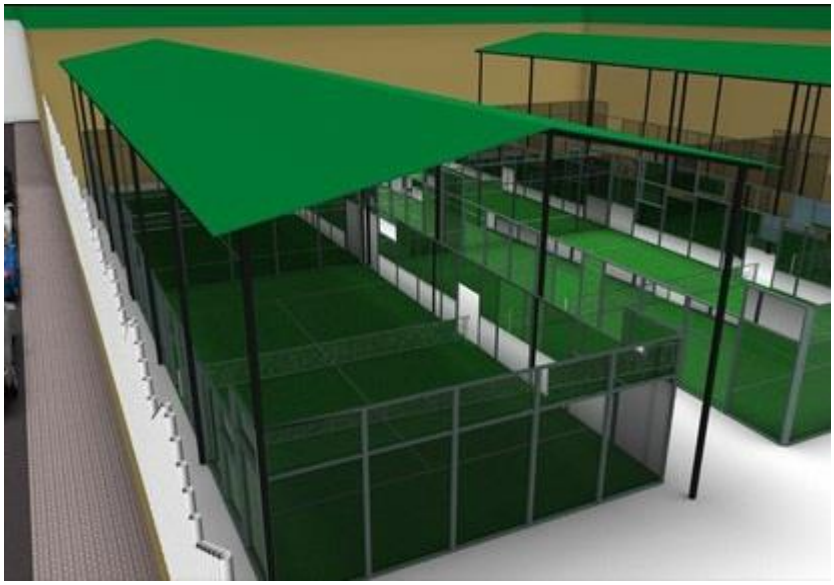


Figura 2-3. Cubierta a dos aguas [11]

La cubierta a dos aguas consta de dos faldones que están unidos por una cumbrera central e inclinados en dirección descendente. También es conocida como cubierta a dos vertientes o cubierta de gablete.

Las cubiertas a una vertiente presentan similitudes con las cubiertas a dos aguas, como es su buena evacuación de agua y nieve en climas donde esto predomine, es por ello que se mete en el mismo apartado. A pesar de que puede ser fácilmente ampliable si se desea ampliar el área que cubre la cubierta, llega a alcanzar, si es necesario, una extensión mayor de forma económica. En zonas para vientos de fuerte intensidad se necesita una inclinación mínima de 30º y que se eviten grandes aleros [12].

2.1.2 Materiales estructurales: Madera, acero y hormigón

En este subapartado se realiza una comparación entre las principales características que poseen las estructuras de madera, acero y hormigón destacando las principales virtudes y defectos de cada una de ellas. En primer lugar se realiza una evaluación del impacto medioambiental, y luego se destaca una serie de propiedades que pueden llegar a ser determinantes a la hora de decantarse por un material u otro.

2.1.2.1 Impacto medioambiental

En cuanto al impacto medioambiental se refiere, destaca la madera, pues una de las principales ventajas es que es uno de los materiales más sostenibles que se pueden encontrar. Para que esto sea así se debe tener en cuenta, en primer lugar que la gestión del espacio forestal de donde procede sea sostenible, y en segundo lugar que los tratamientos para la madera tanto para la humedad, como para los insectos y hongos no sean tóxicos [13]. Esto es así porque la madera a diferencia de materiales como el acero y el hormigón no suele generar CO^2 durante su fabricación, justo lo contrario, suele absorberlo.

A modo de ejemplo en la Figura 2-4 muestra los resultados obtenidos de la comparación del impacto medioambiental que supondrían tres viviendas unifamiliares construidas, una de hormigón, otra de acero y otra de madera. En estos resultados se recoge cómo la madera, midiendo los seis parámetros que se utilizan para determinar la sostenibilidad de los diferentes métodos de construcción, es mucho mejor en términos de medioambiente. La comparación se realiza tomando para cada factor medioambiental a la madera como unidad.

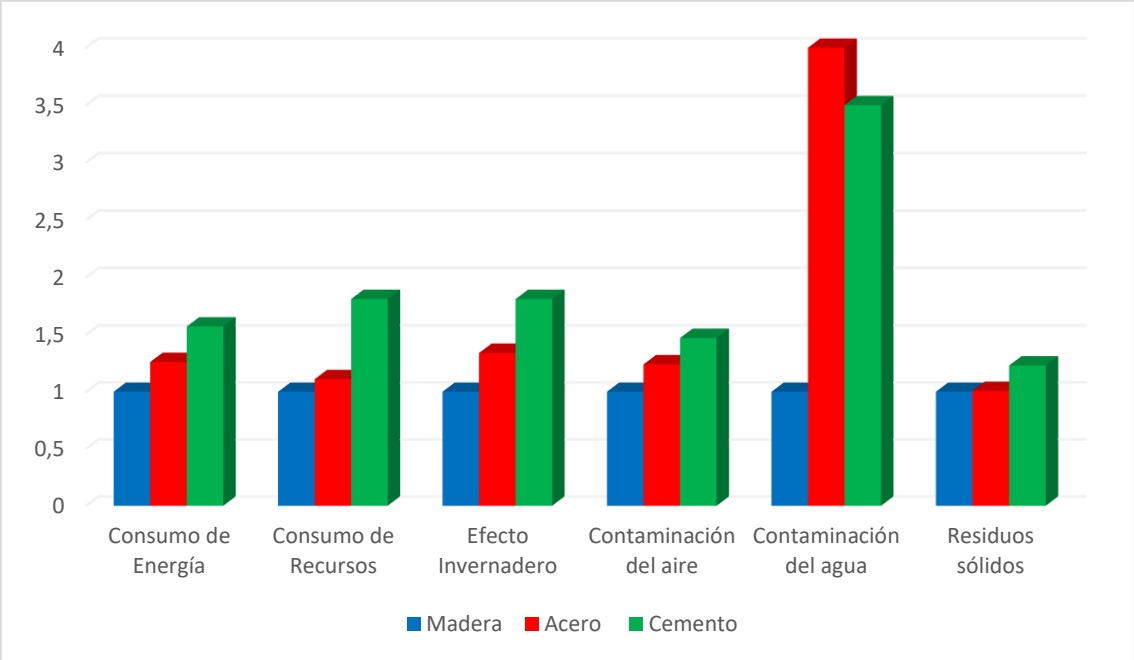


Figura 2-4. Comparación del impacto medioambiental entre la madera, el acero y el hormigón [14] y [15]

Los metales como el acero tienen siempre el inconveniente del impacto medioambiental, sobre todo en la fase de transformación y tratamientos de acabado, y protección pues se usan materiales que requieren un gran consumo energético, además se producen emisiones durante su fabricación de sustancias nocivas al medioambiente como se refleja en [13].

De las referencias [13], [14] y [15] se saca como conclusiones que el acero en comparación con la madera:

- Consume un 26% más de energía para su extracción, producción, construcción.
- Utiliza un 11% más de recursos naturales.
- Contribuye un 34% más a la emisión de gases de efecto invernadero.
- Producen un 24% más de contaminación al aire.
- Produce 4 veces más descargas contaminantes al agua
- Produce un 8% más de residuos sólidos.

Al igual que el acero, el hormigón tiene como uno de sus inconvenientes la contaminación, y en comparación con la madera:

- Consume un 57% más de energía para su extracción, producción, construcción.
- Utiliza un 81% más de recursos naturales.
- Contribuye un 81% más a la emisión de gases de efecto invernadero.
- Producen un 47% más de contaminación al aire.
- Produce 3,5 veces más descargas contaminantes al agua
- Produce un 23% más de residuos sólidos.

2.1.2.2 Propiedades del material

- Propiedades mecánicas - La madera presenta muy buenas características mecánicas, destacando su resistencia a flexión, tracción y compresión paralela a la fibra, además tiene una baja densidad lo que permite que la estructura sea ligera. Sin embargo, pese a ser superior en dichas características al hormigón, se aprecia el punto débil de la madera sometida a esfuerzos cortantes. El acero es muy superior a la madera y al hormigón en las propiedades mecánicas [16]. Además, a diferencia de la madera, el acero es un material homogéneo y de calidad controlada. Esto se puede apreciar en la Tabla 2-1, que se expone posteriormente, donde se compara en términos de resistencia los tres materiales.
- Rapidez y facilidad de trabajo - Otra ventaja de la madera es que permite ser cortada y trabajada de diversas formas, con herramientas y máquinas en principio menos complejas que las que se usan para el hormigón. El hecho de tratarse de una construcción en seco la convierte en una construcción rápida y eficaz, sin embargo esta ventaja la tiene sobre el hormigón, en las cuales se necesita hacer fraguado y encofrado entre otras operaciones más complejas. Las estructuras de acero igualmente son fáciles de montar debido a su ligereza. [17]
- Estética - La belleza de la madera reside en su textura y color natural, además del finalizado que presenta con los barnices y tintes, aunque esto es subjetivo y de análisis individual. El hormigón, sin embargo no suele parecer muy estético debido a su acabado superficial.
- Resistencia al fuego - A diferencia de lo que quizás se suela pensar, la madera estructural es muy buena debido a su baja conductividad térmica como se puede apreciar en la Tabla 2-1. El efecto del fuego no es de forma inmediata como en otros materiales como el acero, en los cuales se producen deformaciones presentando un riesgo para la estructura, si no que la madera garantiza que la estructura va a permanecer estable durante más tiempo gracias a una capa de carbón protectora que se genera cuando comienza la combustión, según se indica en [18].

Tipo de comparación	Madera	Hormigón	Acero
Resistencia a flexión (N/mm^2)	30.00	25.00	275.00
Compresión paralela (N/mm^2)	23.00	25.00	275.00
Tracción paralela (N/mm^2)	18.00	25.00	275.00
Conductividad Térmica : λ (kw/m^2*ºC)	0.11	1.4	50.00
Consumo necesario de energía para producir 1000kg (MJ)	1	4	60
Consumo necesario de energía para producir 1 m^3 (MJ)	0.46	9.76	472.00
Emisión de CO_2 a la atmósfera para producir 1 m^3 (kg)	-655	1120	39800
Peso de 1 m^3 (kg)	460	2400	7850

Tabla 2-1. Diferentes tipos de comparaciones entre madera, acero y hormigón. [19]

- Resistencia a la corrosión – Es una de las debilidades que presenta el acero frente a las estructuras de hormigón y de madera.
- Adaptabilidad – Una de las escasas ventajas que ofrece el hormigón, o al menos, para estructuras como las del proyecto, es la capacidad de adaptación a formas variadas, que no la posee ni la madera ni el acero. [17]
- Durabilidad – En esta característica cabe resaltar una gran desventaja de la madera frente al acero y hormigón aplicado al proyecto. Las estructuras de madera que se encuentran protegidas tanto de radiación UV, como de lluvia directa y nieve, suelen mantener sus propiedades constantes en el tiempo precisando de un mantenimiento mínimo. En el presente estudio no es así, de hecho, Galicia es una de las comunidades autónomas de España que destaca por sus constantes precipitaciones a lo largo del año. Se debe tener en cuenta esto, y que la madera posee higroscopicidad, es decir, intercambia humedad con el exterior, provocando una variación de la densidad, y por lo tanto una modificación de las propiedades mecánicas que podrían suponer un peligro para la estructura [18]. Además la pudrición es otra de las principales desventajas que supondría el uso de la madera ya que se presenta en zonas cuya humedad relativa es superior al 20%, debido a hongos xilófagos [20]. Otro inconveniente con respecto al acero y hormigón es la carcoma, es decir, la aparición de insectos que provocan una red de galerías en las piezas de madera provocando una pérdida de resistencia de la misma, que no se da ni en acero ni en hormigón.
- Dimensiones – Una estructura de acero ocupan menos espacio que una de hormigón y de madera, ya que sí que es cierto que la madera posee una muy buena relación resistencia/peso, pero no una tan buena relación resistencia/volumen.

2.2 Normativa actual aplicable al diseño de cubiertas para pistas de pádel

En este subapartado se va a hacer una breve referencia a la normativa existente actual y que además servirá de soporte a la hora de realizar el trabajo. En primer lugar se atenderá a la normativa referente al diseño de las pistas de pádel así como de la cubierta, y luego a la normativa necesaria para el cálculo de la estructura, bien se realice de madera, acero u hormigón.

2.2.1 Diseño

Estas normativas hacen referencia tanto a nivel nacional como internacional, todas las medidas reglamentarias que se deben tener en cuenta para cualquier pista de pádel. Sirven como base para determinar las dimensiones básicas de la estructura.

- Normativa sobre instalaciones deportivas y para el esparcimiento (NIDE), elaborada por el Consejo Superior de Deporte (C.S.D), Organismo autónomo dependiente del Ministerio de Educación, Cultura y Deporte. [21]
- Reglamento de juego del Pádel. Federación Española de Pádel (F.E.P) [22].
- Reglamento de juego del Pádel. Federación Internacional de Pádel (F.I.P) [23].
- Buenas Prácticas en la Instalación y Mantenimiento de Pistas de Pádel, elaborada por el C.S.D. [24].

2.2.2 Cálculo estructural

En este proyecto se toma como referencia el Código Técnico de la Edificación (CTE), definido como "*marco normativo que establece las exigencias que deben cumplir los edificios en relación con los requisitos básicos de seguridad y habitabilidad establecidos en la Ley 38/1999 de 5 de noviembre, de Ordenación de la Edificación (LOE)*", [25]. Además también se hará referencia a los Documentos Básicos, los aplicados en este proyecto son:

- Documento Básico de la Seguridad Estructural (DB-SE) [26]. El principal objeto es determinar y marcar los procedimientos y las pautas a seguir para cumplir las exigencias básicas de seguridad estructural. El requisito básico de "Seguridad Estructural" se cumple si todos los Documentos Básicos son aplicados de forma correcta.
- Documento Básico de las Acciones en la edificación (DB-SE-AE) [27]. Aplicado para la determinación de las acciones sobre las estructuras con el fin de comprobar que se cumplan los requisitos de seguridad estructural nombrados en el anterior documento.
- Documento Básico de Cimientos (DB-SE-C) [28]. Se comprueba la capacidad de los cimientos en cuanto a su seguridad estructural, su capacidad portante y aptitud al servicio. También recoge la contención de todo tipo de edificios dependiendo del terreno.
- Documento Básico del Acero (DB-SE-A) [29]. Este documento se usará en el caso de que el material de la estructura elegida fuera de acero. El fin de este documento es el de verificar que los elementos metálicos realizados con acero cumplen la seguridad estructural.
- Documento Básico de la Madera (DB-SE-M) [30]. En el caso de que la estructura se realizara de madera, este es el documento que recogería la verificación de la seguridad estructural de los elementos estructurales de dicho material en la edificación.

Además serán aplicadas las siguientes instrucciones que complementan los documentos básicos anteriormente nombrados:

- Instrucción del Hormigón Estructural (EHE) [31]. Marco reglamentario a utilizar en el caso de que el hormigón fuera el material seleccionado y por el que se determinan las exigencias que las estructuras de hormigón deben cumplir para satisfacer la seguridad estructural.
- Instrucción del Acero Estructural (EAE) [32]. Esta instrucción también será usada exclusivamente si la estructura es del material indicado. Este documento y el anterior se complementan. Se usa, salvo excepciones que así se recogen en dicha instrucción, todas las estructuras y elementos de acero estructural, bien sea de ingeniería civil como de edificación.
- Normativa de Construcción Sismorresistente: Parte general y edificación (NCSE) [33]. Esta normativa es principalmente usada con el objeto de proporcionar los conocimientos y las pautas necesarias para la consideración de la acción sísmica en un proyecto, evitando así la pérdida de vidas humanas y reducir el coste económico y los daños que pudieran ocasionar terremotos en el futuro.

3 PROPUESTAS DE DISEÑO

3.1 Posibles alternativas de cubierta las pistas de pádel

En este capítulo se va a realizar una serie de propuestas de diseño basadas en las características expuestas en 2.1, comentando las principales ventajas y desventajas que aportarían en las pistas de pádel de la Escuela Naval Militar.

A pesar de las ventajas que presentan las cubiertas de madera, así como las de hormigón, ambas quedan descartadas por las desventajas que presentan y se describen en el apartado 2.1.2. La principal desventaja para la madera es la durabilidad que presentaría debido a la alta humedad que caracteriza el emplazamiento donde se encuentra, además a esto se le añade las ventajas notables que presenta el acero en cuanto a propiedades mecánicas. En cuanto al hormigón, también tiene desventaja respecto a las propiedades mecánicas del acero, sin embargo, el principal inconveniente es que el hormigón no presenta la facilidad y rapidez de construcción que el acero permite. Por lo cual, todas las propuestas realizadas en este apartado serán estructuras de acero, concretamente de acero S275JR cuyo límite elástico, por tanto, es de 275 N/mm^2.

Hoy en día se puede encontrar una amplia variedad de geometrías de cubiertas en el mercado, esto es porque no hay una cubierta que sea mejor que otra en todos los aspectos, hay algunas que poseen unas características y otras que tienen otras muy diferentes, como se contemplan en el apartado 2. Pese a haberse descartado los materiales de madera u hormigón, se presenta la duda de si sería mejor instalar cubiertas inclinadas o curvas, y concretamente qué tipo dentro de esa subdivisión.

En este apartado se intentará adaptar las características descritas en 2.1.1 a la Escuela Naval Militar y a las características de su lugar de emplazamiento, indicando ventajas y desventajas de cada una y por qué pudiera a llegar a ser más o menos conveniente. Para ello se hará una serie de propuestas, para posteriormente elegir una justificadamente y estudiarla de forma más concreta y detallada.

3.1.1 Primera propuesta: Cubiertas a dos aguas

En la Figura 3-1 y la Figura 3-2 se muestra la realización de las propuestas mediante el software SketchUp nombrado en 1.4.2.2.

Este tipo de cubierta sería perfectamente válido para cubrir las pistas de pádel, sin embargo, tiene la desventaja de que para la Escuela Naval Militarla la estética es un factor muy importante, incluso más importante de lo que se pudiera llegar a considerar otros lugares. Estos tipos de cubiertas son principalmente usado en naves industriales, por lo cual, usarlo para una pista de pádel, no es estéticamente la mejor solución, además, tras adquirirse información proporcionada por empresas dedicadas a la construcción de pistas de pádel y sus cubiertas [34], muchos jugadores explicaban que no

le gustaba jugar en pistas cuyas cubiertas fueran a dos aguas pues daba una sensación de que la pista no era profesional, que se asemejaba a una nave industrial. Por ello, este tipo de construcciones está quedando algo obsoleto.

Figura 3-1. Diseño de cubierta a dos aguas perspectiva 1 [Autoría propia]]

Figura 3-2. Diseño de cubierta a dos aguas perspectiva 2 [Autoría propia]

3.1.2 Segunda propuesta: Cubiertas a un agua

La siguiente propuesta posee características similares a las cubiertas a dos vertientes nombradas anteriormente. Se presenta como una opción debido a una acusada modificación de la geometría que se puede apreciar en la Figura 3-3 y la Figura 3-4. Esta cubierta también cumpliría los requisitos que debe tener una cubierta de pádel, sin embargo, no mejora las desventajas nombradas en 3.1.1. Además para la buena evacuación del agua de la lluvia y la caída de la nieve que en un hipotético caso se pudiera llegar a acumular, se necesitaría una altura mayor de la cubierta debido a que es una sola vertiente, lo cual implicaría un aumento de peso, y por lo tanto un encarecimiento de la estructura.

Figura 3-3. Diseño de cubierta a un agua perspectiva 1 [Autoría propia]]

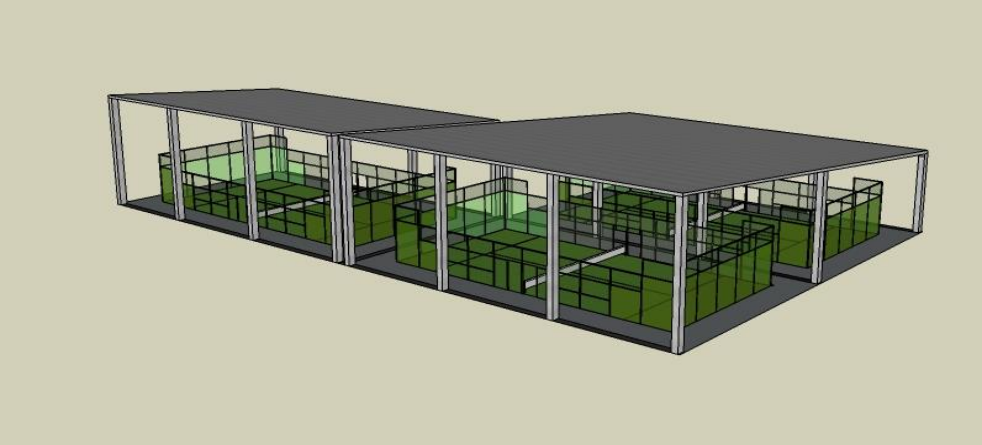


Figura 3-4. Diseño de cubierta a un agua perspectiva 2 [Autoría propia]

3.1.3 Tercera propuesta: Cubiertas curvas autoportantes

Este diseño que se muestra tiene diferente geometría a los nombrados anteriormente, se puede contemplar en la Figura 3-5 y Figura 3-6.

Este tipo de cubiertas presenta ciertas ventajas respecto a las dos que se han enunciado en los apartados anteriores y que son inclinadas. Una de ellas es la menor resistencia que ofrece al empuje del viento. Otra virtud que presenta es su facilidad de construcción así como su rapidez debido a que no requieren vigas ni correas, además de reducir el coste de mantenimiento empleado, como puede ser el empleado para la pintura. [35]

En cuanto a la experiencia de los jugadores, estas cubiertas, en comparación con otras, permiten un globo mayor a medida que los jugadores se alejan del eje de simetría. Sin embargo, éstos no quedan del todo satisfecho debido a que, como se puede ver en la Figura 3-5, estas cubiertas necesitan unos cables tensores que sirvan para que la chapa metálica no se abra y aguante el esfuerzo transversal, lo cual conlleva el problema de que estos cables tensores pueden interferir en el juego. Esto se manifiesta tras consultar a varias empresas especializadas en la construcción de cubiertas para pistas deportivas como son [8] y [34]. Éstas indican que han dejado de fabricar modelos de autoportantes debido a las quejas de los jugadores por la interrupción que a veces supone en el juego los tensores y que cada vez se ven menos en este tipo de construcciones.

Figura 3-5. Diseño de cubierta autoportante perspectiva 1 [Autoría propia]

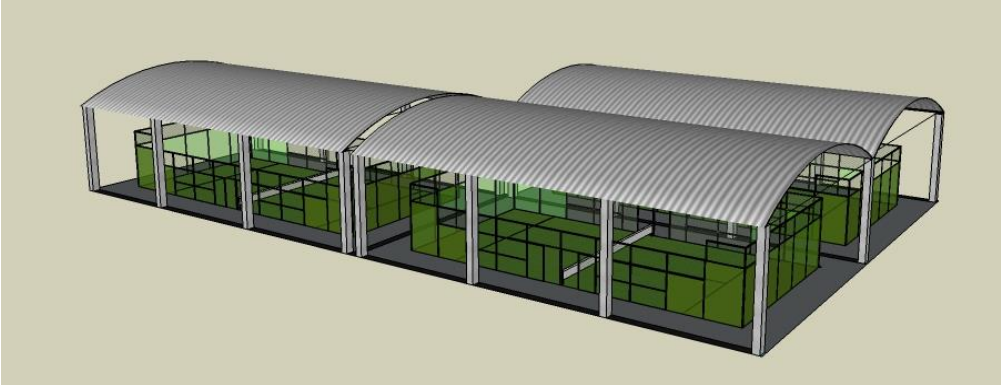


Figura 3-6. Diseño de cubierta autoportante perspectiva 2 [Autoría propia]

3.1.4 Cuarta propuesta: Cubiertas curvas no autoportantes

La presente propuesta muestra una cubierta muy similar a la anterior como se puede apreciar en la Figura 3-7 y Figura 3-8, sin embargo, esta no es autoportante, el material que cierra la estructura es sostenido por correas y vigas. Estas vigas pueden consistir en perfiles metálicos curvados o en celosías como ya se contemplaba en la Figura 2-2. En cuanto a los perfiles metálicos curvados se puede decir que son menos económicos no solo por tener una mayor cantidad de material si no porque también se le añade el precio de curvarlo. Las celosías, sin embargo pueden presentar un problema similar al que generaban los cables tensores, es decir, interrupciones del juego, sin embargo esto podría ser solventado mediante una celosía que siguiera la geometría del panel y de una dimensión que permitiera que el globo no quedará demasiado perjudicado.

Uno de los principales motivos por los cuales este tipo de cubiertas son elegidos es la gran estética que ofrecen frente a otras, además presentan una alta relación resistencia/peso [12].

Este tipo de cubiertas por tener similar geometría posee las prácticamente las mismas características que la anterior, sin embargo, sería la solución para el problema planteado en el tipo de cubiertas nombrado previamente, los tirantes. Además debido a que no se tienen que soportar a ellas mismas en cuanto a esfuerzos verticales, y que por lo tanto no deben tener la geometría concreta de un material determinado, se puede usar un material aún más estético que sea translúcido como se aprecia en el diseño. Además este tipo de materiales proporcionaría una mejor visión del juego para espectadores que pudieran acudir a presenciar el partido desde el exterior de la escuela, así como, una reducción de la necesidad de iluminación artificial.

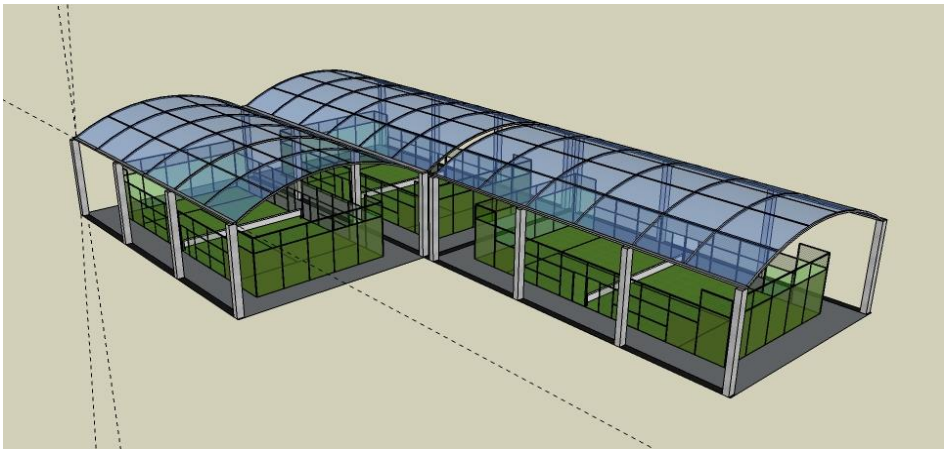


Figura 3-7. Diseño de cubierta curva no autoportante perspectiva 1 [Autoría propia]

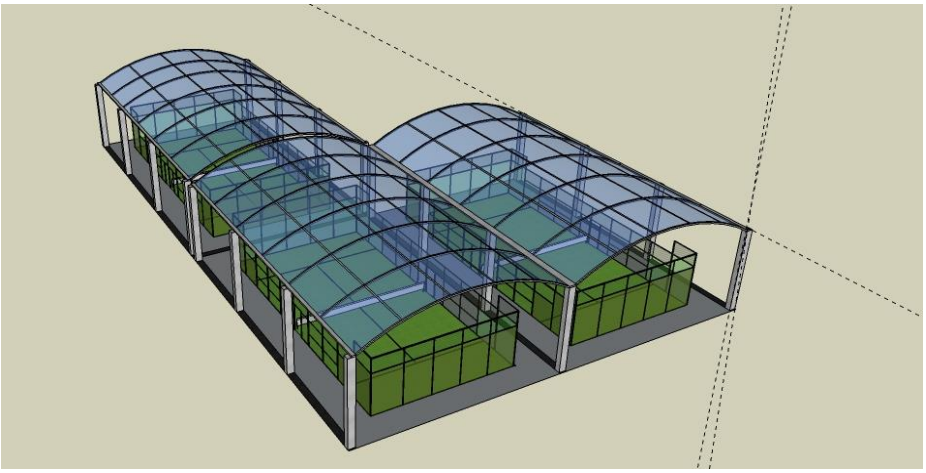


Figura 3-8. Diseño de cubierta curva no autoportante perspectiva 2 [Autoría propia]

3.2 Propuesta elegida

Todas las propuestas nombradas anteriormente, serían posibles opciones para cubrir las pistas de pádel. Tras cálculos previos y contactos con ciertas empresas especializadas en el tema, la diferencia de precios no es lo suficientemente acusada para ser determinante en la elección. Sin embargo, se considera que la propuesta a elegirse, y que más ventajas puede presentar, es la cuarta propuesta, usando una celosía en lugar de un perfil IPE curvado. Esto es debido al gran vano que la cubierta requiere (14 metros aproximadamente), el cual precisaría de un perfil IPE elevado, aumentando considerablemente el coste de la misma. Esta celosía junto a la estructura se puede apreciar en la Figura 3-9 realizada en AutoCAD. Esta propuesta, presenta como principales ventajas:

- Presenta una estética más característica de pistas de pádel, debido a su forma curva y no de naves industriales. Además a diferencia de las cubiertas curvas autoportantes, se puede usar un material translúcido que mejore aún más la estética quedando como el acabado expuesto en la Figura 3-7, aprovechando así la orientación de las pistas Norte-Sur, que haría que el Sol no molestara a los jugadores. Además este material, como se comenta anteriormente, también mejora la visión exterior al personal que pasea por los exteriores de la Escuela Naval, además de reducir la iluminación artificial.
- Proporciona mayor globo conforme los jugadores se alejan del eje de simetría de la cubierta, es decir, la altura máxima disminuye de forma más progresiva conforme se acerca a los pilares en comparación con las cubiertas a un agua y dos aguas.
- No requiere de tensores que puedan llegar a intervenir en el juego y pueda ser molesto para los jugadores.

- Tienen una geometría más aerodinámica con respecto a las que no son curvas, por lo que en principio la estructura será más ligera y económica.
- La celosía permite que se puedan cubrir grandes vanos sin tener que requerir de perfiles con cantos muy elevados.

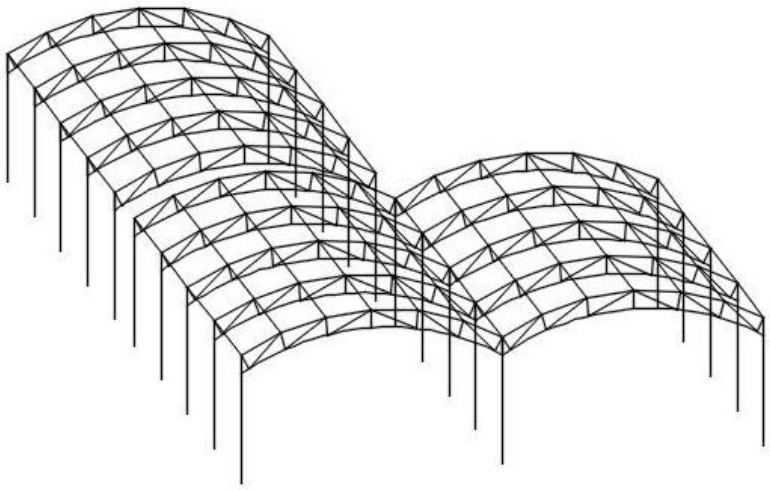


Figura 3-9. Diseño de propuesta elegida de cubierta curva con celosía [Autoría propia]

Para el cubrimiento de esta cubierta se ha seleccionado una plancha de policarbonato celular incolora de 16mm de grosor, que además de las ventajas comentadas, presenta una alta resistencia al impacto y protección UV por una cara de la misma, así como buena disipación del calor exterior. Este material además presenta excelentes radios de curvatura, es ligero y de fácil montaje. El material seleccionado es de la empresa Polimer Tecnic [36]. Dicho material, además de ser comprobado con los cálculos realizados teniendo en cuenta la combinación de cargas del estado límite último, es reconocido por la empresa como material que garantiza validez frente a las acciones que tienen lugar en la estructura.

En cuanto a elementos estructurales se refiere, se hará uso de perfiles de acero S275JR de tipo doble T, IPE para las correas como se aprecia en la Figura 3-10 y HE para los pilares como se encuentra en la Figura 3-11, debido a sus características. En este caso, el IPE es más recomendado para barras que sufren a flexión como las correas y el HE para los pilares, ya que sufren principalmente a compresión.

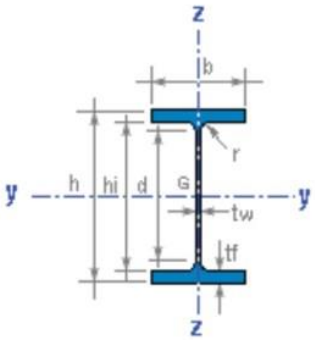


Figura 3-10. Perfil tipo IPE [37]

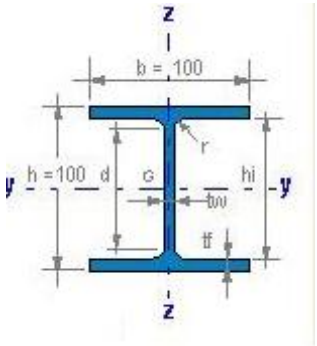


Figura 3-11. Perfil tipo HEB [10]

Para las barras de la celosía se usará perfiles tipo L cuyas características se contemplan en la Figura 3-12, que son los comúnmente encontrados en este tipo de construcciones.

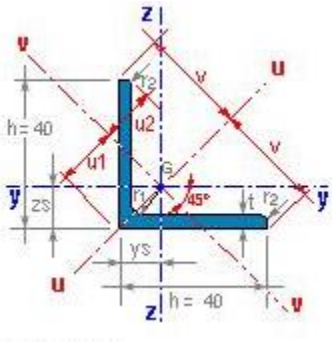


Figura 3-12. Perfil tipo L [10]

4 DIMENSIONAMIENTO Y CÁLCULO DE LA ESTRUCTURA

En este apartado se indicarán y justificarán las principales dimensiones de la estructura de cubierta descrita en el apartado 3.2. Además también se comentará el proceso de cálculo y sus fundamentos junto con los principales resultados.

4.1 Dimensiones básicas de la estructura

A continuación se indican las principales dimensiones de la estructura de cubierta, referidas a una única cubierta, ya que las tres son iguales. Para apreciar esto de forma detallada, se debe acudir al Anexo IV: Planos.

- Longitud de la cubierta. La longitud de la cubierta es de 24 metros, es decir, 2 metros más por cada lado con respecto al tamaño de la longitud de la pista de pádel. Se ha decidido dejar los 2 metros debido a que es una distancia que en principio permitiría que el agua que cayera de la cubierta no interfiera en el terreno de juego. Además esta medida es usada de forma frecuente por empresas dedicadas a este tipo de construcciones.
- Ancho de la cubierta. El ancho que posee cada estructura es de 14 metros, por los mismos motivos descritos en cuanto a la longitud.
- Altura de los pilares. La Federación Española de Pádel [22] recoge que tiene que haber una altura mínima libre de 6 metros sobre toda la superficie del terreno. A pesar de que con esta altura se cumpliría, se ha optado por una altura de pilar de 7 metros, dejando así 1 metro de margen de altura para poder instalar unos focos en el caso de que fuera necesario y que éstos no estuvieran dentro de los 6 metros. Actualmente la altura de los pilares suelen estar entre 7 y 9 metros aproximadamente.
- Altura de la cubierta. La altura máxima de la cubierta es de 9 metros, es decir, 7 metros de pilar más los 2 metros de flecha que dispone el arco que forma la parte superior. Se ha considerado una curvatura de arco que no fuera muy acusada para que la altura máxima de la cubierta no fuera elevada, disminuyendo así el impacto del viento.
- Separación entre pórticos. Se ha decidido disponer de 4 vanos de 6 metros cada uno de longitud, teniendo así 5 pilares en cada lateral. Con cálculos preliminares se llegó a la combinación óptima teniendo en cuenta que a mayor separación de pórticos, menor es la cantidad de pilares que componen la estructura, y por lo tanto, mayor es el perfil que estos requieren para soportar la misma carga. Sin embargo, si la separación es menor, más pilares se podrán encontrar, no obstante, estos serán de perfiles menores ya que a cada pilar le corresponderá una menor parte de la carga.
- Separación entre correas. Para determinar la separación entre correas se hizo de forma análoga a lo explicado en la separación de pórticos, siendo esta de 2.5 metros. Ésta es la máxima separación entre correas que la mayoría de las empresas consideran para sus planchas de policarbonato. Se ha escogido esta distancia ya que así se tendrá el mínimo número de correas, lo cual mejorará la estética y disminuirá el peso de la estructura. Si se cogiera una separación entre correas menor, el peso de la

estructura sería mayor, ya que habría que introducir más barras aumentándose así el coste de la misma. Aunque las correas que se introdujeran redujeran el tamaño de perfil de todas éstas, esto no sería totalmente aprovechado ya que existe un perfil mínimo fabricado que habría que cumplir, es decir, no se podría escoger el perfil tan pequeño como se deseara para que este aumento de correas fuera rentable.

4.2 Fundamentos del cálculo estructural

Se describirá y hará referencia a los principios del cálculo estructural necesarios para el dimensionamiento de la estructura de cubierta. Sin embargo esto se realizará de forma simplificada ya que los cálculos definitivos se llevarán a cabo con el Software CYPE como se describirá en 4.3.

4.2.1 Acciones sobre la estructura

Todo lo relacionado con las cargas que debe soportar la estructura, tanto las particularidades de cada tipo como los valores que se le deben de dar a cada una, se recoge en la normativa nombrada en el apartado 2.2.2, siendo el principal documento el DB-SE-AE [27]. En este documento se puede ver como las acciones se dividen en acciones permanentes, acciones variables y acciones accidentales.

4.2.1.1 Acciones Permanentes

Estas acciones son propias de la estructura, son constante en el tiempo, no varían ni en valor ni en el punto o zona de aplicación, además no pueden ser obviadas ni omitidas. Las acciones que se engloban dentro de este subapartado son las siguientes:

- <u>Peso propio</u>

Se tiene en cuenta el peso de los diferentes elementos de la estructura como es la plancha de policarbonato que recae sobre las correas, es decir material que cierra la parte superior de la estructura, así como las propias correas en sí y la celosía. También influirá el peso de los pilares, especialmente para dimensionar la cimentación.

El material de policarbonato elegido pesa $2.7\ kg/m^2$, lo que equivale aproximadamente a $0.027\ kN/m^2$ de carga. Peso prácticamente despreciable, igualmente se ha introducido un valor de carga muerta de $0.05\ kN/m^2$ por si se decidiera cambiar a un material que pesara más. Esto se puede ver en las cargas editadas sobre los paños en el Anexo I: Desarrollo del cálculo de la estructura en CYPE.

El peso propio de las correas, los pilares y las celosías no se conocen a priori, depende del dimensionado final.

4.2.1.2 Acciones Variables

Estas acciones a diferencias de las permanentes, no tienen que actuar siempre sobre la estructura, variará dependiendo de factores como pueden ser el emplazamiento, la meteorología o la propia geometría de la cubierta. Los diferentes tipos de acciones variables que se pueden encontrar en la normativa referenciada son:

- <u>Sobrecarga de uso</u>

Viene definida como todo aquello que puede gravitar sobre la estructura por razón de su uso. En la Figura 4-1 se puede apreciar dependiendo de la categoría en la que se encuentre la estructura, el valor que se debe tener en cuenta para los cálculos.

En el presente proyecto, la cubierta será accesible únicamente para conservación, por lo tanto la categoría de uso es la G, concretamente en la subcategoría de uso G1, cubierta ligera sobre correas (sin forjado), entendiéndose por cubierta ligera aquella cuya carga permanente debida únicamente a su cerramiento no excede de $1\ kN/m^2$. Los valores por lo tanto que se toman de sobrecarga de uso son *0.4*

kN/m² como carga uniforme y *1 kN* como carga concentrada. En este caso se elegiría *0,4 kN/m²* para la comprobación de la resistencia del panel de la cubierta, mientras que se usaría la carga puntual de *1 kN* para hacer comprobaciones en correas, vigas y celosías en el centro del vano.

Categoría de uso		Subcategorías de uso		Carga uniforme [kN/m²]	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

Figura 4-1. Valores característicos de la sobrecarga de uso [27]

- Viento

Las cargas producidas por el viento son consecuencia de las presiones que ejerce el mismo y las fuerzas que resultan y que son dependientes de la geometría y el tamaño de la construcción, así como de la permeabilidad de la superficie de la misma y las características del viento, como puede ser la dirección, la intensidad y las diferentes rachas que este genera. La expresión que se usa para calcular la acción del viento es la siguiente:

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

Ecuación 4-1 [27]

En el caso de q_b se puede calcular con la fórmula $q_b = 0.5 \cdot \delta \cdot v_b^2$, siendo el término δ , la densidad del aire y v_b la velocidad básica del viento. Sin embargo, también puede calcularse la presión dinámica del viento, q_b, acudiendo a la Figura 4-2 y sabiendo que, q_b es *0,42 kN/m²*, *0,45 kN/m²* y *0,52 kN/m²* en las zonas A, B y C respectivamente. En este caso, al encontrarse Marín (Pontevedra) dentro de la zona B, el valor de q_b a tomar es de *0,45 kN/m²*.

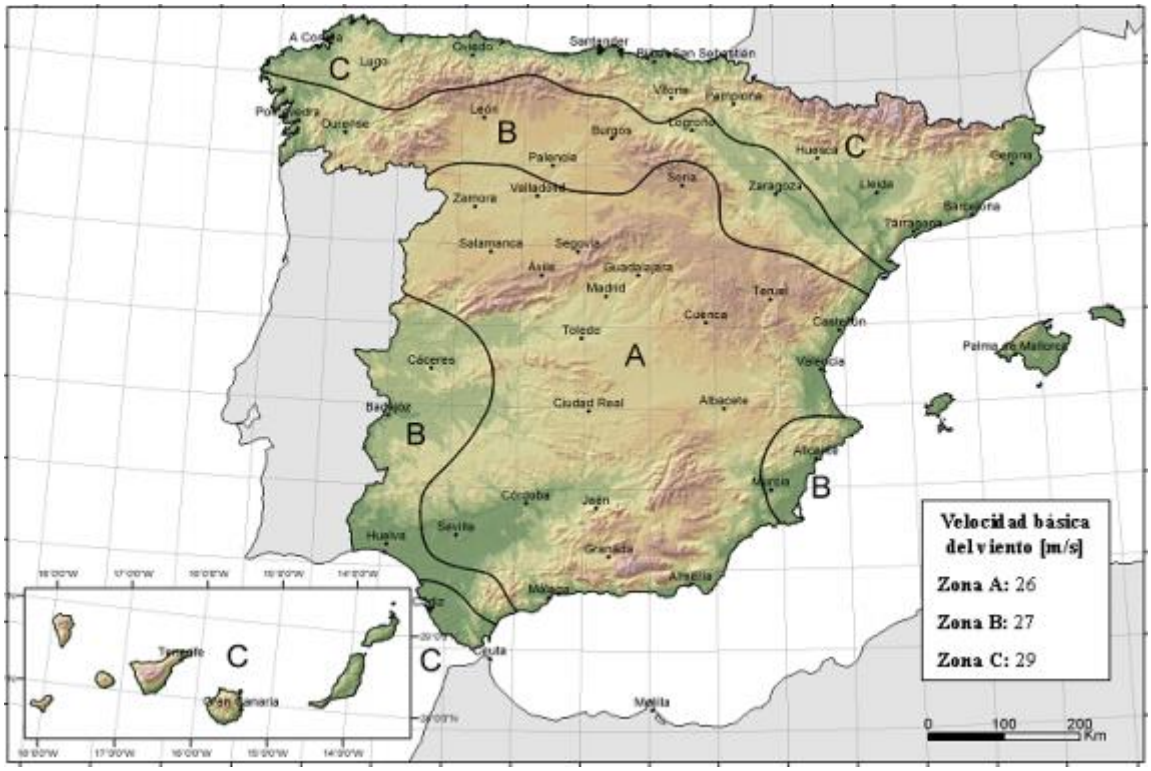


Figura 4-2. Mapa de España con los diferentes valores de v_b en zonas A, B y C [27]

En cuanto a c_e, el coeficiente de exposición, el cual varía según el grado de aspereza del entorno y la altura del punto considerado, se calcula mediante la Figura 4-3. Teniendo en cuenta que la altura de la cubierta de pádel es de 9 metros sobre el suelo y que el grado de aspereza del entorno es I, el coeficiente c_e vale 3,0.

	Grado de aspereza del entorno	Altura del punto considerado (m)							
		3	6	9	12	15	18	24	30
I	Borde del mar o de un lago, con una superficie de agua en la dirección del viento de al menos 5 km de longitud	2,4	2,7	3,0	3,1	3,3	3,4	3,5	3,7
II	Terreno rural llano sin obstáculos ni arbolado de importancia	2,1	2,5	2,7	2,9	3,0	3,1	3,3	3,5
III	Zona rural accidentada o llana con algunos obstáculos aislados, como árboles o construcciones pequeñas	1,6	2,0	2,3	2,5	2,6	2,7	2,9	3,1
IV	Zona urbana en general, industrial o forestal	1,3	1,4	1,7	1,9	2,1	2,2	2,4	2,6
V	Centro de negocio de grandes ciudades, con profusión de edificios en altura	1,2	1,2	1,2	1,4	1,5	1,6	1,9	2,0

Figura 4-3. Valores del coeficiente de exposición [27]

El coeficiente eólico o de presión, c_p, depende de la geometría y la superficie que la estructura expone al viento. Se analiza tanto para el efecto de presión del viento como el de succión (valores negativos). Para calcularlo, debido a que se entra dentro del grupo de naves y construcciones diáfanas sin forjados, y tal y como se indica en el Documento Básico de Seguridad Estructural de Acciones en la Edificación del Código Técnico [27], en el primer apartado del punto 3.3.4, la estructura se tratará como una marquesina. Se toma, del anejo D, el coeficiente de la tabla correspondiente a una marquesina a dos aguas de forma aproximada desde el lado de la seguridad, ya que este documento no refleja marquesinas curvas. El coeficiente que se marca en este anejo es $c_{p,10}$, es decir, representa la máxima presión localizada sobre un área de al menos 10 m^2. La pendiente de la cubierta se aproxima a un ángulo de aproximadamente 15º. Para calcular el factor de obstrucción se tiene en cuenta el área que presentan las

paredes de la pista de pádel siendo de 40 m^2, en los fondos, y de 64 m^2 en los laterales considerando despreciable el área de los pilares que habría que restar, por lo cual habría dos coeficientes de obstrucción, el de los fondos sería $\frac{40}{98} \approx 0.4$ y el de los laterales, del mismo modo, $\frac{64}{168} \approx 0.4$. Para el viento de succión se toma el coeficiente de obstrucción como 1 ya que es la situación más desfavorable aunque realmente habría que interpolar, pero esto se realiza en el software CYPE. Consultando la Figura 4-4 se conoce que el coeficiente de presión del viento, es decir, cuando el efecto de éste es hacia abajo, está entre 0.4 y 1.9, siendo el más desfavorable 1.9 en la zona B. Para el viento de succión, es decir, cuando su efecto es hacia arriba, el coeficiente se encuentra entre los valores -1.3 y -2.2, siendo el más desfavorable el de -2.2, también en la zona B. Estos serían los límites de los coeficientes tanto para presión como para succión del viento, sin embargo, habría que calcular cual sería la carga de viento de cada zona, para eso se utilizará el software CYPE.

			Coeficientes de presión $c_{p,10}$			
Pendiente de la cubierta α	Efecto del viento hacia	Factor de obstrucción φ	Zona (según figura) A	B	C	D
-20°	Abajo	0 ≤ φ ≤ 1	0,8	1,6	0,6	1,7
	Arriba	0	-0,9	-1,3	-1,6	-0,6
	Arriba	1	-1,5	-2,4	-2,4	-0,6
-15°	Abajo	0 ≤ φ ≤ 1	0,6	1,5	0,7	1,4
	Arriba	0	-0,8	-1,3	-1,6	-0,6
	Arriba	1	-1,6	-2,7	-2,6	-0,6
-10°	Abajo	0 ≤ φ ≤ 1	0,6	1,4	0,8	1,1
	Arriba	0	-0,8	-1,3	-1,5	-0,6
	Arriba	1	-1,6	-2,7	-2,6	-0,6
-5°	Abajo	0 ≤ φ ≤ 1	0,5	1,5	0,8	0,8
	Arriba	0	-0,7	-1,3	-1,6	-0,6
	Arriba	1	-1,5	-2,4	-2,4	-0,6
5°	Abajo	0 ≤ φ ≤ 1	0,6	1,8	1,3	0,4
	Arriba	0	-0,6	-1,4	-1,4	-1,1
	Arriba	1	-1,3	-2,0	-1,8	-1,5
10°	Abajo	0 ≤ φ ≤ 1	0,7	1,8	1,4	0,4
	Arriba	0	-0,7	-1,5	-1,4	-1,4
	Arriba	1	-1,3	-2,0	-1,8	-1,8
15°	Abajo	0 ≤ φ ≤ 1	0,9	1,9	1,4	0,4
	Arriba	0	0,0	1,7	1,4	1,0
	Arriba	1	-1,3	-2,2	-1,6	-2,1
20°	Abajo	0 ≤ φ ≤ 1	1,1	1,9	1,5	0,4
	Arriba	0	-1,2	-1,8	-1,4	-2,0
	Arriba	1	-1,4	-2,2	-1,6	-2,1
25°	Abajo	0 ≤ φ ≤ 1	1,2	1,9	1,6	0,5
	Arriba	0	-1,4	-1,9	-1,4	-2,0
	Arriba	1	-1,4	-2,0	-1,5	-2,0
30°	Abajo	0 ≤ φ ≤ 1	1,3	1,9	1,6	0,7
	Arriba	0	-1,4	-1,9	-1,4	-2,0
	Arriba	1	-1,4	-1,8	-1,4	-2,0

Figura 4-4. Tabla marquesinas a dos aguas [27]

- Para el coeficiente $c_{p,10} = 0.4$; $q_{e,1} = 0.45 \cdot 3.0 \cdot 0.4 = 0.54\ kN/m^2$
- Para el coeficiente $c_{p,10} = 1.9$; $q_{e,2} = 0.45 \cdot 3.0 \cdot 1.9 = 2.565\ kN/m^2$
- Para el coeficiente $c_{p,10} = -1.3$; $q_{e,3} = 0.45 \cdot 3.0 \cdot -1.3 = -1.755\ kN/m^2$
- Para el coeficiente $c_{p,10} = -2.2$; $q_{e,4} = 0.45 \cdot 3.0 \cdot -2.2 = -2.97\ kN/m^2$

Por lo tanto se conoce que para presión q_e estará entre $0.54\ kN/m^2$ y $2.565\ kN/m^2$, y que para succión q_e estará entre $-1.755\ kN/m^2$ y $-2.97\ kN/m^2$, dependiendo de la zona de cubierta considerada.

- Acciones térmicas

Estas acciones son despreciables ya que se empiezan a considerar a partir de una longitud de correas de más de 40 metros de longitud. La longitud de correa que presenta este caso es de 40 metros.

- Nieve

El reparto de la carga de nieve viene dado por el tipo de clima del lugar, el de precipitación, el relieve del entorno, la geometría de la cubierta, el efecto del viento y los intercambios térmicos en los parámetros exteriores.

Para determinar la carga de nieve se usa la ecuación $q_n = \mu \cdot s_k$. En dicha ecuación μ hace referencia al coeficiente de forma de la cubierta, en este caso aunque no haya impedimentos, se considera el peor caso y se toma el valor 1, ya que se hace la aproximación de la inclinación de cubierta, desde el lado de la seguridad, a menos de 30º de pendiente. En cuanto al valor característico de la carga de nieve sobre un terreno horizontal, s_k, se acude a la Figura 4-5, en la cual se determina que s_k vale *0,3 kN/m²*, correspondiente a Pontevedra.

Capital	Altitud m	s_k kN/m²	Capital	Altitud m	s_k kN/m²	Capital	Altitud m	s_k kN/m²
Albacete	690	0,6	Guadalajara	680	0,6	Pontevedra	0	0,3
Alicante / *Alacant*	0	0,2	Huelva	0	0,2	Salamanca	790	0,5
Almería	0	0,2	Huesca	470	0,7	SanSebas-tián/*Donostia*	0	0,3
Ávila	1.130	1,0	Jaén	570	0,4	Santander	0	0,3
Badajoz	180	0,2	León	820	1,2	Segovia	1.000	0,7
Barcelona	0	0,4	Lérida / *Lleida*	150	0,5	Sevilla	10	0,2
Bilbao / *Bilbo*	0	0,3	Logroño	380	0,6	Soria	1.090	0,9
Burgos	860	0,6	Lugo	470	0,7	Tarragona	0	0,4
Cáceres	440	0,4	Madrid	660	0,6	Tenerife	0	0,2
Cádiz	0	0,2	Málaga	0	0,2	Teruel	950	0,9
Castellón	0	0,2	Murcia	40	0,2	Toledo	550	0,5
Ciudad Real	640	0,6	Orense / *Ourense*	130	0,4	Valencia/*València*	0	0,2
Córdoba	100	0,2	Oviedo	230	0,5	Valladolid	690	0,4
Coruña / *A Coruña*	0	0,3	Palencia	740	0,4	Vitoria / *Gasteiz*	520	0,7
Cuenca	1.010	1,0	Palma de Mallorca	0	0,2	Zamora	650	0,4
Gerona / *Girona*	70	0,4	Palmas, Las	0	0,2	Zaragoza	210	0,5
Granada	690	0,5	Pamplona/*Iruña*	450	0,7	Ceuta y Melilla	0	0,2

Figura 4-5. Sobrecarga de nieve en capitales de provincia y ciudades autónomas [27]

Al resolver la ecuación se obtiene que la carga de nieve q_n vale *0,3 kN/m²*.

4.2.1.3 Acciones accidentales

- Sismo

Las acciones sísmicas se regulan según la Normativa de Construcción Sismorresistente [33], que aplicándola al caso, recoge que estará exenta de ser de obligado cumplimiento para aquellas construcciones en las cuales $a_b < 0.04g$, siendo g la aceleración de la gravedad y a_b la aceleración sísmica básica. Como se puede ver en la Figura 4-6, para la zona actual se cumple lo anteriormente mencionado, por lo cual la aplicación de esta norma no es necesaria. Además la construcción no es de importancia moderada, lo cual supone otro motivo para que la aplicación de esta norma no sea obligatoria.

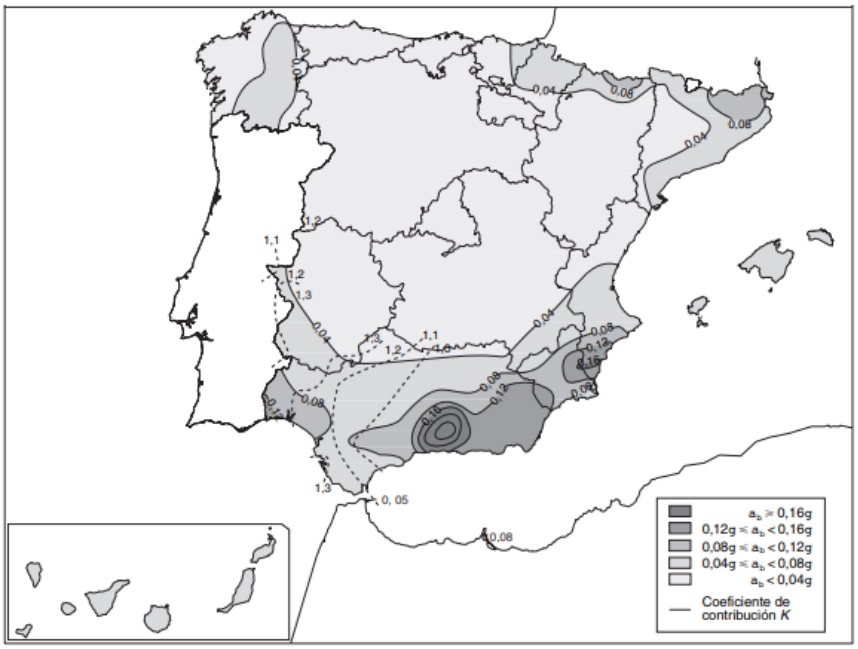


Figura 4-6. Mapa de peligrosidad sísmica de España de la normativa sismorresistente NCSE [33]

4.2.2 Combinación de acciones

Antes de conocer cómo se combinan los valores característicos anteriormente nombrados y determinar la carga de estado límite de servicio y la carga de estado límite último, se debe saber cómo se definen éstas y como se tienen que realizar los cálculos sin software. Sin embargo no se darán detalladamente los valores, estos se sacarán con CYPE. Para este apartado se ha seguido la normativa DB-SE [26], la Instrucción del Acero Estructural EAE [32] así como el libro de Acciones en la Edificación [38].

Los estados límite se refieren a las situaciones en las que cuando son superadas, puede considerarse que la estructura no cumple alguna de las funciones para las que ha sido construida. En cuanto al estado límite de servicio es aquel que si es superado puede afectar al confort y bienestar de los usuarios, así como al correcto funcionamiento de la construcción. También puede perjudicar a su estética presentando deformaciones y vibraciones que resulten desagradables al personal que la use, además puede perturbar la funcionalidad dela estructura o deteriorarla de forma que pueda afectar tanto a la durabilidad como a la apariencia. El estado límite último, se define como el que está asociado a la rotura u otra forma similar de fallo estructural de la misma o de una parte de ella, poniendo fuera de servicio a la estructura.

El valor de cálculo de los efectos de las acciones nombradas en 4.2.1 , teniendo en cuenta que no es una situación extraordinaria, sino una situación de cálculo persistente y transitoria, se determina mediante la combinación expresada por la fórmula:

$$\sum_{j\geq 1} \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i>1} \gamma_{Q,i} \cdot \Psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}$$

Ecuación 4-2 [26]

- El primer sumando, $\gamma_{G,j} \cdot G_{k,j}$, hace referencia al sumatorio de todas las acciones permanentes $(G_{k,j})$ con sus respectivos valores característicos multiplicado por su coeficiente de seguridad $(\gamma_{G,j})$.
- En segundo lugar se encuentra el cálculo del pretensado, $\gamma_P \cdot P$, el cual no afecta en este caso.
- El siguiente sumando, $\gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1}$, hace referencia a la acción variable determinante con su valor característico $(Q_{k,1})$ multiplicado por el correspondiente coeficiente de seguridad.

- Lo restante son las restantes acciones variables concomitantes con la acción variable determinante, $\gamma_{Q,i} \cdot \Psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}$, con sus valores característicos ($Q_{k,i}$,), su coeficiente de seguridad ($\gamma_{Q,i}$) y su coeficiente de simultaneidad $\Psi_{0,i}$.

Analizando más concretamente los coeficientes de seguridad, también conocidos como coeficientes parciales o de mayorización, se debe tener en cuenta si la carga a la que se le está añadiendo ese coeficiente es favorable o desfavorable a la acción variable determinante, ya que tomará un valor u otro como se puede ver en la Figura 4-7.

Tipo de comprobación	Acción	Desfavorable	Favorable
Estado Límite Último Resistencia	Peso propio	$\gamma_G = 1{,}35$	$\gamma_G = 0{,}80$
	Empuje del terreno	$\gamma_G = 1{,}35$	$\gamma_G = 0{,}70$
	Presión del agua	$\gamma_G = 1{,}20$	$\gamma_G = 0{,}90$
	Variable	$\gamma_Q = 1{,}50$	$\gamma_Q = 0$
Estado Límite Último Estabilidad	Peso propio	$\gamma_G = 1{,}10$	$\gamma_G = 0{,}90$
	Empuje del terreno	$\gamma_G = 1{,}35$	$\gamma_G = 0{,}80$
	Presión del agua	$\gamma_G = 1{,}05$	$\gamma_G = 0{,}95$
	Variable	$\gamma_Q = 1{,}50$	$\gamma_Q = 0$
Estado Límite de Servicio	Permanente	$\gamma_G = 1{,}00$	$\gamma_G = 1{,}00$
	Variable	$\gamma_Q = 1{,}00$	$\gamma_Q = 0$

Figura 4-7. Coeficientes parciales γ para las acciones [39]

En cuanto a los coeficientes de simultaneidad existen tres tipos: valor de combinación (Ψ_0), valor frecuente (Ψ_1) y valor casi permanente (Ψ_2) como se puede ver en la Figura 4-8. En este caso se usa (Ψ_0) como se indica en la Ecuación 4-2.

	Ψ_0	Ψ_1	Ψ_2
Sobrecarga superficial de uso (Categorías según DB-SE-AE)			
• Zonas residenciales (Categoría A)	0,7	0,5	0,3
• Zonas administrativas(Categoría B)	0,7	0,5	0,3
• Zonas destinadas al público (Categoría C)	0,7	0,7	0,6
• Zonas comerciales (Categoría D)	0,7	0,7	0,6
• Zonas de tráfico y de aparcamiento de vehículos ligeros con un peso total inferior a 30 kN (Categoría E)	0,7	0,7	0,6
• Cubiertas transitables (Categoría F)		(1)	
• Cubiertas accesibles únicamente para mantenimiento (Categoría G)	0	0	0
Nieve			
• para altitudes > 1000 m	0,7	0,5	0,2
• para altitudes ≤ 1000 m	0,5	0,2	0
Viento	0,6	0,5	0
Temperatura	0,6	0,5	0
Acciones variables del terreno	0,7	0,7	0,7

Figura 4-8. Coeficientes de simultaneidad Ψ [26]

A la hora de hacer las diferentes combinaciones de cargas, poniendo como acción variable determinante cada uno de los diferentes valores característicos, hay que tener en cuenta que la acción variable de sobrecarga de uso no es concomitante con el resto de acciones variables. En primer lugar se hace la comprobación para E.L.U de resistencia, para cada elemento de la estructura. A continuación se hace un proceso análogo para la comprobación del E.LS, la única diferencia entre ambos es el coeficiente

de seguridad $\gamma_{Q,i}$ que se encuentran en la Figura 4-7. Una vez se obtiene esa combinación de cargas, para E.L.U, al ser el caso más desfavorable, también será esa misma combinación para E.L.S, variando ese coeficiente de seguridad.

4.2.3 Correas

Las correas son los elementos que soportan de forma directa el peso del panel así como las cargas que estén sobre este. Se debe efectuar para el dimensionamiento unas comprobaciones para determinar si las correas satisfacen los requerimientos de deformación máxima (E.L.S) así como la resistencia de rotura por flexión (E.L.U).

- Deformación máxima

Respecto a la flecha máxima, es definida como la mayor deformación, antes de dejar de desarrollar de forma correcta su función, que puede presentar la correa debido a la flexión provocada por una o varias cargas que actúan sobre ésta de forma vertical. Se ha tomado el valor de L/300 debido a que es una condición típicamente seleccionada para cubiertas con este tipo de paneles.

Como en este apartado se está comprobando la deformación, y no la rotura, se usará la carga correspondiente al estado límite de servicio. De esta manera, asumiendo que la correa se puede suponer simplemente apoyada sobre las barras de la celosía (apoyo articulado), usando la fórmula que se expone a continuación se halla el momento de inercia mínimo que debe tener el perfil a seleccionar:

$$I \geq \frac{Q_{ELS} \cdot L^4}{384 \cdot E \cdot f_{max}}$$

Ecuación 4-3 [39]

- Rotura

Se estudia si una barra es resistente a la rotura que pudiera producirse debido al efecto de la flexión, se debe calcular el momento máximo que se produce en el centro de la viga (M_{max}), para ello se usa la expresión correspondiente según sea el tipo de carga y cuáles son los apoyos de la viga. Para una correa apoyada en sus dos extremos, con una carga puntual en el centro del vano, su momento máximo es $M_{max} = \frac{P \cdot L}{4}$, para una carga distribuida entre dos apoyos se define como $M_{max} = \frac{q \cdot L^2}{8}$. Una vez se calcula el momento máximo se debe saber que:

$$M_{max} \leq W \cdot f_{yd}$$

Ecuación 4-4 [39]

Con esta última fórmula se saca el mínimo módulo resistente de la sección y con este se entra en un prontuario y se escoge el perfil inmediatamente superior que lo cumpla. También se ha de conocer que la resistencia del cálculo del acero, f_{yd}, viene definida como:

$$f_{yd} = \frac{f_y}{\gamma_M}$$

Ecuación 4-5 [39]

En esta ecuación, el valor del coeficiente parcial de seguridad (γ_M) es de 1.05 según el Código Técnico de la Edificación, para comprobaciones de ELU. En cuanto a f_y, es el valor característico.

Una vez que se selecciona un perfil que satisfaga las comprobaciones para deformación y rotura, se aplica el peso propio de la correa para determinar si sigue cumpliendo dichas condiciones. Si no, se debe seleccionar el perfil inmediatamente superior.

4.2.4 Celosías

Las celosías son un grupo de elementos estructurales dispuestos en forma de uno o más triángulos de tal forma que estos elementos están sometidos exclusivamente a esfuerzos de tracción y compresión. Para ello se hacen las siguientes hipótesis de cálculo [40]:

- Los elementos que componen una celosía están conectados mediante pasadores sin fricción.
- Las barras que componen esta estructura son rectas, ya que si no lo fueran también estarían sometidos a momentos flectores.
- Las deformaciones que se producen en las barras de las celosías debido a que las barras son de dimensiones reducidas generalmente.
- Las cargas se aplican solo en los nudos de la celosía.

Los métodos de análisis para una celosía son principalmente el método de las secciones y el método de los nudos. Estos fundamentos se resumen a continuación:

- <u>Método de los nudos</u>

En este método lo que se lleva a cabo es el estudio de cada nudo de la celosía de forma individual, independientemente de su ubicación, es decir, aislándolo por completo del resto de elementos. De esta forma el nudo se convierte en un cuerpo libre que está en equilibrio y al cual se le puede aplicar, por lo tanto, las ecuaciones que indican que el sumatorio de fuerzas, tanto vertical como horizontal, son iguales a cero. Se ha de tener en cuenta que para la celosía que se puede ver en la Figura 4-9, todo lo respecto a la geometría es conocido, así como las fuerzas (flechas azules) que actúan sobre ella, sobre la que se aplicaría la carga de E.L.U. o carga de E.L.S, según el tipo de comprobación que se esté realizando.

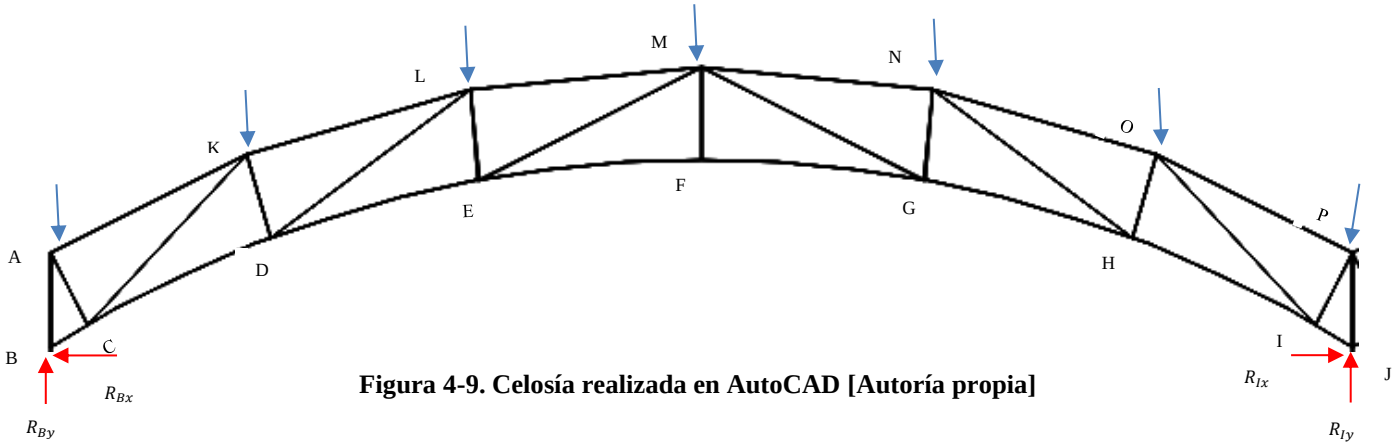
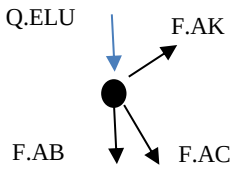


Figura 4-9. Celosía realizada en AutoCAD [Autoría propia]

Se aísla, por ejemplo, el nudo A de forma que queda como se puede ver en la Figura 4-10, y se va calculando todas las fuerzas que existen en ella, mediante las dos ecuaciones ya citadas previamente. A continuación se hace lo mismo para el nudo B, y así sucesivamente hasta conocer todos los esfuerzos en las barras. Además al ser una estructura simétrica, se debe tener en cuenta que no es necesario coger todos los nudos, sino simplemente la mitad, ya que las fuerzas que se calculen en un lado, servirán para el otro.



- Método de las secciones

El método de las secciones consiste principalmente en hacer un corte de sección sobre las barras que se desee saber cuáles son las fuerzas que actúan, como se puede ver en la

Figura 4-11. Para saber si están sometidas a tracción o compresión, se establece un criterio de signos, en el cual los resultados positivos harán referencia a tracción y los negativos a compresión.

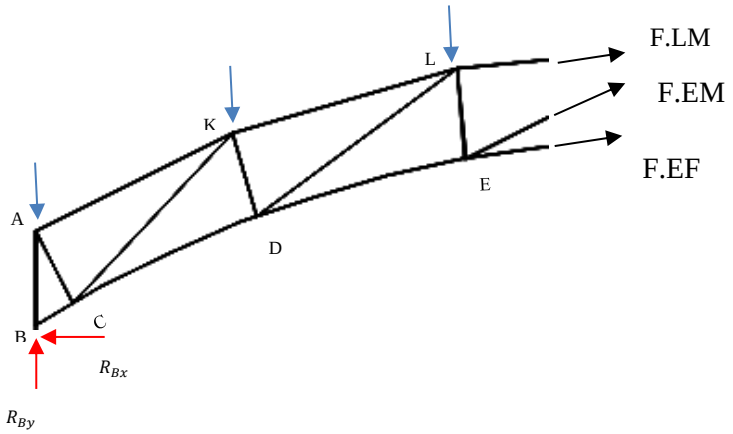


Figura 4-11. Sección de la celosía de la estructura [Autoría propia]

Esta sección serviría para calcular las fuerzas de las barras LM, EM y EF, para calcular otras diferentes, se habría que volver a realizar otra sección o usar el método de los nudos. Estas tres fuerzas se obtienen mediante el sumatorio de fuerzas verticales, el sumatorio de fuerzas horizontales y el sumatorio de momentos respecto a un punto.

Una vez que se tienen los valores de tracción y compresión de todas las barras se selecciona el perfil que permita resistir dichos esfuerzos.

a) Barras a tracción

El DB-SE-A [29], en su apartado 6.3.1, contempla que se permite despreciar los momentos flectores debidos al peso propio de barras inferiores a 6 metros, y al viento en las barras de las celosías, así como al debido a la excentricidad en las barras de arriostramiento cuando su directriz no esté en el plano de la unión. Para el correcto dimensionado de la misma se usa la expresión:

$$N_{GF} \leq f_{yd} \cdot A$$

Ecuación 4-6 [39]

Se conoce por N_{GF} al esfuerzo de tracción en la barra y f_{yd} a la resistencia del cálculo del acero, la explicación. Esto es así debido a que el esfuerzo axil plástico (N_{pl}) viene definido como:

$$N_{pl} = f_{yd} \cdot A$$

Ecuación 4-7 [39]

Por lo tanto se debe seleccionar un perfil con un área determinada para que se cumpla la siguiente condición:

$$N_{GF} \leq N_{pl}$$

Ecuación 4-8 [39]

b) Barras a compresión

Si la barra que se está estudiando resulta estar siendo sometida a esfuerzos de compresión, para encontrar el perfil correcto que permita que la estructura aguante se debe tener en cuenta, de forma simplificada, la siguiente expresión:

$$N_{AF} \leq \frac{\pi^2}{L_{AF}^2} \cdot E \cdot I$$

Ecuación 4-9 [39]

En esta fórmula N_{AF} es el esfuerzo de compresión, L_{AF} es la longitud de pandeo de la barra que se obtiene de la Figura 4-12, *E* es el módulo de elasticidad e *I* es su correspondiente módulo de inercia.

Condiciones de extremo	biarticulada	biempotrada	empotrada articulada	biempotrada desplazable	en ménsula
Longitud L_k	1,0 L	0,5 L	0,7 L	1,0 L	2,0 L

Figura 4-12. Longitudes de pandeo [29]

De esta forma se hallaría el momento de inercia (*I*) mínimo que debería de tener el perfil, y con el cual se entrará en el prontuario de perfiles metálicos.

4.2.5 Pilares

Los pilares son los principales elementos sobre los que se sustenta el resto de la estructura, por lo tanto, éstos estarán sometidos principalmente a esfuerzos de flexo-compresión. Por lo tanto el cálculo simplificado de los pilares se reduciría al estudio del pandeo por compresión. A partir de las cargas que soporta la celosía (Figura 4-9) se obtienen los esfuerzos en pilares. Lo primero es calcular con la carga de E.L.U o E.L.S, cuanto es el esfuerzo axil que soporta cada pilar. Para esto ha de tenerse en cuenta que las cargas sobre la cubierta se reparten de forma unidireccional. Se tendrá en cuenta la carga que soportan las correas y la que se distribuye en la celosía, sin embargo lo que quedará al final será una carga distribuida transmitida por la viga que une los pilares más la carga puntual justo sobre el pilar procedente de cada celosía.

Una vez se conoce la carga que afecta a cada elemento, se aplica la fórmula vista en el apartado de compresión de las celosías, hallando así el perfil correspondiente para cada pilar.

4.2.6 Cimentación

La cimentación es el conjunto de elementos estructurales que poseen la misión de transmitir al suelo las cargas de la cubierta, de forma que se distribuyan sin que superen la presión admisible del terreno y sin que las deformaciones que se produzcan sean perjudiciales para la estructura.

Para dimensionar la cimentación se requiere de un estudio geotécnico previo. Sin embargo, en este trabajo se hace referencia a los valores aportados en el trabajo realizado por el entonces AF Martínez García, Cálculo de la cimentación de una estructura de cubierta para las instalaciones deportivas exteriores de la ENM [41]. En dicho trabajo, mediante el empleo de mapas pertenecientes al Instituto Geológico y Minero de España, se obtiene, con relativa exactitud, la composición del suelo de Marín. En éste se saca como conclusión que el suelo está compuesto por rocas ígneas y, sobre todo, por granito. Por lo tanto, apoyándose en la Figura 4-13, se obtuvo de forma orientativa que el valor de tensión admisible del terreno era de 10MPa.

Terreno	Tipos y condiciones	Presión admisisible [Mpa]	Observaciones
Rocas	Rocas ígneas y metamórficas sanas [1] (Granito, diorita, basalto, gneis)	10	Para los valores apuntados se supone que la cimentación se sitúa sobre roca no meteorizada
	Rocas metamórficas foliadas sanas [1], [2] (Esquistos, pizarras)	3	
	Rocas sedimentarias sanas [1], [2]: Pizarras cementadas, limolitas, areniscas, calizas sin karstificar, conglomerados cementados	1 a 4	
	Rocas arcillosas sanas [2], [4]	0,5 a 1	
	Rocas diaclasadas de cualquier tipo con espaciamiento de discontinuidades superior a 0,30m, excepto rocas arcillosas	1	
	Calizas, areniscas y rocas pizarrosas con pequeño espaciamiento de los planos de estratificación[3]	-	
	Rocas muy diaclasadas o meteorizadas[3]	-	

Figura 4-13. Presiones admisibles dependientes del tipo de terreno [28]

Para este trabajo se opta por una cimentación de zapatas aisladas de hormigón HA-25 y acero B500S. Esto es debido a que la presión admisible es relativamente alta y las cargas de la estructura relativamente bajas. No sería en principio necesario unirlas mediantes vigas de atado. Este tipo de cimentación con estos materiales es común en estas construcciones. Como se puede apreciar en la Figura 4-14 , esta zapata aislada consta de dos armaduras dispuestas en forma de parrilla, tanto en la parte superior como en la inferior de la zapata. Además también se puede contemplar el empotramiento del pilar a través de las placas de anclaje.

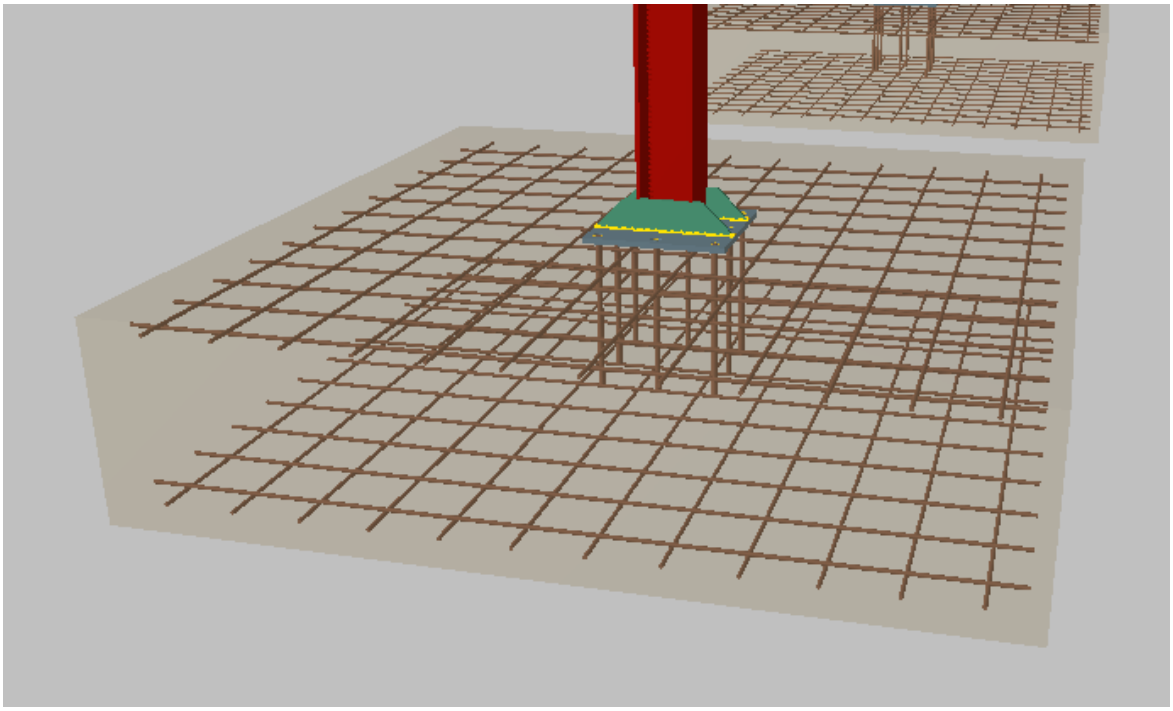


Figura 4-14. Zapata aislada. [Autoría propia]

Una cimentación debe satisfacer ciertas necesidades, para ello se realizan las siguientes comprobaciones al Estado Límite Último [28]:

- Comprobación a hundimiento. Se comprobará que el elemento con el que se realice la cimentación, en este caso la zapata, no se entierre cada vez más en el terreno. Para ello se tiene que comprobar que la presión total que soporta bajo el terreno de cimentación no sea mayor que la tensión de hundimiento del terreno, también conocida como la resistencia característica del terreno frente a este modo de rotura.
- Comprobación al deslizamiento. Esta comprobación se realiza en zapatas no arriostradas horizontalmente. Se debe comprobar que las tensiones cortantes en el contacto de la cimentación con el suelo no superen la resistencia de ese contacto. Para esta comprobación se tiene en cuenta variables como ángulo de rozamiento del terreno, cohesión del terreno, área de la zapata, la fuerza horizontal o la clasificación del tipo de terreno, es decir si es un terreno blando, normal o firme entre otros.
- Comprobación al vuelco. Se ha de comprobar, que las cargas horizontales que soporta la estructura así como los momentos desestabilizantes no supere el sumatorio de momentos estabilizantes.
- Comprobación de estabilidad global. Las deformaciones producidas en el suelo deben ser admisibles para la estructura, sin que se cree una superficie de rotura continua. Esto se da cuando los esfuerzos de corte alcanzan el valor de resistencia al corte del terreno.
- Comprobación de la capacidad estructural del cimiento. Se debe tener en cuenta que las cargas que afectan al cimiento no superen el valor de cálculo de su capacidad resistente.

En cuanto a las comprobaciones que se deben realizar en una cimentación respecto a su Estado Límite de Servicio son las siguientes:

- Comprobación de que los asientos sean tales que se consideren admisibles para la estructura a construir.
- Comprobación de que los asientos inducidos en el entorno no afecta a las construcciones colindantes.

4.2.7 Placas de anclaje

Se define como planchas metálicas, situadas entre las zapatas aisladas y los pilares, cuyo fin es recibir el esfuerzo que actúan en éstos y disminuir las tensiones. Además también sirven para realizar un empotramiento rígido en la unión pilar-zapata mediante rigidizadores como se puede apreciar, de forma ilustrativa en la Figura 4-15. Estos rigidizadores tienen la principal función de mejorar la resistencia a flexión en el eje longitudinal de la estructura.

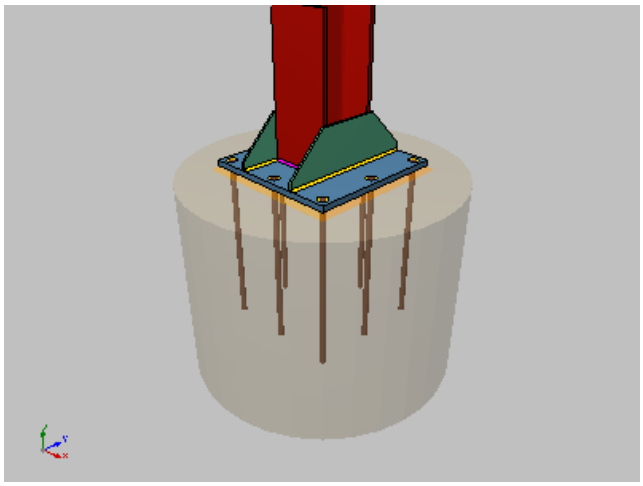


Figura 4-15. Placa de anclaje

La peor combinación de cargas para las placas de anclaje es la misma que para el pilar. Las comprobaciones que se deberán realizar para determinar si una placa de anclaje cumple o no, como se recoge en [42], son las siguientes:

- Predimensionado. En este punto se determina, de forma genérica, unas dimensiones para las placas de anclaje que luego serán de uso para las diferentes ecuaciones con las que se comprobará si estas cumplen o no, y en el caso que no cumplan, se volverán a dimensionar.
- E.L.U de agotamiento del apoyo. Se calcula la resistencia de la unión, y mediante fórmulas que se encuentras en [42] se comprueba si cumple o no. Para que cumpla, el bloque de compresiones tiene que ser estrictamente menor que una cuarta parte de la longitud de la zapata.
- E.L.U de agotamiento de la placa a flexión. En este apartado se el espesor mínimo con el que tiene que contar la placa de anclaje para que se verifique el E.L.U de agotamiento de la propia placa. Se calcula en primer lugar los momentos generados en los puntos más débiles de estas planchas, es decir, en los puntos donde se produce el encuentro pilar-viga. Para ello se debe también conocer el vuelo, que queda predefinido en predimensionado. Mediante el momento más perjudicial de estos puntos, el momento de inercia y el módulo resistente se conoce el espesor mínimo.
- E.L.U de agotamiento de los pernos a tracción y cortante. Se calcula el número de pernos necesarios para las placas de anclajes. El procedimiento es, en primer lugar, se calcula la deformación existente en los pernos y se determina si estos están trabajando en la zona plástica o elástica. Posteriormente, conociéndose la tensión a la que trabajan estos pernos, y el área necesaria se haya el número de pernos. También se hace la comprobación y dimensionado para esfuerzos cortantes.
- E.L.U de anclaje de los pernos a tracción. En este apartado se determina la longitud de los pernos necesaria. El cálculo se realiza mediante fórmulas y coeficientes expresados en [42].

4.2.8 Uniones

Las uniones entre los distintos perfiles se resolverán mediante soldaduras a tope con cordón de soldadura en todo el contorno de la unión, siendo la garganta del mismo variable en función de los perfiles a unir. La garganta (a) se aproxima mediante la siguiente expresión [43]:

$$a > 0.4e_{máx}$$

$$a < 0.7e_{máx}$$

Ecuación 4-10 [43]

4.3 Cálculo de los elementos estructurales mediante CYPE

En este apartado se resume el procedimiento de cálculo realizado mediante el software CYPE, para más información se puede ver el Anexo I: Desarrollo del cálculo de la estructura en CYPE, en el que se recoge paso a paso como se ha realizado de forma detallada el proyecto.

Lo primero que se ha realizado ha sido el diseño de la estructura en el propio programa como se puede apreciar en Figura 4-16, de acuerdo con lo expresado en apartados anteriores.

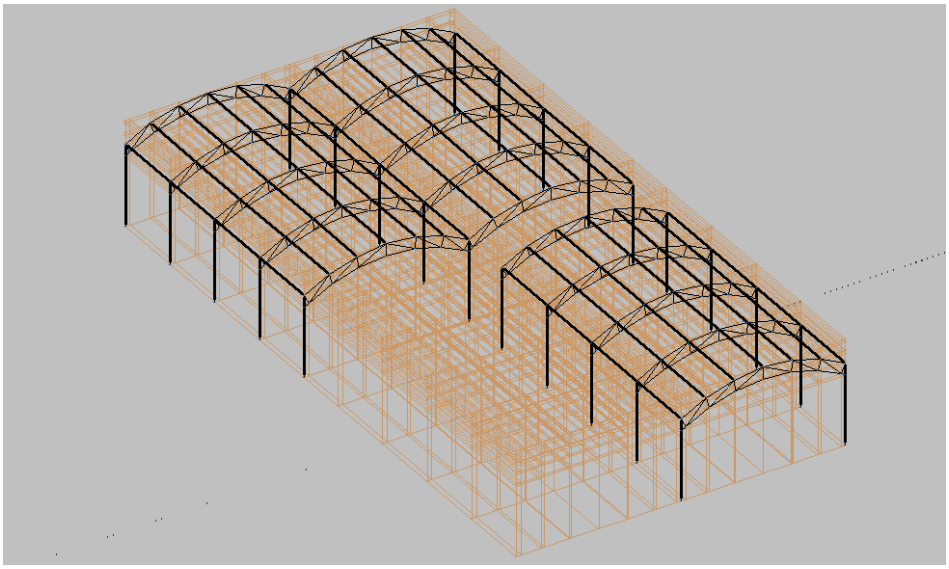


Figura 4-16. Diseño de la cubierta en CYPE [Autoría propia]

Tras el diseño se hace un empotramiento al suelo de los pilares. Luego, con el fin de simplificar el estudio, se agrupan las barras cuyos esfuerzos a soportar son los mismos, es decir se agrupan las correas centrales, las correas laterales, los pilares centrales, los pilares laterales, etc. Una vez se ha hecho esto, se procede al cálculo de perfiles. En primer lugar se asigna el tipo de perfil que se quiere en cada elemento. Se escoge perfiles tipo IPE para correas, perfiles tipo L para la celosía y perfiles tipo HEB para los pilares.

En segundo lugar se le asigna un tamaño de perfil cualquiera, para hacer un primer cálculo, ya que tras este cálculo el perfil se dimensionará de forma automática. Tras esto, se les introduce a los elementos de la estructura, los coeficientes de pandeo y de pandeo lateral, así como la flecha máxima relativa de acorde a la normativa y al tipo de barra. La siguiente acción a realizar ha sido la introducción de cargas. Para ello se han definido previamente unas áreas, nombradas como paños de carga sobre la estructura, y luego se han introducido las diferentes cargas como son, la carga del material que cierra la estructura, la sobrecarga de uso, la nieve, y las diferentes de carga de viento para cada paño. Tras introducir las cargas se realiza el cálculo de la estructura y su optimización.

A pesar de que CYPE realiza un dimensionado óptimo, siempre se puede reducir más los tamaños de los perfiles de la forma que se explica en el Anexo I: Desarrollo del cálculo de la estructura en CYPE, y así se hace. Esto se puede ver en la Figura 4-17. Una vez se tiene los tamaños de los elementos ya definitivos, se procede a realizar la cimentación.

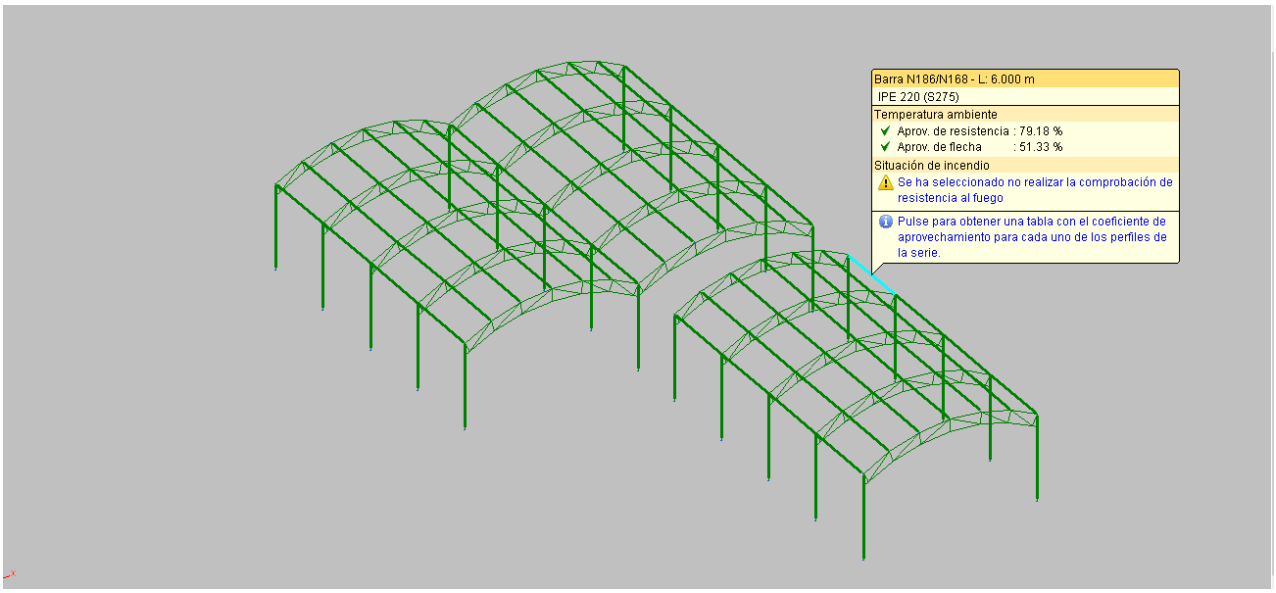


Figura 4-17. Resultado de cálculo y dimensionado óptimo de la estructura [Autoría propia]

Lo primero que se lleva a cabo es la elección del material que se va a utilizar, que en este caso son los dos materiales más utilizados en este tipo de construcciones, el acero B500S y el hormigón HA-25. También se introduce la carga admisible del terreno, que aunque en este caso se haya introducido a grandes rasgos una tensión admisible de 10 MPa, por los motivos explicados en 4.2.6. Se generan las zapatas, sin crear vigas de atados, ya que se va a realizar la cimentación mediante vigas aisladas que es el tipo de cimentación más común en construcciones industriales, y posteriormente se procede a su dimensionado.

El dimensionado óptimo se resuelve de la misma forma que se resuelve para los elementos estructurales de la estructura. Cuando la cimentación está optimizada y comprobada, se generan las placas de anclajes quedando, como se ve en la Figura 4-18, la zapata con dimensionado y su placa de anclaje correspondiente.

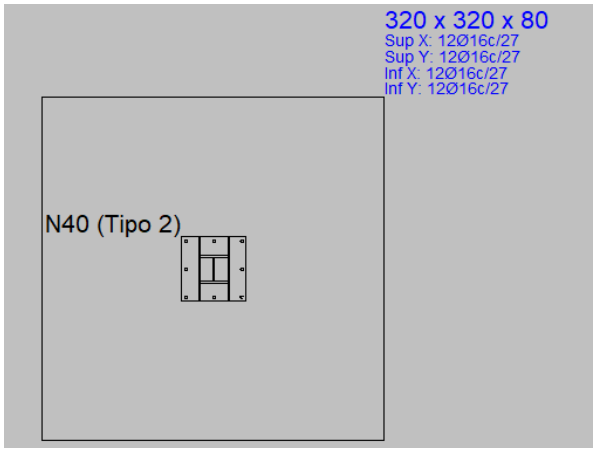


Figura 4-18. Vista 2D de zapata con placa de anclaje

En cuanto a las uniones entre barras metálicas se resuelven todos los nudos con uniones soldadas como se muestra en la Figura 4-19.

Figura 4-19. Resolución de todos los nudos con uniones soldadas

Por último, se obtienen los listados justificados de cálculo de los elementos estructurales, (el pilar, la correa y la barra de la celosía que mayor aprovechamiento de resistencia o flecha presenta) incluida la cimentación (una única zapata a modo de ejemplo). También se obtienen los planos tanto de la cimentación como los correspondientes a la estructura.

4.4 Resultados de dimensionado

En este apartado se presenta de forma resumida los resultados del dimensionamiento de los principales elementos que forman parte de la estructura metálica y de la cimentación. En el Anexo II: Cálculos en CYPE se muestra a modo de ejemplo los cálculos realizados por el software en diferentes elementos, además en el Anexo IV: Planos se puede encontrar las dimensiones de cada uno de estos elementos así como de su conjunto.

- *Estructura metálica*

Para facilitar la exposición de los resultados, se agrupan los elementos que tienen iguales perfiles por colores en las Figura 4-20, Figura 4-21 y Figura 4-22.

Es importante hacer distinción entre los tamaños de barras de las celosías que se encuentran en los extremos de las cubiertas representada por los colores de la Figura 4-21, y las que se encuentran en las zonas centrales representadas por los colores de la Figura 4-22, ya que éstas primeras tendrán perfiles más pequeños pues aguantarán la mitad de cargas que las segundas.

En las celosías de los extremos se contempla que las cuerdas superiores, así como las inferiores y las diagonales tienen el mismo tamaño de perfil, sin embargo las verticales no. En cuanto a las celosías centrales solo presentan el mismo perfil en sus cuerdas superiores e inferiores, difiriendo en tamaño de las verticales y diagonales.

Además, de ambas figuras también se saca como conclusión, simplemente viendo los colores, que los dos tipos de celosías comparten el mismo perfil para las barras verticales.

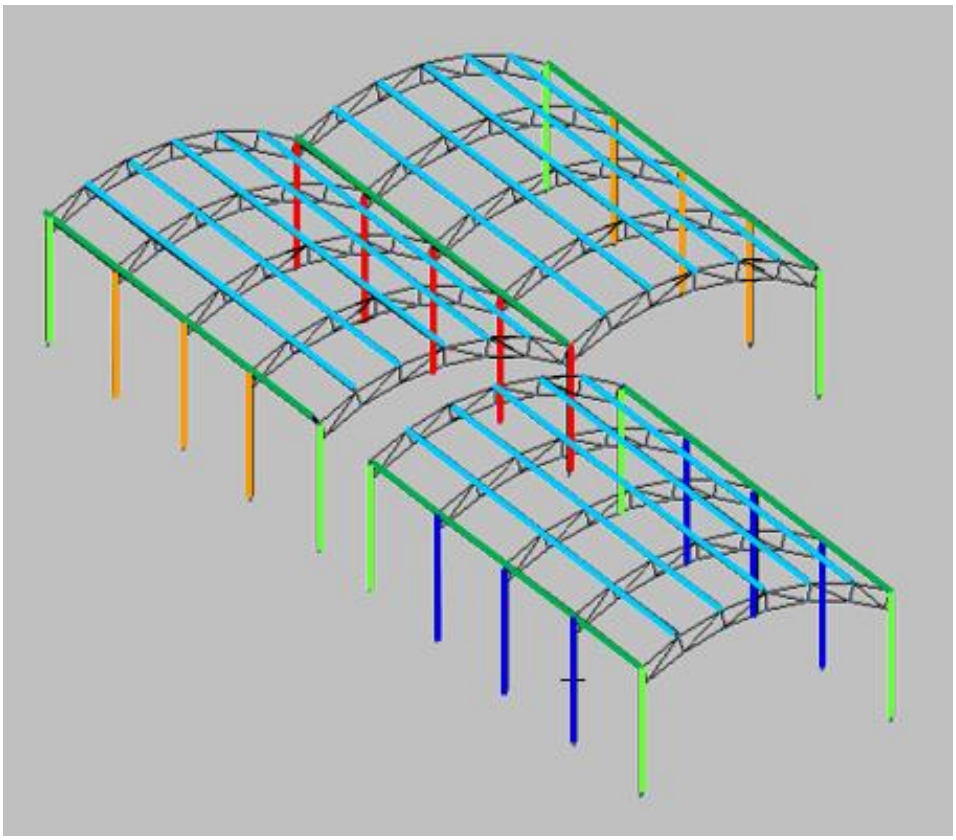


Figura 4-20. Cubierta con diferentes tipos de elementos diferenciados por colores [Autoría propia]

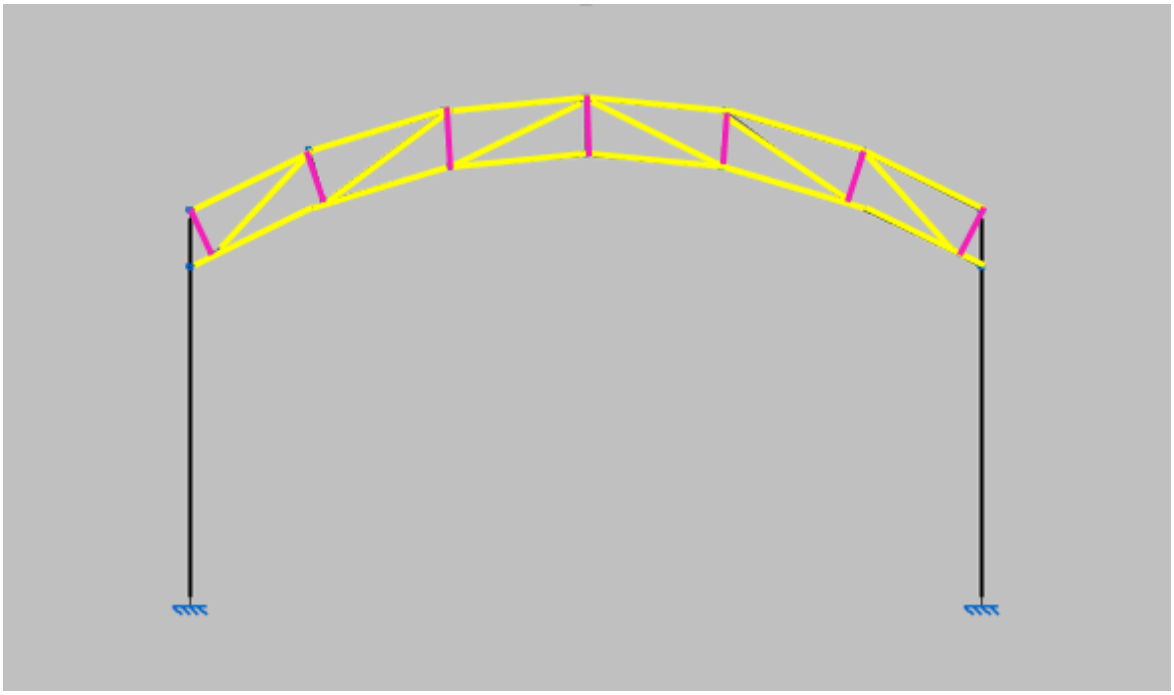


Figura 4-21. Celosía de un extremo con diferentes tipos de elementos diferenciados por colores [Autoría propia]

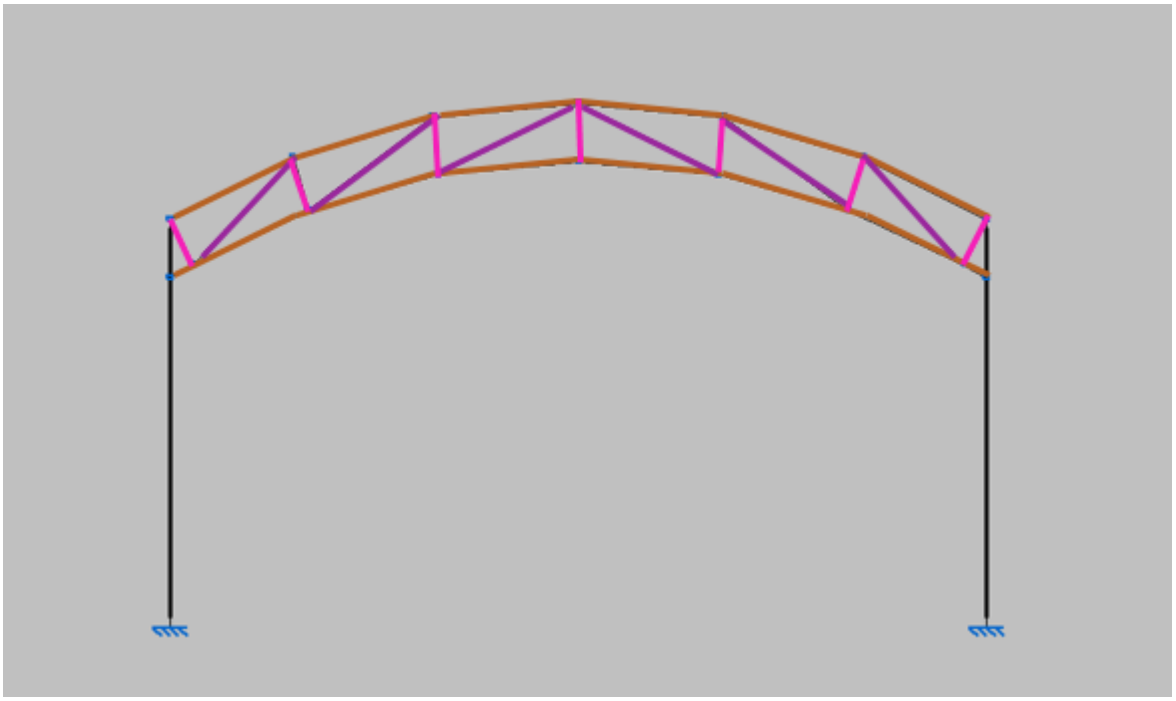


Figura 4-22. Celosía central con diferentes tipos de elementos diferenciados por colores [Autoría propia]

La Tabla 4-1 hace referencia a los diferentes tipos de elementos con sus correspondientes perfiles finales ya optimizados y su longitud aproximada (para mayor exactitud ver Anexo IV: Planos).

Elemento estructral	Color	Perfil	Longitud (m)
Pilar		HE 260 B	7
Pilar		HE 160B	7
Pilar		HE 180B	7
Pilar		HE 220B	7
Correa		IPE 270	24
Correa		IPE 220	24
Barra celosía		L 110x110x12	2.5
Barra celosía		L 100x100x10	1 aprox.
Barra celosía		L 120x120x15	2.5 aprox.
Barra celosía		L 120x120x12	2.5 aprox.

Tabla 4-1. Resultado final de elementos de la estructura [Autoría propia]

En cuanto a la cimentación y las placas de anclajes, en la Figura 4-23, se muestra la disposición de cada una de las diferentes zapatas que la componen con sus respectivas placas de anclaje, así como el número de cada una de ellas, a las que posteriormente se referenciará para ver sus características.

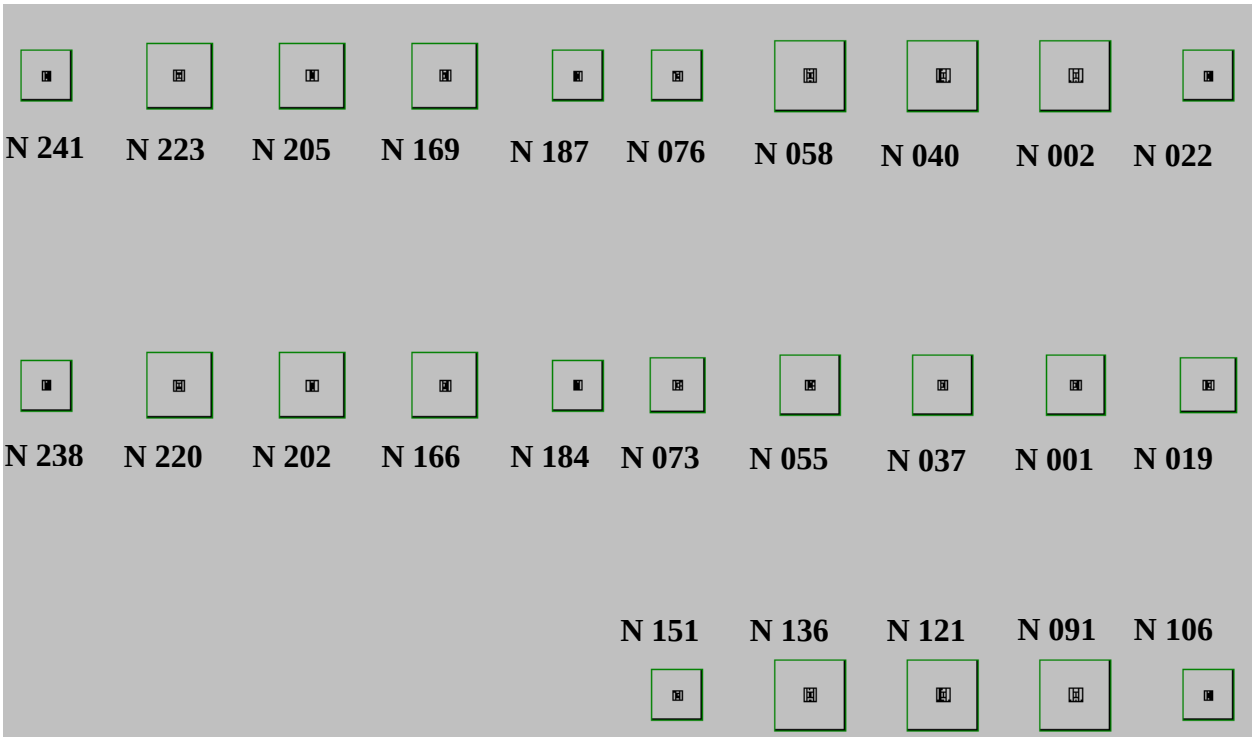


Figura 4-23. Disposición general de zapatas en la cimentación

En la Tabla 4-2 y la Tabla 4-3 se puede apreciar las diferentes dimensiones así como material utilizado en las zapatas y las placas de anclajes respectivamente.

Referencia	Dimensiones (cm)	Acero	Hormigón
N22,N76,N106,N151,N84,N187,N238,N241	230x230x55	B500S	HA-25
N19,N73	250x250x60	B500S	HA-25
N1,N37,N55	270x270x65	B500S	HA-25
N166,N169,N202,N205,N220,N223	295x295x70	B500S	HA-25
N2,N40,N58,N91,N121,N136	320x320x80	B500S	HA-25

Tabla 4-2. Características de las zapatas

Referencia	Dimensiones (mm)	Pernos, Ø (mm)
N1,N19,N37,N55,N73	450x450x18	8 Pernos Ø20
N2,N40,N58,N91,N121,N136	600x600x25	8 Pernos Ø25
N,22,N76,N106,N151,N184,N187, N238,N241	400x400x15	8 Pernos Ø16
N166,N169,N202,N205,N220,N223	500x500x20	8 Pernos Ø20

Tabla 4-3. Características de las placas de anclaje

El resultado final de la estructura metálica, realizada mediante CYPE, con la cimentación incluida se puede apreciar en la Figura 4-24.

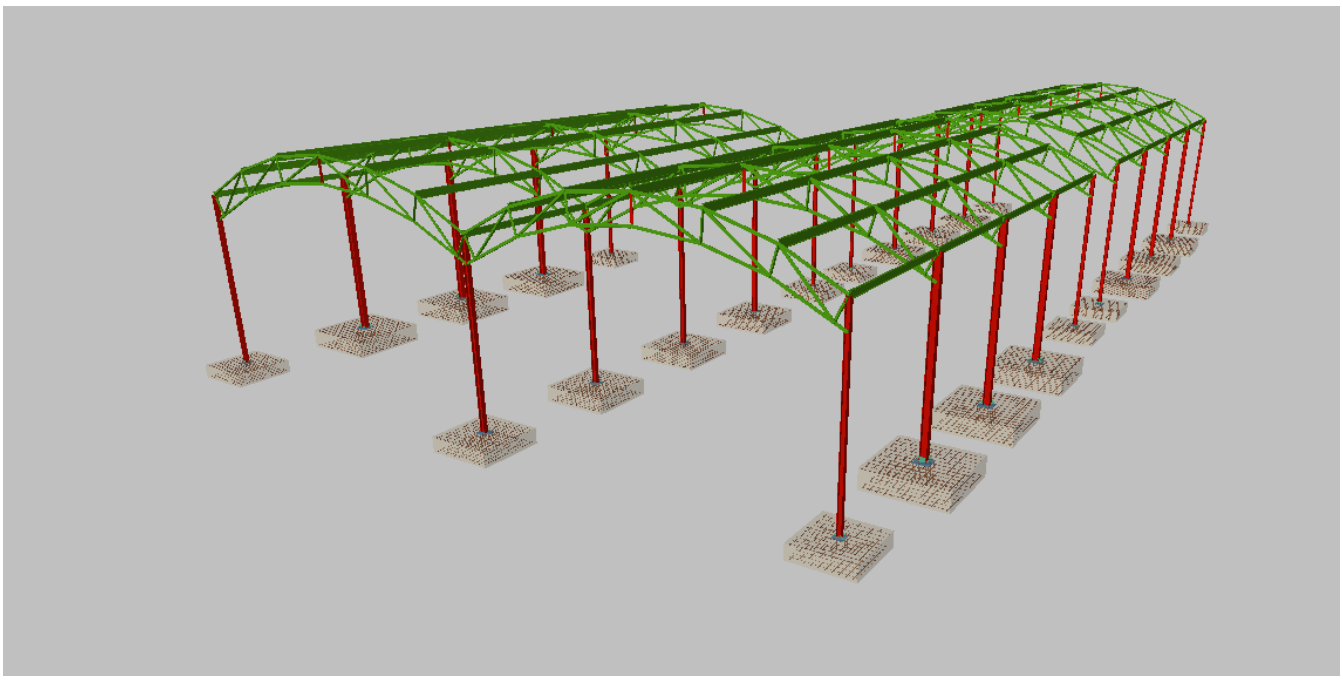


Figura 4-24. Resultado final de la estructura con cimentación. [Autoría propia]

5 PRESUPUESTO

En la Tabla 5-1 se muestra un resumen del presupuesto aproximado que se ha realizado, para ver éste de forma desglosada, acúdase al Anexo III: Presupuesto. Este presupuesto ha sido obtenido por partidas mediante el generador de precios actualizado del software CYPE como se indica en el apartado 1.4.1.

Presupuesto construcción de pilares	22.502,67 €
Presupuesto construcción de correas	32.718,77 €
Presupuesto construcción de celosías	37.304,64 €
Presupuesto construcción de placas de anclaje	3.633,96 €
Presupuesto de cimentación	15.725,90 €
Material policarbonato	8.315,88 €
Presupuesto de Ejecución Material (PEM)	**120.201,83 €**
13% Gastos generales	15.626,24 €
6% Beneficio industrial	7.212,11 €
Presupuesto de licitación	**143.040,18 €**
21% IVA	30.038,44 €
Presupuesto total de obras	**173.078,61 €**

Tabla 5-1. Presupuesto total de obras

6 CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS

6.1 Conclusiones

Como conclusión principal del proyecto se destaca el cumplimiento de forma satisfactoria de los objetivos marcados al comiendo del trabajo, así como objetivos adicionales no planteados previamente. Esto se puede apreciar en los siguientes puntos:

- Se ha analizado, mediante cuatro alternativas de diseño, para las pistas de pádel expuestas en el trabajo del AF Gilabert [3], las ventajas y desventajas de cada tipo de geometría y material para la estructura de cubierta, escogiéndose finalmente una de las cuatro alternativas de forma justificada.
- Teniéndose en cuenta los principios fundamentales de cálculo y la normativa vigente, se utiliza el software CYPE para dimensionar la estructura, así como la asignación óptima de perfiles.
- Se realiza un presupuesto final de obras aproximado, elaborado por las diferentes partidas de cada uno de los elementos estructurales.
- Se consigue además, como objetivos adicionales, adquirir soltura mediante la utilización del software SketchUp a través del cual se realiza las diferentes propuestas de diseño, del software AutoCAD con el que se realizan los diferentes planos que componen el trabajo, y del software CYPE con el que se ejecuta el dimensionado de todos los elementos estructurales, incluida la cimentación.
- Otro objetivo adicional alcanzado es la elaboración del Anexo I: Desarrollo del cálculo de la estructura en CYPE, el cual además de servir para comentar el proceso de elaboración detallado del trabajo en el software CYPE, sirve de tutorial para futuros trabajos similares.

6.2 Líneas futuras

Como continuación del presente proyecto y con vistas a mejorar el juego del personal de la Escuela Naval Militar se definen las siguientes líneas de trabajo:

- Estudio de seguridad y salud del presente proyecto.
- Plan de mantenimiento tanto de las pistas de pádel como de la cubierta construida, con el objetivo de mantenerla operativa en condiciones óptimas el mayor tiempo posible.
- Estudio geotécnico del terreno sobre el que se encuentra exactamente las pistas actuales de pádel.
- Diseño de gradas para las pistas de pádel con vistas a la competición que se realiza entre ejércitos conocida como Interacademias.
- Remodelación del césped artificial de las pistas de pádel.
- Evaluación de la humedad que se genera en los muros de las pistas y estudio para la prevención de la misma.
- Estudio de viabilidad de construcción de cubierta para las pistas de tenis.

7 BIBLIOGRAFÍA

[1] Ministerio de Educación, Cultura y Deporte, «Anuario de estadísticas deportivas 2017,» 2017. [En línea]. Available: https://www.mecd.gob.es/servicios-al-ciudadano-mecd/dms/mecd/servicios-al-ciudadano-mecd/estadisticas/deporte/anuario-deporte/AED-2017/Anuario_de_Estadisticas_Deportivas_2017.pdf. [Último acceso: 20 Febrero 2018].

[2] Ministerio de Defensa, Reales ordenanzas para las Fuerzas Armadas, Madrid, 2009.

[3] G. G. Gamboa, «Estudio para la modernización de las pistas deportivas exteriores de la Escuela Naval Militar,» Marín, Universidad de Vigo, 2015-2016.

[4] CYPE Ingenieros, S.A., «Web de CYPE,» [En línea]. Available: http://www.cype.es/cypeingenieros/. [Último acceso: 12 Enero 2018].

[5] Trimble Inc., «Web de SketchUP,» [En línea]. Available: https://www.sketchup.com/es. [Último acceso: 12 Enero 2018].

[6] Autodesk, Inc., «Web de Autodesk,» [En línea]. Available: https://www.autodesk.es/. [Último acceso: 15 Enero 2018].

[7] C. Youssef, «UPCommons. Portal de acceso abierto al conocimiento de la UPC (Universidad Politécnica de Cataluña),» [En línea]. Available: http://upcommons.upc.edu/handle/2099.1/3350. [Último acceso: 18 Enero 2018].

[8] Agorasport S.A., «Ágorasport,» [En línea]. Available: http://agorasport.es/instalaciones-deportivas/cubiertas/. [Último acceso: 17 Enero 2018].

[9] CELABASA S.L., «Web de CELABASA,» [En línea]. Available: http://www.celabasa.es/cubiertas-padel-y-tenis/. [Último acceso: 17 Enero 2018].

[10] Intercom Factory S.L, «Construmática. Metaportal de Arquitectura, Ingeniería y Construcción,» 1995. [En línea]. Available: http://www.construmatica.com/construpedia. [Último acceso: 18 Enero 2018].

[11] Ingeniería, Manufactura y Deporte, S.L., «TechnoSport,» [En línea]. Available: http://technosport.es. [Último acceso: 18 Enero 2018].

[12] Okatent, «Web de Okatent,» [En línea]. Available: https://www.okatent.com/cubiertas-de-una-nave-temporal/. [Último acceso: 18 Enero 2018].

[13] Instituto Sindical de Trabajo, Ambiente y Salud (ISTAS), «Guía de construcción sostenible,» 2005. [En línea]. Available: http://www.mapama.gob.es/es/ceneam/programas-de-educacion-ambiental/hogares-verdes/guia-construccion-sostenible_tcm7-193266.pdf. [Último acceso: 1 Marzo 2018].

[14] Delta 2 Obras y Servicios SL, «Web de Delta 2,» [En línea]. Available: http://www.deltados.com/const_sostenible.htm. [Último acceso: 15 Enero 2018].

[15] Athena Sustainable Materials Institute, «Web de Athena Sustainable Materials Institute,» [En línea]. Available: http://www.athenasmi.org/. [Último acceso: 15 Enero 2018].

[16] Centro Tecnológico y Forestal de la Madera, «Web de CETEMAS,» [En línea]. Available: http://www.cetemas.es/. [Último acceso: 15 Enero 2018].

[17] Universidad de La Coruña, «Tema 0. El acero en la Construcción,» [En línea]. Available: http://caminos.udc.es/info/asignaturas/406/contenido_publico/recursos/tema00.pdf. [Último acceso: 15 Febrero 2018].

[18] M. G. Pabón, «Madera Laminada. El material del siglo XXI,» Madrid, Universidad Politécnica de Madrid, 2016.

[19] E. G. Leniz, «La madera: Producto constructivo tradicional y de futuro,» [En línea]. Available: https://es.slideshare.net/Arizmendipro/la-madera-producto-constructivo-tradicional-y-de-futuro-esteban-goitia. [Último acceso: 16 Enero 2018].

[20] J. C. Pardo, «Diseño estructural y construcción de un refugio de montaña,» Madrid, Universidad Pontificia Comillas, 2014.

[21] Consejo Superior de Deportes (C.S.D), «Normas NIDE,» [En línea]. Available: http://www.csd.gob.es/csd/instalaciones/politicas-publicas-de-ordenacion/actuaciones-en-el-ambito-tecnico/1normasNIDE/02nide1/02NormRegCamPq/10padel/. [Último acceso: 22 Enero 2018].

[22] Federación Española de Pádel (F.E.P), «Reglamento de juego del Pádel,» [En línea]. Available: https://www.padelfederacion.es/Reglamentos. [Último acceso: 22 Enero 2018].

[23] Federación Internacional de Pádel (F.I.P), «Reglamento de juego del Pádel,» [En línea]. Available: https://www.padelfederacion.es/refs/docs/REGLAMENTO_DE_JUEGO_FIP_2017.pdf. [Último acceso: 22 Enero 2018].

[24] Consejo Superior de Deporte (C.S.D), «Buenas Prácticas en la Instalación y Mantenimiento de Pistas de Pádel,» [En línea]. Available: http://www.csd.gob.es/csd/estaticos/inst-dep/instalacion-mantenimiento-pistas-padel.pdf. [Último acceso: 22 Enero 2018].

[25] Ministerio de Fomento, «Código Técnico de la Edificación,» [En línea]. Available: https://www.codigotecnico.org/index.html. [Último acceso: 22 Enero 2018].

[26] Ministerio de Fomento, «DB-SE. Documento Básico del Código Técnico de la Edificación,» [En línea]. Available: https://www.codigotecnico.org/index.php/menu-documentoscte.html. [Último acceso: 22 Enero 2018].

[27] Ministerio de Fomento, «DB-SE-AE. Documento Básico del Código Técnico de la Edificación,» [En línea]. Available: https://www.codigotecnico.org/index.php/menu-documentoscte.html. [Último acceso: 22 Enero 2018].

[28] Ministerio de Fomento, «DB-SE-C. Documento Básico del Código Técnico de la Edificación,» [En línea]. Available: https://www.codigotecnico.org/index.php/menu-documentoscte.html. [Último acceso: 22 Enero 2018].

[29] Ministerio de Fomento, «DB-SE-A. Documento Básico del Código Técnico de la Edificación,» [En línea]. Available: https://www.codigotecnico.org/index.php/menu-documentoscte.html. [Último acceso: 22 Enero 2018].

[30] Ministerio de Fomento, «DB-SE-M. Documento Básico del Código Técnico de la Edificación,» [En línea]. Available: https://www.codigotecnico.org/index.php/menu-documentoscte.html. [Último acceso: 22 Enero 2018].

[31] Ministerio de Fomento, «Instrucción de Hormigón Estructural,» [En línea]. Available: https://www.fomento.gob.es/MFOM/LANG_CASTELLANO/ORGANOS_COLEGIADOS/MASORGANOS/CPH/instrucciones/EHE_es/. [Último acceso: 22 Enero 2018].

[32] Ministerio de Fomento, «Instrucción de Acero Estructural EAE.,» [En línea]. Available: https://www.fomento.gob.es/MFOM/LANG_CASTELLANO/ORGANOS_COLEGIADOS/MASORGANOS/CPA/INSTRUCCIONES/VERSION_CASTELLANO/. [Último acceso: 22 Enero 2018].

[33] Ministerio de Fomento, «Normativa de Construcción Sismorresistente: Parte general y edificación (NCSE),» [En línea]. Available: https://www.fomento.gob.es/MFOM.CP.Web/handlers/pdfhandler.ashx?idpub=BN0222. [Último acceso: 25 Enero 2018].

[34] Soluciones Millán, *Soluciones Millán*, Sevilla.

[35] A. Eralte, «Arquigráfico. Arquitectura, Ingeniería y Decoración,» [En línea]. Available: https://arquigrafico.com/los-techos-o-cubiertas-metalicas-autoportantes/. [Último acceso: 17 Enero 2018].

[36] Polimer Tecnic, «Polimer Tecnic, Empresa de Metacrilato, Policarbonato y Material Plástico,» [En línea]. Available: http://www.polimertecnic.com/wp-content/uploads/2016/09/policarbonato-celular.pdf. [Último acceso: 2018 Febrero 28].

[37] Hierros J.Olmos, S.A, «Almacén de Hierros en Murcia,» [En línea]. Available: http://jolmos.es/blog/perfil-ipe-perfiles-estructurales/. [Último acceso: 02 Marzo 2018].

[38] Francisco Fiol Femenia y Francisco Fiol Olivan, Acciones en la edificicación. Exposición y ejemplos de acuerdo con los Documentos Básicos SE y SE-AE del Código Técnico, Burgos, 2008.

[39] A. G. Gil, de *Teoría de Estructuras y Construcciones Industriales*, Marín, Centro Universitario de Defensa, 2017.

[40] J. C. McCormac, Análisis de Estructuras. Métodos Clásico y Matricial, Barcelona: Marcombo, 2011.

[41] L. M. García, Cálculo de la cimentación de una estructura de cubierta para las instalaciones deportivas exteriores de la ENM, Marín: Universidad de Vigo, 2017.

[42] J. M. Montalvá Subirats, A. Hospitaler Pérez, H. Saura Arnau y D. Hernández Figueirido, «Proyecto estructural de edificio industrial,» de *Diseño y cálculo de estructura metálica*, Valencia, Universitat Politècnica de València, 2014, pp. 207-223.

[43] J. C. Arroyo Portero, G. Corres Peiretti, G. García Rosales, M. G.Romana, A. Romero Ballesteros, R. Sánchez Fernández y O. Teja Marina, de *Números Gordos en el proyecto de estructuras*, Cinter Divulgación Técnica, 2006, p. 90.

ANEXO I: DESARROLLO DEL CÁLCULO DE LA ESTRUCTURA EN CYPE

Objeto

En este anexo se describirá paso a paso como se ha realizado el diseño y cálculo de todos los parámetros que afectan a la estructura (las cargas, los paños, la flecha, etc.) en el software CYPE.

Este desarrollo se realiza principalmente para mostrar los conocimientos adquiridos en el software así como para que sirva de tutorial para uso de futuros ingenieros, estudiantes o cualquier otra persona que vaya a realizar alguna construcción mediante este software.

Realización del proyecto

Diseño

En primer lugar se realiza el diseño de la cubierta generando las barras y los nudos que las unen, para ello se utiliza principalmente los comandos de barra y nudo que se ven en la Figura A1.1 y Figura A1.2 respectivamente. Otra opción es utilizar exactamente el mismo botón que se encuentra en la barra de herramientas. También se puede realizar el diseño en otro software como es AutoCAD y luego importarlo a CYPE

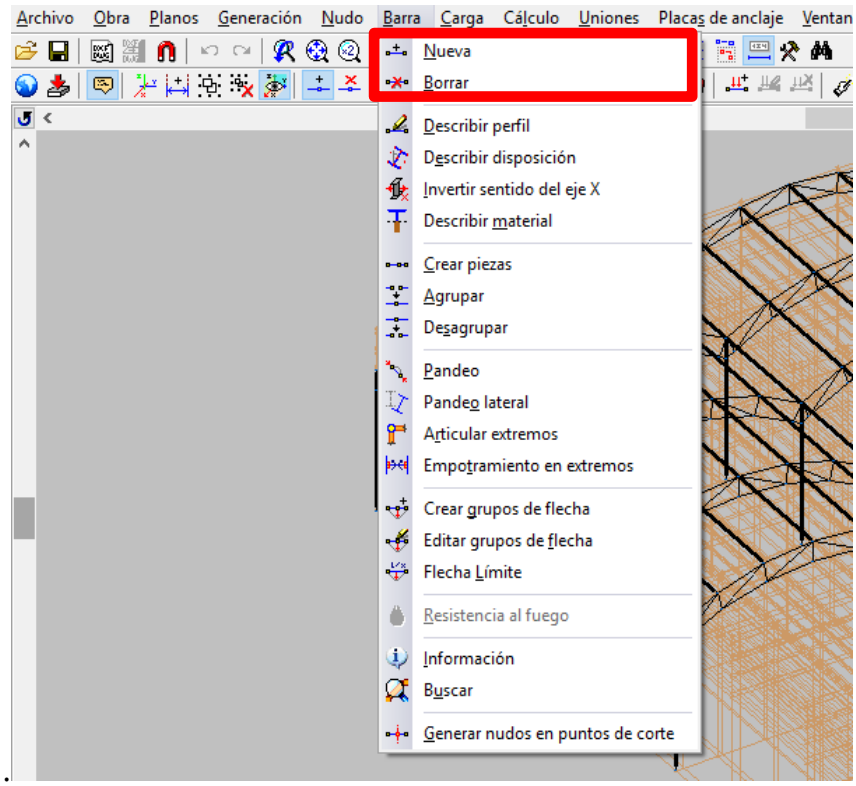


Figura A1.1. Diseño de barras en CYPE

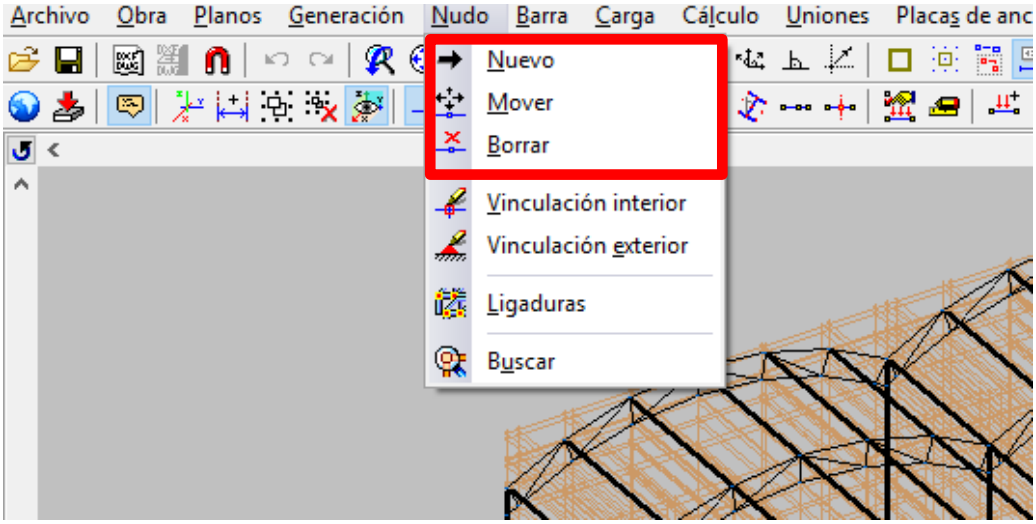


Figura A1.2. Diseño de nudos

El resultado del diseño ya construido se puede apreciar en la Figura A1.3.

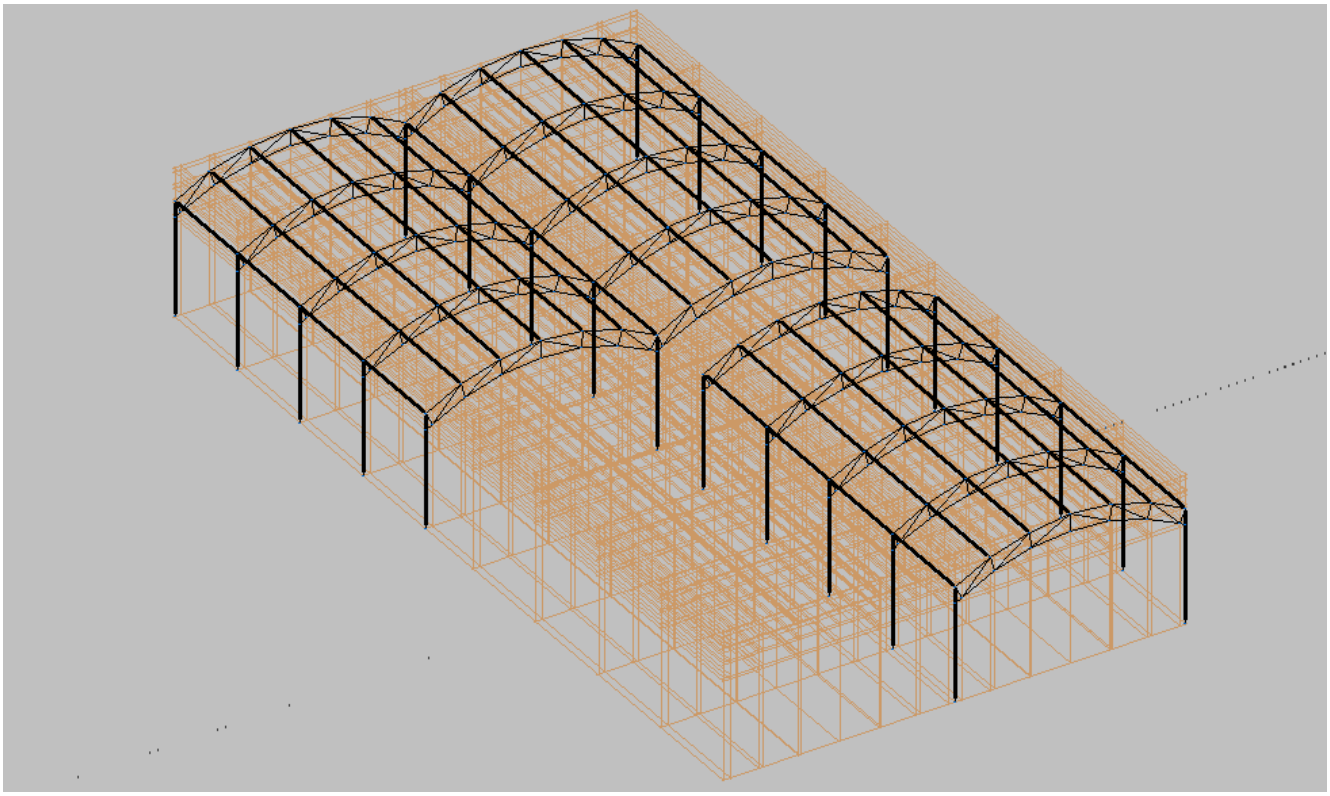


Figura A1.3. Diseño de la cubierta en CYPE

Vinculación exterior

Tras realizarse el diseño, lo siguiente que se ha ejecutado ha sido el anclaje de los pilares. Para ello se ha usado de nuevo la barra de tareas, el apartado de nudos, la línea que indica vinculación exterior. También se encuentra el mismo icono en la barra de herramientas. Para ello se ha ejecutado el comando y, posteriormente, se han seleccionado todos los pilares. La selección de la opción se puede apreciar en la Figura A1.4.

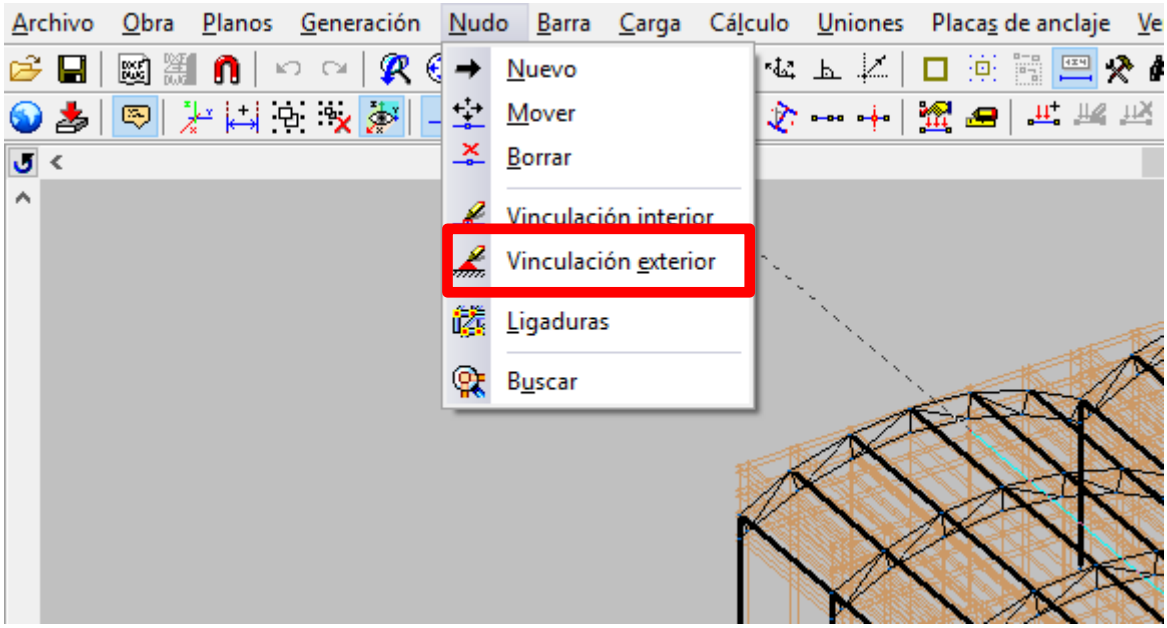


Figura A1.4. Vinculación exterior en CYPE

La ventana que aparece y que se muestra en la Figura A1.5 da a elegir todos los tipos de vinculaciones exteriores que el software permite utilizar. En este caso se usa el primero y sólo para los pilares, el empotramiento.

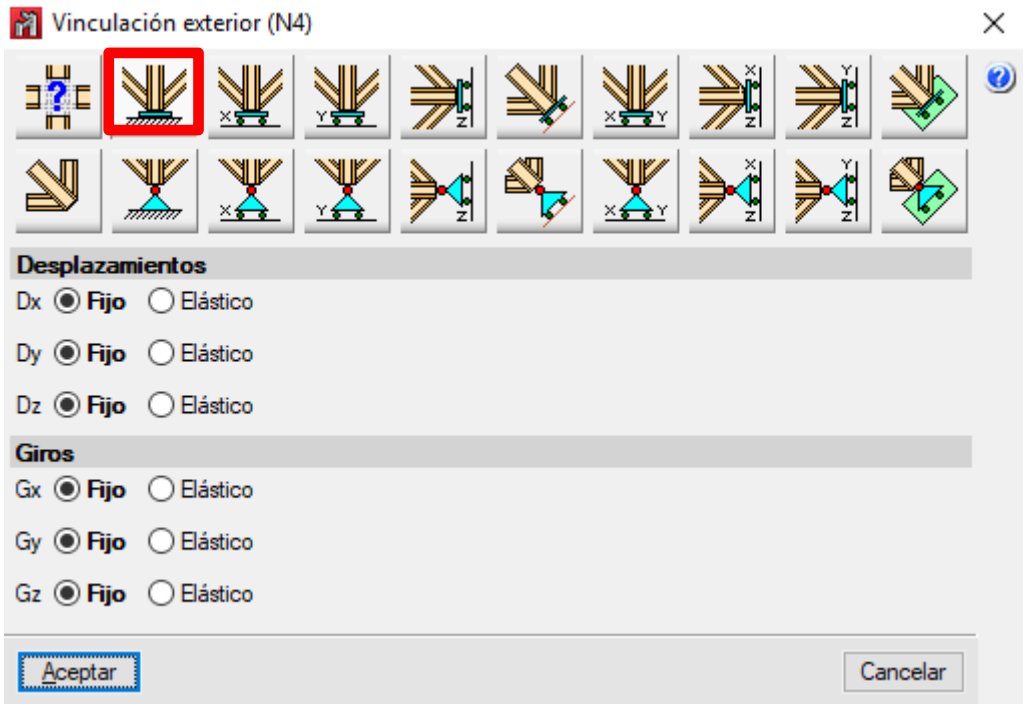


Figura A1.5. Tipos de vinculaciones exteriores de CYPE

Tras realizarse, el resultado tiene que ser el que se aprecia en la Figura A1.6, donde se aprecia el empotramiento de éstos al suelo.

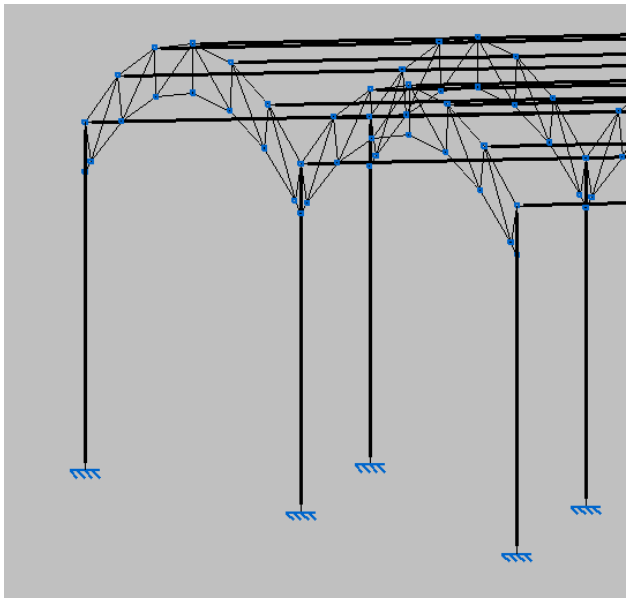


Figura A1.6. Pilares con vinculación exterior fija en CYPE

Agrupamiento de barras

Para agrupar/desagrupar las piezas, se accede a la pestaña de barra como se muestra en la Figura A1.7.

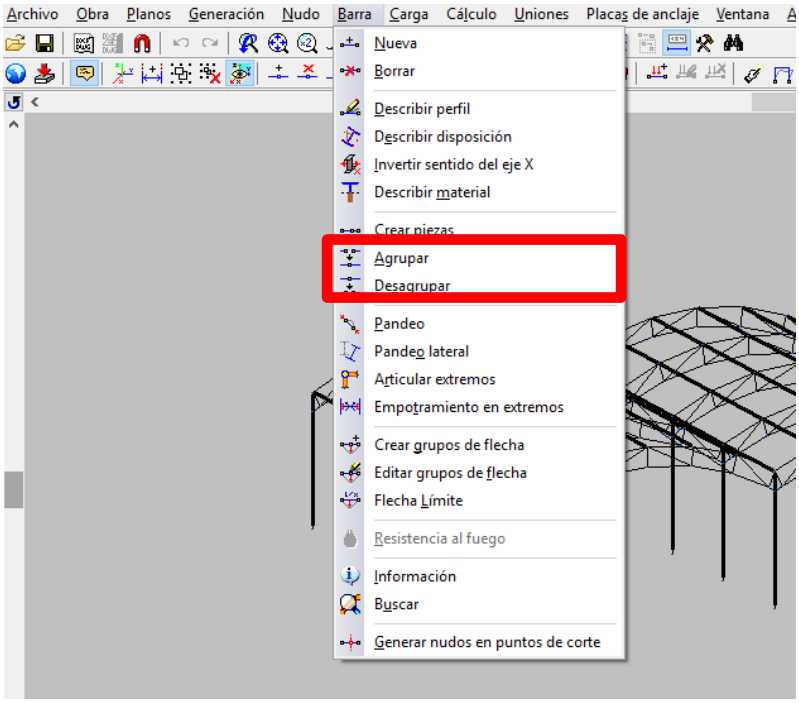


Figura A1.7. Agrupar/desagrupar barras en CYPE

La principal función que tiene esto es simplificar la resolución del problema y no estudiar barra a barra. Hay que tener en cuenta que no se puede realizar cualquier grupo de barras, si no solo de aquellas que se comportan de la misma forma, como se puede ver en Figura A1.8, un ejemplo de grupo de correas centrales que soportan los mismos esfuerzos. Se aprecia además en la misma cómo las correas de los extremos y la que está unida a los pilares en el centro de las dos cubiertas no se encuentran en el grupo, ya que soporta diferentes esfuerzos.

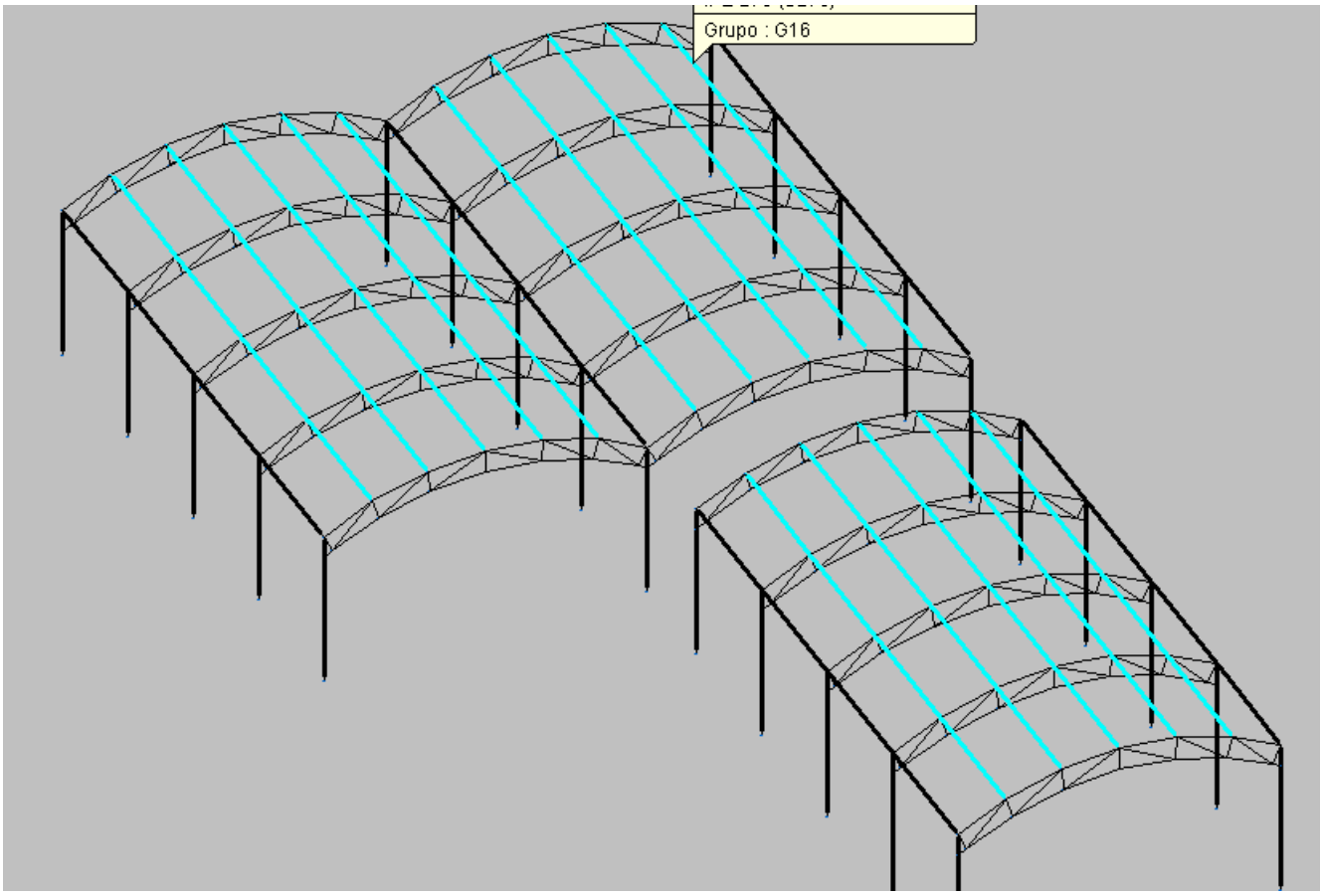


Figura A1.8. Agrupamiento de correas en CYPE

Descripción de perfiles

Para definir los perfiles de las diferentes barras y pilares, se puede bien ejecutar mediante la pestaña barra o mediante la barra de herramientas como se aprecia en la Figura A1.9.

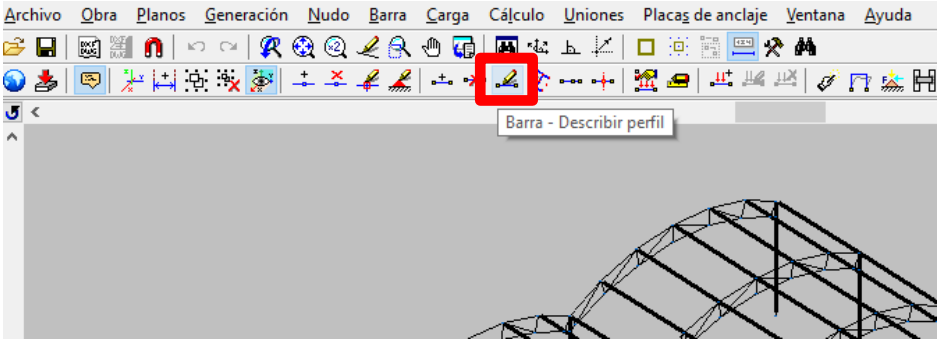


Figura A1.9. Describir perfil en CYPE

Al seleccionar esta herramienta y, posteriormente, el grupo de barras al que se quiere imponer un perfil, aparece la ventana que se puede apreciar en la Figura A1.10. En ella se puede seleccionar en primer lugar cómo se quiere el perfil (con losa de hormigón, simple, simple con cartelas, etc.), y una vez seleccionado, tras pinchar arriba a la derecha, donde aparece IPE 270, sale la descripción del perfil donde se puede marcar la serie y el tamaño.

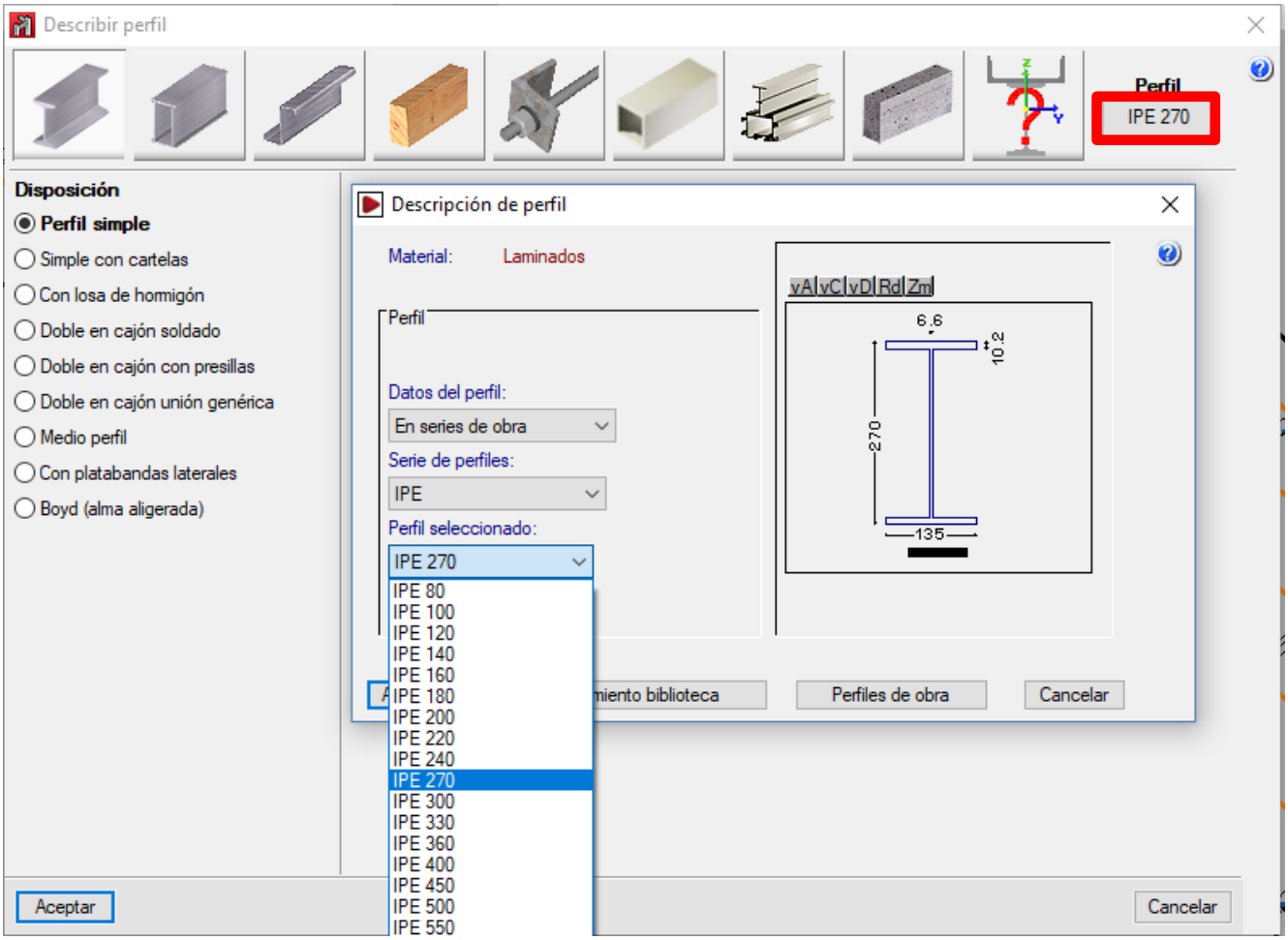


Figura A1.10. Selección del tipo de perfil en CYPE

El resultado de la descripción de perfiles de la estructura es el que se puede apreciar en la Figura A1.11, donde se contempla los diferentes tipos de perfiles que se han usado siendo, perfil tipo IPE para las correas. Para las celosías se ha elegido perfil tipo L y para los pilares perfiles tipo HEB. Los tamaños finales de estos perfiles se determinarán tras el cálculo, en este apartado simplemente se define el tipo y se da una primera dimensión preliminar.

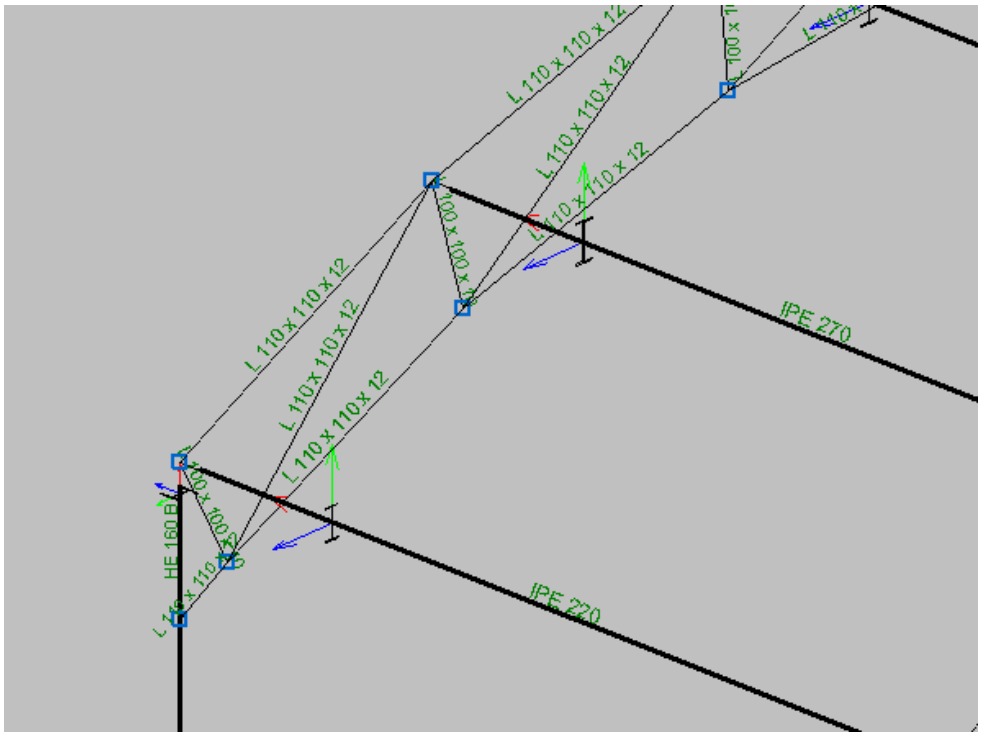


Figura A1.11. Perfiles seleccionados en la estructura de CYPE

Pandeo y pandeo lateral

Para aplicar pandeo y pandeo lateral a los elementos de la estructura, se accede nuevamente a la pestaña de barra como se aprecia en la Figura A1.12.

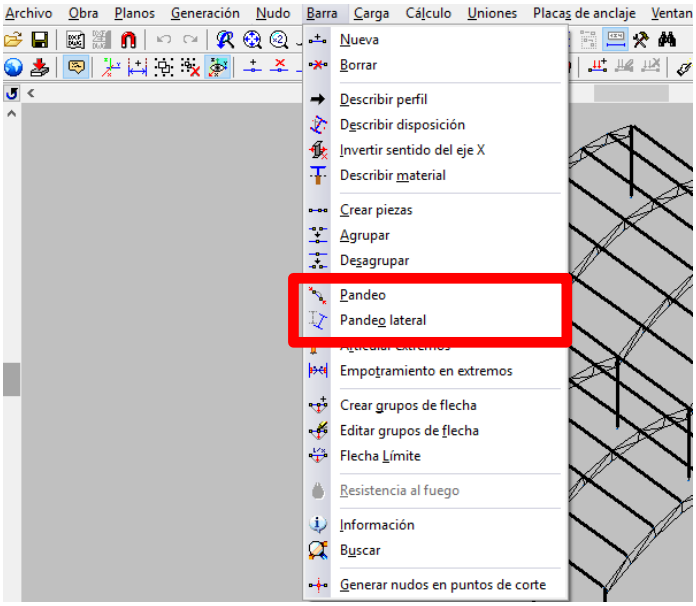


Figura A1.12. Aplicar pandeo y pandeo lateral en CYPE

Para pandeo se tendrá que aplicar por tipos de barras. En primer lugar no se ha introducido pandeo para las correas ya que éstas trabajarán principalmente a flexión, no a compresión. Sin embargo, se ha introducido en este caso el pandeo lateral siendo la barra como biarticulada como se muestra en la Figura A1.13.

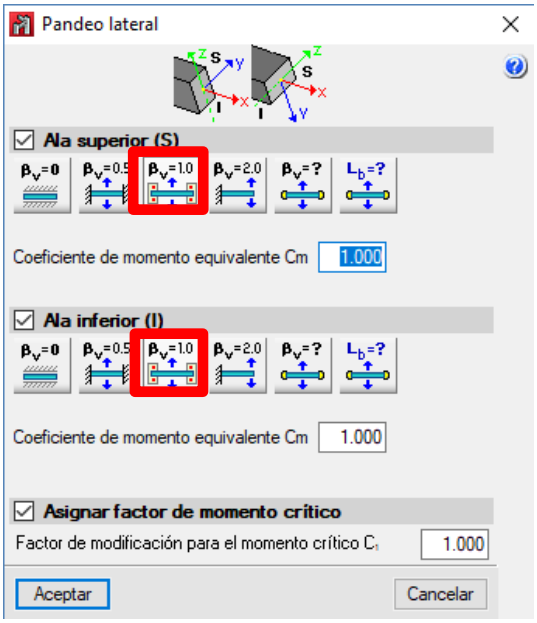


Figura A1.13. Pandeo lateral en todos los elementos estructurales en CYPE

En cuanto a los elementos de la celosía y a los pilares se le ha introducido tanto el efecto de pandeo como el efecto de pandeo lateral ya que aunque principalmente estarán afectados por el pandeo producido por la compresión, también pudieran llegar a sufrir pandeo lateral producido por la flexión.

Para los pilares se aplica el pandeo correspondiente a una barra apoyada en un extremo y articulada en otro como se aprecia en la Figura A1.14.

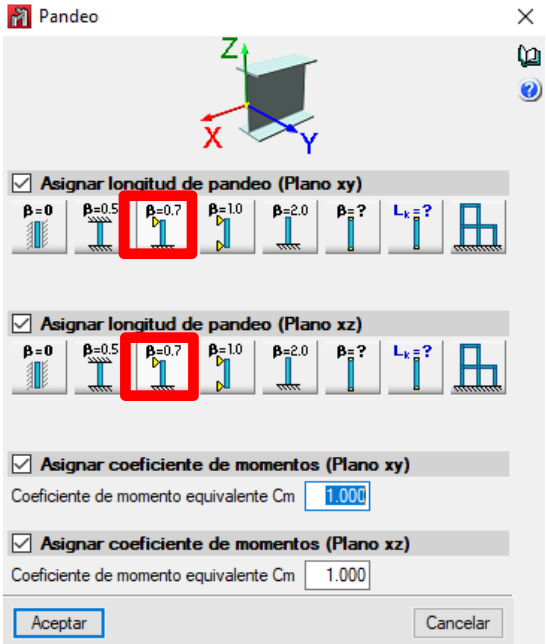


Figura A1.14. Pandeo en pilares en CYPE

Para la celosía sin embargo se aplica el pandeo correspondiente a una barra biapoyada siguiendo las hipótesis de cálculo indicadas en el apartado 4.2.4, se aprecia en la Figura A1.15.

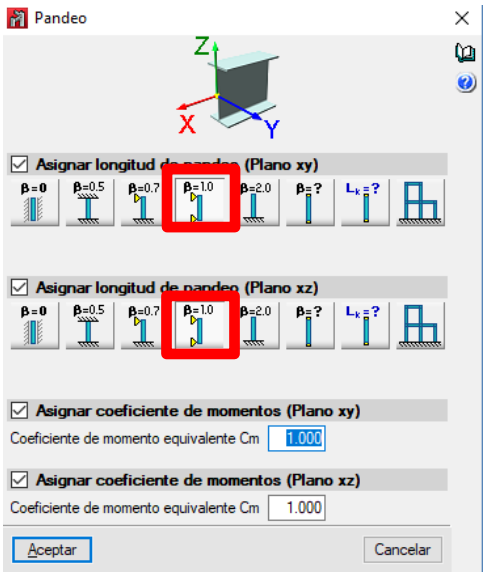


Figura A1.15. Pandeo en celosía en CYPE

El pandeo lateral se considera tal y como se ve en la Figura A1.13 para ambos elementos estructurales.

Flecha

Se accede a la pestaña de barra, y ahí se accede a flecha límite como se ve en la Figura A1.16, posteriormente se selecciona todo el diseño completo para definir la flecha de todos las barras de la construcción.

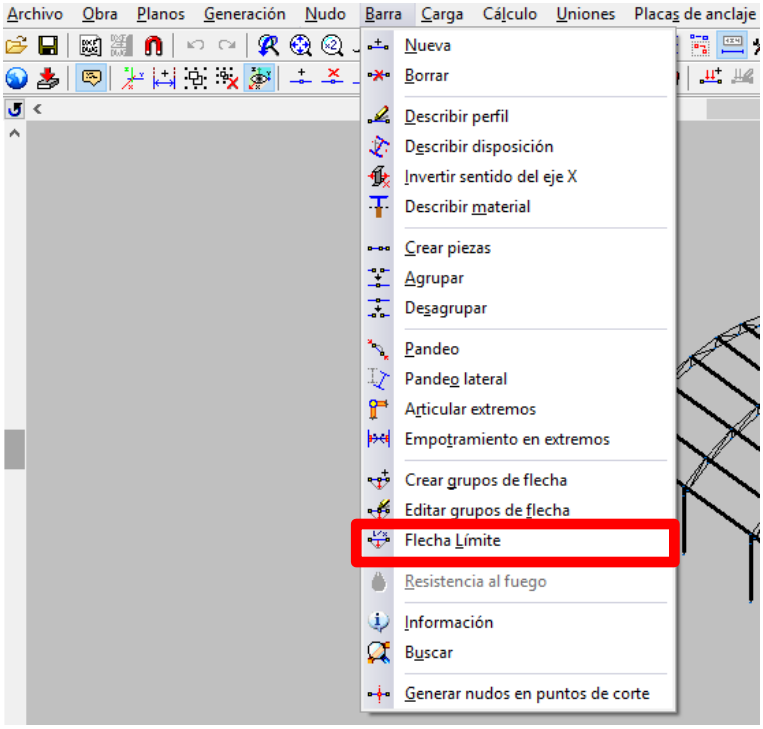


Figura A1.16. Aplicar flecha en CYPE

Tras seleccionar todos los elementos, aparece la ventana que se muestra en la Figura A1.17 donde se selecciona la flecha máxima relativa como L/300 como se recoge en la normativa [26].

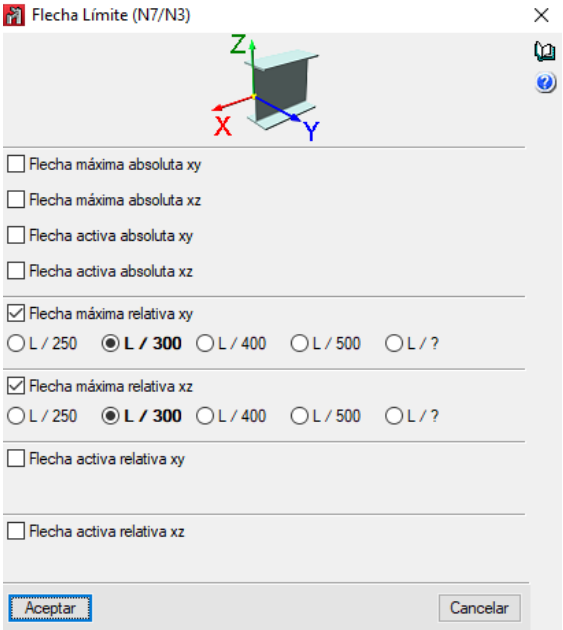


Figura A1.17. Aplicar flecha a la estructura en CYPE

Paños

Para generar unos paños sobre los que posteriormente se aplicará unas cargas, se accede a la pestaña de carga como se aprecia, y a continuación se selecciona introducir paños como se aprecia en la Figura A1.18.

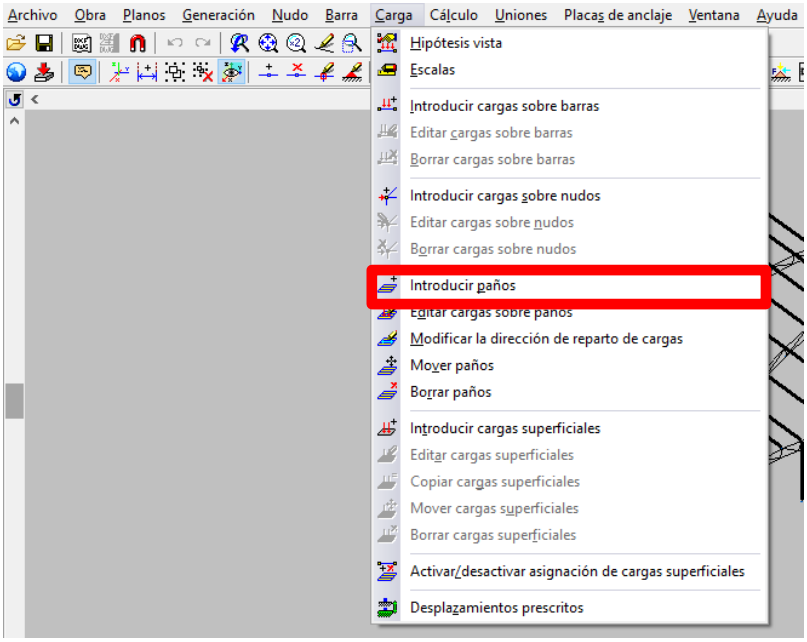


Figura A1.18. Introducir paños en CYPE

Tras esto se selecciona la superficie sobre la que se quiere generar el paño, y se escoge la dirección de reparto de la carga. El resultado es el que se muestra en la Figura A1.19.

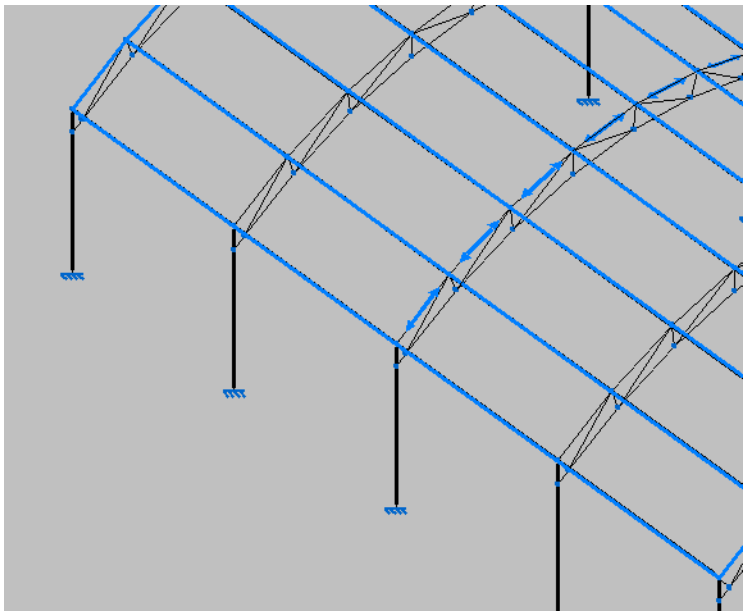


Figura A1.19. Resultado de paños definidos sobre la estructura en CYPE

Cargas

Ahora se procede a explicar cómo se han introducido las cargas. En primer lugar se accede al marcador de carga que se encuentra en la zona superior y luego en editar cargas sobre paños como se muestra en la Figura A1.20. Una vez realizado esto, se elige el paño sobre el que se quiere aplicar las cargas.

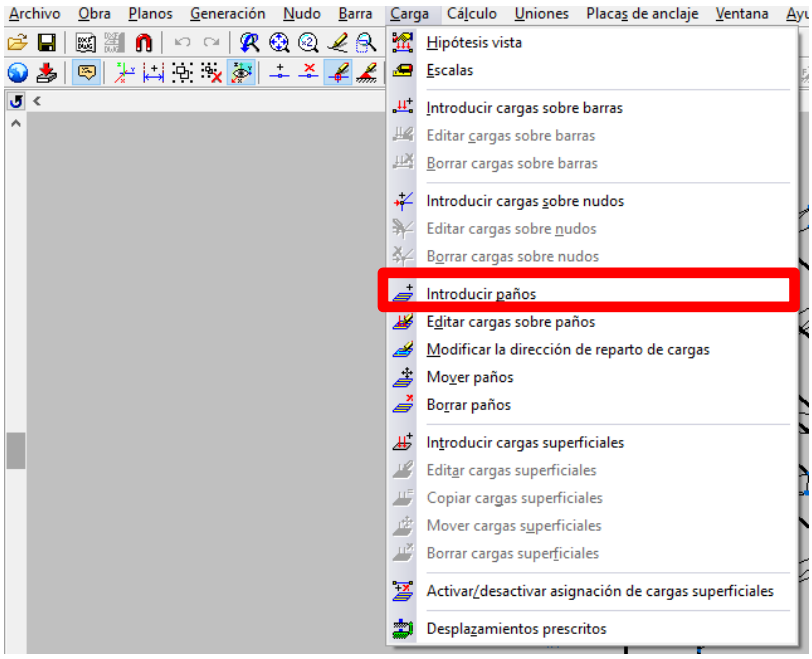


Figura A1.20. Editar cargas sobre paños en CYPE

Cuando se selecciona el paño aparece la ventana en la que se introducen los tipos y valores de carga, además del sentido con el signo negativo o positivo. En este caso el signo negativo se aprecia en la estructura como que tiende a levantar la cubierta mientras que el positivo tiende a presionarla sobre los pilares como se puede contemplar en la Figura A1.21.

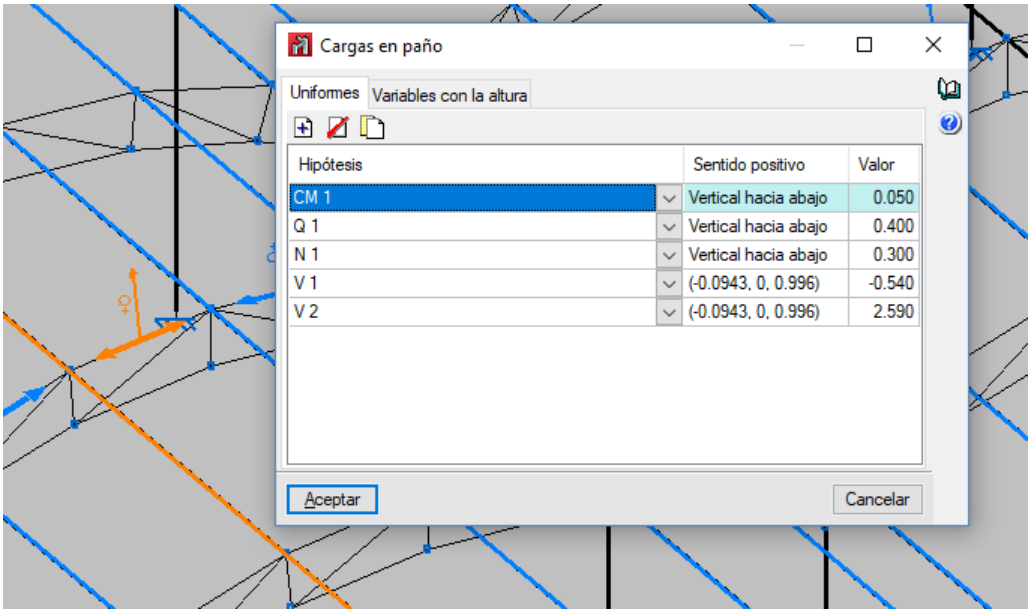


Figura A1.21. Cargas aplicadas sobre un paño determinado

Los valores tanto de la acción permanente del peso del material que cierra la estructura (CM1), como la acción variable de sobrecarga de uso (Q1) y la de nieve (N1) son aplicados a todos los paños de la estructura, sin embargo, para generar las cargas de viento, se ha hecho distinción de los valores sobre los paños según el coeficiente que se relaciona en la Figura 4-4, del apartado 4.2.1.2.

Cálculo de elementos de la estructura

Una vez las cargas han sido introducidas, se procede al dimensionamiento de los perfiles, es decir al cálculo de los elementos. Para ello se accede a la pestaña cálculo y se selecciona en calcular, como se puede ver en la Figura A1.22.

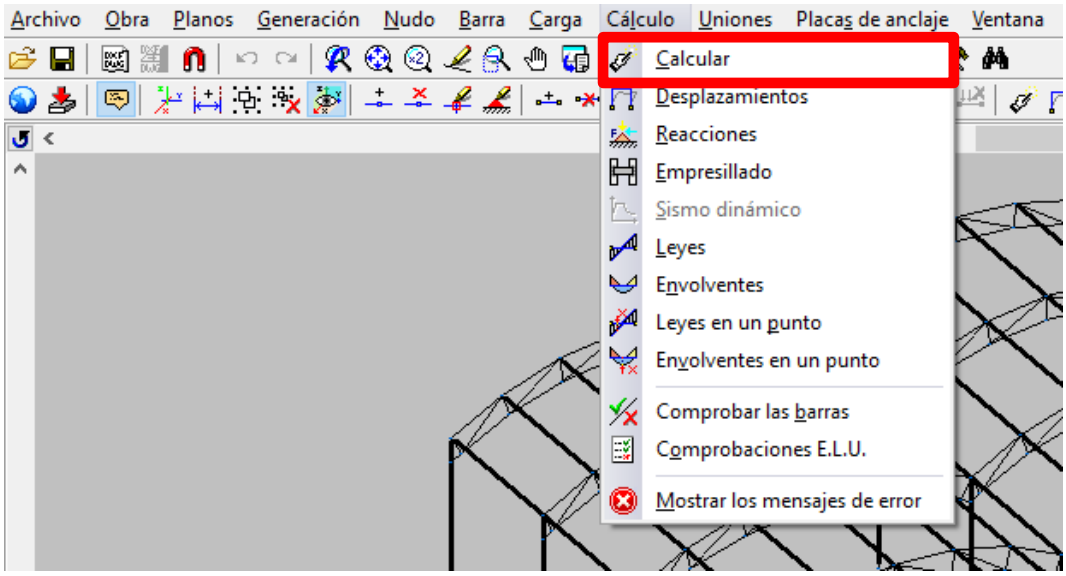


Figura A1.22. Calcular elementos de la estructura

La siguiente ventana que aparece, permite escoger el tipo de calculo que se quiere realizar, si se quiere realizar un dimensionado rápido, un dimensionado óptimo, o si simplemente se quiere comprobar que los perfiles que se escogieron anteriormente cumplen o no las especificaciones técnicas. En este caso se escogerá un dimensionado óptimo utilizando todos los perfiles de la serie como se puede ver en la Figura A1.23.

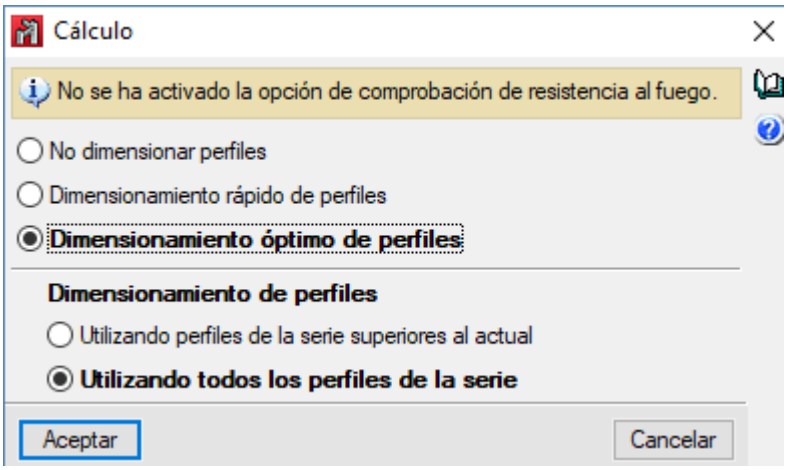


Figura A1.23. Tipo de cálculo y dimensionamiento

Ahora se procederá a comprobar los resultados del cálculo realizado. Se ha de conocer que pese a haber seleccionado un dimensionado óptimo, los tamaños de los perfiles de las estructura se pueden reducir de igual manera con diferentes combinaciones de tamaños y tipos. Para comprobar los resultados se accede a la pestaña anterior, y en este caso se elige comprobar las barras como se aprecia en la Figura A1.24.

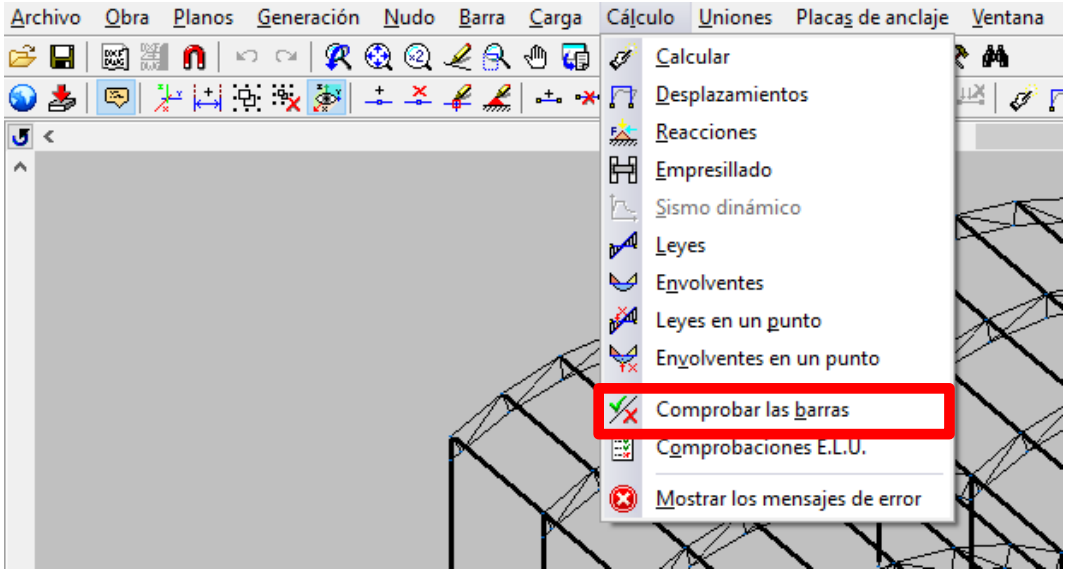


Figura A1.24. Comprobar barras tras el cálculo

Tras realizar esta selección, las barras de la estructura aparecerán en verde si hay algún perfil que cumpla las condiciones de resistencia y deformación de las cargas introducidas, indicándose el mínimo tamaño de perfil que lo cumple así como el aprovechamiento de resistencia y de flecha, y en rojo en caso de que no exista como se puede ver en la Figura A1.25. No obstante, en el presente trabajo se han realizado variaciones en los perfiles, para dejar la estructura lo más optimizada posible. Cada vez que un cambio era realizado en algunos de los elementos, se realizaba un cálculo en el que no se dimensionaran los perfiles con el fin de que sólo se hiciera una comprobación del nuevo tamaño. Si la comprobación era positiva, se intentaba reducir aún más el perfil realizando otra comprobación hasta que no fuera posible reducirlo más. Una vez que la reducción ya no era posible, se volvía a seleccionar el último perfil que cumplía los requisitos y se elegía otro elemento. Esto se realiza hasta que no quedan más elementos por comprobar.

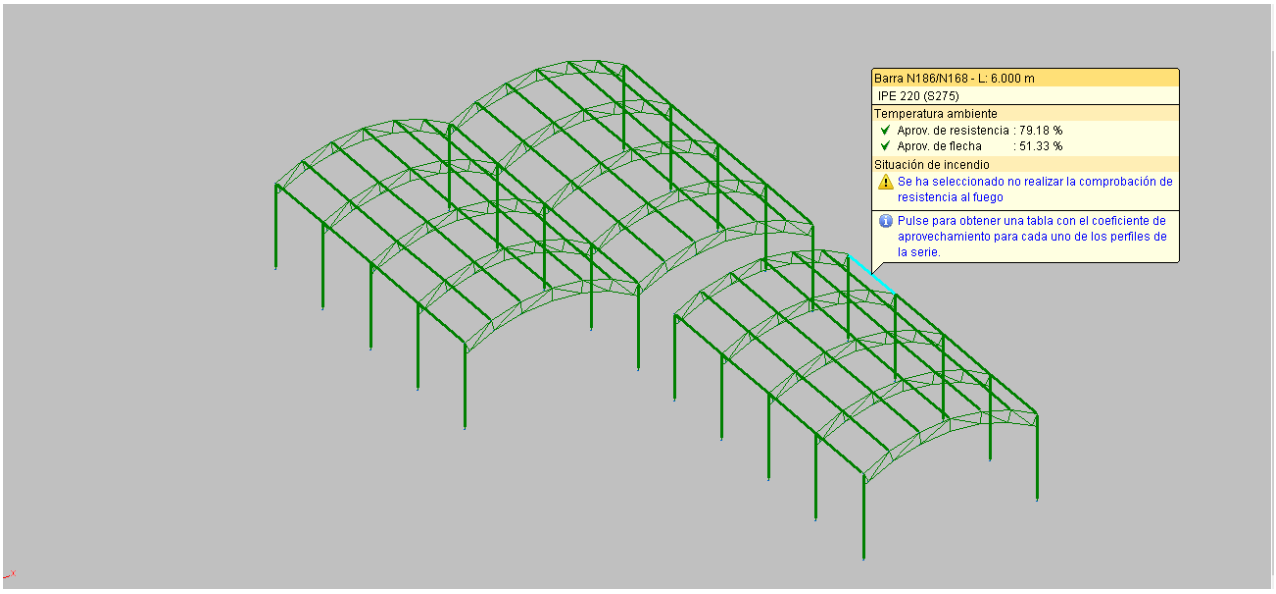


Figura A1.25. Resultado de cálculo y dimensionado óptimo

Cimentación

Para realizar la cimentación, en la esquina inferior izquierda, se encuentra una pestaña donde se puede acceder bien a la estructura, bien a la cimentación. Lo primero es acceder mediante esa pestaña a la cimentación. Cuando ya se ha accedido, se escoge la pestaña obra y datos generales como se puede ver en la Figura A1.26.

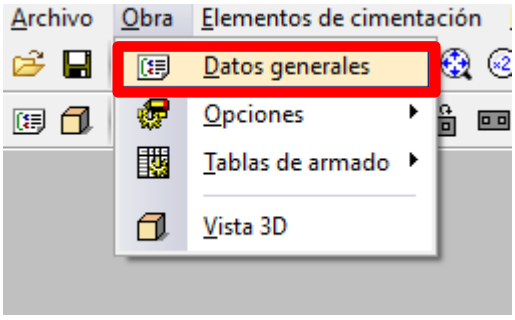


Figura A1.26. Acceder a datos generales

En esta pestaña de datos generales se introduce la tensión admisible del terreno, que en este caso es de 10MPa, debido a los motivos indicados en 4.2.6. No obstante, se puede elegir otro material haciendo selección en la flecha horizontal de color azul que se encuentra en situaciones persistentes. También se introduce el tipo de hormigón HA-25 y el acero B500S, los dos materiales más utilizados en las cimentaciones por zapatas. Todo esto se puede muestra en la Figura A1.27.

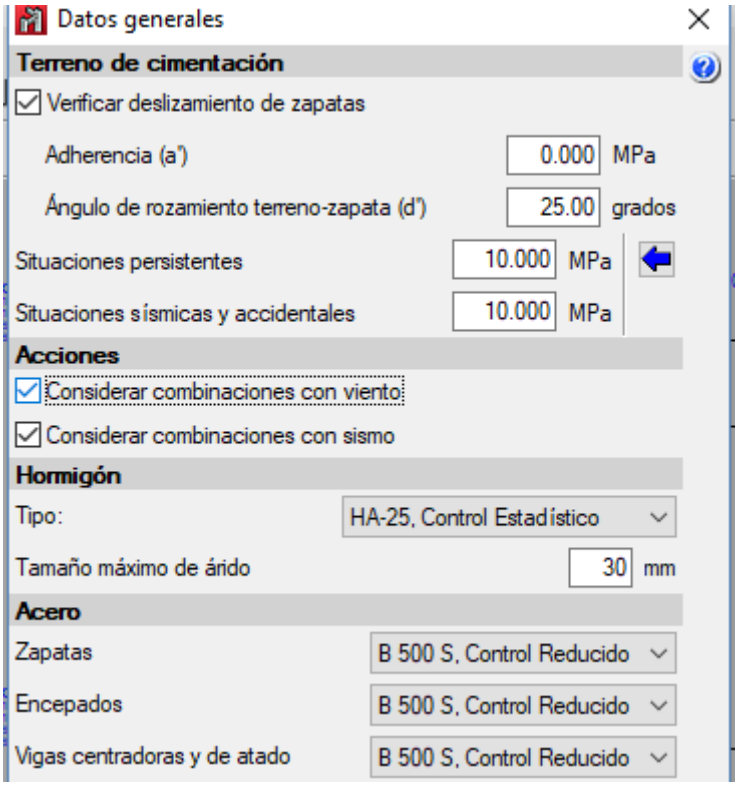


Figura A1.27. Datos generales

Una vez se ha realizado esto, se acude a la pestaña de cálculo y se selecciona la acción de generar zapatas y vigas, como se puede ver en la Figura A1.28.

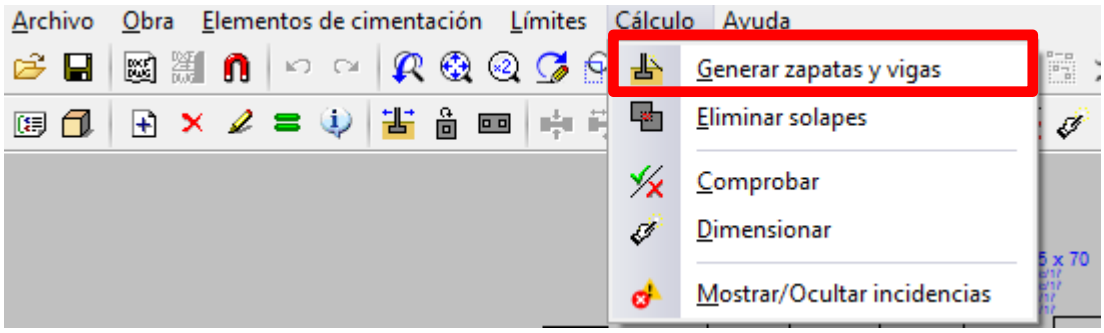


Figura A1.28. Generar zapatas y vigas

Tras esto se selecciona que no se quiere realizar vigas de atado, ya que se va a usar zapatas aisladas que como se estudia en el apartado 4.2.6, es el tipo de cimentación más utilizado en construcciones industriales. Al realizarse la generación se mostrará una imagen con los elementos de cimentación sin calcular. Para realizar el cálculo se usa la misma pestaña pero se ahora se escoge dimensionar como se aprecia en la Figura A1.29.

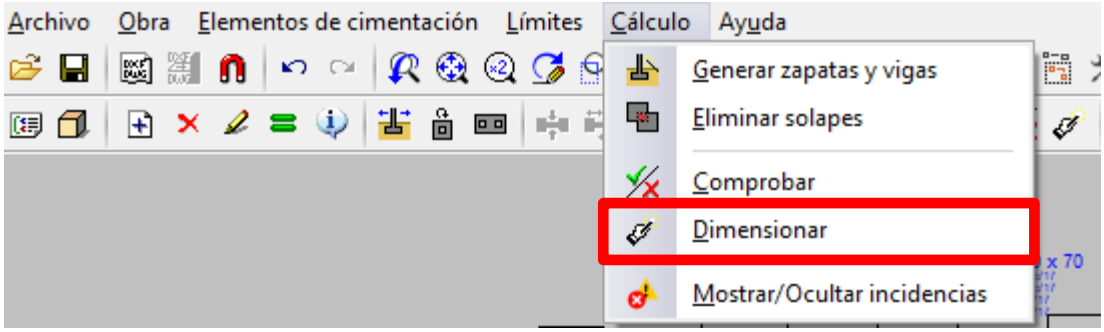


Figura A1.29. Dimensionado de zapatas

Se puede escoger varios tipos de dimensionados al igual que se hizo para el dimensionado de los elementos estructurales. En este caso se escogerá el dimensionado rápido con dimensiones mínimas como se muestra en la Figura A1.30.

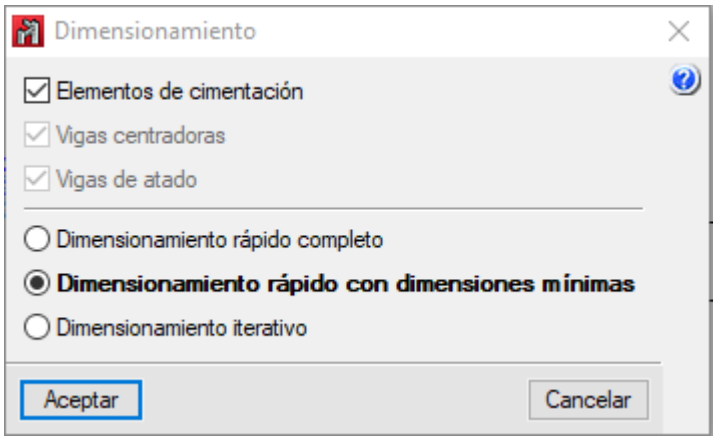


Figura A1.30. Tipos de dimensionados para la cimentación

El proceso de comprobación de cálculo y de optimización es exactamente el mismo que se realizó para las barras y pilares de la estructura. Una vez se realiza este proceso tienen que aparecer todas las zapatas como se muestra en la Figura A1.31, en color verde, cumpliendo con la normativa, y lo más optimizadas posible.

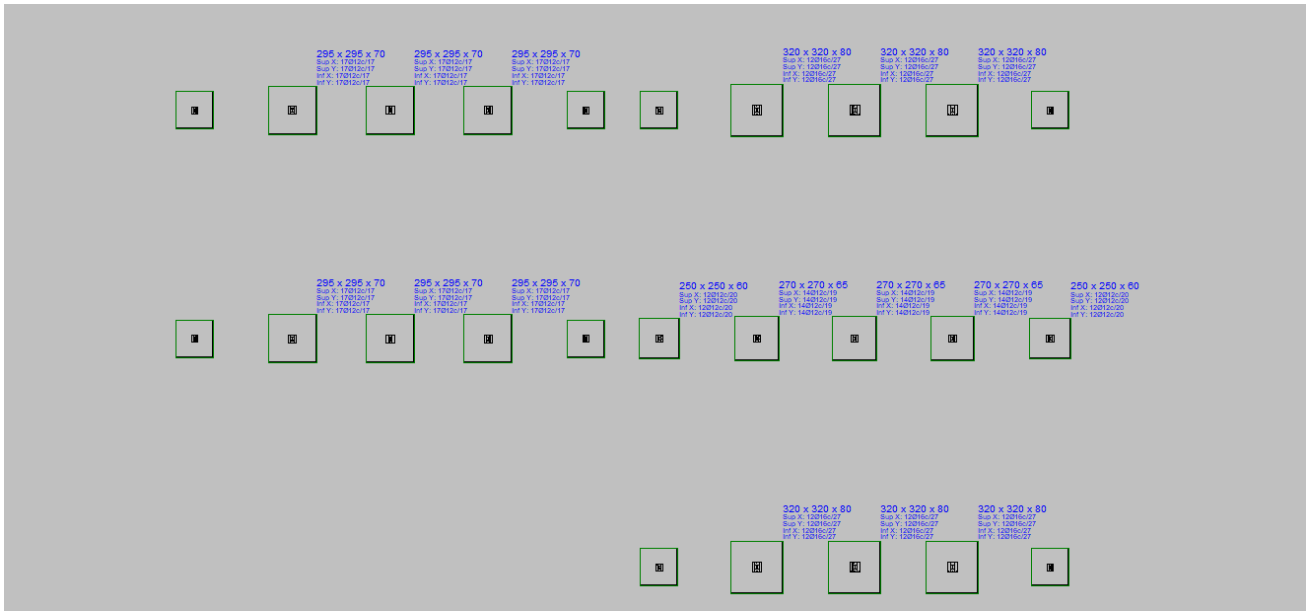


Figura A1.31. Resultado de cálculo y dimensionado óptimo de las zapatas

Placas de anclaje

Para crear las placas de anclajes se accede a la pestaña uniones y se selecciona nueva unión como se puede contemplar en la Figura A1.32.

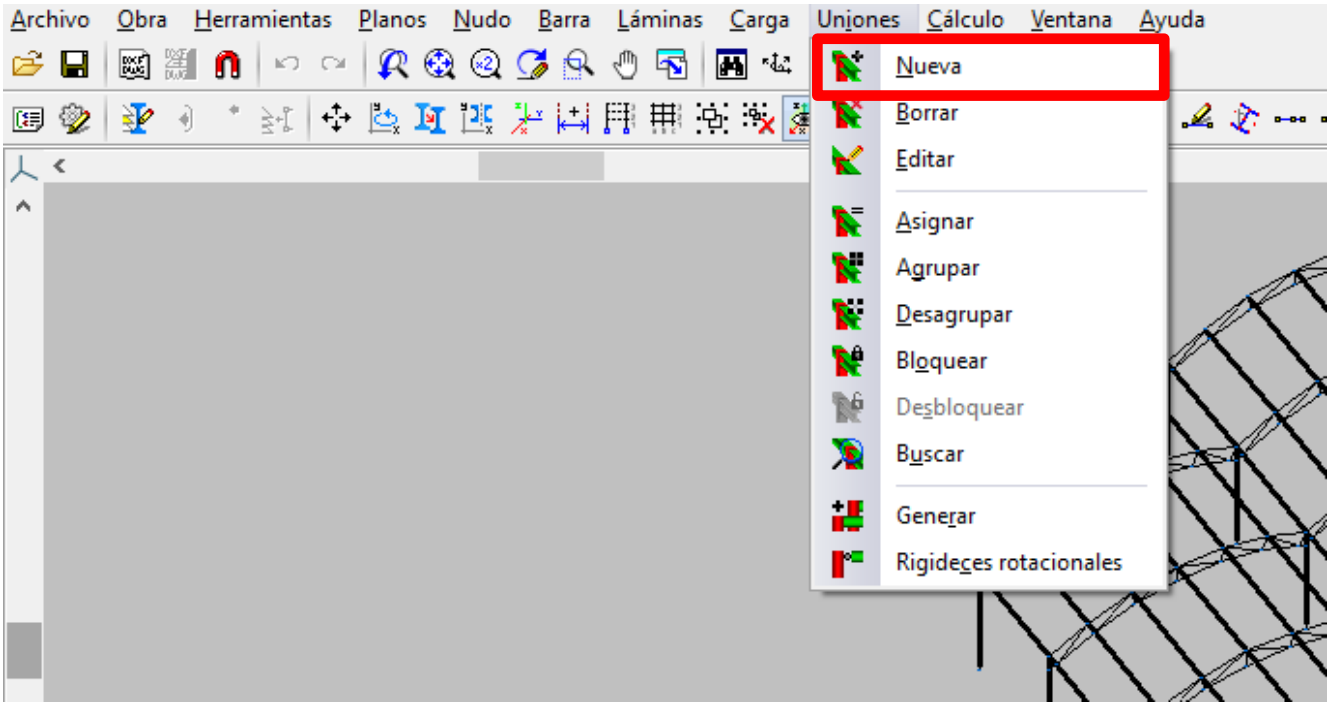


Figura A1.32. Crear placas de anclaje

Al generar estas uniones y hacer su dimensionamiento volviendo a calcular, aparece la Figura A1.33, en la que se selecciona la primera opción.

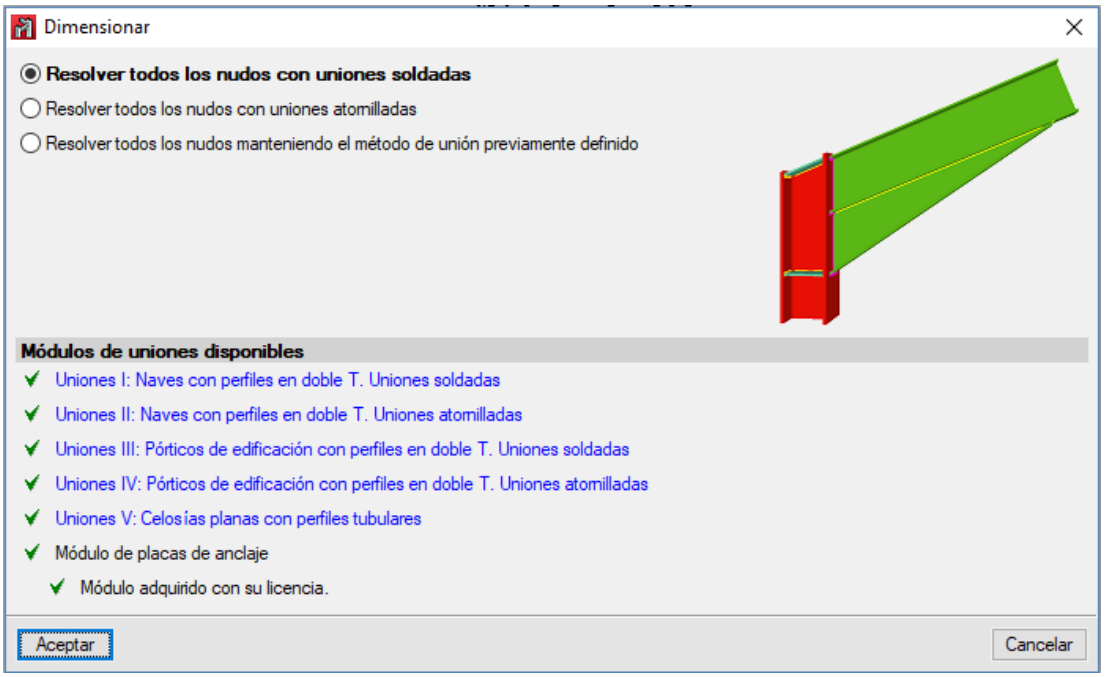


Figura A1.33. Tipo de dimensionamiento de uniones

Resultado vista 2D y 3D final de las placas de anclaje

El resultado tras la realización de la cimentación con sus placas de anclajes, para una zapata en 2D, es el que se muestra en la Figura A1.34.

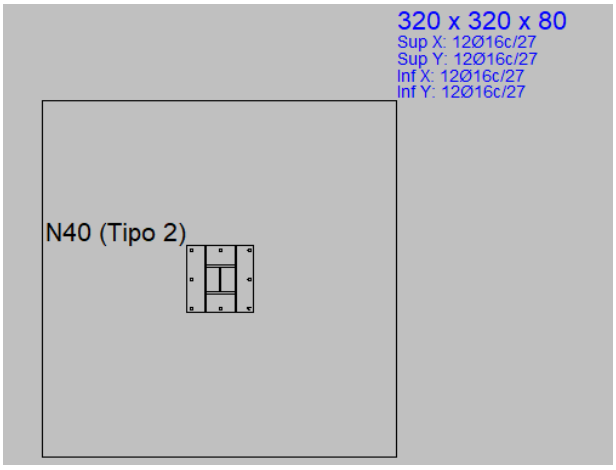


Figura A1.34. Resultado 2D para una zapata con placa de anclaje

En cuanto a la vista 3D exclusiva de una unión cualquiera de la cimentación se puede apreciar en la Figura A1.35.

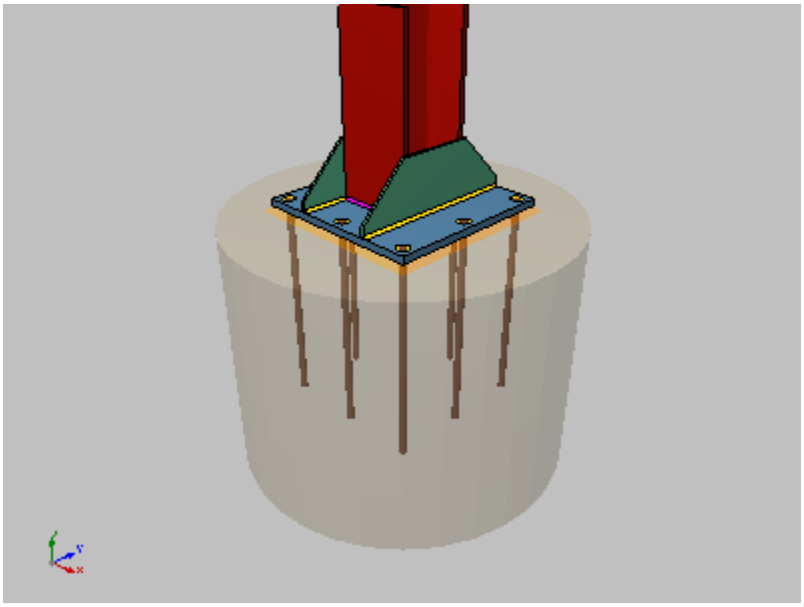


Figura A1.35. Resultado 3D de placa de anclaje

Resultado vista 3D final de la estructura con la cimentación

En este subapartado se muestra en la Figura A1.36, Figura A1.37 y la Figura A1.38, las diferentes perspectivas del resultado final de la estructura realizada en CYPE con su correspondiente cimentación.

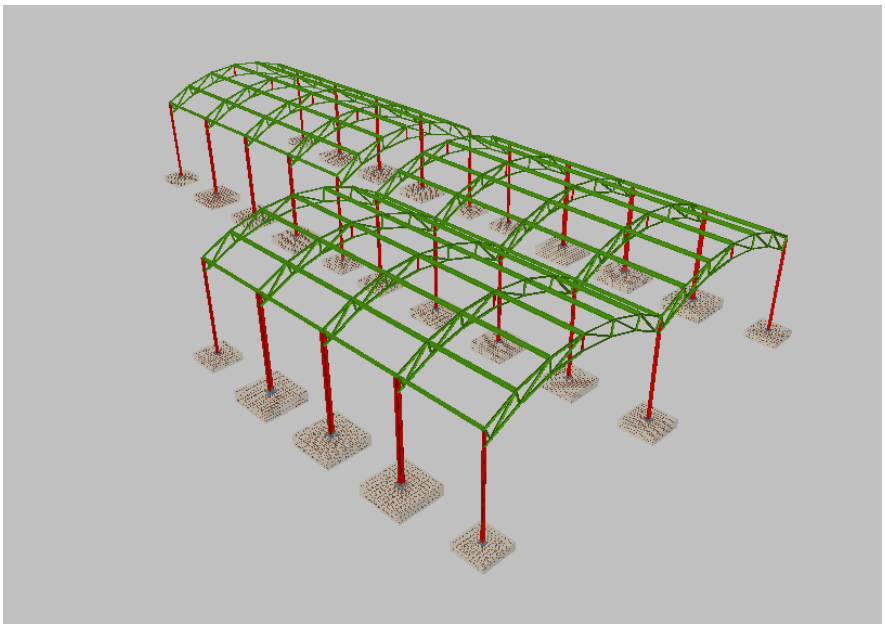


Figura A1.36. Resultado final de la estructura con su cimentación. Perspectiva 1

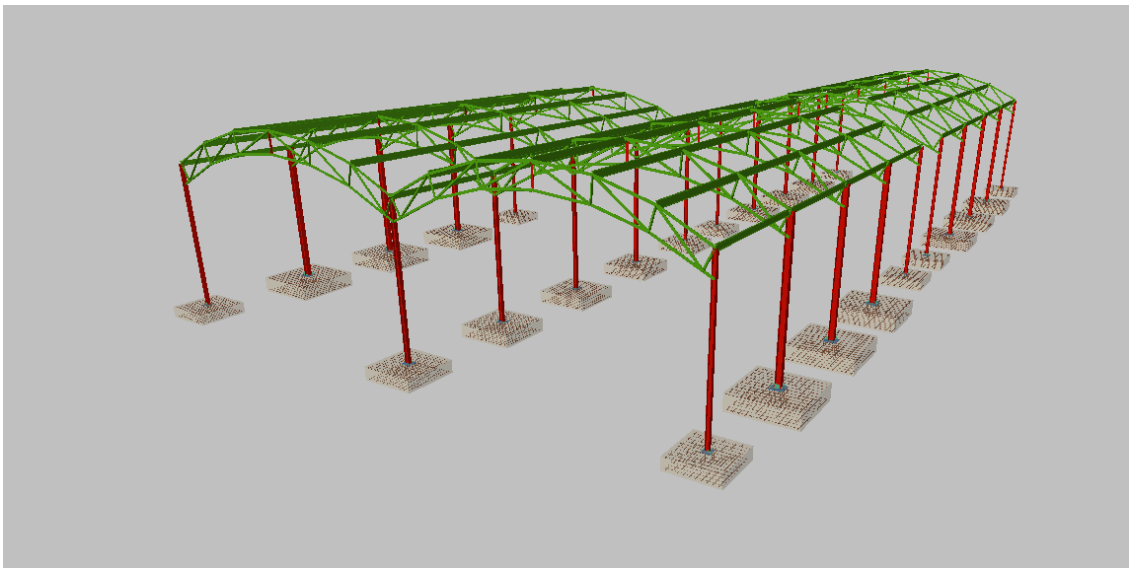


Figura A1.37. Resultado final de la estructura con su cimentación. Perspectiva 2

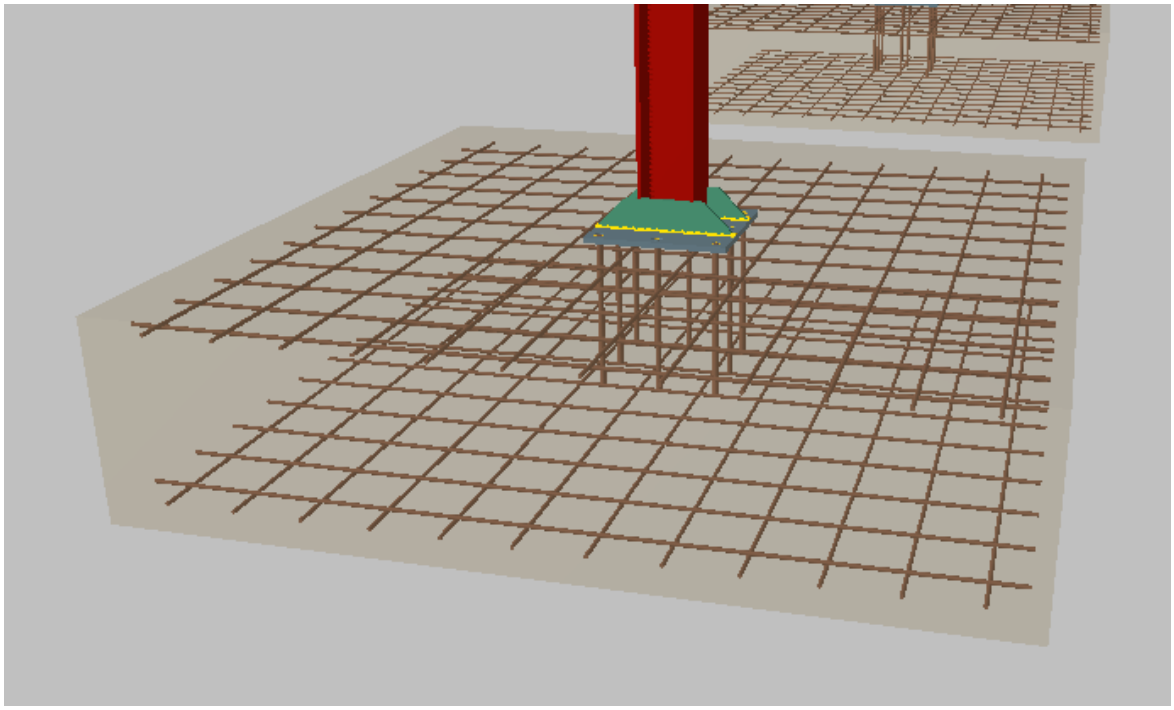


Figura A1.38. Resultado final de la estructura con su cimentación. Perspectiva 3

Listado de cálculo

Cubierta pista de pádel

ANEXO II: CÁLCULOS EN CYPE

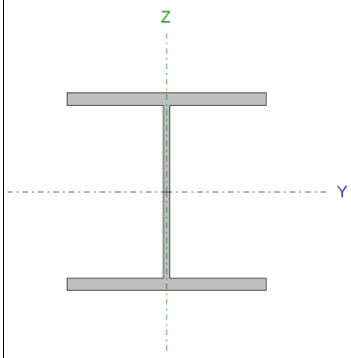
En este anexo se incluye la justificación ofrecida por CYPE. Debido a que este software genera una gran cantidad de información, se ha sintetizado ésta incluyendo únicamente lo que se indica a continuación, sirviendo esto simplemente a modo de ejemplo. Para las barras (pilar, correas y celosías) se han introducido los cálculos correspondientes a las condiciones más desfavorables. Para la cimentación se ha indicado el dimensionamiento correspondiente a la zapata cuyo pilar a soportar es el más desfavorable. También se ha de indicar que no se incluyen todas las comprobaciones de estos elementos, únicamente se muestra las comprobaciones E.L.U.

1.- Pilar más desfavorable

1.1.- Comprobaciones E.L.U. (Completo)

Barra N262/N34

Perfil: HE 260 B
Material: Acero (S275JR)



Nudos		Longitud (m)	Características mecánicas			
Inicial	Final		Área (cm²)	I_y(1) (cm4)	I_z(1) (cm4)	I_t(2) (cm4)
N262	N34	6.000	118.40	14920.00	5135.00	123.80

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	0.70	1.00	1.00
L_K	4.200	4.200	6.000	6.000
C_m	1.000	1.000	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.

$\bar{\lambda}$: ***0.72*** ✓

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*

Listado de cálculo

Cubierta pista de pádel

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.	**A** :	*118.40*	cm²
f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)	**f_y** :	*265.00*	MPa
N_{cr}: Axil crítico de pandeo elástico.	**N_{cr}** :	*6033.38*	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.	**$N_{cr,y}$** :	*17530.30*	kN
b) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.	**$N_{cr,z}$** :	*6033.38*	kN
c) Axil crítico elástico de pandeo por torsión.	**$N_{cr,T}$** :	*8481.97*	kN

Donde:

I_y: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y.	**I_y** :	*14920.00*	cm4
I_z: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z.	**I_z** :	*5135.00*	cm4
I_t: Momento de inercia a torsión uniforme.	**I_t** :	*123.80*	cm4
I_w: Constante de alabeo de la sección.	**I_w** :	*753700.00*	cm6
E: Módulo de elasticidad.	**E** :	*210000*	MPa
G: Módulo de elasticidad transversal.	**G** :	*81000*	MPa
L_{ky}: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Y.	**L_{ky}** :	*4.200*	m
L_{kz}: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Z.	**L_{kz}** :	*4.200*	m
L_{kt}: Longitud efectiva de pandeo por torsión.	**L_{kt}** :	*6.000*	m
i_0: Radio de giro polar de la sección bruta, respecto al centro de torsión.	**i_0** :	*13.01*	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** :	*11.23*	cm
	i_z :	*6.59*	cm
y_0 , z_0: Coordenadas del centro de torsión en la dirección de los ejes principales Y y Z, respectivamente, relativas al centro de gravedad de la sección.	**y_0** :	*0.00*	mm
	z_0 :	*0.00*	mm

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

Se debe satisfacer:

Listado de cálculo

Cubierta pista de pádel

22.50 ≤ 167.18 ✓

Donde:

h_w: Altura del alma.	**h_w** :	*225.00*	mm
t_w: Espesor del alma.	**t_w** :	*10.00*	mm
A_w: Área del alma.	**A_w** :	*22.50*	cm²
$A_{fc,ef}$: Área reducida del ala comprimida.	**$A_{fc,ef}$** :	*45.50*	cm²
k: Coeficiente que depende de la clase de la sección.	**k** :	*0.30*	
E: Módulo de elasticidad.	**E** :	*210000*	MPa
f_{yf}: Límite elástico del acero del ala comprimida.	**f_{yf}** :	*265.00*	MPa

Siendo:

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

Se debe satisfacer:

η : ***0.017*** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N34, para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·CM1+1.5·V2.

$N_{t,Ed}$: Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo. **$N_{t,Ed}$** : *51.16* kN

La resistencia de cálculo a tracción **$N_{t,Rd}$** viene dada por:

$N_{t,Rd}$: *2988.19* kN

Donde:

A: Área bruta de la sección transversal de la barra.	**A** :	*118.40*	cm²
f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.	**f_{yd}** :	*252.38*	MPa

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)	**f_y** :	*265.00*	MPa
γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material.	**γ_{M0}** :	*1.05*	

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

Listado de cálculo

Cubierta pista de pádel

Se debe satisfacer:

η : **0.019** ✓

η : **0.027** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N262, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·CM1+1.5·Q1.

$N_{c,Ed}$: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo. **$N_{c,Ed}$** : *56.96* kN

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

$N_{c,Rd}$: *2988.19* 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. **Clase** : *1*

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3. **A** : *118.40* cm²

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero. **f_{yd}** : *252.38* MPa

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) **f_y** : *265.00* MPa

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

$N_{b,Rd}$: *2126.29* kN

Donde:

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3. **A** : *118.40* cm²

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero. **f_{yd}** : *252.38* MPa

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) **f_y** : *265.00* MPa

γ_{M1}: Coeficiente parcial de seguridad del material. **γ_{M1}** : *1.05*

χ: Coeficiente de reducción por pandeo.

Listado de cálculo

Cubierta pista de pádel

χ_y : 0.92
χ_z : 0.71
χ_T : 0.78

Siendo:

ϕ_y : 0.63
ϕ_z : 0.89
ϕ_T : 0.78

α: Coeficiente de imperfección elástica.

α_y : 0.34
α_z : 0.49
α_T : 0.49

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

$\bar{\lambda}_y$: 0.42
$\bar{\lambda}_z$: 0.72
$\bar{\lambda}_T$: 0.61

N_{cr}: Axil crítico elástico de pandeo, obtenido como el menor de los siguientes valores: N_{cr} : 6033.38 kN

$N_{cr,y}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y. $N_{cr,y}$: 17530.30 kN

$N_{cr,z}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z. $N_{cr,z}$: 6033.38 kN

$N_{cr,T}$: Axil crítico elástico de pandeo por torsión. $N_{cr,T}$: 8481.97 kN

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

Se debe satisfacer:

η : **0.757** ✓

η : **0.906** ✓

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N262, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·CM1+1.5·V2+0.75·N1.

M_{Ed}^+: Momento flector solicitante de cálculo pésimo. M_{Ed}^+ : 173.31 kN·m

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N262, para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·CM1+1.5·V1.

M_{Ed}^-: Momento flector solicitante de cálculo pésimo. M_{Ed}^- : 244.98 kN·m

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

$M_{c,Rd}$: 323.80 kN·m

Listado de cálculo

Cubierta pista de pádel

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*

$\mathbf{W_{pl,y}}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2. $\mathbf{W_{pl,y}}$: *1283.00* cm³

$\mathbf{f_{yd}}$: Resistencia de cálculo del acero. $\mathbf{f_{yd}}$: *252.38* MPa

Siendo:

$\mathbf{f_y}$: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) $\mathbf{f_y}$: *265.00* MPa

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material. γ_{M0} : *1.05*

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

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

$\mathbf{M_{b,Rd}}$: *270.34* kN·m

Donde:

$\mathbf{W_{pl,y}}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2. $\mathbf{W_{pl,y}}$: *1283.00* cm³

$\mathbf{f_{yd}}$: Resistencia de cálculo del acero. $\mathbf{f_{yd}}$: *252.38* MPa

Siendo:

$\mathbf{f_y}$: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) $\mathbf{f_y}$: *265.00* MPa

γ_{M1}: Coeficiente parcial de seguridad del material. γ_{M1} : *1.05*

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

χ_{LT} : *0.83*

Siendo:

ϕ_{LT} : *0.82*

α_{LT}: Coeficiente de imperfección elástica. α_{LT} : *0.21*

$\bar{\lambda}_{LT}$: *0.73*

$\mathbf{M_{cr}}$: Momento crítico elástico de pandeo lateral. $\mathbf{M_{cr}}$: *644.01* kN·m

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

Listado de cálculo

Cubierta pista de pádel

Siendo:

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

M_{LTv} : *544.48* kN·m

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

M_{LTw} : *343.93* kN·m

Siendo:

$W_{el,y}$: Módulo resistente elástico de la sección bruta, obtenido para la fibra más comprimida. — **$W_{el,y}$** : *1147.69* cm³

I_z: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z. — **I_z** : *5135.00* cm4

I_t: Momento de inercia a torsión uniforme. — **I_t** : *123.80* 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^+** : *6.000* m

L_c^-: Longitud efectiva de pandeo lateral del ala inferior. — **L_c^-** : *6.000* 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. — **$i_{f,z}^+$** : *7.21* cm; **$i_{f,z}^-$** : *7.21* cm

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

Se debe satisfacer:

η : ***0.017*** ✓

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N262, para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·CM1+1.5·V2.

M_{Ed}^+: Momento flector solicitante de cálculo pésimo. — **M_{Ed}^+** : *2.59* kN·m

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N262, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·CM1+1.5·Q1.

M_{Ed}^-: Momento flector solicitante de cálculo pésimo. — **M_{Ed}^-** : *1.88* kN·m

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

$M_{c,Rd}$: *151.98* kN·m

Listado de cálculo

Cubierta pista de pádel

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*

$\mathbf{W_{pl,z}}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2. $\mathbf{W_{pl,z}}$: *602.20* cm³

$\mathbf{f_{yd}}$: Resistencia de cálculo del acero. $\mathbf{f_{yd}}$: *252.38* MPa

Siendo:

$\mathbf{f_y}$: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) $\mathbf{f_y}$: *265.00* MPa

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material. γ_{M0} : *1.05*

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

Se debe satisfacer:

η : ***0.186*** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·CM1+1.5·V1.

$\mathbf{V_{Ed}}$: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. $\mathbf{V_{Ed}}$: *70.39* kN

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

$\mathbf{V_{c,Rd}}$: *378.85* kN

Donde:

$\mathbf{A_v}$: Área transversal a cortante. $\mathbf{A_v}$: *26.00* cm²

Siendo:

h: Canto de la sección. **h** : *260.00* mm

$\mathbf{t_w}$: Espesor del alma. $\mathbf{t_w}$: *10.00* mm

$\mathbf{f_{yd}}$: Resistencia de cálculo del acero. $\mathbf{f_{yd}}$: *252.38* MPa

Siendo:

$\mathbf{f_y}$: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) $\mathbf{f_y}$: *265.00* MPa

Listado de cálculo

Cubierta pista de pádel

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

22.50 < **65.92** ✓

Donde:

λ_w: Esbeltez del alma. λ_w : *22.50*

$\lambda_{máx}$: Esbeltez máxima. $\lambda_{máx}$: *65.92*

ε: Factor de reducción. ε : *0.94*

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 : *265.00* MPa

Resistencia a corte Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)
Se debe satisfacer:

η : ***0.001*** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·CM1+1.5·V2.

V_{Ed}: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. V_{Ed} : *0.85* kN

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

$V_{c,Rd}$: *1397.38* kN

Donde:

A_v: Área transversal a cortante. A_v : *95.90* cm²

Siendo:

Listado de cálculo

Cubierta pista de pádel

A: Área de la sección bruta.	**A** : *118.40*	cm²
d: Altura del alma.	**d** : *225.00*	mm
$\mathbf{t_w}$: Espesor del alma.	$\mathbf{t_w}$: *10.00*	mm
$\mathbf{f_{yd}}$: Resistencia de cálculo del acero.	$\mathbf{f_{yd}}$: *252.38*	MPa

Siendo:

$\mathbf{f_y}$: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)	$\mathbf{f_y}$: *265.00*	MPa
γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material.	γ_{M0} : *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 $\mathbf{V_{Ed}}$ no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante $\mathbf{V_{c,Rd}}$.

70.39 kN ≤ 189.43 kN ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·CM1+1.5·V1.

$\mathbf{V_{Ed}}$: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.	$\mathbf{V_{Ed}}$: *70.39*	kN
$\mathbf{V_{c,Rd}}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.	$\mathbf{V_{c,Rd}}$: *378.85*	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 $\mathbf{V_{Ed}}$ no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante $\mathbf{V_{c,Rd}}$.

0.85 kN ≤ 698.69 kN ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·CM1+1.5·V2.

$\mathbf{V_{Ed}}$: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.	$\mathbf{V_{Ed}}$: *0.85*	kN

Listado de cálculo

Cubierta pista de pádel

$V_{c,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo. **$V_{c,Rd}$** : *1397.38* kN

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

Se debe satisfacer:

η : ***0.768*** ✓

η : ***0.920*** ✓

η : ***0.920*** ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N262, para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·CM1+1.5·V1.

Donde:

$N_{c,Ed}$: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo. **$N_{c,Ed}$** : *27.26* kN

$M_{y,Ed}$, $M_{z,Ed}$: Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente. **$M_{y,Ed}^-$** : *244.98* kN·m **$M_{z,Ed}^-$** : *0.39* kN·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** : *1*

$N_{pl,Rd}$: Resistencia a compresión de la sección bruta. **$N_{pl,Rd}$** : *2988.19* 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. **$M_{pl,Rd,y}$** : *323.80* kN·m **$M_{pl,Rd,z}$** : *151.98* kN·m

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

A: Área de la sección bruta. **A** : *118.40* cm²

$W_{pl,y}$, $W_{pl,z}$: Módulos resistentes plásticos correspondientes a la fibra comprimida, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente. **$W_{pl,y}$** : *1283.00* cm³ **$W_{pl,z}$** : *602.20* cm³

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero. **f_{yd}** : *252.38* MPa

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) **f_y** : *265.00* MPa

γ_{M1}: Coeficiente parcial de seguridad del material. **γ_{M1}** : *1.05*

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

k_y : *1.00*

Listado de cálculo

Cubierta pista de pádel

k_z : *1.01*

$k_{y,LT}$: *1.00*

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

$C_{m,y}$: *1.00*
$C_{m,z}$: *1.00*
$C_{m,LT}$: *1.00*

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

χ_y : *0.92*
χ_z : *0.71*

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

χ_{LT} : *0.83*

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

$\bar{\lambda}_y$: *0.42*
$\bar{\lambda}_z$: *0.72*

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

α_y : *0.60*
α_z : *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 0.8·PP+0.8·CM1+1.5·V1.

70.39 kN ≤ 189.20 kN ✓

Donde:

$V_{Ed,z}$: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. $V_{Ed,z}$: *70.39* kN

$V_{c,Rd,z}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo. $V_{c,Rd,z}$: *378.40* kN

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

Se debe satisfacer:

η : ***0.004*** ✓

Listado de cálculo

Cubierta pista de pádel

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·CM1+1.5·V1.

$M_{T,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo. **$M_{T,Ed}$** : *0.04* kN·m

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

$M_{T,Rd}$: *10.31* kN·m

Donde:

W_T: Módulo de resistencia a torsión. **W_T** : *70.74* cm³

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero. **f_{yd}** : *252.38* MPa

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) **f_y** : *265.00* MPa

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material. **γ_{M0}** : *1.05*

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

Se debe satisfacer:

η : ***0.068*** ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·CM1+1.5·Q1.

V_{Ed}: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. **V_{Ed}** : *25.56* kN

$M_{T,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo. **$M_{T,Ed}$** : *0.03* kN·m

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

$V_{pl,T,Rd}$: *378.40* kN

Donde:

$V_{pl,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo. **$V_{pl,Rd}$** : *378.85* kN

$\tau_{T,Ed}$: Tensiones tangenciales por torsión. **$\tau_{T,Ed}$** : *0.44* MPa

Siendo:

W_T: Módulo de resistencia a torsión. **W_T** : *70.74* cm³

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero. **f_{yd}** : *252.38* MPa

Listado de cálculo

Cubierta pista de pádel

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) — f_y : *265.00* MPa

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material. — γ_{M0} : *1.05*

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

Se debe satisfacer:

$\eta <$ ***0.001*** ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·CM1+1.5·Q1.

V_{Ed}: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. — V_{Ed} : *0.52* kN

$M_{T,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo. — $M_{T,Ed}$: *0.03* kN·m

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

$V_{pl,T,Rd}$: *1395.70* kN

Donde:

$V_{pl,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo. — $V_{pl,Rd}$: *1397.38* kN

$\tau_{T,Ed}$: Tensiones tangenciales por torsión. — $\tau_{T,Ed}$: *0.44* MPa

Siendo:

W_T: Módulo de resistencia a torsión. — W_T : *70.74* cm³

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero. — f_{yd} : *252.38* MPa

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) — f_y : *265.00* MPa

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material. — γ_{M0} : *1.05*

Listado de cálculo

Cubierta pista de pádel

1.2.- Comprobaciones E.L.U. (Resumido)

Barra	COMPROBACIONES (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	$NM_YM_ZV_YV_Z$	M_t	M_tV_Z	M_tV_Y	
N262/N34	$\bar{\lambda}$ < 2.0 Cumple	$\lambda_w \leq \lambda_{w,máx}$ Cumple	x: 6 m η = 1.7	x: 0 m η = 2.7	x: 0 m η = 90.6	x: 0 m η = 1.7	η = 18.6	η = 0.1	η < 0.1	η < 0.1	x: 0 m η = 92.0	η < 0.1	η = 0.4	η = 6.8	η < 0.1	**CUMPLE η = 92.0**

Notación:

$\bar{\lambda}$: 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
$NM_YM_ZV_YV_Z$: 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 (%)

Listado de cálculo

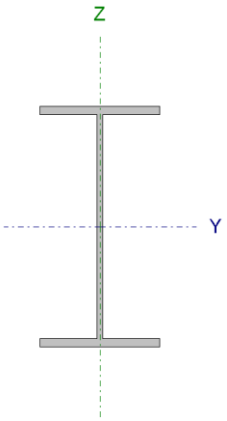
Cubierta pista de pádel

2.- Correa más desfavorable

2.1.- Comprobaciones E.L.U. (Completo)

Barra N59/N26

Perfil: IPE 270
Material: Acero (S275JR)



Nudos		Longitud (m)	Características mecánicas			
Inicial	Final		Área (cm²)	I_y (1) (cm4)	I_z (1) (cm4)	I_t (2) (cm4)
N59	N26	6.000	45.90	5790.00	419.90	15.94

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	0.00	0.00	1.00	1.00
L_K	0.000	0.000	6.000	6.000
C_m	1.000	1.000	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.

$\bar{\lambda}$: ***1.00*** ✓

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** : *3*

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3. **A** : *45.90* 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}** : *1254.69* 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. **$N_{cr,y}$** : ∞

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

Listado de cálculo

Cubierta pista de pádel

c) Axil crítico elástico de pandeo por torsión. $N_{cr,T}$: *1254.69* kN

Donde:

I_y: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y.	I_y :	*5790.00*	cm4
I_z: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z.	I_z :	*419.90*	cm4
I_t: Momento de inercia a torsión uniforme.	I_t :	*15.94*	cm4
I_w: Constante de alabeo de la sección.	I_w :	*70580.00*	cm6
E: Módulo de elasticidad.	**E** :	*210000*	MPa
G: Módulo de elasticidad transversal.	**G** :	*81000*	MPa
L_{ky}: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Y.	L_{ky} :	*0.000*	m
L_{kz}: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Z.	L_{kz} :	*0.000*	m
L_{kt}: Longitud efectiva de pandeo por torsión.	L_{kt} :	*6.000*	m
i_0: Radio de giro polar de la sección bruta, respecto al centro de torsión.	i_0 :	*11.63*	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 :	*11.23*	cm
	i_z :	*3.02*	cm
y_0 , z_0: Coordenadas del centro de torsión en la dirección de los ejes principales Y y Z, respectivamente, relativas al centro de gravedad de la sección.	y_0 :	*0.00*	mm
	z_0 :	*0.00*	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:

37.82 ≤ 250.57 ✓

Donde:

h_w: Altura del alma.	h_w :	*249.60*	mm
t_w: Espesor del alma.	t_w :	*6.60*	mm
A_w: Área del alma.	A_w :	*16.47*	cm²
$A_{fc,ef}$: Área reducida del ala comprimida.	$A_{fc,ef}$:	*13.77*	cm²
k: Coeficiente que depende de la clase de la sección.	**k** :	*0.30*	
E: Módulo de elasticidad.	**E** :	*210000*	MPa
f_{yf}: Límite elástico del acero del ala comprimida.	f_{yf} :	*275.00*	MPa

Siendo:

Listado de cálculo

Cubierta pista de pádel

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

Se debe satisfacer:

η : ***0.001*** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 4.800 m del nudo N59, para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·CM1+1.5·V1.

$N_{t,Ed}$: Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo. **$N_{t,Ed}$** : *1.45* kN

La resistencia de cálculo a tracción **$N_{t,Rd}$** viene dada por:

$N_{t,Rd}$: *1202.14* kN

Donde:

A: Área bruta de la sección transversal de la barra. **A** : *45.90* cm²

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_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material. **γ_{M0}** : *1.05*

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

Se debe satisfacer:

η : ***0.002*** ✓

η : ***0.004*** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 4.800 m del nudo N59, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·CM1+1.5·V2+0.75·N1.

Listado de cálculo

Cubierta pista de pádel

$N_{c,Ed}$: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo. **$N_{c,Ed}$** : *2.91* kN

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

$N_{c,Rd}$: *1202.14* 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. **Clase** : *3*

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3. **A** : *45.90* cm²

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

$N_{b,Rd}$: *715.41* kN

Donde:

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3. **A** : *45.90* cm²

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_{M1}: Coeficiente parcial de seguridad del material. **γ_{M1}** : *1.05*

χ: Coeficiente de reducción por pandeo.

χ_T : *0.60*

Siendo:

ϕ_T : *1.14*

α: Coeficiente de imperfección elástica. **α_T** : *0.34*

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

$\bar{\lambda}_T$: *1.00*

Listado de cálculo

Cubierta pista de pádel

N_{cr}: Axil crítico elástico de pandeo, obtenido como el menor de los siguientes valores: **N_{cr}** : *1254.69* kN

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

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

$N_{cr,T}$: Axil crítico elástico de pandeo por torsión. **$N_{cr,T}$** : *1254.69* kN

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

Se debe satisfacer:

η : ***0.240*** ✓

η : ***0.604*** ✓

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N59, para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·CM1+1.5·V2.

M_{Ed}^{+}: Momento flector solicitante de cálculo pésimo. **M_{Ed}^{+}** : *26.64* kN·m

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N59, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·CM1+1.5·V1+0.75·N1.

M_{Ed}^{-}: Momento flector solicitante de cálculo pésimo. **M_{Ed}^{-}** : *30.47* kN·m

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

$M_{c,Rd}$: *126.76* 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. **$W_{pl,y}$** : *484.00* 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_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material. **γ_{M0}** : *1.05*

Listado de cálculo

Cubierta pista de pádel

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

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

$\mathbf{M_{b,Rd}}$: *50.46* kN·m

Donde:

$\mathbf{W_{pl,y}}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2. $\mathbf{W_{pl,y}}$: *484.00* cm³

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

Siendo:

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

γ_{M1}: Coeficiente parcial de seguridad del material. γ_{M1} : *1.05*

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

χ_{LT} : *0.40*

Siendo:

ϕ_{LT} : *1.67*

α_{LT}: Coeficiente de imperfección elástica. α_{LT} : *0.21*

$\bar{\lambda}_{LT}$: *1.44*

$\mathbf{M_{cr}}$: Momento crítico elástico de pandeo lateral. $\mathbf{M_{cr}}$: *64.03* kN·m

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

Siendo:

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

$\mathbf{M_{LTv}}$: *55.87* kN·m

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

$\mathbf{M_{LTw}}$: *31.28* kN·m

Siendo:

$\mathbf{W_{el,y}}$: Módulo resistente elástico de la sección bruta, obtenido para la fibra más comprimida. $\mathbf{W_{el,y}}$: *428.89* cm³

$\mathbf{I_z}$: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z. $\mathbf{I_z}$: *419.90* cm4

Listado de cálculo

Cubierta pista de pádel

I_t: Momento de inercia a torsión uniforme.	I_t :	*15.94*	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^+ :	*6.000*	m
L_c^-: Longitud efectiva de pandeo lateral del ala inferior.	L_c^- :	*6.000*	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.	$i_{f,z}^+$:	*3.56*	cm
	$i_{f,z}^-$:	*3.56*	cm

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

Se debe satisfacer:

η : ***0.406*** ✓

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N59, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·CM1+1.5·V2+0.75·N1.

M_{Ed}^+: Momento flector solicitante de cálculo pésimo. M_{Ed}^+ : *10.30* kN·m

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N59, para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·CM1+1.5·V1.

M_{Ed}^-: Momento flector solicitante de cálculo pésimo. M_{Ed}^- : *9.56* kN·m

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

$M_{c,Rd}$: *25.39* 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*	
$W_{pl,z}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.	$W_{pl,z}$:	*96.95*	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_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material.	γ_{M0} :	*1.05*	

Listado de cálculo

Cubierta pista de pádel

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

Se debe satisfacer:

η : ***0.118*** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N59, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·CM1+1.5·V1+0.75·N1.

V_{Ed}: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. **V_{Ed}** : *31.82* kN

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

$V_{c,Rd}$: *269.46* kN

Donde:

A_v: Área transversal a cortante. **A_v** : *17.82* cm²

Siendo:

h: Canto de la sección. **h** : *270.00* mm

t_w: Espesor del alma. **t_w** : *6.60* mm

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

37.82 < **64.71** ✓

Donde:

λ_w: Esbeltez del alma. **λ_w** : *37.82*

$\lambda_{máx}$: Esbeltez máxima. **$\lambda_{máx}$** : *64.71*

Listado de cálculo

Cubierta pista de pádel

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)

Se debe satisfacer:

η : **0.022** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N59, para la combinación de acciones 1.35·PP+0.8·CM1+1.5·V2.

V_{Ed}: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. V_{Ed} : 9.97 kN

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

$V_{c,Rd}$: 444.96 kN

Donde:

A_v: Área transversal a cortante. A_v : 29.43 cm²

Siendo:

A: Área de la sección bruta. **A** : 45.90 cm²

d: Altura del alma. **d** : 249.60 mm

t_w: Espesor del alma. t_w : 6.60 mm

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_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material. γ_{M0} : 1.05

Listado de cálculo

Cubierta pista de pádel

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 $\mathbf{V_{Ed}}$ no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante $\mathbf{V_{c,Rd}}$.

31.82 kN ≤ 134.73 kN ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·CM1+1.5·V1+0.75·N1.

$\mathbf{V_{Ed}}$: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. $\mathbf{V_{Ed}}$: *31.82* kN

$\mathbf{V_{c,Rd}}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo. $\mathbf{V_{c,Rd}}$: *269.46* 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 $\mathbf{V_{Ed}}$ no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante $\mathbf{V_{c,Rd}}$.

9.97 kN ≤ 222.48 kN ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 1.35·PP+0.8·CM1+1.5·V2.

$\mathbf{V_{Ed}}$: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. $\mathbf{V_{Ed}}$: *9.97* kN

$\mathbf{V_{c,Rd}}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo. $\mathbf{V_{c,Rd}}$: *444.96* kN

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

Se debe satisfacer:

η : ***0.615*** ✓

η : ***0.976*** ✓

Listado de cálculo

Cubierta pista de pádel

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N59, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·CM1+1.5·V1+0.75·N1.

Donde:

$N_{t,Ed}$: Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo. — $N_{t,Ed}$: *1.27* kN

$M_{y,Ed}$, $M_{z,Ed}$: Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente. — $M_{y,Ed}^-$: *30.47* kN·m; $M_{z,Ed}^-$: *9.49* kN·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** : *1*

$N_{pl,Rd}$: Resistencia a tracción. — $N_{pl,Rd}$: *1202.14* 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. — $M_{pl,Rd,y}$: *126.76* kN·m; $M_{pl,Rd,z}$: *25.39* kN·m

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.4.1)

$M_{ef,Ed}$: Momento flector solicitante de cálculo pésimo. — $M_{ef,Ed}$: *-30.37* kN·m

Siendo:

$\sigma_{com,Ed}$: Tensión combinada en la fibra extrema comprimida. — $\sigma_{com,Ed}$: *62.74* MPa

$W_{y,com}$: Módulo resistente de la sección referido a la fibra extrema comprimida, alrededor del eje Y. — $W_{y,com}$: *484.00* cm³

A: Área de la sección bruta. — **A** : *45.90* cm²

$M_{b,Rd,y}$: Momento flector resistente de cálculo. — $M_{b,Rd,y}$: *50.46* kN·m

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·PP+1.35·CM1+1.5·V1+0.75·N1.

31.82 kN ≤ 134.73 kN ✓

Donde:

$V_{Ed,z}$: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. — $V_{Ed,z}$: *31.82* kN

$V_{c,Rd,z}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo. — $V_{c,Rd,z}$: *269.46* kN

Listado de cálculo

Cubierta pista de pádel

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

Se debe satisfacer:

η : ***0.001*** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·CM1+1.5·V2.

$M_{T,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo. **$M_{T,Ed}$** : *0.00* kN·m

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

$M_{T,Rd}$: *2.36* kN·m

Donde:

W_T: Módulo de resistencia a torsión. **W_T** : *15.63* 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_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material. γ_{M0} : *1.05*

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

Se debe satisfacer:

η : ***0.090*** ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N59, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·CM1+1.5·V2+0.75·N1.

V_{Ed}: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. **V_{Ed}** : *24.33* kN

$M_{T,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo. **$M_{T,Ed}$** : *0.00* kN·m

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

$V_{pl,T,Rd}$: *269.30* kN

Donde:

$V_{pl,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo. **$V_{pl,Rd}$** : *269.46* kN

Listado de cálculo

Cubierta pista de pádel

$\tau_{T,Ed}$: Tensiones tangenciales por torsión. $\tau_{T,Ed}$: *0.22* MPa

Siendo:

W_T: Módulo de resistencia a torsión. W_T : *15.63* 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_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material. γ_{M0} : *1.05*

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

Se debe satisfacer:

η : ***0.022*** ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N59, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·CM1+1.5·V2+0.75·N1.

V_{Ed}: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. V_{Ed} : *9.97* kN

$M_{T,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo. $M_{T,Ed}$: *0.00* kN·m

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

$V_{pl,T,Rd}$: *444.70* kN

Donde:

$V_{pl,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo. $V_{pl,Rd}$: *444.96* kN

$\tau_{T,Ed}$: Tensiones tangenciales por torsión. $\tau_{T,Ed}$: *0.22* MPa

Siendo:

W_T: Módulo de resistencia a torsión. W_T : *15.63* 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_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material. γ_{M0} : *1.05*

Listado de cálculo

Cubierta pista de pádel

2.2.- Comprobaciones E.L.U. (Resumido)

Barra	COMPROBACIONES (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	$NM_YM_ZV_YV_Z$	M_t	M_tV_Z	M_tV_Y	
N59/N26	$\bar{\lambda}$ < 2.0 Cumple	$\lambda_w \leq \lambda_{w,máx}$ Cumple	x: 4.8 m η = 0.1	x: 4.8 m η = 0.4	x: 0 m η = 60.4	x: 0 m η = 40.6	x: 0 m η = 11.8	x: 0 m η = 2.2	η < 0.1	η < 0.1	x: 0 m η = 97.6	η < 0.1	η = 0.1	x: 0 m η = 9.0	x: 0 m η = 2.2	**CUMPLE η = 97.6**

Notación:

$\bar{\lambda}$: 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
$NM_YM_ZV_YV_Z$: 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 (%)

Listado de cálculo

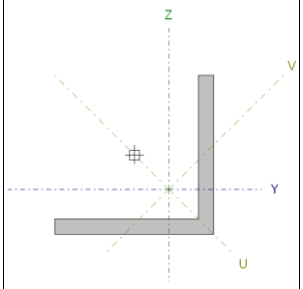
Cubierta pista de pádel

3.- Barra de la celosía más desfavorable

3.1.- Comprobaciones E.L.U. (Completo)

Barra N198/N189

Perfil: L 120 x 120 x 12
Material: Acero (S275JR)



Nudos		Longitud (m)	Características mecánicas							
Inicial	Final		Área (cm²)	I_y(1) (cm4)	I_z(1) (cm4)	I_{yz}(4) (cm4)	I_t(2) (cm4)	y_g(3) (mm)	z_g(3) (mm)	α(5) (grados)
N198	N189	2.692	27.50	367.70	367.70	216.70	13.13	26.00	-26.00	-45.0

Notas:
(1) Inercia respecto al eje indicado
(2) Momento de inercia a torsión uniforme
(3) Coordenadas del centro de gravedad
(4) Producto de inercia
(5) Es el ángulo que forma el eje principal de inercia U respecto al eje Y, positivo en sentido antihorario.

	Pandeo		Pandeo lateral	
	Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.
β	1.00	1.00	1.00	1.00
L_K	2.692	2.692	2.692	2.692
C_m	1.000	1.000	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.

$\bar{\lambda}$: ***1.32*** ✓

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** : *3*

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3. **A** : *27.50* 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}** : *431.81* kN

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

a) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje V. **$N_{cr,v}$** : *431.81* kN

b) Axil crítico elástico de pandeo por flexotorsión. **$N_{cr,FT}$** : *1233.30* kN

Listado de cálculo

Cubierta pista de pádel

Donde:

$N_{cr,u}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje U. **$N_{cr,u}$** : *1671.20* kN

$N_{cr,T}$: Axil crítico elástico de pandeo por torsión. **$N_{cr,T}$** : *2517.16* kN

I_u: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje U.	**I_u** :	*584.40*	cm4
I_v: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje V.	**I_v** :	*151.00*	cm4
I_t: Momento de inercia a torsión uniforme.	**I_t** :	*13.13*	cm4
I_w: Constante de alabeo de la sección.	**I_w** :	*142.23*	cm6
E: Módulo de elasticidad.	**E** :	*210000*	MPa
G: Módulo de elasticidad transversal.	**G** :	*81000*	MPa
L_{ku}: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje U.	**L_{ku}** :	*2.692*	m
L_{kv}: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje V.	**L_{kv}** :	*2.692*	m
L_{kt}: Longitud efectiva de pandeo por torsión.	**L_{kt}** :	*2.692*	m
β: Constante adimensional obtenida mediante la siguiente expresión:	β :	*0.63*	

Donde:

i_0: Radio de giro polar de la sección bruta, respecto al centro de torsión. **i_0** : *6.51* cm

Siendo:

i_u , i_v: Radios de giro de la sección bruta, respecto a los ejes principales de inercia U y V.	**i_u** :	*4.61*	cm
	i_v :	*2.34*	cm
u_0 , v_0: Coordenadas del centro de torsión en la dirección de los ejes principales U y V, respectivamente, relativas al centro de gravedad de la sección.	**u_0** :	*39.60*	mm
	v_0 :	*0.00*	mm

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

Se debe satisfacer:

η : ***0.237*** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N189, para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·CM1+1.5·V2.

Listado de cálculo

Cubierta pista de pádel

$N_{t,Ed}$: Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo. **$N_{t,Ed}$** : *170.46* kN

La resistencia de cálculo a tracción **$N_{t,Rd}$** viene dada por:

$N_{t,Rd}$: *720.24* kN

Donde:

A: Área bruta de la sección transversal de la barra. **A** : *27.50* cm²

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_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material. **γ_{M0}** : *1.05*

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

Se debe satisfacer:

η : ***0.175*** ✓

η : ***0.421*** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N198, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·CM1+1.5·V1+0.75·N1.

$N_{c,Ed}$: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo. **$N_{c,Ed}$** : *125.97* kN

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

$N_{c,Rd}$: *720.24* 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. **Clase** : *3*

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3. **A** : *27.50* cm²

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

Listado de cálculo

Cubierta pista de pádel

Siendo:

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

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

$N_{b,Rd}$: 299.46 kN

Donde:

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3. — **A** : 27.50 cm²

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_{M1}: Coeficiente parcial de seguridad del material. — γ_{M1} : 1.05

χ: Coeficiente de reducción por pandeo.

χ_v : 0.42

χ_{FT} : 0.73

Siendo:

ϕ_v : 1.57

ϕ_{FT} : 0.91

α: Coeficiente de imperfección elástica. — α_v : 0.34

α_{FT} : 0.34

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

$\bar{\lambda}_v$: 1.32

$\bar{\lambda}_{FT}$: 0.78

N_{cr}: Axil crítico elástico de pandeo, obtenido como el menor de los siguientes valores: — N_{cr} : 431.81 kN

$N_{cr,v}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje V. — $N_{cr,v}$: 431.81 kN

$N_{cr,FT}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexotorsión. — $N_{cr,FT}$: 1233.30 kN

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

Se debe satisfacer:

η : **0.485** ✓

Listado de cálculo

Cubierta pista de pádel

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N198, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·CM1+1.5·Q1.

M_{Ed}^+: Momento flector solicitante de cálculo pésimo. **M_{Ed}^+** : *8.90* kN·m

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N198, para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·CM1+1.5·V1.

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:

$M_{c,Rd}^+$: *20.58* kN·m

$M_{c,Rd}^-$: *20.58* 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* **Clase$^-$** : *2*

$W_{pl,y}^+$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2. **$W_{pl,y}^+$** : *78.58* cm³

$W_{pl,y}^-$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2. **$W_{pl,y}^-$** : *78.58* 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_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material. **γ_{M0}** : *1.05*

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

Se debe satisfacer:

η : ***0.087*** ✓

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N198, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·CM1+1.5·Q1.

M_{Ed}^+: Momento flector solicitante de cálculo pésimo. **M_{Ed}^+** : *0.91* kN·m

Listado de cálculo

Cubierta pista de pádel

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N198, para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·CM1+1.5·V1.

M_{Ed}^-: Momento flector solicitante de cálculo pésimo. **M_{Ed}^-** : *1.80* kN·m

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

$M_{c,Rd}^+$: *20.58* kN·m

$M_{c,Rd}^-$: *20.58* 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. **$Clase^+$** : *2* **$Clase^-$** : *1*

$W_{pl,z}^+$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2. **$W_{pl,z}^+$** : *78.58* cm³

$W_{pl,z}^-$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2. **$W_{pl,z}^-$** : *78.58* 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_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material. **γ_{M0}** : *1.05*

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

Se debe satisfacer:

η : ***0.027*** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N198, para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·CM1+1.5·V1.

V_{Ed}: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. **V_{Ed}** : *5.94* kN

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

$V_{c,Rd}$: *217.74* kN

Donde:

Listado de cálculo

Cubierta pista de pádel

A_v: Área transversal a cortante. **A_v** : *14.40* cm²

Siendo:

$h_{vert.}$: Longitud del ala vertical. **$h_{vert.}$** : *120.00* mm

t: Espesor de la chapa. **t** : *12.00* mm

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_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material. **γ_{M0}** : *1.05*

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

Se debe satisfacer:

η : ***0.003*** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·CM1+1.5·V1.

V_{Ed}: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. **V_{Ed}** : *0.73* kN

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

$V_{c,Rd}$: *217.74* kN

Donde:

A_v: Área transversal a cortante. **A_v** : *14.40* cm²

Siendo:

$h_{horz.}$: Longitud del ala horizontal. **$h_{horz.}$** : *120.00* mm

t: Espesor de la chapa. **t** : *12.00* mm

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

Listado de cálculo

Cubierta pista de pádel

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material. γ_{M0} : *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 $\mathbf{V_{Ed}}$ no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante $\mathbf{V_{c,Rd}}$.

5.94 kN ≤ 108.87 kN ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·CM1+1.5·V1.

$\mathbf{V_{Ed}}$: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. $\mathbf{V_{Ed}}$: *5.94* kN

$\mathbf{V_{c,Rd}}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo. $\mathbf{V_{c,Rd}}$: *217.74* 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 $\mathbf{V_{Ed}}$ no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante $\mathbf{V_{c,Rd}}$.

0.73 kN ≤ 108.87 kN ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·CM1+1.5·V1.

$\mathbf{V_{Ed}}$: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. $\mathbf{V_{Ed}}$: *0.73* kN

$\mathbf{V_{c,Rd}}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo. $\mathbf{V_{c,Rd}}$: *217.74* kN

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

Se debe satisfacer:

η : ***0.738*** ✓

Listado de cálculo

Cubierta pista de pádel

η : ***0.821*** ✓

η : ***0.993*** ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N198, para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·CM1+1.5·V1.

Donde:

$N_{c,Ed}$: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo. — $N_{c,Ed}$: *118.93* kN

$M_{y,Ed}$, $M_{z,Ed}$: Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente. — $M_{y,Ed}$: *9.99* kN·m; $M_{z,Ed}$: *1.80* kN·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** : *2*

$N_{pl,Rd}$: Resistencia a compresión de la sección bruta. — $N_{pl,Rd}$: *720.24* 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. — $M_{pl,Rd,y}$: *20.58* kN·m; $M_{pl,Rd,z}$: *20.58* kN·m

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

A: Área de la sección bruta. — **A** : *27.50* cm²

$W_{pl,y}$, $W_{pl,z}$: Módulos resistentes plásticos correspondientes a la fibra comprimida, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente. — $W_{pl,y}$: *78.58* cm³; $W_{pl,z}$: *78.58* 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_{M1}: Coeficiente parcial de seguridad del material. — γ_{M1} : *1.05*

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

k_y : *1.10*

k_z : *1.56*

$k_{y,LT}$: *0.95*

$C_{m,y}$, $C_{m,z}$, $C_{m,LT}$: Factores de momento flector uniforme equivalente. — $C_{m,y}$: *1.00*; $C_{m,z}$: *1.00*

Listado de cálculo

Cubierta pista de pádel

$C_{m,LT}$: *1.00*

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

χ_y : *0.80*
χ_z : *0.42*

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

χ_{LT} : *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.

$\bar{\lambda}_y$: *0.67*
$\bar{\lambda}_z$: *1.32*

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

α_y : *0.60*
α_z : *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 0.8·PP+0.8·CM1+1.5·V1.

5.94 kN ≤ 108.87 kN ✓

Donde:

$V_{Ed,z}$: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. $V_{Ed,z}$: *5.94* kN

$V_{c,Rd,z}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo. $V_{c,Rd,z}$: *217.74* kN

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

Se debe satisfacer:

η : ***0.012*** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·CM1+1.5·V1.

$M_{T,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo. $M_{T,Ed}$: *0.02* kN·m

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

$M_{T,Rd}$: *1.65* kN·m

Listado de cálculo

Cubierta pista de pádel

Donde:

W_T: Módulo de resistencia a torsión. W_T : *10.94* 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_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material. γ_{M0} : *1.05*

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

Se debe satisfacer:

η : ***0.005*** ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N198, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·CM1+1.5·V2+0.75·N1.

V_{Ed}: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. V_{Ed} : *1.05* kN

$M_{T,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo. $M_{T,Ed}$: *0.01* kN·m

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

$V_{pl,T,Rd}$: *217.35* kN

Donde:

$V_{pl,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo. $V_{pl,Rd}$: *217.74* kN

$\tau_{T,Ed}$: Tensiones tangenciales por torsión. $\tau_{T,Ed}$: *0.68* MPa

Siendo:

W_T: Módulo de resistencia a torsión. W_T : *10.94* 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_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material. γ_{M0} : *1.05*

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

Listado de cálculo

Cubierta pista de pádel

Se debe satisfacer:

η : **0.001** ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·CM1+1.5·V2+0.75·N1.

$\mathbf{V_{Ed}}$: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. $\mathbf{V_{Ed}}$: *0.26* kN

$\mathbf{M_{T,Ed}}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo. $\mathbf{M_{T,Ed}}$: *0.01* kN·m

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

$\mathbf{V_{pl,T,Rd}}$: *217.35* kN

Donde:

$\mathbf{V_{pl,Rd}}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo. $\mathbf{V_{pl,Rd}}$: *217.74* kN

$\tau_{T,Ed}$: Tensiones tangenciales por torsión. $\tau_{T,Ed}$: *0.68* MPa

Siendo:

$\mathbf{W_T}$: Módulo de resistencia a torsión. $\mathbf{W_T}$: *10.94* cm³

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

Siendo:

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

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material. γ_{M0} : *1.05*

Listado de cálculo

Cubierta pista de pádel

3.2.- Comprobaciones E.L.U. (Resumido)

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)														Estado
	$\bar{\lambda}$	N_t	N_c	M_Y	M_Z	V_Z	V_Y	M_YV_Z	M_ZV_Y	NM_YM_Z	$NM_YM_ZV_YV_Z$	M_t	M_tV_Z	M_tV_Y	
N198/N189	$\bar{\lambda}$ < 2.0 Cumple	x: 2.692 m η = 23.7	x: 0 m η = 42.1	x: 0 m η = 48.5	x: 0 m η = 8.7	x: 0 m η = 2.7	η = 0.3	η < 0.1	η < 0.1	x: 0 m η = 99.3	η < 0.1	η = 1.2	x: 0 m η = 0.5	η = 0.1	**CUMPLE η = 99.3**

Notación:
`l: Limitación de esbeltez
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
$NM_YM_ZV_YV_Z$: 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
h: Coeficiente de aprovechamiento (%)

Listado de cálculo

Cubierta pista de pádel

4.- CIMENTACIÓN

4.1.- Comprobación de la zapata que soporta el pilar más desfavorable

Referencia: N2 Dimensiones: 320 x 320 x 80 Armados: Xi:Ø16c/27 Yi:Ø16c/27 Xs:Ø16c/27 Ys:Ø16c/27		
Comprobación	Valores	Estado
Tensiones sobre el terreno: *Criterio de CYPE Ingenieros*		
- Tensión media en situaciones persistentes:	Máximo: 10 MPa Calculado: 0.0275661 MPa	Cumple
- Tensión máxima en situaciones persistentes sin viento:	Máximo: 12.4999 MPa Calculado: 0.0309015 MPa	Cumple
- Tensión máxima en situaciones persistentes con viento:	Máximo: 12.4999 MPa Calculado: 0.0553284 MPa	Cumple
Vuelco de la zapata: *Si el % de reserva de seguridad es mayor que cero, quiere decir que los coeficientes de seguridad al vuelco son mayores que los valores estrictos exigidos para todas las combinaciones de equilibrio.*		
- En dirección X:	Reserva seguridad: 14829.4 %	Cumple
- En dirección Y:	Reserva seguridad: 9.7 %	Cumple
Deslizamiento de la zapata: - Situaciones persistentes: *CTE DB-SE C (Cimientos): Tabla 2.1*	Mínimo: 1.5 Calculado: 2.48	Cumple
Flexión en la zapata:		
- En dirección X:	Momento: 19.10 kN·m	Cumple
- En dirección Y:	Momento: 156.29 kN·m	Cumple
Cortante en la zapata:		
- En dirección X:	Cortante: 13.05 kN	Cumple
- En dirección Y:	Cortante: 127.73 kN	Cumple
Compresión oblicua en la zapata: - Situaciones persistentes: *Criterio de CYPE Ingenieros*	Máximo: 5000 kN/m² Calculado: 40.3 kN/m²	Cumple
Canto mínimo: *Artículo 59.8.1 de la norma EHE-98*	Mínimo: 25 cm Calculado: 80 cm	Cumple
Espacio para anclar arranques en cimentación: - N2:	Mínimo: 70 cm Calculado: 72 cm	Cumple
Cuantía geométrica mínima: *Criterio de CYPE Ingenieros*	Mínimo: 0.0018	
- En dirección X:	Calculado: 0.0019	Cumple

Listado de cálculo

Cubierta pista de pádel

Referencia: N2 Dimensiones: 320 x 320 x 80 Armados: Xi:Ø16c/27 Yi:Ø16c/27 Xs:Ø16c/27 Ys:Ø16c/27		
Comprobación	Valores	Estado
- En dirección Y:	Calculado: 0.0019	Cumple
Cuantía mínima necesaria por flexión: *Artículo 42.3.2 de la norma EHE-98*	Calculado: 0.001	
- Armado inferior dirección X:	Mínimo: 0.0001	Cumple
- Armado inferior dirección Y:	Mínimo: 0.0005	Cumple
- Armado superior dirección X:	Mínimo: 0.0001	Cumple
- Armado superior dirección Y:	Mínimo: 0.0003	Cumple
Diámetro mínimo de las barras: *Recomendación del Artículo 59.8.2 (norma EHE-98)*	Mínimo: 12 mm	
- Parrilla inferior:	Calculado: 16 mm	Cumple
- Parrilla superior:	Calculado: 16 mm	Cumple
Separación máxima entre barras: *Artículo 59.8.2 de la norma EHE-98*	Máximo: 30 cm	
- Armado inferior dirección X:	Calculado: 27 cm	Cumple
- Armado inferior dirección Y:	Calculado: 27 cm	Cumple
- Armado superior dirección X:	Calculado: 27 cm	Cumple
- Armado superior dirección Y:	Calculado: 27 cm	Cumple
Separación mínima entre barras: *Criterio de CYPE Ingenieros, basado en: J. Calavera. "Cálculo de Estructuras de Cimentación". Capítulo 3.16*	Mínimo: 10 cm	
- Armado inferior dirección X:	Calculado: 27 cm	Cumple
- Armado inferior dirección Y:	Calculado: 27 cm	Cumple
- Armado superior dirección X:	Calculado: 27 cm	Cumple
- Armado superior dirección Y:	Calculado: 27 cm	Cumple
Longitud de anclaje: *Criterio del libro "Cálculo de estructuras de cimentación", J. Calavera. Ed. INTEMAC, 1991*	Calculado: 68 cm	
- Armado inf. dirección X hacia der:	Mínimo: 16 cm	Cumple
- Armado inf. dirección X hacia izq:	Mínimo: 16 cm	Cumple
- Armado inf. dirección Y hacia arriba:	Mínimo: 16 cm	Cumple
- Armado inf. dirección Y hacia abajo:	Mínimo: 16 cm	Cumple
- Armado sup. dirección X hacia der:	Mínimo: 19 cm	Cumple
- Armado sup. dirección X hacia izq:	Mínimo: 19 cm	Cumple
- Armado sup. dirección Y hacia arriba:	Mínimo: 19 cm	Cumple

Listado de cálculo

Cubierta pista de pádel

Referencia: N2 Dimensiones: 320 x 320 x 80 Armados: Xi:Ø16c/27 Yi:Ø16c/27 Xs:Ø16c/27 Ys:Ø16c/27		
Comprobación	Valores	Estado
- Armado sup. dirección Y hacia abajo:	Mínimo: 19 cm	Cumple
Se cumplen todas las comprobaciones		

ANEXO III: PRESUPUESTO

Se presenta un presupuesto aproximado y orientativo con precios actuales ofrecidos por el propio software CYPE mediante el generador de precios. Este presupuesto se ha ido realizando por diferentes partidas, para finalmente ver el precio que suman todas éstas hallando el precio de la estructura con la cimentación y material incluido.

Pilares

EAS010	kg	Acero en pilares.			2,03 €
Acero **S275JR** en pilares, con piezas **simples de** perfiles laminados en caliente **de las series IPN, IPE, UPN, HEA, HEB o HEM** con uniones soldadas.					
Descompuesto	Ud	Descomposición	Rend.	p.s.	Precio partida
mt07ala010h	kg	Acero laminado UNE-EN 10025 S275JR, en perfiles laminados en caliente, piezas simples, para aplicaciones estructurales.	1,05	0,99	1,04
mt27pfi010	l	Imprimación de secado rápido, formulada con resinas alquídicas modificadas y fosfato de zinc.	0,05	4,8	0,24
mq08sol020	h	Equipo y elementos auxiliares para soldadura eléctrica.	0,015	3,09	0,05
mo042	h	Oficial 1ª montador de estructura metálica.	0,02	15,28	0,31
mo085	h	Ayudante montador de estructura metálica.	0,02	14,65	0,29
	%	Medios auxiliares	2	1,93	0,04
	%	Costes indirectos	3	1,97	0,06
Coste de mantenimiento decenal: 0,06€ en los primeros 10 años.				Total:	2,03 €

Referencia norma UNE y Título de la norma transposición de norma armonizada	Aplicabilidad (1)	Obligatoriedad (2)	Sistema (3)
UNE-EN 10025-1:2006 Productos laminados en caliente, de acero no aleado, para construcciones metálicas de uso general. Parte 1: Condiciones generales de suministro.	1.9.2005	1.9.2006	2+

(1) Fecha de aplicabilidad de la norma armonizada e inicio del período de coexistencia
(2) Fecha final del período de coexistencia / entrada en vigor marcado CE
(3) Sistema de evaluación de la conformidad

Kg de acero en pilares	Precio unitario total partida	Precio total partida
11085,06	2,03 €	22.502,67 €

Correas

EAV010	kg	Acero en vigas.			2,03 €
Acero **S275JR** en vigas, con piezas **simples de** perfiles laminados en caliente de las series IPN, IPE, UPN, HEA, HEB o HEM con uniones soldadas.					
Descompuesto	Ud	Descomposición	Rend.	p.s.	Precio partida
mt07ala010h	kg	Acero laminado UNE-EN 10025 S275JR, en perfiles laminados en caliente, piezas simples, para aplicaciones estructurales.	1,05	0,99	1,04
mt27pfi010	l	Imprimación de secado rápido, formulada con resinas alquídicas modificadas y fosfato de zinc.	0,05	4,8	0,24
mq08sol020	h	Equipo y elementos auxiliares para soldadura eléctrica.	0,015	3,09	0,05
mo042	h	Oficial 1ª montador de estructura metálica.	0,02	15,28	0,31
mo085	h	Ayudante montador de estructura metálica.	0,02	14,65	0,29
	%	Medios auxiliares	2	1,93	0,04
	%	Costes indirectos	3	1,97	0,06
Coste de mantenimiento decenal: 0,06€ en los primeros 10 años.				Total:	2,03 €

Referencia norma UNE y Título de la norma transposición de norma armonizada	Aplicabilidad (1)	Obligatoriedad (2)	Sistema (3)
UNE-EN 10025-1:2006 Productos laminados en caliente, de acero no aleado, para construcciones metálicas de uso general. Parte 1: Condiciones generales de suministro.	1.9.2005	1.9.2006	2+

(1) Fecha de aplicabilidad de la norma armonizada e inicio del período de coexistencia
(2) Fecha final del período de coexistencia / entrada en vigor marcado CE
(3) Sistema de evaluación de la conformidad

Kg de acero en vigas	Precio unitario total partida	Precio total partida
16117,62	2,03 €	32.718,77 €

Celosías

EAM020	m²	Estructura metálica realizada con cerchas.			157,14 €
Estructura metálica realizada con cerchas de acero laminado **S275JR**, con una cuantía de acero de **71,38** kg/m², **10 < L < 15** m, separación de **6** m entre cerchas.					
Descompuesto	Ud	Descomposición	Rend.	p.s.	Precio partida
mt07ala010n	kg	Acero laminado UNE-EN 10025 S275JR, en perfiles laminados en caliente, cerchas, para aplicaciones estructurales.	71,38	1,85	132,05
mt27pfi010	l	Imprimación de secado rápido, formulada con resinas alquídicas modificadas y fosfato de zinc.	0,69	4,8	3,312
mq08sol010	h	Equipo de oxicorte, con acetileno como combustible y oxígeno como comburente.	0,01	7,35	0,07
mq08sol020	h	Equipo y elementos auxiliares para soldadura eléctrica.	0,015	3,09	0,05
mq07ple010c	Ud	Alquiler diario de cesta elevadora de brazo articulado de 16 m de altura máxima de trabajo, incluso mantenimiento y seguro de responsabilidad civil.	0,01	120,27	1,2
mq07gte010a	h	Grúa autopropulsada de brazo telescópico con una capacidad de elevación de 12 t y 20 m de altura máxima de trabajo.	0,01	48,87	0,49
mo042	h	Oficial 1ª montador de estructura metálica.	0,41	15,28	6,33
mo085	h	Ayudante montador de estructura metálica.	0,41	14,65	6,07
	%	Medios auxiliares	2	149,44	2,99
	%	Costes indirectos	3	152,52	4,58
Coste de mantenimiento decenal: 3,44€ en los primeros 10 años.				Total:	157,14 €

Referencia norma UNE y Título de la norma transposición de norma armonizada	Aplicabilidad (1)	Obligatoriedad (2)	Sistema (3)
UNE-EN 10025-1:2006 Productos laminados en caliente, de acero no aleado, para construcciones metálicas de uso general. Parte 1: Condiciones generales de suministro.	1.9.2005	1.9.2006	2+

(1) Fecha de aplicabilidad de la norma armonizada e inicio del período de coexistencia

(2) Fecha final del período de coexistencia / entrada en vigor marcado CE

(3) Sistema de evaluación de la conformidad

Área pórtico (m2)	Número de pórticos	Área total (m2)	Precio unitario total partida	Precio total partida
15,8265	15	237,3975	157,14 €	37.304,64 €

Placas de anclaje

Tipo 1					
EAS005	**Ud**	**Placa de anclaje con pernos soldados y preparación de bordes.**			104,46 €
Placa de anclaje de acero **S275JR** en perfil plano, de **500x500** mm y espesor **20** mm, con **8** pernos soldados, de **acero corrugado UNE-EN 10080 B 500 S** de **20** mm de diámetro y **45** cm de longitud total.					
Descompuesto	Ud	Descomposición	Rend.	p.s.	Precio partida
mt07ala011b	kg	Pletina de acero laminado UNE-EN 10025 S275JR, en perfil plano laminado en caliente, para aplicaciones estructurales.	39,25	1,68	65,94
mt07aco010c	kg	Acero en barras corrugadas, UNE-EN 10080 B 500 S, elaborado en taller y colocado en obra, diámetros varios.	8,874	1	8,87
mq08sol020	h	Equipo y elementos auxiliares para soldadura eléctrica.	0,015	3,09	0,05
mo042	h	Oficial 1ª montador de estructura metálica.	0,821	15,28	12,54
mo085	h	Ayudante montador de estructura metálica.	0,821	14,65	12,03
	%	Medios auxiliares	2	99,43	1,99
	%	Costes indirectos	3	101,42	3,04
Coste de mantenimiento decenal: 3,13€ en los primeros 10 años.				Total:	104,46 €

Referencia norma UNE y Título de la norma transposición de norma armonizada	Aplicabilidad (1)	Obligatoriedad (2)	Sistema (3)
UNE-EN 10025-1:2006 Productos laminados en caliente, de acero no aleado, para construcciones metálicas de uso general. Parte 1: Condiciones generales de suministro.	1.9.2005	1.9.2006	2+

(1) Fecha de aplicabilidad de la norma armonizada e inicio del período de coexistencia
(2) Fecha final del período de coexistencia / entrada en vigor marcado CE
(3) Sistema de evaluación de la conformidad

Unidades	Precio unitario total partida	Precio total partida
5	157,14 €	785,70 €

Tipo 2					
EAS005	**Ud**	**Placa de anclaje con pernos soldados y preparación de bordes.**			189,80 €

Placa de anclaje de acero **S275JR** en perfil plano, de **600x600** mm y espesor **25** mm, con **8** pernos soldados, de **acero corrugado UNE-EN 10080 B 500 S** de **25** mm de diámetro y **70** cm de longitud total.

Descompuesto	Ud	Descomposición	Rend.	p.s.	Precio partida
mt07ala011b	kg	Pletina de acero laminado UNE-EN 10025 S275JR, en perfil plano laminado en caliente, para aplicaciones estructurales.	70,65	1,68	118,69
mt07aco010c	kg	Acero en barras corrugadas, UNE-EN 10080 B 500 S, elaborado en taller y colocado en obra, diámetros varios.	21,568	1	21,57
mq08sol020	h	Equipo y elementos auxiliares para soldadura eléctrica.	0,015	3,09	0,05
mo042	h	Oficial 1ª montador de estructura metálica.	1,348	15,28	20,6
mo085	h	Ayudante montador de estructura metálica.	1,348	14,65	19,75
	%	Medios auxiliares	2	180,66	3,61
	%	Costes indirectos	3	184,27	5,53
Coste de mantenimiento decenal: 5,69€ en los primeros 10 años.				Total:	189,80 €

Referencia norma UNE y Título de la norma transposición de norma armonizada	Aplicabilidad (1)	Obligatoriedad (2)	Sistema (3)
UNE-EN 10025-1:2006 Productos laminados en caliente, de acero no aleado, para construcciones metálicas de uso general. Parte 1: Condiciones generales de suministro.	1.9.2005	1.9.2006	2+

(1) Fecha de aplicabilidad de la norma armonizada e inicio del período de coexistencia
(2) Fecha final del período de coexistencia / entrada en vigor marcado CE
(3) Sistema de evaluación de la conformidad

Unidades	Precio unitario total partida	Precio total partida
6	157,14 €	942,84 €

Tipo 3					
EAS005	**Ud**	**Placa de anclaje con pernos soldados y preparación de bordes.**			54,37 €

Placa de anclaje de acero **S275JR** en perfil plano, de **400x400** mm y espesor **15** mm, con **8** pernos soldados, de **acero corrugado UNE-EN 10080 B 500 S** de **16** mm de diámetro y **40** cm de longitud total.

Descompuesto	Ud	Descomposición	Rend.	p.s.	Precio partida
mt07ala011b	kg	Pletina de acero laminado UNE-EN 10025 S275JR, en perfil plano laminado en caliente, para aplicaciones estructurales.	18,84	1,68	31,65
mt07aco010c	kg	Acero en barras corrugadas, UNE-EN 10080 B 500 S, elaborado en taller y colocado en obra, diámetros varios.	5,048	1	5,05
mq08sol020	h	Equipo y elementos auxiliares para soldadura eléctrica.	0,015	3,09	0,05
mo042	h	Oficial 1ª montador de estructura metálica.	0,501	15,28	7,66
mo085	h	Ayudante montador de estructura metálica.	0,501	14,65	7,34
	%	Medios auxiliares	2	51,75	1,04
	%	Costes indirectos	3	52,79	1,58
Coste de mantenimiento decenal: 1,63€ en los primeros 10 años.				Total:	54,37 €

Referencia norma UNE y Título de la norma transposición de norma armonizada	Aplicabilidad (1)	Obligatoriedad (2)	Sistema (3)
UNE-EN 10025-1:2006 Productos laminados en caliente, de acero no aleado, para construcciones metálicas de uso general. Parte 1: Condiciones generales de suministro.	1.9.2005	1.9.2006	2+

(1) Fecha de aplicabilidad de la norma armonizada e inicio del período de coexistencia
(2) Fecha final del período de coexistencia / entrada en vigor marcado CE
(3) Sistema de evaluación de la conformidad

Unidades	Precio unitario total partida	Precio total partida
8	157,14 €	1.257,12 €

Tipo 4					
EAS005	**Ud**	**Placa de anclaje con pernos soldados y preparación de bordes.**			108,05 €

Placa de anclaje de acero **S275JR** en perfil plano, de **500x500** mm y espesor **20** mm, con **8** pernos soldados, de **acero corrugado UNE-EN 10080 B 500 S** de **20** mm de diámetro y **60** cm de longitud total.

Descompuesto	Ud	Descomposición	Rend.	p.s.	Precio partida
mt07ala011b	kg	Pletina de acero laminado UNE-EN 10025 S275JR, en perfil plano laminado en caliente, para aplicaciones estructurales.	39,25	1,68	65,94
mt07aco010c	kg	Acero en barras corrugadas, UNE-EN 10080 B 500 S, elaborado en taller y colocado en obra, diámetros varios.	11,832	1	11,83
mq08sol020	h	Equipo y elementos auxiliares para soldadura eléctrica.	0,015	3,09	0,05
mo042	h	Oficial 1ª montador de estructura metálica.	0,836	15,28	12,77
mo085	h	Ayudante montador de estructura metálica.	0,836	14,65	12,25
	%	Medios auxiliares	2	102,84	2,06
	%	Costes indirectos	3	104,9	3,15
Coste de mantenimiento decenal: 3,24€ en los primeros 10 años.				Total:	108,05 €

Referencia norma UNE y Título de la norma transposición de norma armonizada	Aplicabilidad (1)	Obligatoriedad (2)	Sistema ()
UNE-EN 10025-1:2006 Productos laminados en caliente, de acero no aleado, para construcciones metálicas de uso general. Parte 1: Condiciones generales de suministro.	1.9.2005	1.9.2006	2+

(1) Fecha de aplicabilidad de la norma armonizada e inicio del período de coexistencia
(2) Fecha final del período de coexistencia / entrada en vigor marcado CE
(3) Sistema de evaluación de la conformidad

Unidades	Precio unitario total partida	Precio total partida
6	108,05 €	648,30 €

Precio total tipo 1	Precio total tipo 2	Precio total tipo 3	Precio total tipo 4	Precio total partida placas de anclaje
785,70 €	942,84 €	1.257,12 €	648,30 €	3.633,96 €

Cimentación

CSZ010	**m³**	**Zapata de cimentación de hormigón armado.**			128,27 €
Zapata de cimentación de hormigón armado, realizada con **hormigón HA-25/B/20/IIa fabricado en central, y vertido desde camión**, y acero **UNE-EN 10080 B 500 S**, cuantía **30,52** kg/m³.					
Descompuesto	Ud	Descomposición	Rend.	p.s.	Precio partida
mt07aco020a	Ud	Separador homologado para cimentaciones.	8	0,13	1,04
mt07aco010c	kg	Acero en barras corrugadas, UNE-EN 10080 B 500 S, elaborado en taller y colocado en obra, diámetros varios.	30,52	1	30,52
mt10haf010nea	m³	Hormigón HA-25/B/20/IIa, fabricado en central.	1,1	74,27	81,7
mo040	h	Oficial 1ª estructurista.	0,295	15,28	4,51
mo083	h	Ayudante estructurista.	0,295	14,65	4,32
	%	Medios auxiliares	2	122,09	2,44
	%	Costes indirectos	3	124,53	3,74
Coste de mantenimiento decenal: 3,85€ en los primeros 10 años.				Total:	128,27 €
Metros cúbicos totales de cimentación	Precio unitario total de partida	Precio total de partida			
122,6	128,27	15.725,90 €			

Presupuesto final conjunto

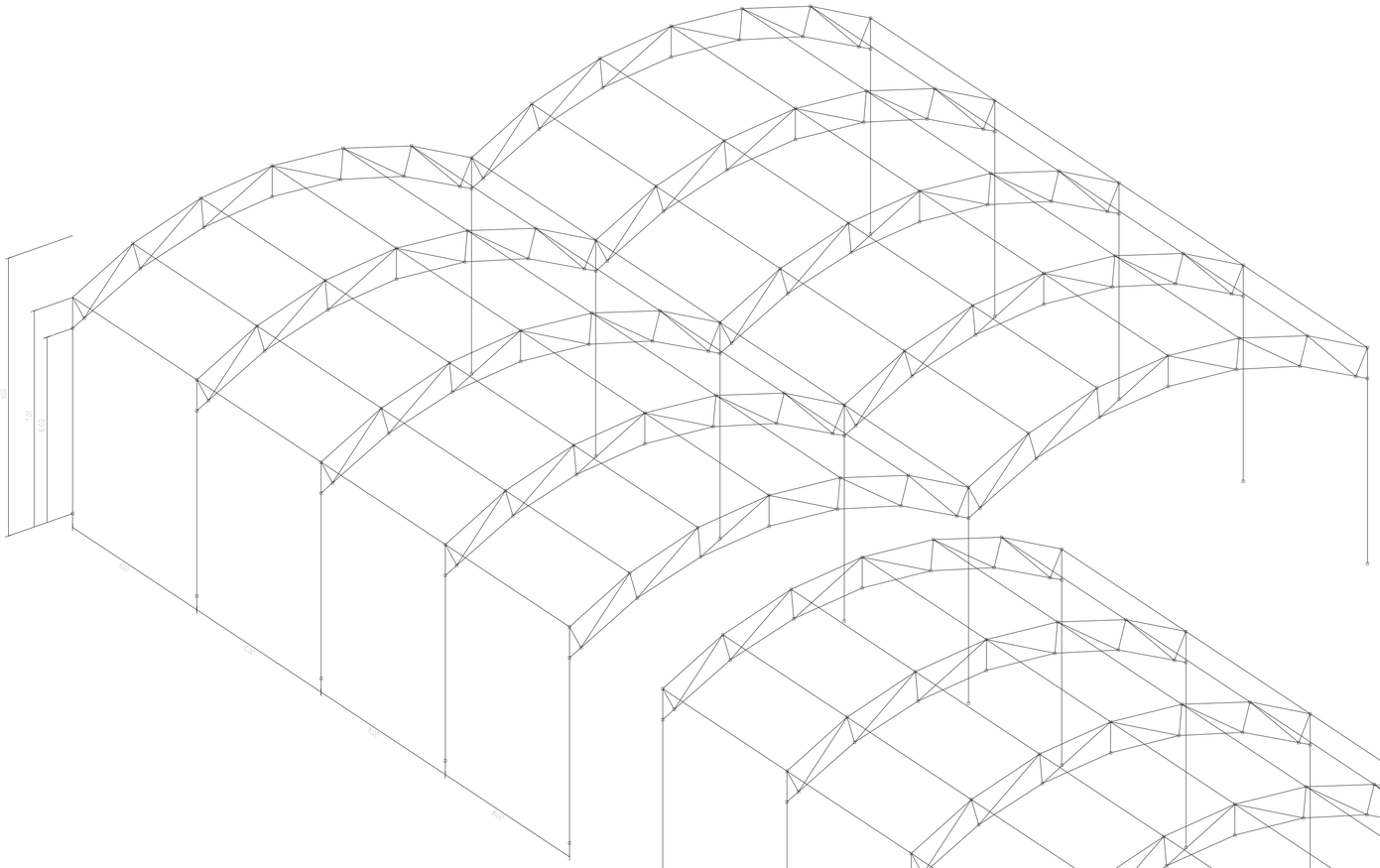
Presupuesto construcción de pilares	22.502,67 €
Presupuesto construcción de correas	32.718,77 €
Presupuesto construcción de celosías	37.304,64 €
Presupuesto construcción de placas de anclaje	3.633,96 €
Presupuesto de cimentación	15.725,90 €
Material policarbonato	8.315,88 €
Presupuesto de Ejecución Material (PEM)	**120.201,83 €**
13% Gastos generales	15.626,24 €
6% Beneficio industrial	7.212,11 €
Presupuesto de licitación	**143.040,18 €**
21% IVA	30.038,44 €
Presupuesto total de obras	**173.078,61 €**

ANEXO IV: PLANOS

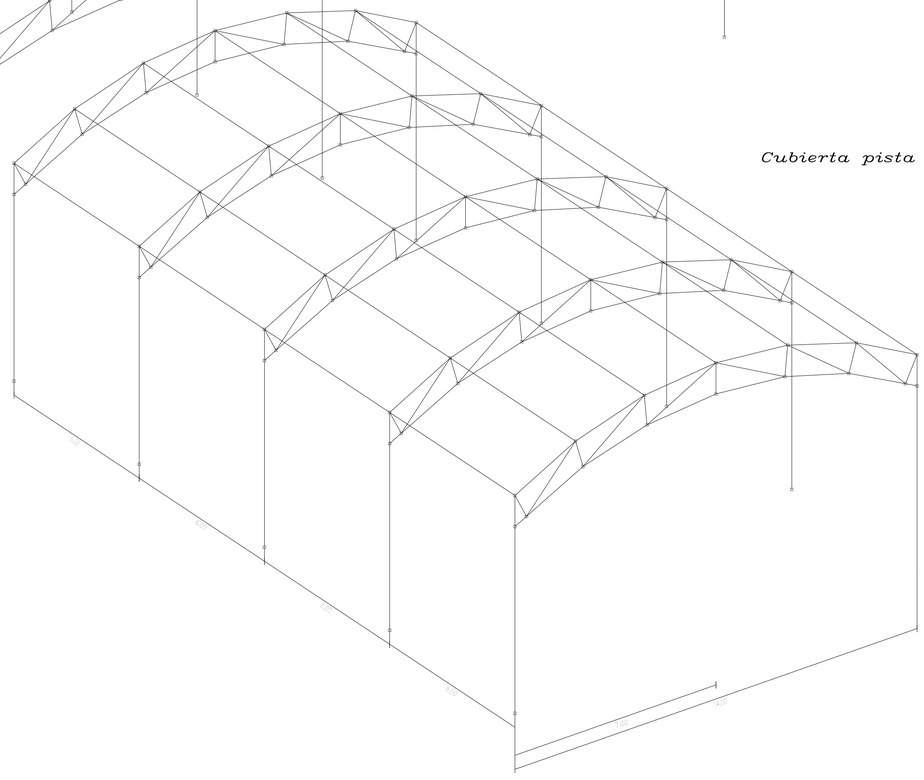
En el presente anexo se adjuntan los planos correspondientes a la estructura realizada, se ha de tener en cuenta las siguientes dimensiones para cada uno:

- Plano 01: Dimensionamiento básico de una cubierta curva para las pistas de pádel de la ENM. Dimensiones en metros.
- Plano 02: Plano general con perfiles de una cubierta curva para las pistas de pádel de la ENM. Dimensiones en metros.
- Plano 03: Dimensiones y perfiles de los dos tipos de celosías. Dimensiones en metros.
- Plano 04: Plano de distribución de zapatas. Dimensiones en centímetros.
- Plano 05: Dimensiones de las diferentes zapatas. Dimensiones en centímetros.
- Plano 06: Detalle de las placas de anclaje. Dimensiones en milímetros.

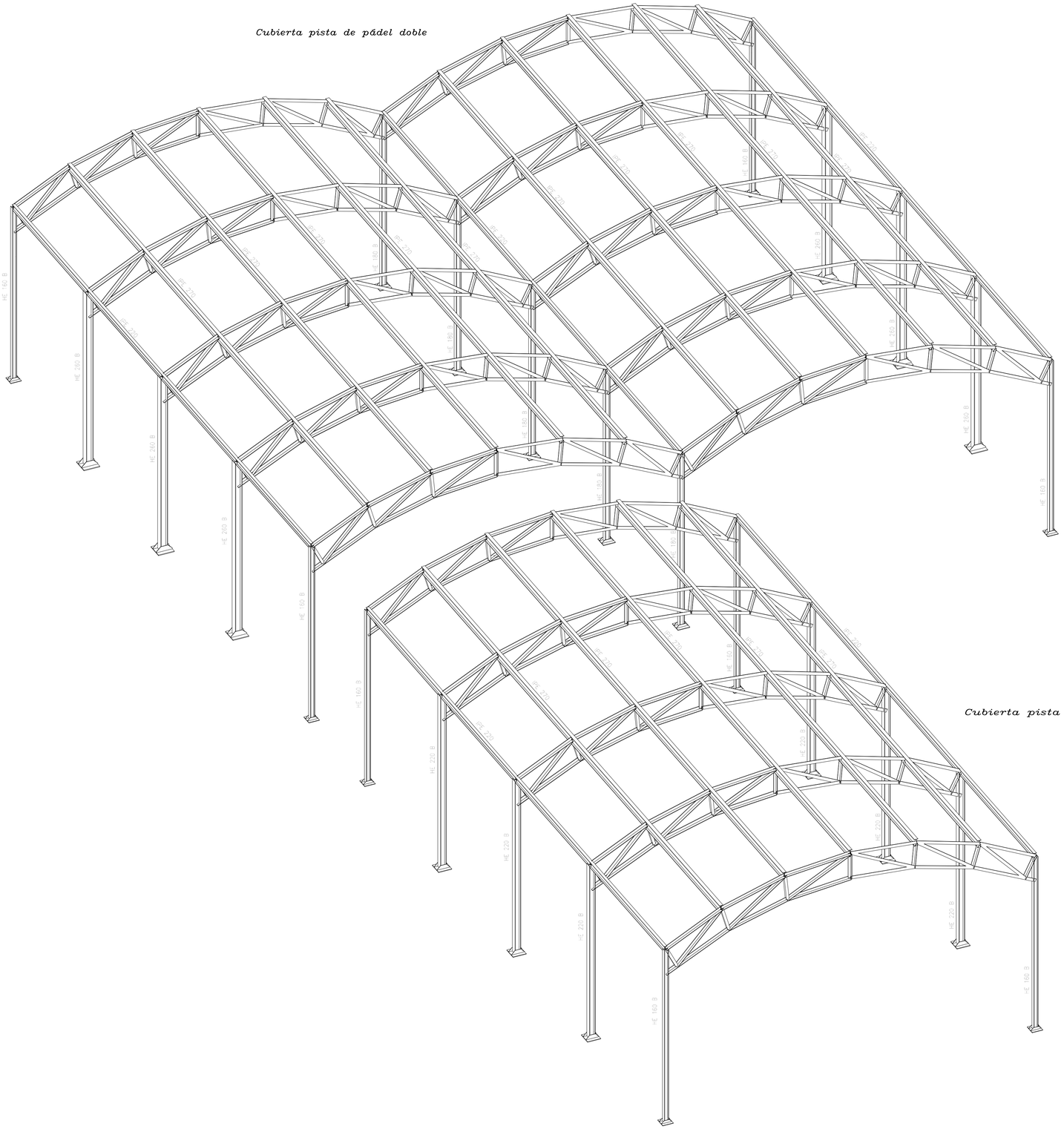
Cubierta pista de pádel doble



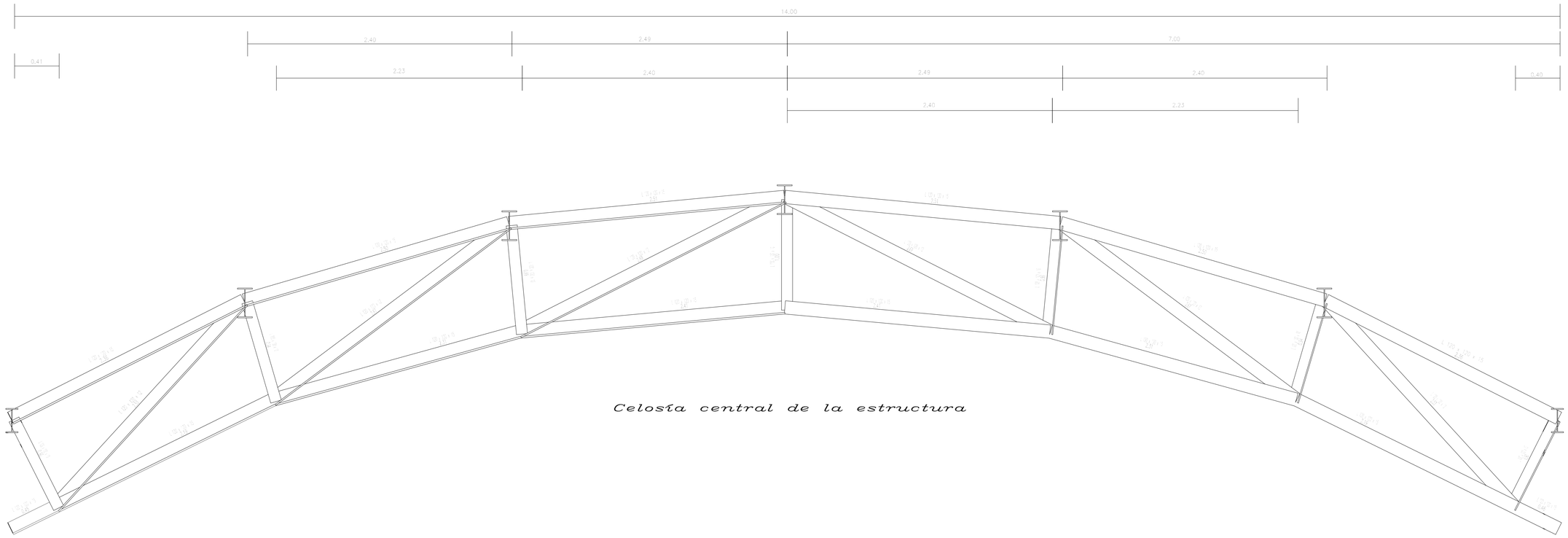
Cubierta pista de pádel simple



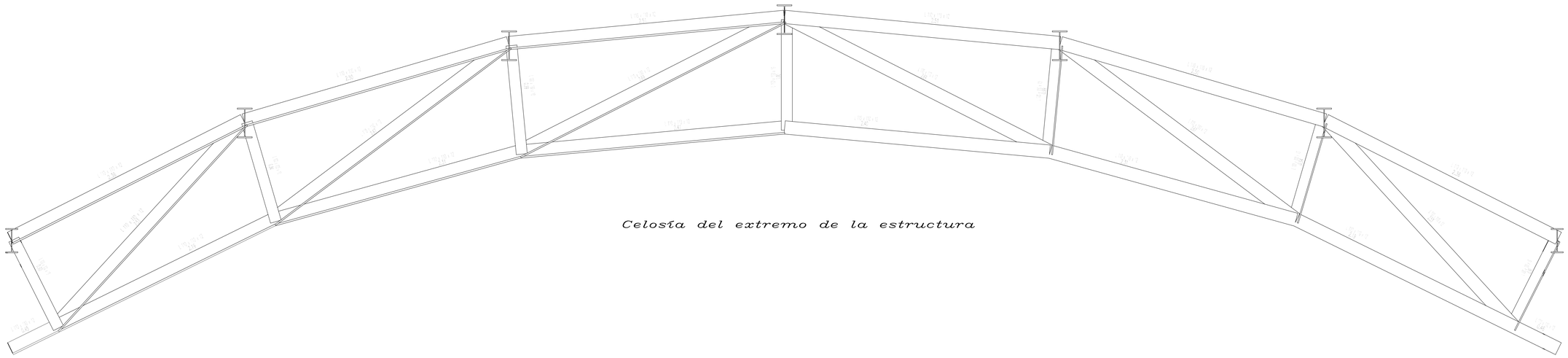
Autor	Rafael Carrillo Navarro		Centro Universitario de la Defensa en la Escuela Naval Militar
Directores	Arturo González Gil		
	Miguel Ángel Gómez Rodríguez		
Plano: Dimensionamiento básico de una cubierta curva para las pistas de pádel de la ENM			Propuesta de diseño y cálculo de cubierta para las pistas de pádel de la Escuela Naval Militar
Escala: 1:100	Fecha: Marzo de 2018	Nº 01	



Autor	Rafael Carrillo Navarro	Centro Universitario de la Defensa en la Escuela Naval Militar
Directores	Arturo González Cil Miguel Ángel Gómez Rodríguez	
Plano: Plano general con perfiles de una cubierta curva para las pistas de pádel de la ENM		Propuesta de diseño y cálculo de cubierta para las pistas de pádel de la Escuela Naval Militar
Escala: 1:120	Fecha: Marzo de 2018	Nº 02



Celosía central de la estructura

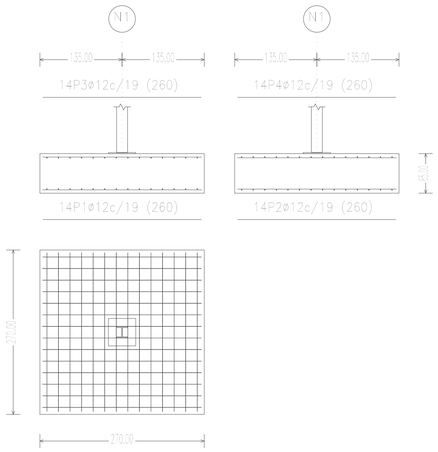


Celosía del extremo de la estructura

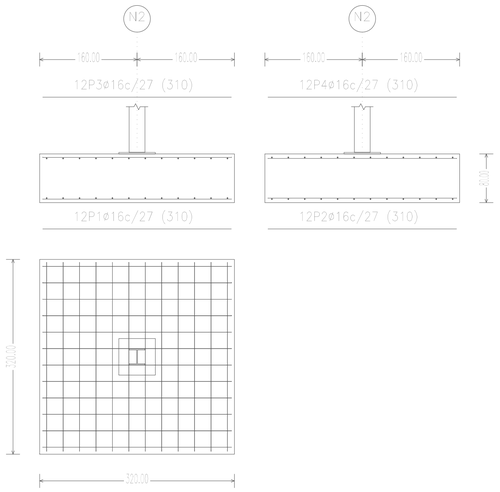
Autor	Rafael Carrillo Navarro	Centro Universitario de la Defensa en la Escuela Naval Militar
Directores	Arturo González Gil Miguel Ángel Gómez Rodríguez	
Plano: Dimensiones y perfiles de los dos tipos de celosías		Propuesta de diseño y cálculo de cubierta para las pistas de pádel de la Escuela Naval Militar
Escala: 1:20	Fecha: Marzo de 2018	Nº 03

Autor	Rafael Carrillo Navarro	Centro Universitario de la Defensa en la Escuela Naval Militar
Directores	Arturo González Gil Miguel Ángel Gómez Rodríguez	
Plano: Plano de distribución de zapatas		Propuesta de diseño y cálculo de cubierta para las pistas de pádel de la Escuela Naval Militar
Escala: 1:100	Fecha: Marzo de 2018	Nº 04

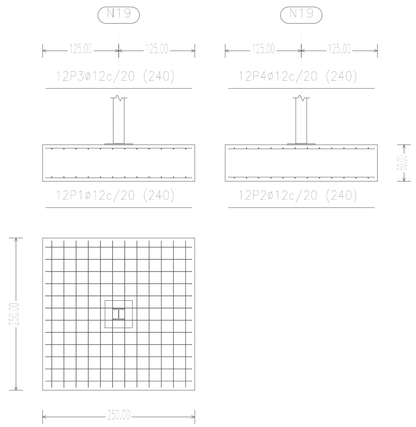
N1, N37 y N55



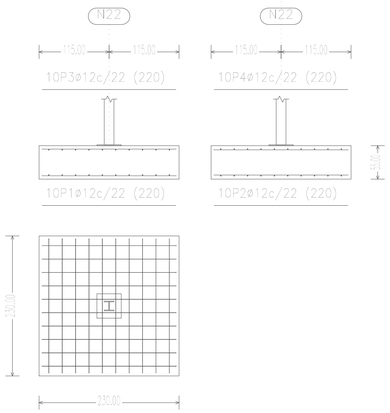
N2, N40, N58, N91, N121 y N136



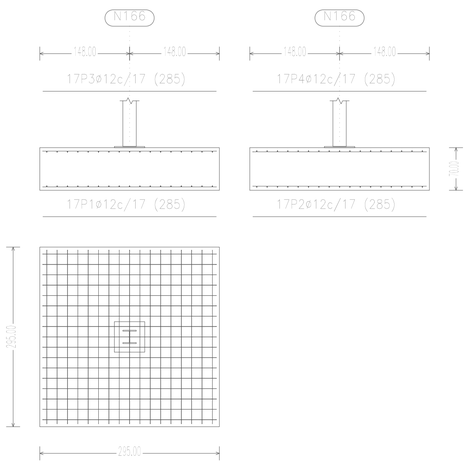
N19 y N73



N22, N76, N106, N151, N184, N187, N238 y N241

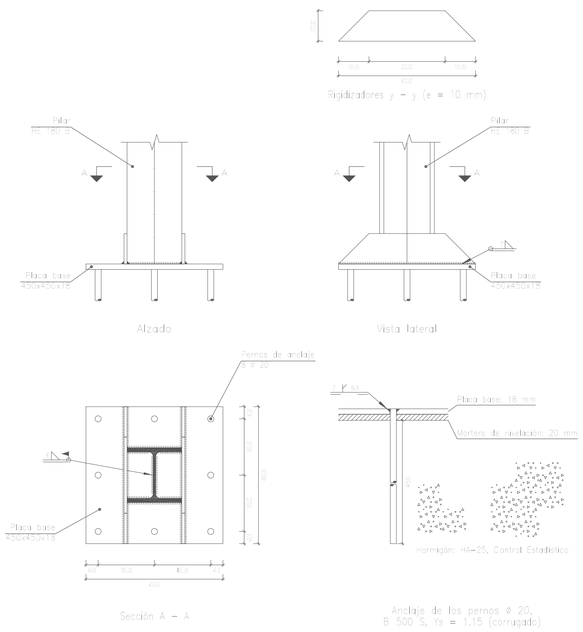


N166, N169, N202, N205, N220 y N223

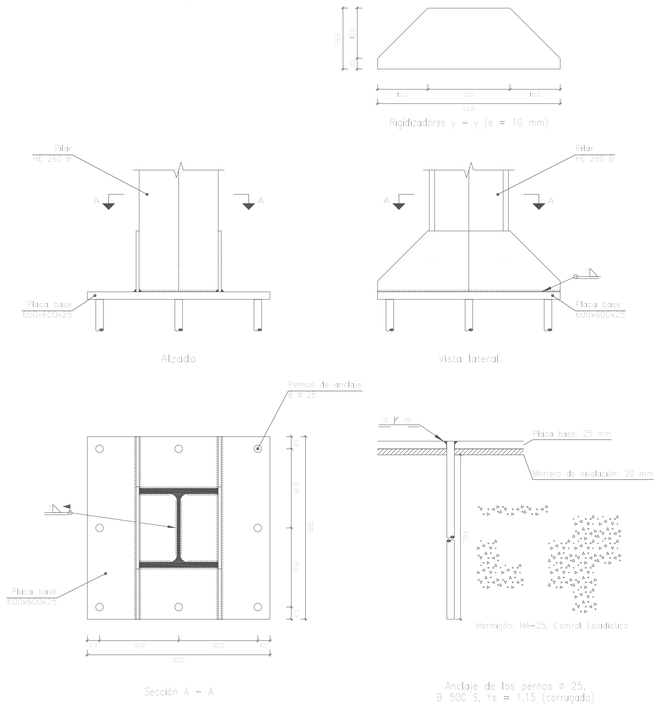


Autor	Rafael Carrillo Navarro	Centro Universitario de la Defensa en la Escuela Naval Militar
Directores	Arturo González Cil Miguel Ángel Gómez Rodríguez	
Plano: Dimensiones de las diferentes zapatas		Propuesta de diseño y cálculo de cubierta para las pistas de pádel de la Escuela Naval Militar
Escala: 1:50	Fecha: Marzo de 2018	Nº 05

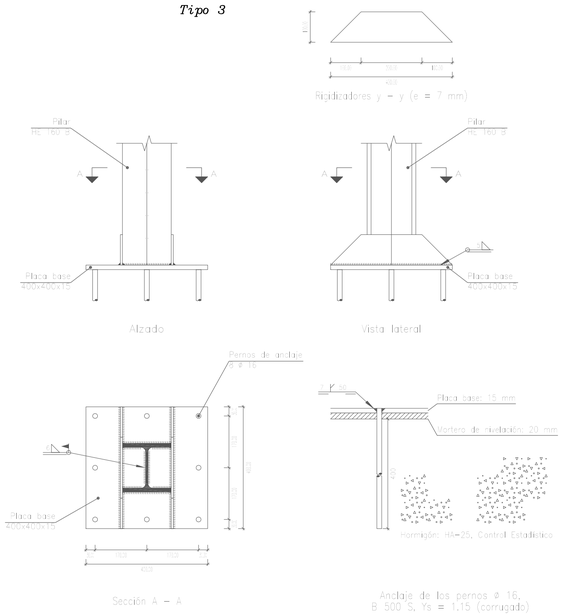
Tipo 1



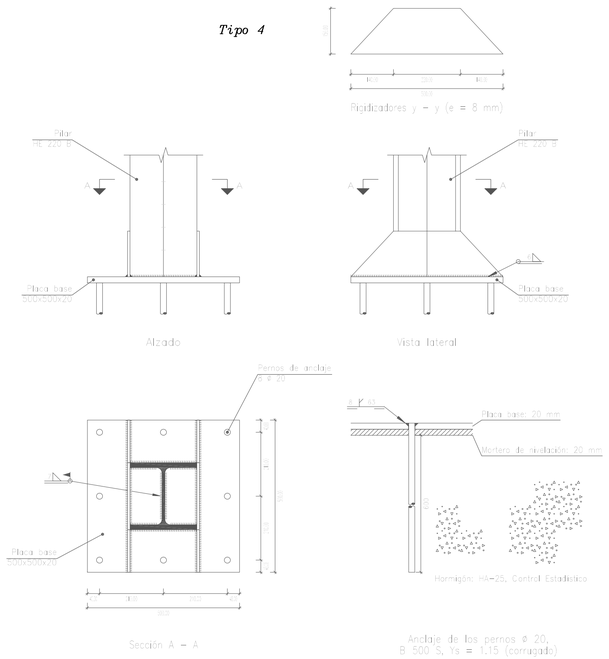
Tipo 2



Tipo 3



Tipo 4



Autor	Rafael Carrillo Navarro		Centro Universitario de la Defensa en la Escuela Naval Militar
Directores	Arturo González Cil		
	Miguel Ángel Gómez Rodríguez		
Plano: Detalle de las placas de anclajes			Propuesta de diseño y cálculo de cubierta para las pistas de pádel de la Escuela Naval Militar
Escala: 1:50	Fecha: Marzo de 2018	Nº 06	