



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial

Diseño y cálculo de la estructura portante de un pabellón
de atletismo cubierto de 5250 m² de superficie situado en
Valencia.

Trabajo Fin de Grado

Grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales

AUTOR/A: Marcos Ortigosa, Alejandro

Tutor/a: Espinós Capilla, Ana

Cotutor/a: Lapuebla Ferri, Andrés

CURSO ACADÉMICO: 2021/2022

RESUMEN

El objetivo del presente Trabajo Final de Grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales es el diseño y el cálculo de la estructura portante de un pabellón de atletismo cubierto de uso exclusivo para entrenamiento, situado en Valencia. La estructura del pabellón se resolverá a base de pórticos planos a dos aguas con celosía en cubierta apoyados sobre pilares de inercia variable, empleándose para ello perfiles tubulares de acero, debiendo cubrir una superficie de 5250 metros cuadrados. La cimentación sobre la que apoyará la estructura se ejecutará mediante zapatas aisladas, convenientemente relacionadas entre sí por medio de vigas de atado.

Palabras clave: Diseño y cálculo estructural; Pabellón de atletismo; Estructura metálica; Celosía; Perfil tubular; Pilares de inercia variable; Simulación por ordenador.

RESUM

L'objectiu del present Treball Final de Grau en Enginyeria en Tecnologies Industrials és el disseny i el càlcul de l'estructura portant d'un pavelló d'atletisme cobert d'ús exclusiu per a entrenament, situat a València. L'estructura del pavelló es resoldrà a base de pòrtics plans de dos aigües amb gelosia en coberta recolzats sobre pilars d'inèrcia variable, emprant-se per a això perfils tubulars d'acer, havent de cobrir una superfície de 5250 metres quadrats. La fonamentació sobre la qual donarà suport a l'estructura s'executarà mitjançant sabates aïllades, convenientment relacionades entre si per mitjà de bigues de lligat.

Paraules clau: Disseny i càlcul estructural; Pavelló d'atletisme; Estructura metàl·lica; Gelosia; Perfil tubular; Pilars d'inèrcia variable; Simulació per ordinador.

ABSTRACT

The aim of this Final Degree Project in Industrial Technologies Engineering is the design and calculation of the load-bearing structure of an indoor athletics pavillion for training porpuses, located in Valencia. The structure of the pavillion will be solved by means of flat frames with sloped lattica girders supported on variable inertia columns, using hollow steel tubes, covering a floor area of 5250 square metres. The foundations of the structure will be developed by means of isolated footings, suitably connected to each other by means of tie beams.

Key words: Structural design; Athletic pavillion; Steel structure; Truss; Hollow sections; Variable inertia columns; Computing simulation.

ÍNDICE

I. MEMORIA	9
1. ANTECEDENTES	10
1.1 OBJETO DEL TRABAJO.....	10
1.2 ALCANCE.....	10
1.3 JUSTIFICACIÓN.....	10
1.4 MOTIVACIÓN.....	11
2. EMPLAZAMIENTO DEL EDIFICIO	11
2.1 DESCRIPCIÓN DEL EMPLAZAMIENTO	11
2.2 CARACTERISITICAS DE LA PARCELA	12
2.3 FICHA URBANÍSTICA	12
2.4 ESTUDIO GEOTÉCNICO	12
3. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL EDIFICIO	13
3.1 SUPERFICIES Y VOLÚMENES.....	13
3.2 ESTUDIO FUNCIONAL	14
3.3 ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS	15
4. DESCRIPCIÓN DE LA ESTRUCTURA	16
4.1 ALTERNATIVAS PARA LA SOLUCIÓN ESTRUCTURAL.....	16
4.2 JUSTIFICACIÓN DE LA SOLUCIÓN ADOPTADA	18
4.4 ESTRUCTURA DE ACERO	20
4.5 PLACAS DE ANCLAJE	22
4.6 CIMENTACIÓN	23
5. NORMATIVA DE APLICACIÓN	25
6. RESUMEN DEL PRESUPUESTO	26
7. BIBLIOGRAFÍA.....	27

II. ANEXO DE CÁLCULO ESTRUCTURAL	28
1. ANALISIS ESTRUCTURAL	29
1.1 MÉTODO DE CÁLCULO	29
1.2 SOFTWARE EMPLEADO	29
2. MATERIALES	29
2.1 ACERO.....	29
2.2 HORMIGÓN	30
3. ACCIONES	31
3.1 ACCIONES PERMANENTES.....	31
3.1.1 PESO PROPIO.....	31
3.2 ACCIONES VARIABLES.....	31
3.2.1 SOBRECARGA DE USO	31
3.2.2 VIENTO	32
3.2.3 NIEVE	34
3.3 BASES DE CÁLCULO	35
3.4 ESTADOS LÍMITE	36
3.5 COMBINACIONES DE ACCIONES.....	36
4. PREDIMENSIONADO DE LA ESTRUCTURA	39
4.1 PREDIMENSIONADO DE LA VIGA EN CELOSÍA.....	39
4.1.1 CORDONES	39
4.1.2 MONTANTES Y DIAGONALES.....	41
4.2 PREDIMENSIONADO DEL PILAR COMPUESTO.....	43
4.3 PREDIMENSIONADO DEL RESTO DE LOS ELEMENTOS	44
5. DIMENSIONADO DE LA ESTRUCTURA	46
5.1 MODELO DE PANDEO.....	46
5.2 PÓRTICO INTERIOR (ALINEACIÓN B)	47
5.1.1 CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS	47
5.1.2 COMPROBACIÓN DE RESISTENCIA	48
5.1.3 FLECHAS.....	48
5.1.4 ESTADO LÍMITE ÚLTIMO (E.L.U)	49
5.3 PÓRTICO DE FACHADA (ALINEACIÓN A).....	50
5.2.1 CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS	50
5.2.2 COMPROBACIONES DE RESISTENCIA	51
5.2.3 FLECHAS.....	51
5.2.4 ESTADO LÍMITE ÚLTIMO (E.L.U)	51
5.4 FACHADA LATERAL (ALINEACIÓN 7).....	52

5.3.1 CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS	53
5.3.2 COMPROBACIONES DE RESISTENCIA	53
5.3.3 FLECHAS.....	53
5.3.4 ESTADO LÍMITE ÚLTIMO (E.L.U)	54
5.5 VIGA “DURMIENTE”	55
5.4.1 CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS	55
5.4.2 COMPROBACIONES DE RESISTENCIA	55
5.4.3 FLECHAS.....	56
5.4.4 ESTADO LÍMITE ÚLTIMO (E.L.U)	56
5.6 VISTA LATERAL (ALINEACIÓN 5)	57
5.5.1 CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS	57
5.5.2 COMPROBACIONES DE RESISTENCIA	58
5.5.3 FLECHAS.....	58
5.5.4 ESTADO LÍMITE ÚLTIMO (E.L.U)	58
5.7 CUBIERTA.....	59
5.6.1 CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS	59
5.6.2 COMPROBACIONES DE RESISTENCIA	60
5.6.3 FLECHAS.....	60
5.6.4 ESTADO LÍMITE ÚLTIMO (E.L.U)	60
5.8 CORREAS DE CUBIERTA	61
5.7.1 DESCRIPCIÓN Y MEDICIONES	61
5.7.2 COMPROBACIONES	62
5.9 PLACAS DE ANCLAJE	63
5.9.1 TIPO 1 (ALINEACIÓN A).....	63
5.9.1.1 GEOMETRÍA Y DESCRIPCIÓN	63
5.9.1.2 COMPROBACIONES	65
5.9.2 TIPO 2 (ALINEACIÓN B).....	66
5.9.2.1 GEOMETRÍA Y DESCRIPCIÓN	66
5.9.2.2 COMPROBACIONES	67
5.10 CIMENTACIÓN	68
5.10.1 ZAPATA RECTANGULAR EXCÉNTRICA (N59 – N63)	69
5.10.2 ZAPATA RECTANGULAR CENTRADA (N853)	72
5.10.3 VIGA DE ATADO.....	75

III. PRESUPUESTO	76
1. CAPÍTULO 1: ACONDICIONAMIENTO DEL TERRENO	77
2. CAPÍTULO 2: CIMENTACIÓN	78
3. CAPÍTULO 3: ESTRUCTURA	79
4. CAPÍTULO 4: CUBIERTA	80
5. CAPÍTULO 5: FACHADAS	81
6. CAPÍTULO 6: SOLADO	81
7. PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL (P.E.M)	82
8. PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN POR CONTRATA (P.E.C).....	82
9. PRESUPUESTO BASE DE LICITACIÓN (P.B.L)	83
10. ANÁLISIS DEL PRESUPUESTO.....	83

IV. PLANOS	85
1. SITUACIÓN Y EMPLAZAMIENTO.....	86
2. DISTRIBUCIÓN EN PLANTA.....	86
3. CERRAMIENTO DE CUBIERTA.....	86
4. CERRAMIENTOS DE FACHADA.....	86
5. REPLANTEO.....	86
6. ESTRUCTURA 3D.....	86
7. CIMENTACIÓN.....	86
8. DETALLE DE LAS ZAPATAS Y VIGAS DE ATADO.....	86
9. PÓRTICO DE FACHADA (ALINEACIÓN A Y P).....	86
10. PÓRTICO INTERIOR.....	86
11. FACHADA LATERAL (ALINEACIÓN 7).....	86
12. ALINEACIÓN 4.....	86
13. VIGA “DURMIENTE” (NIVEL +12,058 METROS).....	86
14. ESTRUCTURA DE CUBIERTA.....	86

I. MEMORIA

1. ANTECEDENTES

1.1 OBJETO DEL TRABAJO

El objeto del siguiente Trabajo Final de Grado es exponer los conocimientos adquiridos en el Grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales mediante el diseño y cálculo de la estructura portante de un pabellón de atletismo cubierto de uso exclusivo para entrenamiento, situado en Valencia.

1.2 ALCANCE

Para la realización del presente Trabajo Final de Grado, se ha modelado mediante el programa CYPE Ingenieros, S.A la estructura del proyecto bajo las acciones permanentes y variables. Esto incluye todos los tipos de barras, así como los distintos elementos de la cimentación. Una vez calculada la estructura, se han obtenido los listados con las comprobaciones correspondientes de las barras, los cuales se exponen en el presente proyecto.

También se ha elaborado el presupuesto detallado del proyecto mediante el software Arquímedes. Por último, se ha empleado el programa AUTOCAD para la elaboración de los planos expuestos en el presente Trabajo Final de Grado necesarios para la correcta interpretación de la estructura.

El estudio de las acciones accidentales, como el sismo o el incendio, no se ha llevado a cabo durante el diseño de esta estructura puesto que queda fuera del alcance del presente trabajo.

1.3 JUSTIFICACIÓN

En los últimos años, Valencia se ha convertido en una de las capitales mundiales del atletismo y del “running” gracias a iniciativas como el circuito 5K en el parque del río Turia, o la popular Maratón de Valencia, que es uno de los eventos más reconocidos de su clase en el mundo. Iniciativas como esta han despertado el interés en la ciudadanía por la práctica de este deporte, ya que supone una manera fácil y divertida de mantenerse activo y tener un estilo de vida saludable.

El propio autor del proyecto ha podido ser testigo de este creciente interés desde que competía en las categorías inferiores del atletismo hasta hoy en día, lo cual le ha motivado a realizar el proyecto de un pabellón de atletismo cubierto, una de las pocas instalaciones que le faltan a la ciudad de Valencia relacionada con el atletismo. De este modo el autor del presente TFG ha podido combinar en cierta forma una de sus aficiones con la culminación del Grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales.



Figura 1. Maratón de Valencia

1.4 MOTIVACIÓN

Durante el transcurso del Grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales son muchas las ramas de la ingeniería que los alumnos tienen la oportunidad de descubrir a través de las distintas asignaturas del grado. Sin embargo, la relacionada con el cálculo de estructuras y la resistencia de materiales es la que ha llamado la atención al autor por encima de las demás debido a su carácter práctico y a la relevancia que tiene en nuestro día a día. Es por esto por lo que siempre fue la intención del autor realizar un Trabajo Final de Grado que le permitiese indagar más en estos campos y con el que poder descubrir al mismo tiempo como se lleva a cabo el cálculo de la estructura portante de una nave en un ámbito más profesional que el meramente académico.

Además, este proyecto permite al autor la finalización de los estudios de Grado y poder seguir formándose en el Máster de Ingeniería Industrial.

2. EMPLAZAMIENTO DEL EDIFICIO

2.1 DESCRIPCIÓN DEL EMPLAZAMIENTO

El emplazamiento seleccionado para el pabellón de atletismo se encuentra en la ciudad de Valencia, concretamente en el barrio de Cuatre Carreres. Se trata de una zona que cuenta en la actualidad con otros recintos deportivos (pabellón Fuente de San Luis, campos de fútbol, campos de rugby). La ubicación de la parcela queda definida en la Figura 2.

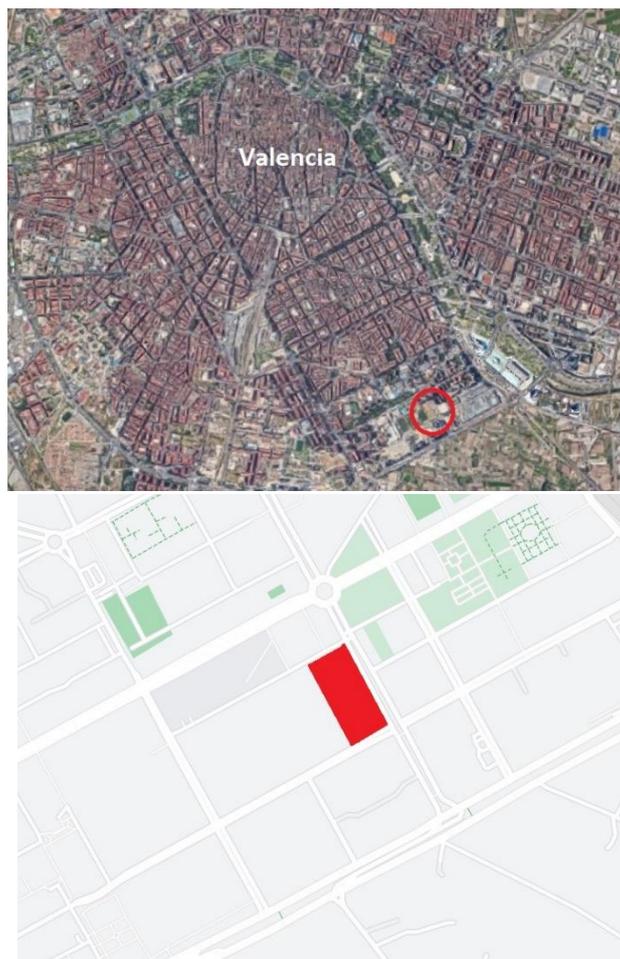


Figura 2. Localización de la parcela en la ciudad de Valencia (Fuente: Google Maps)

2.2 CARACTERÍSTICAS DE LA PARCELA

La parcela donde se ubica el pabellón de atletismo tiene una superficie total de 10.592 m². La parcela, como se puede observar en la Figura 3, tiene forma rectangular, y linda con la calle Ángel Villena, calle Pintor Joan de Ribera Berenguer y la avenida Amat Granell Mesado. La entrada principal del pabellón se sitúa en la calle Ángel Villena.



Figura 3. Localización de la parcela (Fuente: Sede Electrónica del Catastro [7])

2.3 FICHA URBANÍSTICA

El suelo en el que se ubica la parcela en la que se edificará el pabellón de atletismo es de clase urbano y actualmente se encuentra vacío, por lo que en la ficha urbanística figura como suelo sin edificar urbanizable. Tiene una superficie total de 10.592 m², aunque solo 5250 m² del total serán ocupados por el edificio. Esto supone un coeficiente de ocupación de un 49.56%.

Referencia catastral: 7003701YJ2770C0001YT



Figura 4. Ficha urbanística (Fuente: Sede Electrónica del Catastro [7])

2.4 ESTUDIO GEOTÉCNICO

Antes de la realización de cualquier proyecto de edificación es necesario llevar a cabo un estudio geotécnico. Consiste en una serie de pruebas y sondeos que permiten conocer características importantes del terreno como su tensión máxima admisible. Esta información es necesaria para determinar correctamente la cimentación del edificio y el tipo de apoyo. Como no se dispone de un estudio geotécnico completo, se considerará una tensión máxima admisible de valor 0,2 MPa para situaciones persistentes y 0.3 MPa para situaciones sísmicas y accidentales.

3. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL EDIFICIO

3.1 SUPERFICIES Y VOLÚMENES

El pabellón de atletismo cubierto ha sido diseñado para uso exclusivo de entrenamiento, lo que permite reducir la superficie total que ocupa el edificio al poder prescindir de espacios como la sala de prensa, el graderío para los espectadores, y demás superficies que se habrían tenido que incluir en caso de que el pabellón pudiese albergar competiciones con público.

El pabellón tiene unas dimensiones de 105 m de longitud, 50 m de luz, y una altura de 18 m en cabeza del pilar y 20.5 m en cumbre, lo que supone una superficie total de 5.250m².

Se ha empleado la norma NIDE 2 [2] para determinar tanto las dimensiones de la propia pista de atletismo como las superficies necesarias para el correcto funcionamiento de una instalación de estas características. En la Figura 5, se observa la geometría de la pista de atletismo cubierta. En la imagen también se observan cotas como el radio de giro de las curvas, así como los grados de inclinación que deben tener, el ancho de las calles, y demás cotas para poder determinar correctamente la pista.

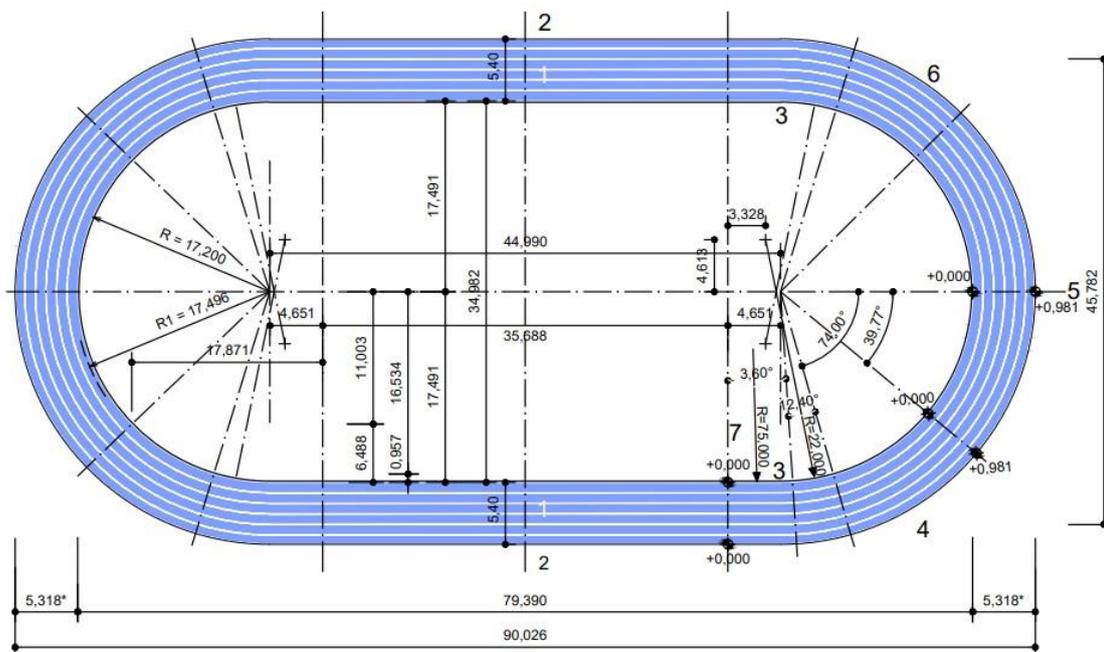


Figura 5. Dimensiones de la pista de atletismo cubierta (Fuente: NIDE [2])

Como se ha comentado anteriormente, la norma NIDE [2] establece unas superficies mínimas para instalaciones de estas características. Dichas superficies mínimas varían en función de si la instalación puede o no albergar competiciones. Para el pabellón del presente proyecto, la instalación cuenta con las siguientes superficies:

- Dos vestuarios de 40 m² cada uno.
- Una sala de atención médica de 37,6 m².
- Un gimnasio de 110 m².
- Un área de descanso de 110 m².
- Una sala de trabajo de 64,5 m².

Diseño y cálculo de la estructura portante de un pabellón de atletismo cubierto de 5250 m² de superficie situado en Valencia

- Un almacén de material de 76,4 m².
- Tres aseos de 42 m², 40 m² y 34 m² cada uno.
- Una cafetería de 48 m².
- Una recepción de 40 m².
- Una zona de taquillas de 40 m².
- Una pista de atletismo cubierta reglamentaria acorde con la Figura 5 con una superficie aproximada de 3500 m².

La distribución de todos estos espacios se puede observar en el plano de distribución de planta de la Figura 6.

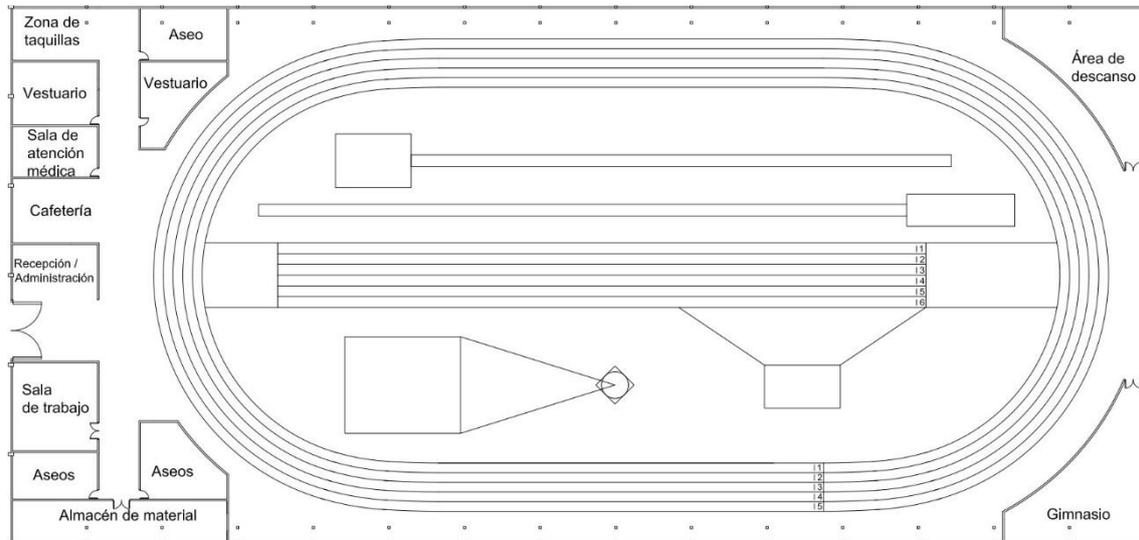


Figura 6. Distribución en planta del pabellón

3.2 ESTUDIO FUNCIONAL

Debido al gran tamaño que ocupa una pista de atletismo cubierta, y con el fin de mantener las dimensiones del edificio lo más contenidas posibles, las instalaciones del pabellón se han situado alrededor del anillo de la pista de atletismo. Entre dichas instalaciones se encuentran tanto espacios para los atletas como zonas de trabajo para el personal de la instalación.

Todos los espacios se distribuyen en la misma planta, en la que se pueden encontrar vestuarios y aseos para los atletas, gimnasio, una zona de taquillas, una sala destinada a la atención médica de los atletas en caso de lesión, un almacén para el material deportivo, etc.

La instalación también cuenta con espacios de trabajo para el personal administrativo como la recepción, situada junto a la entrada del edificio, o una sala de reuniones. Debido a las grandes dimensiones de un edificio de estas características, se ha intentado agrupar en la medida de lo posible los espacios con una función similar con el fin de limitar los desplazamientos del personal de la instalación.

3.3 ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS

En la cubierta de la estructura se disponen paneles tipo sándwich aislantes a modo de cerramiento. Se ha escogido este tipo de cerramiento, ya que presenta una gran resistencia en relación con su peso, aparte de proporcionar un buen aislamiento térmico y reducir los costes con respecto a otro tipo de cerramientos. En la Figura 7 se muestra el aspecto de este tipo de cerramiento.

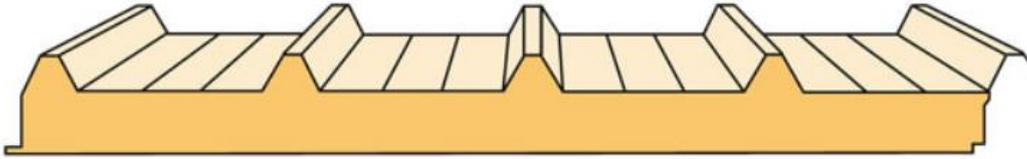


Figura 7. Detalle de panel tipo sándwich

Con el fin de maximizar la entrada de luz natural en el interior del edificio, también se han instalado en la cubierta lucernarios con forma rectangular y unas dimensiones de 5x1 metros. Se han instalado un total de 200 lucernarios en la cubierta, cubriendo una superficie total de 1.000 m², lo que supone aproximadamente un 20% del total de la superficie de cubierta.

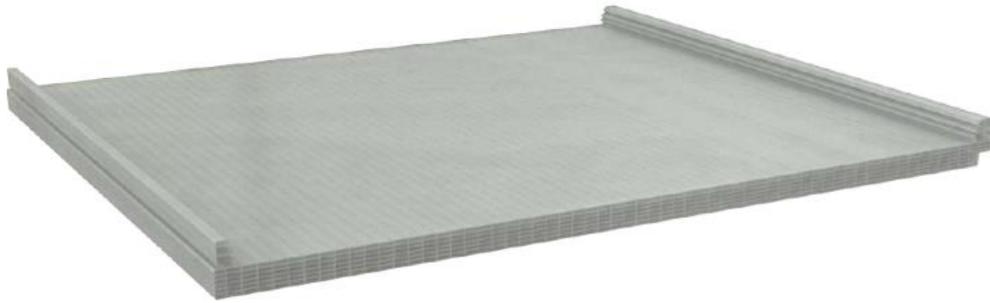


Figura 8. Lucernarios (Fuente: Catálogo de Ironlux (<https://www.ironlux.es/>))

Para el caso de las fachadas laterales del edificio, se ha optado por unos paneles prefabricados de hormigón pretensado. Se ha escogido esta opción ya que supone una forma barata de cubrir las grandes dimensiones de las fachadas del pabellón. Además, se puede prescindir de las correas de cubierta, lo que abarata aún más el presupuesto final del proyecto.

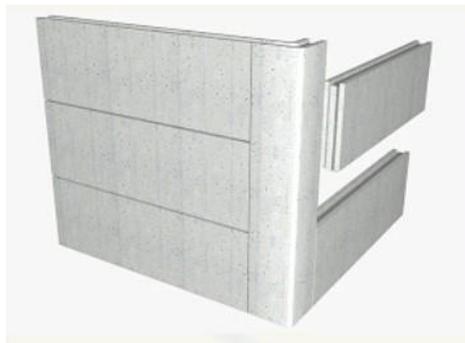


Ilustración 9. Hormigón pretensado de las fachadas

Por último, también se han instalado lucernarios en las fachadas laterales con el mismo fin que en la cubierta.

4. DESCRIPCIÓN DE LA ESTRUCTURA

4.1 ALTERNATIVAS PARA LA SOLUCIÓN ESTRUCTURAL

La construcción de una estructura capaz de albergar en su interior una pista de atletismo conlleva una serie de dificultades relacionadas con las grandes dimensiones que se requieren. En el presente proyecto, la luz del pabellón es de 50 metros. Esto hace que sea necesario emplear una estructura triangulada, ya que este tipo de estructuras son capaces de distribuir los esfuerzos provenientes de la cubierta entre todas sus barras de una forma más eficiente que un pórtico simple.

La solución escogida para este proyecto es un pórtico en celosía con cordones paralelos entre sí. Dichos cordones tienen una inclinación del 10%, y debido al tipo de cargas que recibirán se puede afirmar que en el cordón superior la forma predominante de trabajo será de compresión, mientras que en el cordón inferior será de tracción. Los montantes y diagonales situados entre dichos cordones se encuentran unidos a estos mediante nudos articulados, y al tratarse de una configuración tipo Pratt, los montantes trabajarán mayoritariamente a compresión y las diagonales a tracción.

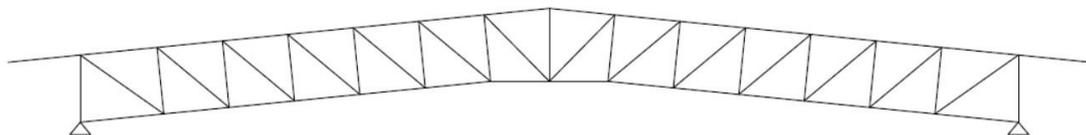
Para este tipo de pórticos, el canto de la celosía necesario se puede estimar en función de la luz y de las condiciones de apoyo. En el presente proyecto, la celosía se ha considerado como biapoyada y de cordones paralelos, lo que permite estimar el canto de la celosía entre una décimo quinta parte de la dimensión de la luz y una décima parte de la luz, tal y como se indica en el documento “*Diseño y predimensionado de una celosía de cordones paralelos*” [10].

$$\frac{L}{15} \leq h \leq \frac{L}{10} \rightarrow \frac{50}{15} \leq h \leq \frac{50}{10} \rightarrow h = 3.33 \text{ m}$$

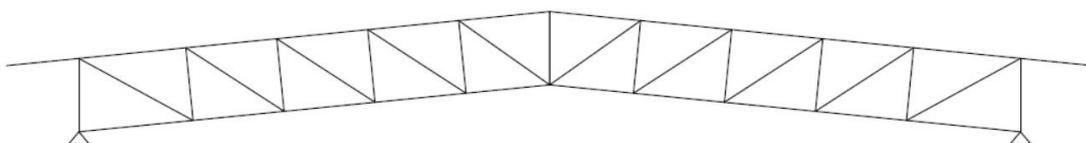
En el modelado de la estructura se ha escogido un canto de 3.38 metros que, al tratarse de una celosía con cordones paralelos, se mantiene constante a lo largo de la misma.

Una vez escogido el canto de la celosía, se ha procedido al modelado y al análisis estructural de distintas alternativas para la configuración de las barras con el fin de obtener la solución más optimizada y eficiente. Las alternativas estudiadas se presentan a continuación:

- Alternativa 1



- Alternativa 2



- Alternativa 3

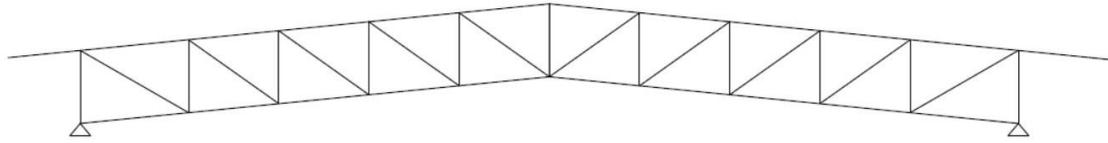


Figura 10. Distintas configuraciones consideradas en el cálculo de la estructura

Como se puede observar en la Figura 10, todas las soluciones estudiadas tienen una configuración de barras tipo Pratt, pero difieren en pequeños detalles como el tamaño de los montantes y la orientación de estos.

La primera alternativa es la que proporciona el módulo Generador de Pórticos de la suite de programas de CYPE. En ella, el montante central mide 3.38 metros, pero debido al tramo horizontal que hay justo debajo de este, el resto de los montantes del pórtico tienen un tamaño menor de 3.09 metros, que está por debajo del mínimo calculado anteriormente de 3.38 metros. Esta solución fue desechada, ya que no cumplía con el requisito de canto mínimo.

Las alternativas 2 y 3 se han obtenido eliminando la sección horizontal bajo el montante central con el fin de obtener el mismo canto a lo largo de toda la celosía. Estas dos alternativas difieren únicamente en la orientación de los montantes, ya que mientras que en la segunda se encuentran perpendiculares a los cordones superior e inferior, en la tercera se encuentran situados verticalmente.

Tras el cálculo estructural de ambas soluciones, se ha observado que no existen apenas diferencias en cuanto a los perfiles requeridos en ambos casos. Sin embargo, la alternativa 2 no es compatible con la implementación de un sistema de bastidores y tornapuntas (explicado en siguientes apartados), por lo que finalmente la tercera alternativa ha sido la adoptada en el presente proyecto.

En la Figura 11 se muestra la solución final adoptada para el pórtico interior de la estructura

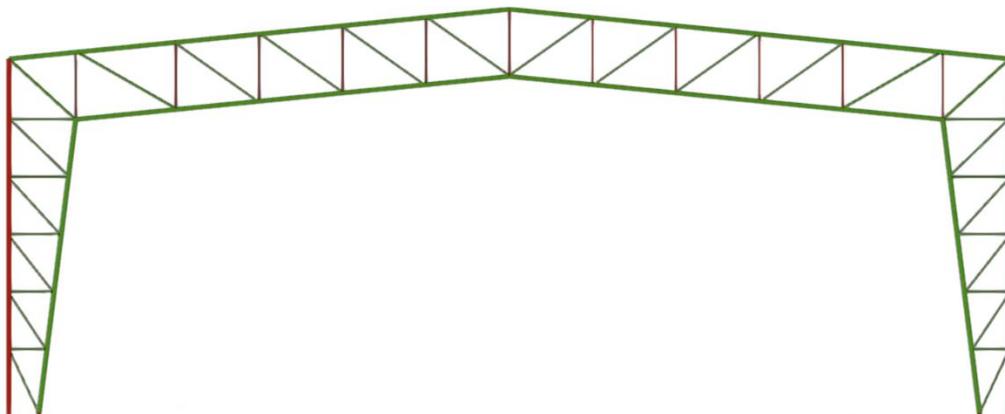


Figura 11. Pórtico interior de la estructura

4.2 JUSTIFICACIÓN DE LA SOLUCIÓN ADOPTADA

La estructura se ha resuelto a base de pórticos planos con viga de cubierta en celosía de cordones paralelos con una inclinación de un 10%. La estructura cuenta con un total de 16 pórticos separados por una distancia de 7 metros entre sí. La altura de los pilares es de 18 metros, lo que supone una altura de cumbrera de 20.5 metros

Se han empleado mayoritariamente perfiles tubulares huecos de sección cuadrada, excepto en los pilares de fachada, donde se han empleado perfiles huecos de sección rectangular y en los elementos de arriostramiento, donde se han empleado perfiles redondos macizos. La razón por la que se han empleado perfiles rectangulares en los pilares de fachada es para soportar mejor la acción del viento frontal. Esto se consigue disponiendo el lado largo del perfil perpendicular al plano de fachada, para aprovechar mejor el eje de mayor inercia.

Como elementos de arriostramiento, se han dispuesto cruces de San Andrés en los pórticos de fachada y laterales, y un sistema de viga contraviento en la cubierta situado entre el pórtico de fachada y el primer pórtico interior, el cual garantiza la rigidez de la estructura ante la acción del viento frontal.

Debido a la gran altura de los pilares previamente mencionada (18 metros), se ha dispuesto en los pilares compuestos de los pórticos interiores un sistema de viga "durmiente". Se trata de una viga en celosía horizontal con diagonales dobles que sirve para fijar los puntos de los cordones a una altura intermedia, consiguiendo así reducir la longitud de pandeo de dichos cordones en el plano perpendicular al pórtico. Se han dispuesto un total de dos vigas "durmientes": la primera a una altura de aproximadamente 6 metros y la segunda a una altura aproximada de 12 metros. La disposición de la viga durmiente se puede observar en la Figura 12

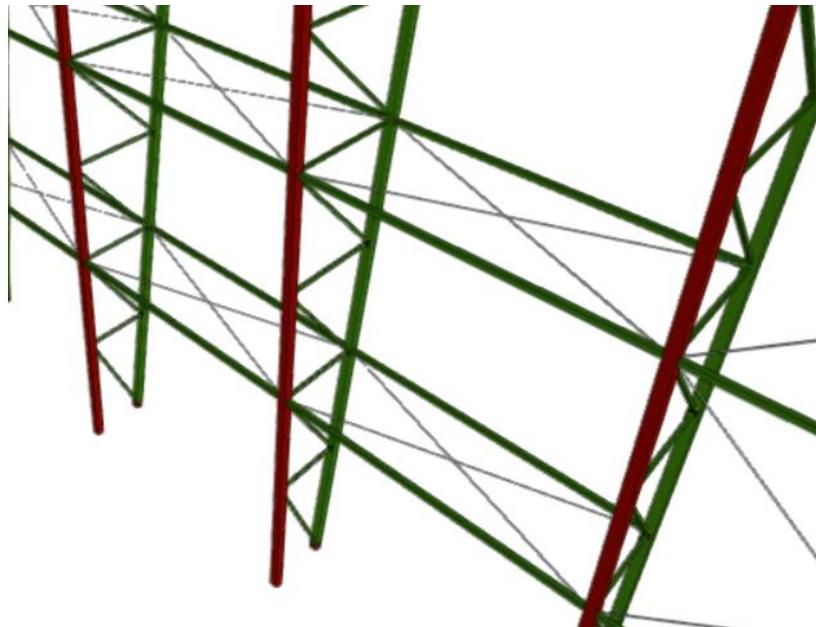


Figura 12. Representación 3D de la viga "durmiente"

Tanto en las fachadas laterales como en los pórticos de fachada se ha optado por disponer tres tramos de cruces de San Andrés en vertical en lugar de dos como es habitual. Se ha optado por esta solución ya que, debido a la gran altura del edificio, si se hubiesen dispuesto únicamente dos cruces de San Andrés en vertical, las diagonales de la cruz inferior tendrían una longitud

excesiva (14.35 metros). La disposición de las cruces de San Andrés en la fachada lateral se puede observar en la Figura 13.

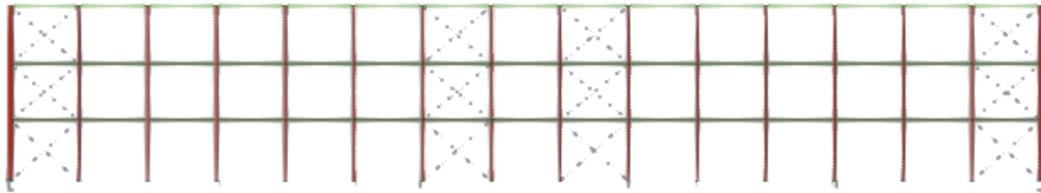


Figura 13. Fachada lateral de la estructura.

Debido a las grandes dimensiones de la nave, habría que tener en cuenta los efectos térmicos de dilatación y compresión en el diseño de esta. Sin embargo, se ha introducido una junta de dilatación en la zona central de la nave para conseguir que no existan elementos continuos de una longitud mayor de 40 metros, aproximadamente, y se han duplicado los elementos de arriostramiento mencionados anteriormente en las fachadas laterales y en cubierta. Debido a esto no ha sido necesario tener en cuenta los efectos de dilatación y compresión en el cálculo estructural de la nave.

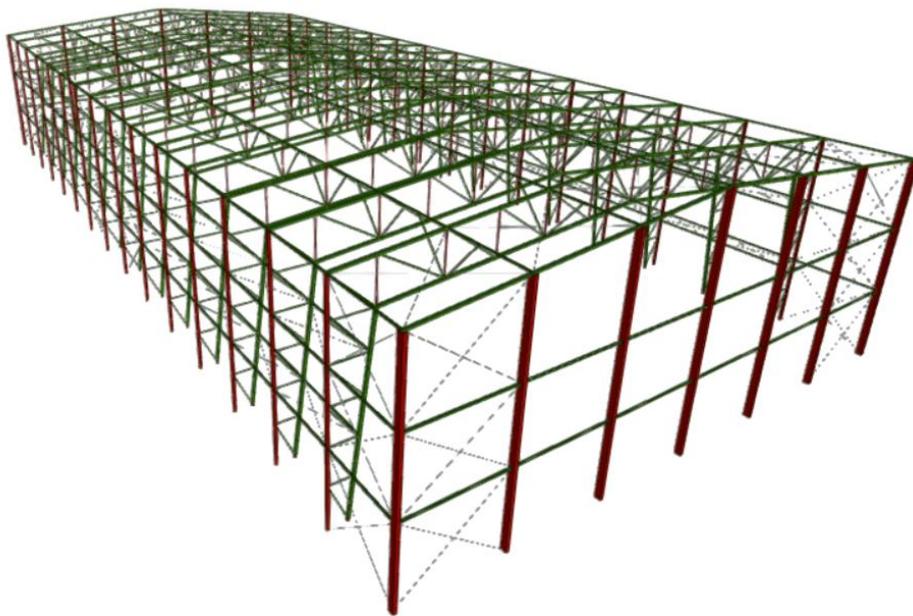


Figura 14. Representación 3D de la estructura del proyecto

Finalmente, se ha implementado un sistema de bastidores y tornapuntas con el fin de arriostrar los cordones de la celosía en el plano perpendicular al pórtico de fachada. El cordón inferior, por ejemplo, trabaja mayoritariamente a tracción, pero bajo determinados estados de carga, como por ejemplo un estado de succión de viento, puede llegar a trabajar a compresión. Debido a que este elemento no se encuentra arriostrado, en caso de trabajar a compresión es muy probable que se produzca pandeo. Al implementar el sistema de bastidores y tornapuntas, el cordón inferior queda arriostrado y su longitud de pandeo en el plano perpendicular al pórtico pasa a ser la distancia entre bastidores. En el presente proyecto, dicha distancia es de 8.38 metros.

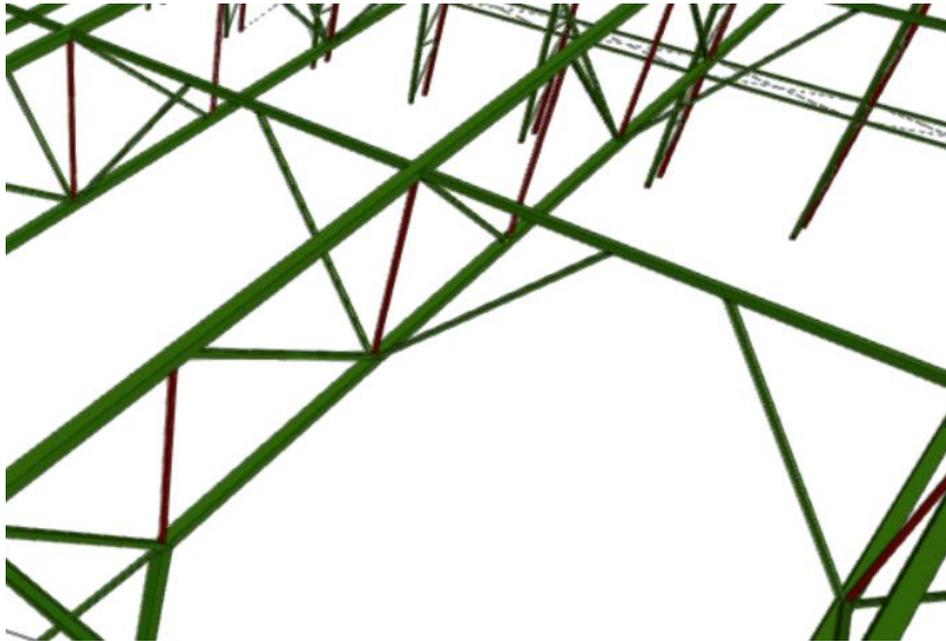


Figura 15. Representación 3D del sistema de bastidores y tornapuntas

4.4 ESTRUCTURA DE ACERO

Como se ha comentado anteriormente, la estructura se ha resuelto con distintos tipos de perfiles según el tipo de esfuerzos a los que está sometida cada barra en cuestión. A continuación, se va a realizar un breve resumen de cada tipo de perfil.

En primer lugar, se ha optado por perfiles huecos de sección cuadrada para todas las barras de las celosías que componen los pilares y las vigas en celosía, la jácena de los pórticos de fachada, los bastidores y tornapuntas y los montantes del sistema de arriostramiento de los laterales, la cubierta y el pórtico de fachada. El motivo por el que se ha empleado este tipo de perfil es que suponen un ahorro de peso considerable con respecto a los perfiles IPE convencionales, ya que requieren una menor sección, y presentan un buen comportamiento frente a esfuerzos axiales.

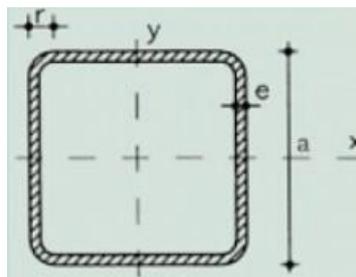


Figura 16. Perfiles huecos cuadrados (Fuente: <https://ingemecanica.com/>)

En los pilares de los pórticos de fachada se han empleado perfiles de sección rectangulares huecos. Estos pilares están especialmente exigidos en el plano perpendicular a la fachada debido a la fuerte acción del viento. Es por esto que para estas barras se han escogido perfiles rectangulares en vez de cuadrados, ya que se puede aprovechar la mayor inercia del perfil respecto a su eje fuerte.

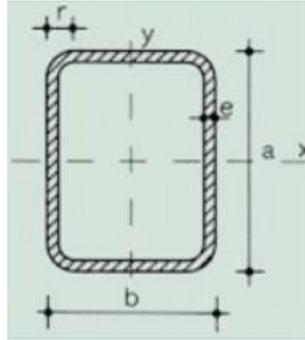


Figura 17. Perfiles huecos rectangulares (Fuente: <https://ingemecanica.com/>)

Para las diagonales de los elementos de arriostramiento de los pórticos de fachada, la cubierta, las fachadas laterales y las diagonales de la viga durmiente, se han empleado perfiles redondos macizos, ya que son perfiles con un muy buen rendimiento bajo esfuerzos de tracción cuando trabajan como tirantes.

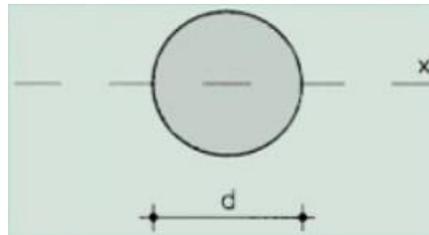


Figura 18. Perfiles redondos (Fuente: <https://ingemecanica.com/>)

Para las correas de cubierta se han empleado perfiles CF conformados en frío. Estas correas serán las encargadas de transmitir a la estructura los esfuerzos provenientes de la cubierta.

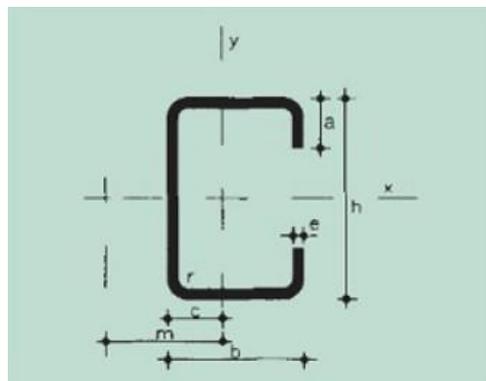


Figura 19. Perfiles conformados CF (Fuente: <https://ingemecanica.com/>)

4.5 PLACAS DE ANCLAJE

Las placas de anclaje unen la estructura metálica con la cimentación y cumplen una función estructural muy importante, ya que transmiten los esfuerzos procedentes de los pilares a la zapata. Las dimensiones y el espesor de la placa de anclaje de un pilar dependen de las cargas de este y del tipo de unión que se establezca entre el pilar y el suelo.

Las placas de anclaje están formadas por los siguientes elementos:

- Placa base: se trata de una chapa de acero cuya función es distribuir los esfuerzos sobre la zapata y materializar el arranque del pilar en el suelo. En el caso del presente proyecto, las placas de anclaje son de acero S355.
- Pernos: constituyen la unión entre la placa de anclaje y la cimentación. Tanto la longitud como el diámetro de los pernos puede variar según los esfuerzos que se transmiten desde el pilar a la cimentación. En este caso, se ha optado por disponer los pernos en forma de patilla a 90 grados, puesto que se consigue disminuir considerablemente la longitud de estos.
- Cartelas de rigidez: son capaces de aumentar la rigidez de la placa de anclaje frente a la flexión respecto de un eje determinado.

Tras el cálculo de la estructura, se han modelado dos tipos distintos de placa de anclaje. Las características y dimensiones de estas se detallan a continuación:

- Tipo 1: 550x750x30 mm, 12 pernos de 32 mm de diámetro cada uno y una longitud de 65 cm y 2 cartelas de rigidez. Se trata de la placa de anclaje de los pilares del pórtico de fachada. Se puede observar la placa de anclaje en la Figura 20.
- Tipo 2: 500x500x25 mm, 8 pernos de 20 mm de diámetro cada uno y una longitud de 45 cm y cuatro cartelas de rigidez. Se trata de la placa de anclaje de los pilares de los pórticos interiores. Se puede observar la placa de anclaje en la Figura 20.

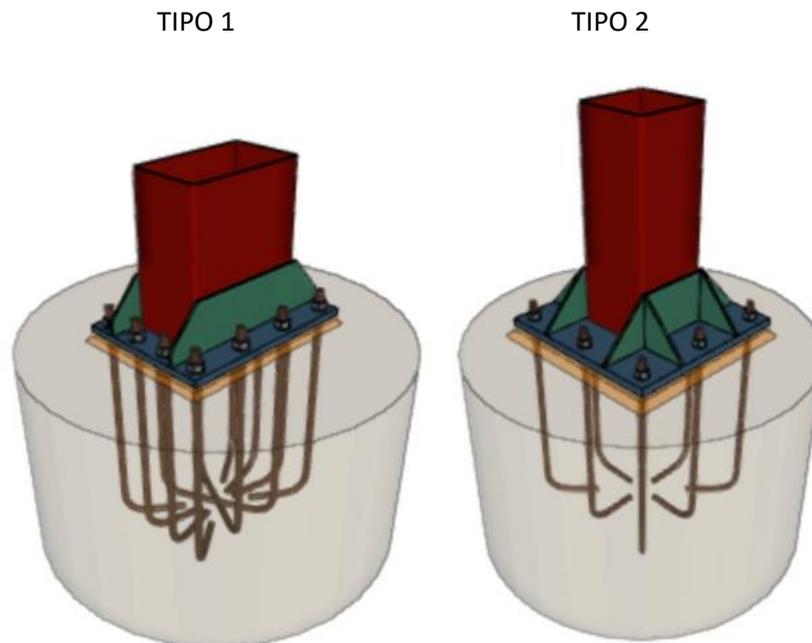


Figura 20. Placas de anclaje empleadas en la estructura

4.6 CIMENTACIÓN

El hormigón de la cimentación es el encargado de transmitir la carga procedente de la estructura al terreno. En el caso del presente proyecto, se ha optado por zapatas de hormigón armado aisladas y unidas entre sí mediante vigas de atado.

Previamente al vertido del hormigón estructural, se vierte una capa de unos 10 cm de hormigón de limpieza que tiene como función ayudar a el fraguado del hormigón estructural y evitar su contaminación. Los hormigones empleados en la estructura han sido HA-25/B/20/XC2 en el caso del hormigón estructural y HL-150/B/20 en el caso del hormigón de limpieza. Las características de ambos serán expuestas en siguientes apartados.

En la cimentación de la estructura se han empleado tres tipos distintos de zapatas. La disposición de cada uno de los distintos tipos de se puede observar en la Figura 21, y tanto sus características como sus dimensiones se detallan a continuación:

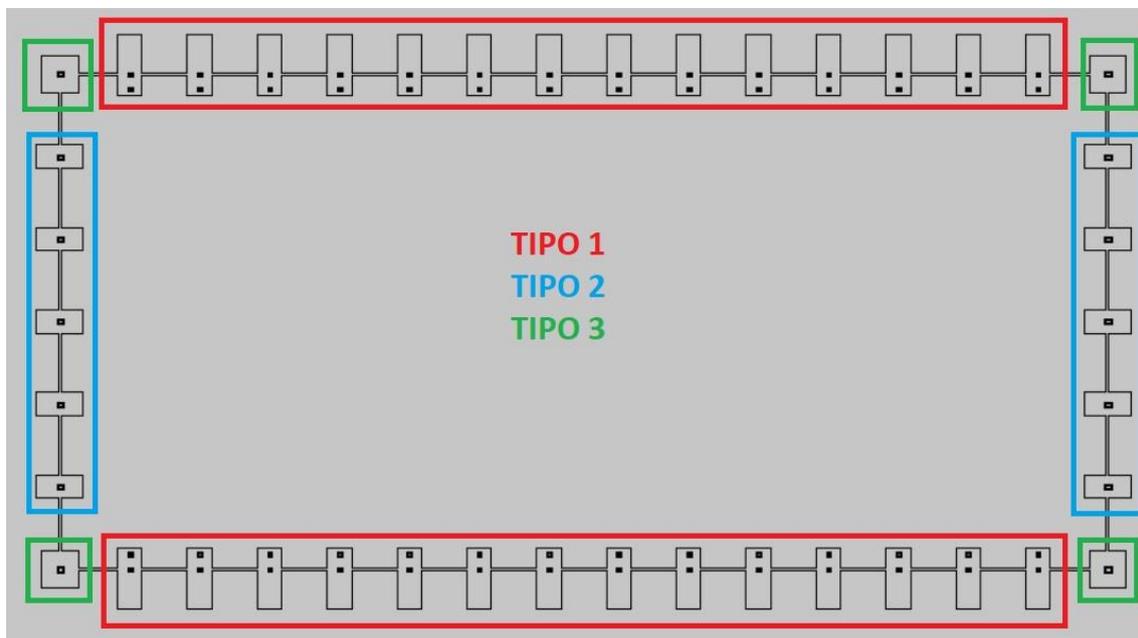


Figura 21. Disposición de las distintas zapatas empleadas

- Tipo 1: se trata de las zapatas de los pilares de los pórticos interiores. Tienen una forma rectangular excéntrica, las cuales se han hecho crecer en la dirección de mayor momento. Cabe destacar que estas zapatas tienen dos arranques de pilar, ya que a ellas concurren tanto el cordón exterior como interior de los pilares compuestos. Sus dimensiones son 270x500x100 cm.

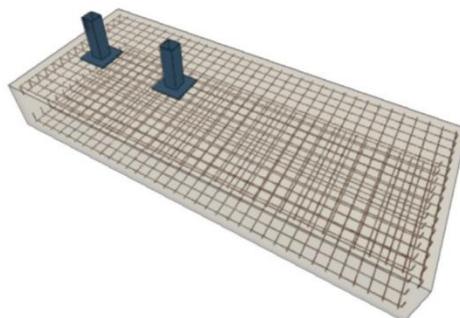


Figura 22. Zapata rectangular excéntrica

- Tipo 2: se trata de las zapatas de los pilares interiores de los pórticos de fachada, las cuales se han diseñado como rectangulares centradas y con la dimensión larga dispuesta en la dirección de mayor momento, que en este caso es en dirección perpendicular al plano de fachada. Sus dimensiones son 250x460x100 cm.

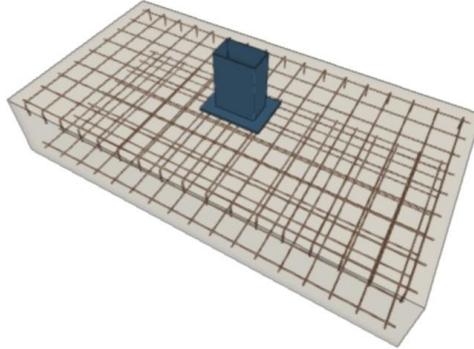


Figura 23. Zapata rectangular centrada

- Tipo 3: se trata de las zapatas de los pilares de esquina de los pórticos de fachada, las cuales tienen forma cuadrada. Sus dimensiones son 330x330x100 cm.

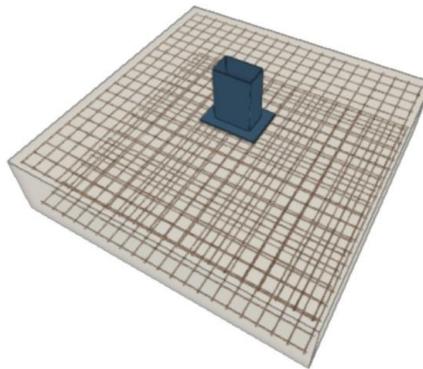


Figura 24. Zapata cuadrada centrada

Para poder unir las zapatas aisladas entre sí, y dotar al conjunto de la cimentación de una mayor estabilidad, también se han introducido vigas de atado de dimensiones 40x40 cm.

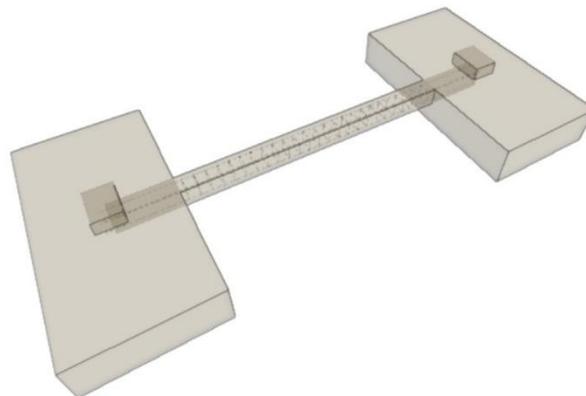


Figura 25. Viga de atado

5. NORMATIVA DE APLICACIÓN

Para el presente Trabajo Final de Grado, se ha aplicado la normativa del Código Técnico de la Edificación (CTE) [1] aprobado por el Real Decreto 314/2006 el 17 de marzo de 2006. En concreto, se han aplicado los siguientes documentos básicos

- DB-SE: Documento Básico Seguridad Estructural
- DB-SE-A: Documento Básico Seguridad Estructural Acero
- DB-SE-AE: Documento Básico Seguridad Estructural Acciones en la edificación
- DB-SE-C: Documento Básico Seguridad Estructural Cimientos

En relación con la aptitud y seguridad al servicio del hormigón, se ha aplicado el Código estructural (CE), aprobado por el Real Decreto 470/2021 el 29 de junio de 2021.

También se ha aplicado la Normativa sobre Instalaciones Deportivas y para el Esparcimiento (NIDE) 2: Normas de Proyectos Campos Grandes y Atletismo, Atletismo en Pista Cubierta [2], con el fin de conocer las dimensiones reglamentarias de la pista de atletismo cubierta y los espacios necesarios en este tipo de instalaciones.

6. RESUMEN DEL PRESUPUESTO

Resumen de capítulos y subcapítulos	Importe (€)
1. Acondicionamiento del terreno	
1.1 Desbroce y limpieza	5.145,00
1.2 Excavación de tierra	3.007,43
1.3 Transporte de tierra	2.173,29
Total capítulo 1	10.325,72
2. Cimentación	
2.1 Hormigón de limpieza	4.462,32
2.2 Zapatas de cimentación	86.895,89
2.3 Viga de atado	5.631,89
Total capítulo 2	96.990,10
3. Estructura	
3.1 Acero en barras	521.247,46
3.2 Acero en cruces de San Andrés	16.703,13
3.3 Acero en placas de anclaje	18.592,84
3.4 Acero en correas	109.806,77
Total capítulo 3	666.350,20
4. Cubierta	
4.1 Panel sándwich	196.868,88
4.2 Lunas de vidrio	283.070,00
Total capítulo 4	479.938,88
5. Fachada	
5.1 Paneles de fachada	115.112,80
5.2 Lucernarios	11.655,00
Total capítulo 5	126.767,80
6. Solado	
6.1 Solera de hormigón	84.945,00
6.2 Pavimento deportivo	163.240,00
Total capítulo 6	248.185,00
Presupuesto de Ejecución Material (P.E.M)	1.628.557,70
13% de gastos generales	211.712,50
6% de beneficio industrial	97.713,46
Presupuesto de Ejecución por Contrata (P.E.C)	1.937.983,66
21 % I.V.A	406.976,57
Presupuesto Base de Licitación (P.B.L)	2.344.960,23

El presupuesto base de licitación del proyecto asciende a la cantidad de **DOS MILLONES TRESCIENTOS CUARENTA Y CUATRO MIL NOVECIENTOS SESENTA EUROS CON VEINTITRES CÉNTIMOS.**

7. BIBLIOGRAFÍA

[1] Código Técnico de la Edificación (CTE). Real Decreto 314/2006, aprobado el 17 de marzo de 2006.

- DB-SE: Documento Básico Seguridad Estructural
- DB-SE-A: Documento Básico Seguridad Estructural Acero
- DB-SE-AE: Documento Básico Seguridad Estructural Acciones en la edificación
- DB-SE-C: Documento Básico Seguridad Estructural Cimientos

[2] Normativa sobre Instalaciones Deportivas y para el Esparcimiento (NIDE) 2: Normas de Proyectos Campos grandes y Atletismo (2006).

[3] Sede electrónica del catastro (<https://www.sedecatastro.gob.es/>).

[4] Código estructural (CE). Real Decreto 470/2021, aprobado el 29 de junio de 2021.

[5] Memoria de cálculo de CYPE 3D.

[6] Guardiola Vllora, Arianna. *Diseño y predimensionado de una celosía de cordones paralelos* (ETSII) (2013).

[7] Iglesias, G., Alonso, A., Chica, J. Instituto para la Construcción Tubular (ICT). *Guía de diseño para estructuras en celosía resueltas con perfiles tubulares de acero* (2007).

[8] Norma UNE-EN 10210-1: Perfiles huecos para construcción, acabados en caliente, de acero no aleado y de grano fino. Parte 1: Condiciones técnicas de suministro. (2007).

[9] Norma UNE-EN 10210-2: Perfiles huecos de acero acabados en caliente para construcción. Parte 2: Tolerancias, dimensiones y características del perfil. (2020).

[10] Plan General de Ordenación Urbana de Valencia (P.G.O.U.). (1988)

II. ANEXO DE CÁLCULO ESTRUCTURAL

1. ANALISIS ESTRUCTURAL

1.1 MÉTODO DE CÁLCULO

En la memoria de cálculo de CYPE 3D [5], se indica que se harán las siguientes consideraciones en el dimensionado de la estructura y de sus elementos.

El programa considera un comportamiento elástico y lineal de los materiales. Las barras definidas son elementos lineales, y las cargas aplicadas sobre ellas se pueden establecer en cualquier dirección.

En los nudos se pueden colocar cargas puntuales en cualquier dirección, son genéricos, y se vinculan interiormente en forma de empotramiento o articulación.

Los estados límite y combinaciones para cada material y estado son las siguientes:

- E.L.U. rotura. Hormigón en cimentaciones
- E.L.U. rotura. Acero (Laminado, conformado y armado)
- Tensiones sobre el terreno (Acciones características)
- Desplazamientos (Acciones características)

Para cada estado se generan todas las combinaciones según la norma de aplicación, el material y la categoría de uso.

A partir de la geometría y cargas introducidas se puede obtener la matriz de desplazamientos de los nudos de la estructura, invirtiendo la matriz de rigidez de la estructura.

1.2 SOFTWARE EMPLEADO

El software empleado para el diseño y el cálculo de la estructura del presente trabajo final de grado ha sido CYPE Ingenieros, S.A (2022), concretamente su versión campus. El software CYPE tiene muchos módulos en los que poder trabajar, pero únicamente se ha hecho uso de tres de ellos: el Generador de Pórticos, CYPE 3D y Arquímedes.

El Generador de Pórticos se ha empleado con el fin de obtener las acciones que actúan sobre los pórticos de la estructura, e introducir las dimensiones de estos. En este módulo también se han dimensionado las correas de cubierta.

El pórtico obtenido en el módulo anterior se ha exportado a CYPE 3D, donde se ha definido la estructura completa y se ha llevado a cabo el cálculo y dimensionando de la estructura.

También se ha empleado el software Arquímedes para la elaboración del presupuesto del presente proyecto.

Por último, se ha empleado el software AUTOCAD para la elaboración de los planos de la estructura, así como para elaborar algún detalle representativo de la estructura.

2. MATERIALES

2.1 ACERO

En el presente proyecto se han empleado dos tipos de acero distintos para los distintos elementos que conforman la edificación. En primer lugar, se ha empleado un acero laminado en caliente S355 para todos los perfiles de la estructura, tanto cuadrados huecos como rectangulares, y la placa de anclaje. En iteraciones previas del modelado de la estructura se había

optado por un acero S275, pero se decidió cambiar al S355 con el fin de reducir la dimensión de los perfiles requeridos.

En el caso de las correas de cubierta, se ha empleado un acero conformado S235. En la Tabla 1 se pueden observar tanto las propiedades genéricas del acero, como las propiedades específicas de cada uno de los aceros empleados.

Propiedades del acero	
Módulo de Young E (MPa)	210000
Coefficiente de Poisson	0,3
Densidad (Kg/m ³)	7850
Módulo de rigidez G (MPa)	81000
Coefficiente de dilatación α_t (m/m°C)	$1,2 \cdot 10^{-5}$
Límite elástico del acero S355 (MPa)	355
Límite elástico del acero S235 (MPa)	235

Tabla 1. Propiedades genéricas del acero

Para los armados de las zapatas que conforman la cimentación y los pernos de la placa de anclaje se ha empleado un acero corrugado conformado B 500 S. Las propiedades de dicho acero se pueden encontrar en la Tabla 2.

Propiedades del acero B 500 S	
Módulo de Young E (MPa)	200000
Límite elástico (MPa)	500
Tensión de rotura f_s (MPa)	550
Alargamiento de rotura A_s (%)	12

Tabla 2. Propiedades del acero B 500 S

2.2 HORMIGÓN

El hormigón armado que conforma la cimentación de la estructura ha sido escogido según la tabla 43.2.1.b del CE [4]. En ella, se puede determinar la resistencia necesaria según el tipo de hormigón y el ambiente al que se verá expuesto. Como en el caso de este proyecto nos encontramos con un ambiente normal de alta humedad (designación XC2), se escoge un hormigón armado HA-25/B/20/XC2.

En la estructura también se ha empleado un hormigón de limpieza. Se trata de una capa fina (10 cm en este caso) que ayuda en el fraguado del hormigón estructural. Este tipo de hormigón no tiene exigencias en cuanto a resistencia, puesto que no tiene una función estructural. En el caso del presente proyecto se ha empleado un hormigón de limpieza HL-150/B/20. Las características de ambos hormigones se pueden encontrar en la Tabla 4.

Parámetro de dosificación	Tipo de hormigón	Clase de exposición																				
		X0	XC1	XC2	XC3	XC4	XS1	XS2	XS3	XD1	XD2	XD3	XF1	XF2	XF3	XF4	XA1	XA2	XA3	XM1	XM2	XM3
Resistencia característica (N/mm ²).	Masa	20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	30	30	30	30	30	35	30	30	30
	Armado	25	25	25	30	30	30	30	35	30	30	30	30	30	30	30	30	30	35	30	30	30
	Pretensado	25	25	25	30	30	30	35	35	35	35	35	35	30	30	30	30	30	35	35	30	30

Tabla 3. Resistencias mínimas recomendadas en función de los requisitos de durabilidad (Fuente: Tabla 43.2.1.b del CE)

	HA-25/B/20/IIa	HL-150/B/20
Resistencia a compresión f_{ck} (N/mm²)	25	-
Contenido mínimo de cemento (kg/m³)	-	150
Consistencia	Blanda	Blanda
Tamaño de árido (mm)	20	20

Tabla 4. Características del hormigón armado HA-25/B/20/IIa y del hormigón de limpieza HL-150/B/20

3. ACCIONES

Las acciones que actúan sobre la estructura propuesta se han definido a partir de los documentos CTE DB-SE y CTE DB-SE-AE. En el CTE DB-SE-AE quedan definidas los tres tipos de acciones a tener en cuenta en el cálculo de una estructura: acciones permanentes (G), acciones variables (Q) y las acciones accidentales (A)

El estudio de las acciones accidentales, como el sismo o el incendio, no se ha llevado a cabo durante el diseño de esta estructura puesto que queda fuera del alcance del presente trabajo.

3.1 ACCIONES PERMANENTES

En el artículo 3.3.2.1 del CTE DB-SE, las acciones permanentes quedan definidas de la siguiente forma:

“Son aquellas que actúan en todo instante sobre el edificio con posición constante. Su magnitud puede ser constante (como el peso propio de los elementos constructivos o las acciones y empujes del terreno) o no (como las acciones reológicas o el pretensado), pero con variación despreciable o tendiendo monótonamente hasta un valor límite.”

3.1.1 PESO PROPIO

En el diseño del pabellón de atletismo del presente proyecto, únicamente se han tenido en cuenta como acciones permanentes el peso propio de la propia estructura y de los elementos constructivos.

Como se ha mencionado anteriormente, el cerramiento de cubierta está compuesto por paneles tipo sándwich, mientras que el cerramiento de las fachadas laterales está compuesto por paneles prefabricados de hormigón pretensado. El peso propio de los cerramientos se ha estimado en 0,15 kN/m².

En el caso de las correas, también es necesario tener en cuenta su peso propio. Para la estructura del presente proyecto se han dimensionado 28 correas en cubierta con perfiles CF-275x3.0, las cuales tienen un peso superficial de 0,06 kN/m². Para el resto de los elementos estructurales el programa de cálculo CYPE 3D calculará automáticamente su peso propio a partir de las dimensiones de los perfiles elegidos.

3.2 ACCIONES VARIABLES

En el artículo 3.3.2.1 del CTE DB-SE, las acciones variables quedan definidas de la siguiente forma:

“Son aquellas que pueden actuar o no sobre el edificio, como las debidas al uso o las acciones climáticas.”

3.2.1 SOBRECARGA DE USO

En el artículo 3.1 del CTE BD-SE-AE, se indica que la sobrecarga de uso es el peso de todo lo que puede descansar o apoyarse sobre el edificio por razón de su uso.

Diseño y cálculo de la estructura portante de un pabellón de atletismo cubierto de 5250 m² de superficie situado en Valencia

En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se muestran todos los posibles valores característicos de la sobrecarga de uso. Para el caso de la cubierta del pabellón de atletismo, la categoría de uso sería G, ya que se trata de una cubierta únicamente accesible para mantenimiento. Al tratarse también de una cubierta ligera sobre correas y sin forjado, se puede determinar que el valor de la sobrecarga de uso a considerar es de 0.4 kN/m². Cabe destacar que esta carga se considera como uniformemente distribuida sobre la estructura.

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

Tabla 5. Valores característicos de la sobrecarga de uso (Fuente: Tabla 3.1 CTE DB-SE-AE)

3.2.2 VIENTO

La acción del viento no queda definida únicamente por las características de este, sino que también depende de la forma y dimensiones del edificio en cuestión. La carga de viento se calcula según el apartado 3.3.2 del CTE DB-SE-AE por la siguiente expresión:

$$q_e = q_b \cdot C_e \cdot C_p \quad (1)$$

donde:

q_b : es la presión dinámica del viento. Es un parámetro que depende de la localización geográfica del edificio, aunque se puede aproximar un valor de 0,5 kN/m² para cualquier zona eólica del territorio español. La Figura 26 muestra cómo se distribuyen dichas zonas eólicas sobre el mapa de España. Como Valencia, ciudad en la que se ubicará el edificio, pertenece a la zona A, el valor de la presión dinámica del viento será de 0,42 kN/m².

Diseño y cálculo de la estructura portante de un pabellón de atletismo cubierto de 5250 m² de superficie situado en Valencia

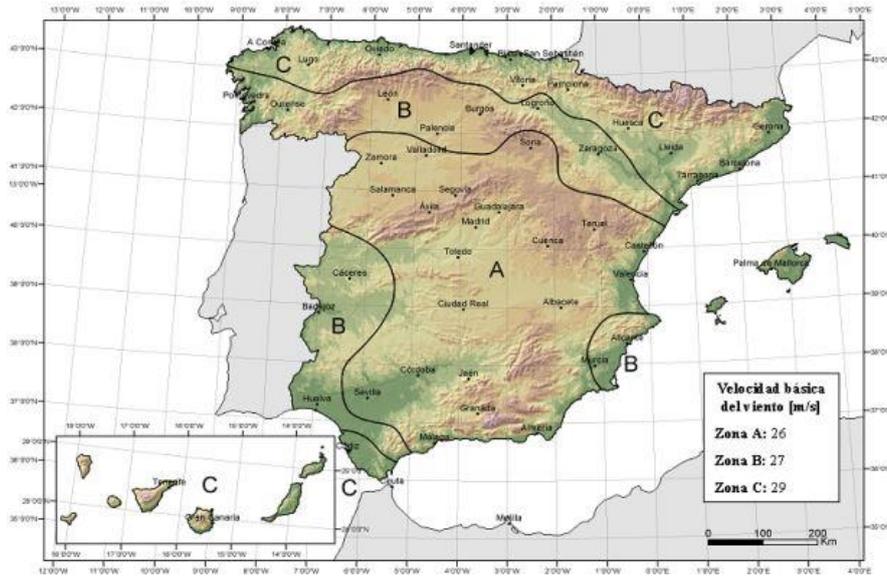


Figura 26. Distribución de las zonas eólicas (Fuente: Anejo D.1 CTE DB-SE-AE)

c_e : es el coeficiente de exposición. Es un parámetro que varía según el grado de aspereza que rodea a la edificación, ya que no es lo mismo que esta se encuentre en el centro de una gran ciudad a que se encuentre en una zona rural. La altura del edificio también es importante, puesto que a mayor altura mayor es la exposición al viento.

Para el caso de este proyecto, el edificio se encuentra en un entorno urbano, pero sin edificios con una altura significativa a su alrededor, por lo que se trata de un grado de aspereza IV. Conociendo también que la altura de los pilares es de 20.5 metros, podemos determinar según la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** que el coeficiente de exposición es de 2,3.

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

Tabla 6. Valores del coeficiente de exposición c_e (Fuente: Tabla 3.4 CTE DB-SE-AE)

c_p : es el coeficiente eólico o de presión. Como se recoge en el anejo D.3 del CTE DB-SE-AE:

“Los coeficientes de presión exterior o eólico, c_p , dependen de la dirección relativa del viento, de la forma del edificio, de la posición de elemento considerado y de su área de influencia.”

Dichos coeficientes se encuentran en la tabla D.3 (Parámetros verticales) y en la tabla D.6 (Cubiertas a dos aguas). Ambas se encuentran en el anejo D.3 del CTE DB-SE-AE.

Los casos de vientos considerados en el programa de cálculo CYPE han sido los siguientes.

- V (0°) H1: Viento a 0°, presión exterior tipo 1 sin acción en el interior.

Diseño y cálculo de la estructura portante de un pabellón de atletismo cubierto de 5250 m² de superficie situado en Valencia

- V (0°) H2: Viento a 0°, presión exterior tipo 2 sin acción en el interior.
- V (90°) H1: Viento a 90°, presión exterior tipo 1 sin acción en el interior.
- V (180°) H1: Viento a 180°, presión exterior tipo 1 sin acción en el interior.
- V (180°) H2: Viento a 180°, presión exterior tipo 2 sin acción en el interior.
- V (270°) H1: Viento a 270°, presión exterior tipo 1 sin acción en el interior.

3.2.3 NIEVE

Según el artículo 3.5 del CTE DB-SE-AE:

“La distribución y la intensidad de la carga de nieve sobre un edificio, o en particular sobre una cubierta, depende del clima del lugar, del tipo de precipitación, del relieve del entorno, de la forma del edificio o de la cubierta, de los efectos del viento, y de los intercambios térmicos en los paramentos exteriores.”

La expresión de carga de nieve por unidad de superficie es la siguiente:

$$q_n = \mu \cdot s_k \quad (2)$$

Donde:

- μ : es el coeficiente de forma de la cubierta.
- s_k : el valor característico de la carga de nieve sobre un terreno horizontal

Como en la cubierta del edificio no hay ningún tipo de impedimento al deslizamiento de la nieve, y la inclinación de esta es menor de 30°, se puede determinar que el coeficiente de forma es 1.

En cuanto al valor de la carga de nieve, depende tanto de la altitud topográfica a la que se encuentre el edificio como a la zona climática en la que se ubique. Para el caso de este proyecto, el edificio se encuentra en la ciudad de Valencia, que se sitúa a una altura de 14 metros sobre el nivel del mar y en la zona climática 5, como se observa en la Figura 27. Comparando estos datos con los de la tabla E.2 del CTE DB-SE-AE, es posible determinar por tanto que el valor de la carga de nieve es de 0,2 kN/m².



Figura 27. Zonas climáticas de invierno (Fuente: Anejo E CTE DB-SE-AE)

Los casos de nieve considerados en el programa de cálculo CYPE han sido los siguientes:

- N (EI): Nieve (estado inicial): con distribución simétrica de la nieve en cubierta.
- N (R) 1: Nieve (redistribución) 1: reparto asimétrico de la nieve en cubierta.
- N (R) 2: Nieve (redistribución) 2: reparto asimétrico de la nieve en cubierta.

3.3 BASES DE CÁLCULO

Cualquier edificación debe cumplir una serie de exigencias con el fin de garantizar su seguridad estructural durante su construcción y su vida útil. Es importante que la seguridad estructural de un edificio esté garantizada, puesto que así la estructura de este podrá resistir las distintas acciones a las que esté sometido, de forma que no suponga ningún riesgo para las personas.

Dichas exigencias vienen recogidas en el documento CTE DB-SE y son las siguientes:

1. Resistencia y estabilidad: *“La resistencia y la estabilidad serán las adecuadas para que no se generen riesgos indebidos, de forma que se mantenga la resistencia y la estabilidad frente a las acciones e influencias previsibles durante las fases de construcción y usos previstos de los edificios, y que un evento extraordinario no produzca consecuencias desproporcionadas respecto a la causa original y se facilite el mantenimiento previsto.”*
2. Aptitud al servicio: *“La aptitud al servicio será conforme con el uso previsto del edificio, de forma que no se produzcan deformaciones inadmisibles, se limite a un nivel aceptable la probabilidad de un comportamiento dinámico inadmissible y no se produzcan degradaciones o anomalías inadmisibles.”*

En el artículo 3.1 del CTE DB-SE se recoge lo siguiente en referencia a los requerimientos de la comprobación estructural de un edificio:

- a) *“determinar las situaciones de dimensionado que resulten determinantes;*
- b) *establecer las acciones que deben tenerse en cuenta y los modelos adecuados para la estructura;*
- c) *realizar el análisis estructural, adoptando métodos de cálculo adecuados a cada problema;*
- d) *verificar que, para las situaciones de dimensionado correspondientes, no se sobrepasan los estados límite.*

En las verificaciones se tendrán en cuenta los efectos del paso del tiempo (acciones químicas, físicas y biológicas; acciones variables repetidas) que pueden incidir en la capacidad portante o en la aptitud al servicio, en concordancia con el periodo de servicio.

Las situaciones de dimensionado deben englobar todas las condiciones y circunstancias previsibles durante la ejecución y la utilización de la obra, teniendo en cuenta la diferente probabilidad de cada una. Para cada situación de dimensionado, se determinarán las combinaciones de acciones que deban considerarse.

Las situaciones de dimensionado se clasifican en:

- a) *persistentes, que se refieren a las condiciones normales de uso;*
- b) *transitorias, que se refieren a unas condiciones aplicables durante un tiempo limitado (no se incluyen las acciones accidentales);*
- c) *extraordinarias, que se refieren a unas condiciones excepcionales en las que se puede encontrar, o a las que puede estar expuesto el edificio (acciones accidentales). “*

3.4 ESTADOS LÍMITE

Como se recoge en el artículo 3.2 del CTE DB-SE, los estados límite son aquellos que, de ser superados, constituyen algún tipo de riesgo para las personas del interior. Según el tipo de riesgo al que se ven sometidas las personas distinguimos entre dos tipos de estados límite:

- Estado Límite Último (E.L.U.): *“Los estados límite últimos son los que, de ser superados, constituyen un riesgo para las personas, ya sea porque producen una puesta fuera de servicio del edificio o el colapso total o parcial del mismo.*

Como estados límite últimos deben considerarse los debidos a:

- i) pérdida del equilibrio del edificio, o de una parte estructuralmente independiente, considerado como un cuerpo rígido;*
- ii) fallo por deformación excesiva, transformación de la estructura o de parte de ella en un mecanismo, rotura de sus elementos estructurales (incluidos los apoyos y la cimentación) o de sus uniones, o inestabilidad de elementos estructurales incluyendo los originados por efectos dependientes del tiempo (corrosión, fatiga).”*

- Estado Límite de Servicio (E.L.S.): *“Los estados límite de servicio son los que, de ser superados, afectan al confort y al bienestar de los usuarios o de terceras personas, al correcto funcionamiento de del edificio o a la apariencia de la construcción.*

“Los estados límite de servicio pueden ser reversibles e irreversibles. La reversibilidad se refiere a las consecuencias que excedan los límites especificados como admisibles, una vez desaparecidas las acciones que las han producido.

Como estados límite de servicio deben considerarse los relativos a:

- a) las deformaciones (flechas, asientos o desplomes) que afecten a la apariencia de la obra, al confort de los usuarios, o al funcionamiento de equipos e instalaciones;*
- b) las vibraciones que causen una falta de confort de las personas, o que afecten a la funcionalidad de la obra;*
- c) los daños o el deterioro que pueden afectar desfavorablemente a la apariencia, a la durabilidad o a la funcionalidad de la obra.”*

3.5 COMBINACIONES DE ACCIONES

Las combinaciones de acciones son un conjunto de acciones consideradas actuando de forma simultánea para una determinada situación de dimensionado. Los valores de las acciones empleados en dichas combinaciones son los valores de cálculo, los cuales se obtienen multiplicando los valores característicos de las acciones por el respectivo coeficiente de seguridad. Las combinaciones de acciones recogidas en el documento CTE DB-SE son las siguientes:

- Estado Límite Último – Capacidad portante:
La combinación de acciones a tener en cuenta, en una situación persistente o transitoria, viene dada por la siguiente expresión:

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i \geq 2} \gamma_{Q,i} \cdot \Psi_{0,i} \cdot Q_{k,i} \quad (3)$$

Diseño y cálculo de la estructura portante de un pabellón de atletismo cubierto de 5250 m² de superficie situado en Valencia

“Considerando la acción simultánea de:

- i) todas las acciones permanentes, en valor de cálculo ($\gamma_G \cdot G_k$)
- ii) una acción variable cualquiera, en valor de cálculo ($\gamma_Q \cdot Q_k$), debiendo adoptarse como tal una tras otra sucesivamente en distintos análisis;
- iii) el resto de las acciones variables, en valor de cálculo de combinación ($\gamma_Q \cdot \psi_0 \cdot Q_k$).”

Los valores del coeficiente de seguridad γ se encuentran en la Tabla 7. En ella, se distingue si las acciones tienen un efecto favorable o desfavorable. Los valores del coeficiente de simultaneidad ψ se encuentran en la Tabla 8.

Tipo de verificación ⁽¹⁾	Tipo de acción	Situación persistente o transitoria	
		desfavorable	favorable
Resistencia	Permanente		
	Peso propio, peso del terreno	1,35	0,80
	Empuje del terreno	1,35	0,70
	Presión del agua	1,20	0,90
	Variable	1,50	0
Estabilidad		desestabilizadora	estabilizadora
	Permanente		
	Peso propio, peso del terreno	1,10	0,90
	Empuje del terreno	1,35	0,80
	Presión del agua	1,05	0,95
	Variable	1,50	0

Tabla 7. Coeficientes parciales de seguridad para las acciones (Fuente: CTE DB-SE)

	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

Tabla 8. Coeficientes de simultaneidad (Fuente: CTE DB-SE)

- Estado Límite de Servicio – Aptitud de servicio:
En este caso, se utilizan distintas combinaciones en función del tipo de acción a la que está sometida la estructura.

1. Acciones de corta duración con efecto irreversible:

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + Q_{k,1} + \sum_{i \geq 1} \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i} \quad (4)$$

En esta combinación, se consideran las acciones permanentes y una de las acciones variables con su valor característico. El resto de las acciones variables se consideran con su valor de combinación ($\psi_0 \cdot Q_k$).

2. Acciones de corta duración con efecto reversible:

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + \psi_{1,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i \geq 1} \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i} \quad (5)$$

En esta combinación, se consideran las acciones permanentes y una de las acciones variables con su valor frecuente. El resto de las acciones variables se consideran con su valor casi permanente ($\psi_2 \cdot Q_k$).

3. Acciones de larga duración:

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + \sum_{i \geq 1} \psi_{2,i} \cdot Q_k \quad (6)$$

En esta combinación, se consideran las acciones permanentes y todas las acciones variables con su valor casi permanente ($\psi_2 \cdot Q_k$).

4. PREDIMENSIONADO DE LA ESTRUCTURA

4.1 PREDIMENSIONADO DE LA VIGA EN CELOSÍA

Como ya se ha mencionado en la presente memoria, la viga en celosía está constituida por dos cordones paralelos a dos aguas, separados entre sí una distancia constante de 3.38 metros, y durante el predimensionado se ha asimilado a una viga biapoyada. Los montantes y diagonales están dispuestos en configuración tipo Pratt. Para el predimensionado tanto de los cordones como de los montantes y diagonales de la viga en celosía se han tomado como referencia los documentos Guía de diseño del ICT [7], y la referencia bibliográfica [6].

En primer lugar, es necesario conocer las cargas, tanto permanentes como variables, a las que está sometida la estructura.

- Carga permanente: se ha considerado 0,15 kN/m² del cerramiento y se ha aproximado el peso propio de la estructura como $\frac{L}{100} = \frac{50}{100} = 0,5$ kN/m², lo que supone un total de 0,65 kN/m².
- Carga variable: se ha considerado una carga de nieve de 0,2 kN/m² (el pabellón está situado en Valencia a una altura de 15 metros sobre el nivel de mar) y una sobrecarga de uso de 0,4 kN/m² (cubierta G1). El efecto del viento no se ha tenido en cuenta en el predimensionado de la viga en celosía.

Las combinaciones de ELU en situación persistente o transitoria consideradas han sido las siguientes:

1. $1,35 \cdot G + 1,5 \cdot Q_{uso} = 1,477$ kN/m²
2. $1,35 \cdot G + 1,5 \cdot Q_N = 1,177$ kN/m²

Las combinaciones de ELS consideradas han sido las siguientes:

1. $G + \psi_{2Q} \cdot Q + \psi_{2N} \cdot N + \psi_{2V} \cdot V = G + 0 \cdot Q + 0 \cdot N + 0 \cdot V = 0,65$ kN/m²

4.1.1 CORDONES

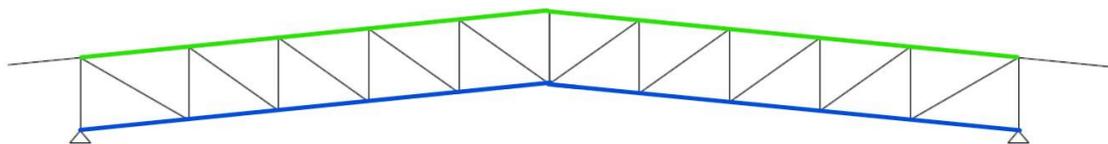


Figura 28. Representación de los cordones en la cercha

Una vez se conoce el canto de la celosía (3.38 metros, véase apartado 4.1 de la memoria del presente proyecto) y las combinaciones de acciones más desfavorables se puede proceder al predimensionado de los cordones. Como se ha comentado anteriormente, la cercha ha sido modelada como una viga biapoyada sometida a una carga gravitatoria. Dicha carga es la combinación de Estados Límite Últimos más desfavorable, cuyo valor en el presente proyecto es de 1,477 kN/m². El momento flector máximo, que se alcanza en el centro de la sección, se puede calcular mediante la siguiente expresión:

$$M_{max} = \frac{q_{ELU} \cdot L^2}{8} = \frac{1,477 \text{ kN/m}^2 \cdot 7 \text{ m} \cdot (50 \text{ m})^2}{8} = 3230,94 \text{ kNm} \quad (7)$$

Considerando que dicho momento es equivalente a un par de fuerzas sobre el cordón superior e inferior de la celosía, el máximo axil en los cordones será igual al cociente entre el momento máximo y el canto de la celosía.

$$N_{max} = \frac{M_{max}}{h} = \frac{3230,94 \text{ kNm}}{3.38 \text{ m}} = 955,9 \text{ kN} \quad (8)$$

Considerando que la sección a utilizar es de clase 1 2 o 3, la condición de resistencia según el artículo 6.2 del CT DB-SE-A es:

$$N_{max} \leq N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} \quad (9)$$

De donde se puede despejar el valor mínimo del área del perfil de los cordones de la cercha:

$$A \geq \frac{N_{max} \cdot \gamma_{M0}}{f_y} = \frac{955,9 \text{ kN} \cdot 1,05}{355 \text{ N/mm}^2} = 2827,31 \text{ mm}^2 \quad (10)$$

Debido al estado de carga al que está sometida la viga en celosía el cordón superior estará principalmente comprimido, por lo que es necesario dimensionar los cordones a pandeo. El artículo 6.3.2 del CT DB-SE-A limita la esbeltez reducida de los elementos comprimidos a un valor menor que 2. De esta forma, se puede conocer el radio de giro mínimo que debe cumplir el perfil elegido para cumplir con la condición de esbeltez reducida:

$$\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda_{lim}} = \frac{\beta \cdot L_m}{i \cdot \lambda_{lim}} \leq 2 \quad (11)$$

$$\lambda_{lim} = \sqrt{\frac{\pi^2 \cdot E}{f_y}} = \sqrt{\frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^3}{355}} = 76,41 \quad (12)$$

$$i \geq \frac{\beta \cdot L_m}{2 \cdot \lambda_{lim}} = \frac{0,9 \cdot 4187 \text{ mm}}{2 \cdot 76,41} = 24,66 \text{ mm} \quad (13)$$

Donde L_m es la longitud de montantes, que en este caso coincide con la distancia entre los pilares de fachada dividida entre 2. En la expresión anterior, se ha utilizado un valor para el coeficiente de pandeo de 0,9 tal y como se indica en la Guía de diseño del ICT [7] y en el artículo 6.3.2.4 (3) del CTE DB-SE-A [1].

Por último, se evalúa la condición de flecha, de donde se puede obtener el momento de inercia mínimo del conjunto formado por ambos cordones, y de ahí el momento de inercia mínimo que deben tener los perfiles escogidos para los cordones. Es necesario hacer esta comprobación, puesto que la viga en celosía se ha asimilado a una viga biapoyada de gran canto.

$$f_{max} = \frac{5 \cdot q_{ELS} \cdot L^4}{384 \cdot E \cdot I_y} \leq \frac{L}{300} \quad (14)$$

$$I_{conj} \geq \frac{5 \cdot 300 \cdot 0,65 \frac{N}{mm^2} \cdot 7000 \text{ mm} \cdot 50000^3 \text{ mm}}{384 \cdot 210 \cdot 10^3 \frac{N}{mm^2}} = 1,0579 \cdot 10^6 \text{ cm}^4 \quad (15)$$

Conociendo los valores mínimos tanto del área como del radio de giro es posible seleccionar un perfil adecuado para los cordones de la viga en celosía. En este caso se ha escogido un perfil de sección cuadrada hueca #140.6, el cual tiene un área de 30,90 cm², un radio de giro de 5,41cm y un momento de inercia de 905 cm⁴.

Para saber si este perfil es adecuado es necesario calcular el momento de inercia del conjunto formado por ambos cordones mediante el teorema de Steiner. Tomando el centro de gravedad del conjunto en la mitad del canto de la celosía, tal y como se indica en la Figura 29, se puede obtener el momento de inercia del conjunto mediante la siguiente expresión:

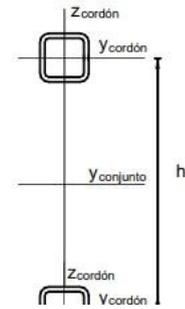


Figura 29. Centro de gravedad de ambos cordones de la celosía

$$I_{conj} = 2 \cdot \left[I_{y \text{ cordón}} + A_{\text{cordón}} \cdot \left(\frac{h}{2} \right)^2 \right]$$

$$I_{conj} = 2 \cdot \left[905 \text{ cm}^4 + 30,90 \text{ cm}^2 \cdot \left(\frac{338 \text{ cm}}{2} \right)^2 \right] = 1,7668 \cdot 10^6 \text{ cm}^4 \quad (16)$$

Como el momento de inercia del conjunto de ambos cordones para un perfil #140.6 es mayor que el requerido, se cumple la condición de flecha máxima y el predimensionado es válido para los perfiles seleccionados.

4.1.2 MONTANTES Y DIAGONALES

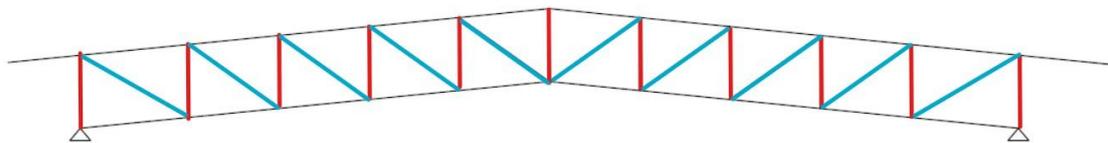


Figura 30. Representación de los montantes y diagonales en la cercha

Como se ha comentado anteriormente, los montantes (en rojo en la Figura 30) y las diagonales (en azul en la Figura 30) de la viga en celosía se disponen en configuración tipo Pratt. Para realizar su predimensionado, la carga superficial sobre la viga en celosía correspondiente a la combinación de acciones en Estado Límite Último se transforma en cargas puntuales sobre los nudos donde confluyen los montantes y las diagonales. De este modo, se puede obtener la carga puntual aplicada sobre cada uno de los montantes mediante la siguiente expresión:

$$F_i = \frac{q_{ELU} \cdot s \cdot L}{n_{nudos}} = \frac{1,477 \frac{KN}{m^2} \cdot 7 \text{ m} \cdot 50 \text{ m}}{9 + 0,5 \cdot 2} = 51,7 \text{ kN} \quad (17)$$

$$F_{ext} = \frac{F}{2} = 25,85 \text{ kN} \quad (18)$$

Siendo **F** la carga aplicada sobre los nudos internos y **F_{ext}** la carga aplicada sobre los nudos externos. En la expresión anterior, el parámetro **s** hace referencia a la separación entre pórticos, que en el caso del presente proyecto es de 7 metros. **L** hace referencia a la luz de la estructura, que en este caso es de 50 metros, y por último, **n_{nudos}** hace referencia al número de nudos en los cuales se aplica una carga puntual. Como los montantes exteriores reciben la mitad de carga que los montantes interiores, la suma de estos se multiplica por 0,5 en la expresión anterior. La reacción en cada uno de los apoyos de la viga en celosía se puede calcular como la mitad de la suma de todas las cargas puntuales mediante la siguiente expresión:

$$R = \frac{\sum F_i + \sum F_{ext}}{2} = 258,475 \text{ kN} \quad (19)$$

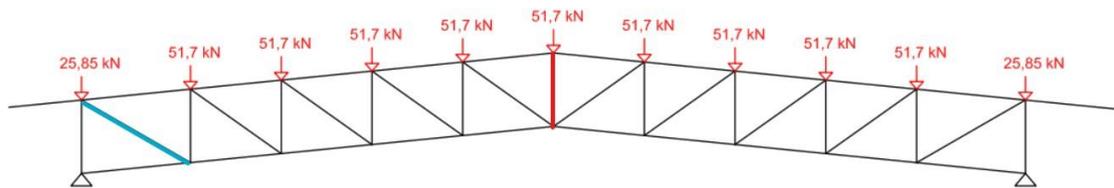


Figura 31. Cargas puntuales aplicadas sobre los nudos

Conociendo el valor de las cargas puntuales y de las reacciones sobre los apoyos, se puede obtener el valor del axil al que están sometidos el montante y la diagonal marcados en la Figura 31 empleando el método de los nudos. Se ha escogido la diagonal del extremo puesto que es la más traccionada. Mediante este método, se ha obtenido un valor de axil para el montante de 51,7 kN, que coincide con el valor de la carga **F** al tratarse del montante central, y un valor para la diagonal de 396,98 kN.

El montante se puede dimensionar mediante el criterio de resistencia. De esta forma, se obtiene la expresión que determina el área mínima del perfil:

$$A \geq \frac{N_{max} \cdot 1,05}{f_y} = \frac{51700 \text{ N} \cdot 1,05}{355 \text{ N/mm}^2} = 152,91 \text{ mm}^2 \quad (20)$$

Según el criterio de esbeltez reducida se determina el radio de giro mínimo que debe cumplir el perfil:

$$i \geq \frac{\beta \cdot L_m}{2 \cdot \lambda_{lim}} = \frac{0,75 \cdot 4187 \text{ mm}}{2 \cdot 76,41} = 20,54 \text{ mm} \quad (21)$$

Donde el valor del coeficiente de pandeo toma un valor de 0,75, según la Guía de diseño del ICT [7] y en el artículo 6.3.2.4 (3) del CTE DB-SE-A [1]. Este valor se debe a que se parte de uniones soldadas directas entre perfiles tubulares de acero, donde toda la sección va a intervenir en la entrega y recepción de los esfuerzos, por lo que, en realidad, las barras de relleno de la viga en celosía soldada, están parcialmente empotradas en los cordones.

En base a estas restricciones, se ha escogido un perfil de sección cuadrada hueco #60.4, con un área de 841 mm² y un radio de giro de 22,4mm.

En el caso de la diagonal, basta únicamente con conocer el área mínima del perfil, puesto que es un elemento que bajo el estado de cargas descrito no trabaja a compresión. El área mínima del perfil se obtiene como en el caso de los montantes mediante el criterio de resistencia

$$A \geq \frac{N_{max} \cdot 1,05}{f_y} = \frac{396980 \text{ N} \cdot 1,05}{355 \text{ N/mm}^2} = 1174,16 \text{ mm}^2 \quad (22)$$

Se selecciona un perfil de sección cuadrada hueca #70.5, con un área de 1210 mm²

4.2 PREDIMENSIONADO DEL PILAR COMPUESTO

Como se ha comentado anteriormente, el pilar compuesto tiene una altura de 18 metros, y para su predimensionado se ha supuesto como empotrado en su base y libre en su extremo, ya que se trata de la hipótesis más desfavorable (realmente la traslación se encuentra parcialmente restringida en el extremo). El pilar se encuentra sometido a una carga uniformemente distribuida proveniente de la acción del viento lateral, tal y como se observa en la Figura 32.

Como los cordones del pilar compuesto pueden trabajar sometidos a esfuerzos de compresión, es necesario limitar su esbeltez reducida a un valor de 2 tal y como se indica en el artículo 6.3.2 del CT DB-SE-A. Como en casos anteriores, el radio de giro mínimo que debe cumplir el conjunto de ambos cordones se obtiene mediante la siguiente expresión:

$$i \geq \frac{\beta \cdot L_{pilar}}{2 \cdot \lambda_{lim}} = \frac{2 \cdot 18000 \text{ mm}}{2 \cdot 76,41} = 235,57 \text{ mm} \quad (23)$$

Como en el caso de los cordones de la cercha, es necesario evaluar la condición de flecha máxima para el pilar compuesto. En este caso se evalúa el desplazamiento horizontal (desplome) en la cabeza del pilar. Dicho desplazamiento no puede superar un valor de L/500, como se recoge en el artículo 4.3.3.2 del CTE DB-SE, siendo L la altura del edificio que en este caso se puede aproximar a la altura del pilar.

$$f_{max} = \frac{q_v \cdot s \cdot h_{pilar}^4}{8 \cdot E \cdot I_{conj}} = \frac{1,108 \cdot 10^{-3} \text{ N/mm}^2 \cdot 7000 \text{ mm} \cdot 18000^4 \text{ mm}}{8 \cdot 210 \cdot 10^3 \text{ N/mm}^2 \cdot I_{conj}} \leq \frac{h_{pilar}}{500} \quad (24)$$

La única incógnita en la expresión anterior es el momento de inercia mínimo del conjunto de ambos cordones del pilar compuesto. De la expresión anterior se obtiene el valor mínimo que debe tener:

$$I_{conj} \geq \frac{q_v \cdot h_{pilar}^3 \cdot s \cdot 500}{8 \cdot E} = \frac{1,108 \cdot 10^{-3} \text{ N/mm}^2 \cdot 18000^3 \text{ mm} \cdot 7000 \text{ mm} \cdot 500}{8 \cdot 210 \cdot 10^3 \text{ N/mm}^2} \quad (25)$$

$$= 1,3460 \cdot 10^6 \text{ cm}^4$$

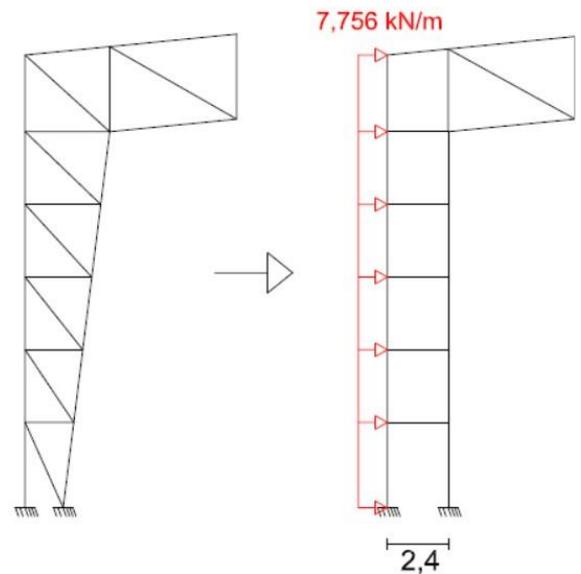


Figura 32. Representación del pilar compuesto

Conociendo el valor mínimo del radio de giro y del momento de inercia, se selecciona un perfil que resulte adecuado. En este caso se ha seleccionado un perfil de sección cuadrada hueco #160.8, con un área de 48,23 cm² y un momento de inercia de 1878,2 cm⁴. Mediante la siguiente expresión, se procede a calcular el momento de inercia del conjunto de ambos cordones del pilar compuesto para el perfil seleccionado:

$$I_{conj} = 2 \cdot \left[I_{y\ cordón} + A_{cordón} \cdot \left(\frac{d}{2} \right)^2 \right]$$
$$I_{conj} = 2 \cdot \left[1878,2 \cdot 10^4 \text{ mm}^4 + 48,23 \cdot 10^2 \text{ mm}^2 \cdot \left(\frac{2400 \text{ mm}}{2} \right)^2 \right] \quad (26)$$
$$= 1,4270 \cdot 10^6 \text{ cm}^4$$

Donde **d** es la distancia entre los centros de gravedad de ambos cordones. En este caso, como la separación no es constante, se ha optado por emplear el valor medio entre la separación en la base (1,5 metros) y la separación en la cabeza del pilar (3,3 metros). De esta forma se obtiene una separación de cordones de 2,4 metros. Por último, a partir del momento de inercia del conjunto se puede obtener el radio de giro del conjunto mediante la siguiente expresión:

$$i_{conj} = \sqrt{\frac{I_{conj}}{2 \cdot A_{cord}}} = 1216,85 \text{ mm} \quad (27)$$

Como se cumplen ambas restricciones, se considera que el perfil #160.8 es adecuado para que forme parte de los cordones del pilar compuesto. Con el fin de uniformizar los perfiles que forman parte de la estructura, se decide emplear el mismo perfil en todos los montantes y en todas las diagonales de la viga en celosía y del pilar. De este modo, se elige para los montantes un perfil #60.4 y un perfil #70.5 en las diagonales.

4.3 PREDIMENSIONADO DEL RESTO DE LOS ELEMENTOS

El predimensionado del resto de los elementos de la estructura se ha realizado teniendo en cuenta la restricción de esbeltez reducida. En el caso de elementos principales sometidos a compresión, la esbeltez reducida está limitada a valores menores que dos. Mientras que, en el caso de los elementos traccionados, la esbeltez reducida se limita a un valor menor que 3.

Para el predimensionado del resto de elementos, se va a seguir un procedimiento similar al de apartados anteriores. Es decir, se va a obtener el valor mínimo del radio de giro a partir de la expresión de la esbeltez reducida.

$$\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda_{lim}} = \frac{\beta \cdot L_m}{i \cdot \lambda_{lim}} \leq \bar{\lambda}_{max} \quad (28)$$

$$i \geq \frac{\beta \cdot L_m}{\bar{\lambda}_{max} \cdot \lambda_{lim}} \quad (29)$$

Diseño y cálculo de la estructura portante de un pabellón de atletismo cubierto de 5250 m² de superficie situado en Valencia

	Longitud (m)	$\bar{\lambda}_{max}$	i_{min} (mm)	Perfil	I (mm)
Pilares pórtico de fachada	6,3	2	41.22	#120.4	47
Jácnas pórtico de fachada	8,33	2	54.51	#140.5	54,6
Montantes pórtico de fachada	8,33	2	54.51	#140.5	54,6
Bastidores	7	2	45.80	#120.4	47
Tornapuntas	4,4	2	28.79	#80.4	30,6
Viga perimetral	7	3	22.90	#60.3	23
Digonal CSA de fachada	10,4	4	45.36	#120.4	47

5. DIMENSIONADO DE LA ESTRUCTURA

Con el fin de mantener los anexos de cálculo lo más contenidos posibles en cuanto a número de páginas se refiere, se ha optado por mostrar las comprobaciones de los elementos más significativos de cada una de las alineaciones de la estructura.

5.1 MODELO DE PANDEO

Como se ha comentado anteriormente, se han dispuesto en la estructura distintos elementos de arriostramiento con el fin de reducir la longitud de pandeo de ciertas barras. Esto es necesario debido a las grandes dimensiones tanto de luz como de altura del pabellón. A continuación, se va a detallar las longitudes y coeficientes de pandeo considerados para cada uno de los elementos significativos de la estructura.

En el caso de los cordones del pilar compuesto, tanto los tres tramos de cruces de San Andrés dispuestos en las fachadas laterales como los dos sistemas viga “durmierte”, consiguen dividir cada cordón del pilar en tres tramos de pandeo en el plano del pórtico de fachada. El primero se encuentra empotrado en el suelo y apoyado en su extremo, y los otros dos se encuentran ambos apoyados entre sus extremos. En el plano del pórtico, ambos cordones tienen un coeficiente de pandeo de 0,9, tal y como se indica en la guía de diseño de ICT [7] y en el artículo 6.3.2.4 (3) del CTE DB-SE-A [1].

En el caso de los cordones de la viga en celosía, se encuentran arriostrados en el plano del pórtico por los montantes de la propia viga en celosía, por lo que tienen una longitud de pandeo igual a la distancia entre montantes. En el plano de cubierta, se encuentran arriostrados por el sistema de bastidores y tornapuntas previamente expuesto. La longitud de pandeo considerada en este plano es igual a la distancia entre los bastidores.

En el caso de los pilares del pórtico de fachada, se da un caso similar al del pilar compuesto. En el plano del pórtico, las barras se dividen en tres tramos, el primero de ellos empotrado y apoyado en su extremo y los otros dos apoyados en sus extremos. En el plano de fachada lateral, se debe hacer una distinción entre los pilares de esquina y los interiores. En el caso de los pilares de esquina, las longitudes de pandeo consideradas son las mismas que en plano del pórtico, ya que las cruces de San Andrés de las fachadas laterales arriostran en este plano a dichos pilares. En el caso de los pilares interiores, solo se tiene un tramo de pandeo, el cual se encuentra empotrado en el suelo y apoyado en su otro extremo.

En el caso de los montantes y diagonales del interior tanto del pilar compuesto como de la viga en celosía, se ha escogido un coeficiente de pandeo de 0,75 en ambos planos, tal y como se indica en la guía de diseño de ICT [7] y en el artículo 6.3.2.4 (3) del CTE DB-SE-A [1].

En la siguiente tabla se muestra un resumen de las distintas longitudes de pandeo consideradas para cada tramo de las barras mencionadas.

Diseño y cálculo de la estructura portante de un pabellón de atletismo cubierto de 5250 m² de superficie situado en Valencia

	Longitud de pandeo en el plano XY (plano perpendicular)	Longitud de pandeo en el plano XZ (plano del pórtico)
Cordón exterior e interior del pilar compuesto	(0,7 · L) En el tramo inferior (1 · L) En los tramos superiores	(0,9 · L)
Cordón superior e inferior de la viga en celosía	$L_k =$ Distancia entre bastidores	$L_k = 0,9 \cdot$ Distancia entre montantes
Pilares de fachada interiores	(0,7 · L) En el tramo inferior (1 · L) En los tramos superiores	(0,7 · L_{pilar})
Pilares de fachada de esquina	(0,7 · L) En el tramo inferior (1 · L) En los tramos superiores	(0,7 · L) En el tramo inferior (1 · L) En los tramos superiores
Montantes y diagonales	(0,75 · L)	(0,75 · L)

5.2 PÓRTICO INTERIOR (ALINEACIÓN B)

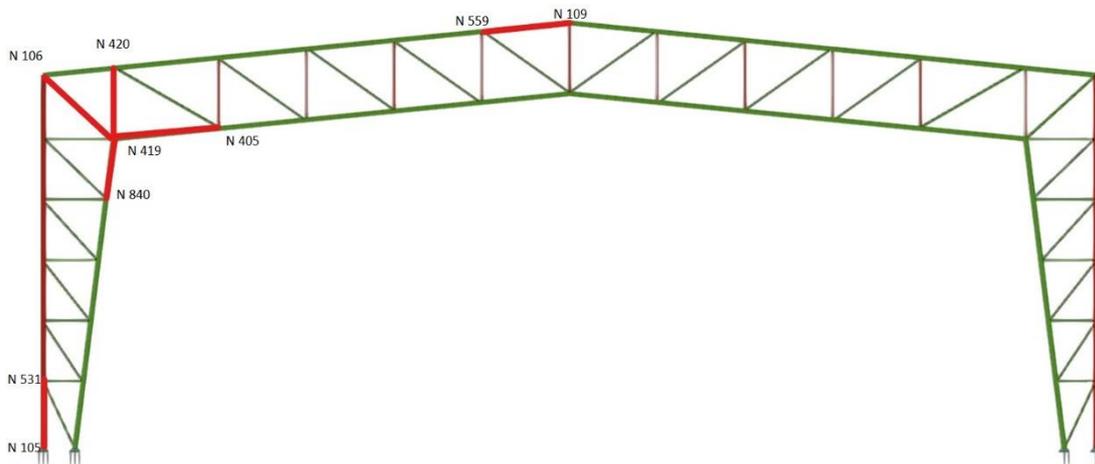


Figura 33. Elementos más significativos del pórtico interior (alineación B)

Las barras de las cuales se han obtenido listados son las marcadas en la Figura 33

- Cordón exterior del pilar compuesto: N105-N531
- Cordón interior del pilar compuesto: N840-N419
- Cordón superior de la cercha: N559-N109
- Cordón inferior de la cercha: N419-N405
- Montante de la cercha: N419-N420
- Diagonal de la cercha: N419-N106

5.1.1 CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS

Tipos de pieza	
Ref.	Piezas
1	N105/N106 y N728/N419
2	N106/N109 y N419/N112
3	N419/N420
4	N419/N106

Diseño y cálculo de la estructura portante de un pabellón de atletismo cubierto de 5250 m² de superficie situado en Valencia

Características mecánicas									
Material		Ref.	Descripción	A (cm ²)	Avy (cm ²)	Avz (cm ²)	Iyy (cm ⁴)	Izz (cm ⁴)	It (cm ⁴)
Tipo	Designación								
Acero laminado	S355	1	SHS 220x8.0, (Hot Finished SHS)	66.15	28.27	28.27	4884.47	4884.47	7780.51
		2	SHS 200x8.0, (Hot Finished SHS)	59.75	25.60	25.60	3612.49	3612.49	5789.11
		3	SHS 80x8.0, (Hot Finished SHS)	21.35	9.60	9.60	174.70	174.70	309.02
		4	SHS 100x5.0, (Hot Finished SHS)	18.34	7.92	7.92	270.09	270.09	440.05
<p>Notación: Ref.: Referencia A: Área de la sección transversal Avy: Área de cortante de la sección según el eje local 'Y' Avz: Área de cortante de la sección según el eje local 'Z' Iyy: Inercia de la sección alrededor del eje local 'Y' Izz: Inercia de la sección alrededor del eje local 'Z' It: Inercia a torsión Las características mecánicas de las piezas corresponden a la sección en el punto medio de las mismas.</p>									

5.1.2 COMPROBACIÓN DE RESISTENCIA

En la siguiente tabla se recogen las comprobaciones de resistencia llevadas a cabo en los elementos más significativos del pórtico interior representados en la Figura 33.

Comprobación de resistencia										
Barra	η (%)	Posición (m)	Esfuerzos pésimos						Origen	Estado
			N (kN)	Vy (kN)	Vz (kN)	Mt (kN·m)	My (kN·m)	Mz (kN·m)		
N105/N531	28.22	0.000	295.423	-0.309	19.601	0.18	25.03	-1.41	GV	Cumple
N559/N109	65.36	4.187	-415.720	-0.164	16.832	0.06	-10.82	0.85	G	Cumple
N419/N420	62.54	0.101	-204.517	0.000	0.000	0.00	0.00	0.00	G	Cumple
N419/N405	41.93	0.000	-240.794	0.051	-7.022	0.02	-16.31	0.20	G	Cumple
N419/N106	76.05	2.183	-207.971	0.000	0.000	0.00	0.34	0.00	G	Cumple
N840/N419	28.06	2.915	-380.307	0.051	6.213	0.20	-16.27	0.02	G	Cumple

5.1.3 FLECHAS

En la siguiente tabla se recogen las comprobaciones de flecha llevadas a cabo en los elementos más significativos del pórtico interior representados en la Figura 33.

Diseño y cálculo de la estructura portante de un pabellón de atletismo cubierto de 5250 m² de superficie situado en Valencia

Flechas								
Grupo	Flecha máxima absoluta xy		Flecha máxima absoluta xz		Flecha activa absoluta xy		Flecha activa absoluta xz	
	Flecha máxima relativa xy		Flecha máxima relativa xz		Flecha activa relativa xy		Flecha activa relativa xz	
	Pos. (m)	Flecha (mm)						
N105/N106	2.957	1.44	15.583	15.23	2.745	2.88	17.899	28.71
	2.745	L/(>1000)	15.583	L/(>1000)	2.745	L/(>1000)	15.583	L/(>1000)
N106/N109	13.498	5.75	14.545	6.10	13.498	9.73	14.545	10.47
	13.498	L/(>1000)	3.238	L/(>1000)	13.498	L/(>1000)	3.238	L/(>1000)
N419/N420	2.186	0.00	2.783	0.00	3.179	0.00	2.783	0.00
	-	L/(>1000)	-	L/(>1000)	-	L/(>1000)	-	L/(>1000)
N419/N112	8.952	8.66	11.307	6.01	8.690	14.62	11.307	10.39
	8.952	L/(>1000)	11.307	L/(>1000)	8.952	L/(>1000)	11.307	L/(>1000)
N419/N106	1.092	0.00	2.183	0.87	4.366	0.00	2.183	0.87
	-	L/(>1000)	2.183	L/(>1000)	-	L/(>1000)	2.183	L/(>1000)
N728/N419	3.878	1.92	8.043	2.85	3.670	3.76	8.043	3.96
	3.878	L/(>1000)	8.043	L/(>1000)	3.878	L/(>1000)	8.043	L/(>1000)

5.1.4 ESTADO LÍMITE ÚLTIMO (E.L.U)

En la siguiente tabla se recogen las comprobaciones del Estado Límite Último llevadas a cabo en los elementos más significativos del pórtico interior representados en la Figura 33.

Barras	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)														Estado	
	$\bar{\lambda}$	λ_w	N_t	N_c	M_y	M_z	V_z	V_y	$M_y V_z$	$M_z V_y$	$N M_y M_z$	$N M_y M_z V_y$	M_t	$M_t V_z$		$M_t V_y$
N105/N531	$\bar{\lambda} < 2.0$ Cumple	$\lambda_w \leq \lambda_{w,máx}$ Cumple	x: 3.379 m $\eta = 13.5$	x: 0 m $\eta = 19.8$	x: 0 m $\eta = 14.2$	x: 0 m $\eta = 4.9$	x: 0 m $\eta = 3.4$	$\eta = 0.2$	$\eta < 0.1$	$\eta < 0.1$	x: 0 m $\eta = 28.2$	$\eta < 0.1$	$\eta = 0.4$	x: 0 m $\eta = 3.4$	$\eta = 0.2$	CUMPLE $\eta = 28.2$
N559/N109	$\bar{\lambda} < 2.0$ Cumple	$\lambda_w \leq \lambda_{w,máx}$ Cumple	x: 4.187 m $\eta = 13.5$	x: 0 m $\eta = 60.0$	x: 4.187 m $\eta = 7.5$	x: 4.187 m $\eta = 0.6$	x: 4.187 m $\eta = 2.9$	$\eta < 0.1$	$\eta < 0.1$	$\eta < 0.1$	x: 4.187 m $\eta = 65.4$	$\eta < 0.1$	$\eta < 0.1$	x: 4.187 m $\eta = 2.9$	$\eta < 0.1$	CUMPLE $\eta = 65.4$
N419/N420	$\bar{\lambda} < 2.0$ Cumple	N.P. ⁽¹⁾	x: 3.28 m $\eta = 15.8$	x: 0.101 m $\eta = 62.5$	$M_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽²⁾	$M_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽²⁾	$V_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽³⁾	$V_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽³⁾	N.P. ⁽⁴⁾	N.P. ⁽⁴⁾	N.P. ⁽⁵⁾	N.P. ⁽⁶⁾	$M_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽⁷⁾	N.P. ⁽⁸⁾	N.P. ⁽⁸⁾	CUMPLE $\eta = 62.5$
N419/N405	$\bar{\lambda} < 2.0$ Cumple	$\lambda_w \leq \lambda_{w,máx}$ Cumple	x: 5.026 m $\eta = 10.5$	x: 0 m $\eta = 34.5$	x: 0 m $\eta = 11.3$	x: 5.026 m $\eta = 2.4$	x: 0 m $\eta = 1.2$	$\eta = 0.2$	$\eta < 0.1$	$\eta < 0.1$	x: 0 m $\eta = 41.9$	$\eta < 0.1$	$\eta < 0.1$	x: 0 m $\eta = 1.2$	$\eta = 0.2$	CUMPLE $\eta = 41.9$
N419/N106	$\bar{\lambda} < 2.0$ Cumple	x: 0.273 m $\lambda_w \leq \lambda_{w,máx}$ Cumple	x: 4.366 m $\eta = 21.6$	x: 0 m $\eta = 73.7$	x: 2.183 m $\eta = 1.5$	$M_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽²⁾	x: 0 m $\eta = 0.2$	$V_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽³⁾	x: 0.273 m $\eta < 0.1$	N.P. ⁽⁴⁾	x: 2.183 m $\eta = 76.1$	x: 0.273 m $\eta < 0.1$	$M_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽⁷⁾	N.P. ⁽⁸⁾	N.P. ⁽⁸⁾	CUMPLE $\eta = 76.1$
N840/N419	$\bar{\lambda} < 2.0$ Cumple	$\lambda_w \leq \lambda_{w,máx}$ Cumple	x: 2.915 m $\eta = 9.3$	x: 0 m $\eta = 19.6$	x: 2.915 m $\eta = 9.2$	x: 0 m $\eta = 1.7$	x: 2.915 m $\eta = 1.0$	$\eta = 0.1$	$\eta < 0.1$	$\eta < 0.1$	x: 2.915 m $\eta = 28.1$	$\eta < 0.1$	$\eta = 0.9$	x: 2.915 m $\eta = 1.0$	$\eta = 0.1$	CUMPLE $\eta = 28.1$
<p>Notación:</p> <ul style="list-style-type: none"> $\bar{\lambda}$: Limitación de esbeltez λ_w: Abolladura del alma inducida por el ala comprimida N_t: Resistencia a tracción N_c: Resistencia a compresión M_y: Resistencia a flexión eje Y M_z: Resistencia a flexión eje Z V_z: Resistencia a corte Z V_y: Resistencia a corte Y $M_y V_z$: Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados $M_z V_y$: Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados $N M_y M_z$: Resistencia a flexión y axil combinados $N M_y M_z V_y$: Resistencia a flexión, axil y cortante combinados M_t: Resistencia a torsión $M_t V_z$: Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados $M_t V_y$: Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados x: Distancia al origen de la barra η: Coeficiente de aprovechamiento (%) N.P.: No procede <p>Comprobaciones que no proceden (N.P.):</p> <ul style="list-style-type: none"> ⁽¹⁾ La comprobación no procede, ya que no hay momento flector que comprima un ala, de forma que se pueda desarrollar el fenómeno de abolladura del alma inducida por el ala comprimida. ⁽²⁾ La comprobación no procede, ya que no hay momento flector. ⁽³⁾ La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante. ⁽⁴⁾ No hay interacción entre momento flector y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede. ⁽⁵⁾ No hay interacción entre axil y momento flector ni entre momentos flectores en ambas direcciones para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede. ⁽⁶⁾ No hay interacción entre momento flector, axil y cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede. ⁽⁷⁾ La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor. ⁽⁸⁾ No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede. 																

5.3 PÓRTICO DE FACHADA (ALINEACIÓN A)

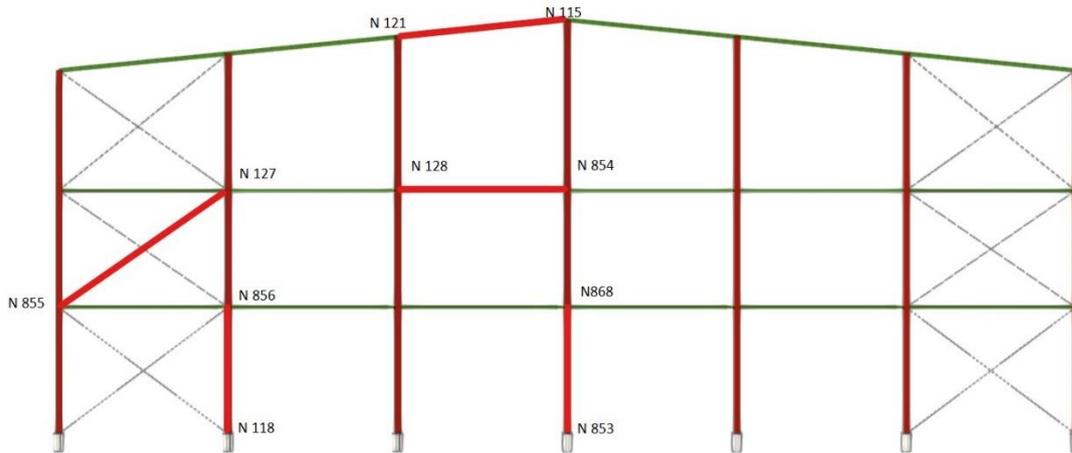


Figura 34. Elementos más significativos del pórtico de fachada (alineación A)

Las barras de las cuales se han obtenido listados son las marcadas en la Figura 34

- Jácena del pórtico de fachada: N121-N115
- Pilar central del pórtico de fachada: N853-N868
- Pilar del pórtico de fachada: N118-N856
- Diagonal de la cruz de San Andrés: N855-N127
- Montante: N128-N854

5.2.1 CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS

Tipos de pieza	
Ref.	Piezas
1	N114/N115
2	N118/N119 y N853/N115
3	N128/N854
4	N855/N127

Características mecánicas									
Material		Ref.	Descripción	A (cm ²)	A _{vy} (cm ²)	A _{vz} (cm ²)	I _{yy} (cm ⁴)	I _{zz} (cm ⁴)	I _t (cm ⁴)
Tipo	Designación								
Acero laminado	S355	1	SHS 180x10.0, (Hot Finished SHS)	65.36	28.33	28.33	3073.03	3073.03	5053.03
		2	RHS 500x300x10.0, (Hot Finished RHS)	153.36	48.33	81.67	52805.71	24094.68	52547.13
		3	SHS 140x5.0, (Hot Finished SHS)	26.34	11.25	11.25	788.91	788.91	1255.31
		4	R 24, (R)	4.52	4.07	4.07	1.63	1.63	3.26

Notación:
 Ref.: Referencia
 A: Área de la sección transversal
 A_{vy}: Área de cortante de la sección según el eje local 'Y'
 A_{vz}: Área de cortante de la sección según el eje local 'Z'
 I_{yy}: Inercia de la sección alrededor del eje local 'Y'
 I_{zz}: Inercia de la sección alrededor del eje local 'Z'
 I_t: Inercia a torsión
 Las características mecánicas de las piezas corresponden a la sección en el punto medio de las mismas.

Diseño y cálculo de la estructura portante de un pabellón de atletismo cubierto de 5250 m² de superficie situado en Valencia

5.2.2 COMPROBACIONES DE RESISTENCIA

En la siguiente tabla se recogen las comprobaciones de resistencia llevadas a cabo en los elementos más significativos del pórtico de fachada representados en la Figura 34.

Comprobación de resistencia										
Barra	η (%)	Posición (m)	Esfuerzos pésimos						Origen	Estado
			N (kN)	V _y (kN)	V _z (kN)	M _t (kN·m)	M _y (kN·m)	M _z (kN·m)		
N121/N115	39.23	8.375	-75.015	-1.052	-21.441	-1.70	29.96	10.21	GV	Cumple
N118/N856	71.77	0.000	-197.930	6.059	141.528	0.00	537.92	32.58	GV	Cumple
N853/N868	65.77	0.000	-99.464	-6.107	123.262	0.06	506.44	-32.03	GV	Cumple
N128/N854	11.15	8.183	-6.376	0.375	1.309	-0.13	-2.30	-1.61	GV	Cumple
N855/N127	39.54	0.183	58.779	0.000	0.000	0.00	0.00	0.00	GV	Cumple

5.2.3 FLECHAS

En la siguiente tabla se recogen las comprobaciones de flechas llevadas a cabo en los elementos más significativos del pórtico de fachada representados en la Figura 34.

Flechas								
Grupo	Flecha máxima absoluta xy		Flecha máxima absoluta xz		Flecha activa absoluta xy		Flecha activa absoluta xz	
	Flecha máxima relativa xy		Flecha máxima relativa xz		Flecha activa relativa xy		Flecha activa relativa xz	
	Pos. (m)	Flecha (mm)						
N114/N115	20.367	7.18	4.112	9.95	21.205	12.56	4.112	13.60
	21.624	L/(>1000)	4.112	L/808.5	21.624	L/(>1000)	4.112	L/808.7
N118/N119	11.335	2.20	10.973	47.77	11.335	4.08	10.973	76.41
	11.335	L/(>1000)	10.973	L/392.4	11.335	L/(>1000)	10.973	L/392.4
N853/N115	11.917	2.50	11.565	52.55	11.917	4.99	11.917	92.37
	11.917	L/(>1000)	11.565	L/387.0	11.917	L/(>1000)	11.565	L/387.0
N128/N854	6.025	0.89	4.017	1.36	6.025	1.59	5.021	1.50
	6.025	L/(>1000)	4.017	L/(>1000)	6.025	L/(>1000)	4.017	L/(>1000)
N855/N127	4.278	0.00	4.278	0.00	7.945	0.00	7.334	0.00
	-	L/(>1000)	-	L/(>1000)	-	L/(>1000)	-	L/(>1000)

5.2.4 ESTADO LÍMITE ÚLTIMO (E.L.U)

En la siguiente tabla se recogen las comprobaciones del Estado Límite Último llevadas a cabo en los elementos más significativos del pórtico de fachada representados en la Figura 34.

Barras	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)														Estado	
	$\bar{\lambda}$	λ_w	N _t	N _c	M _y	M _z	V _z	V _y	M _y V _z	M _z V _y	NM _y M _z	NM _y M _z V _z	M _t	M _y V _z		M _z V _y
N121/N115	$\bar{\lambda} < 2.0$ Cumple	$\lambda_w \leq \lambda_{w,máx}$ Cumple	x: 8.375 m $\eta = 4.8$	x: 0 m $\eta = 12.1$	x: 8.375 m $\eta = 21.6$	x: 8.375 m $\eta = 9.0$	x: 8.375 m $\eta = 3.4$	x: 0 m $\eta = 0.5$	$\eta < 0.1$	$\eta < 0.1$	x: 8.375 m $\eta = 39.2$	$\eta < 0.1$	$\eta = 2.2$	x: 8.375 m $\eta = 3.5$	x: 0 m $\eta = 0.5$	CUMPLE $\eta = 39.2$
N118/N856	$\bar{\lambda} < 2.0$ Cumple	$\lambda_w \leq \lambda_{w,máx}$ Cumple	x: 6.272 m $\eta = 0.9$	x: 0 m $\eta = 7.2$	x: 0 m $\eta = 62.2$	x: 0 m $\eta = 7.3$	x: 0 m $\eta = 7.6$	$\eta = 0.5$	$\eta < 0.1$	$\eta < 0.1$	x: 0 m $\eta = 71.8$	$\eta < 0.1$	M _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	N.P. ⁽²⁾	N.P. ⁽²⁾	CUMPLE $\eta = 71.8$
N853/N868	$\bar{\lambda} < 2.0$ Cumple	$\lambda_w \leq \lambda_{w,máx}$ Cumple	x: 6.201 m $\eta = 0.4$	x: 0 m $\eta = 5.1$	x: 0 m $\eta = 58.7$	x: 0 m $\eta = 7.1$	x: 0 m $\eta = 6.6$	$\eta = 0.5$	$\eta < 0.1$	$\eta < 0.1$	x: 0 m $\eta = 65.8$	$\eta < 0.1$	$\eta < 0.1$	x: 0 m $\eta = 6.6$	$\eta = 0.5$	CUMPLE $\eta = 65.8$
N128/N854	$\bar{\lambda} < 2.0$ Cumple	$\lambda_w \leq \lambda_{w,máx}$ Cumple	$\eta = 2.2$	$\eta = 4.0$	x: 8.183 m $\eta = 6.0$	x: 8.183 m $\eta = 3.7$	x: 8.183 m $\eta = 0.6$	$\eta = 0.1$	$\eta < 0.1$	$\eta < 0.1$	x: 8.183 m $\eta = 11.2$	$\eta < 0.1$	$\eta = 0.4$	x: 8.183 m $\eta = 0.6$	$\eta = 0.2$	CUMPLE $\eta = 11.2$

Diseño y cálculo de la estructura portante de un pabellón de atletismo cubierto de 5250 m² de superficie situado en Valencia

<p>Notación:</p> <p>$\bar{\lambda}$: Limitación de esbeltez λ_w: Abolladura del alma inducida por el ala comprimida N_t: Resistencia a tracción N_c: Resistencia a compresión M_y: Resistencia a flexión eje Y M_z: Resistencia a flexión eje Z V_z: Resistencia a corte Z V_y: Resistencia a corte Y M_yV_z: Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados M_zV_y: Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados NM_yM_z: Resistencia a flexión y axil combinados $NM_yM_zV_yV_z$: 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 (%) $N.P.$: No procede</p>															
<p>Comprobaciones que no proceden (N.P.):</p> <p>(1) La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor. (2) No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede. (3) La comprobación no procede, ya que no hay axil de compresión. (4) La comprobación no procede, ya que no hay momento flector. (5) La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante. (6) No hay interacción entre momento flector y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede. (7) No hay interacción entre axil y momento flector ni entre momentos flectores en ambas direcciones para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede. (8) No hay interacción entre momento flector, axil y cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.</p>															
COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)															
Barras	$\bar{\lambda}$	N _t	N _c	M _y	M _z	V _z	V _y	M _y V _z	M _z V _y	NM _y M _z	NM _y M _z V _y V _z	M _t	M _t V _z	M _t V _y	Estado
N855/N127	$\bar{\lambda} \leq 4.0$ Cumplido	$\eta = 39.5$	N _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽³⁾	M _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽⁴⁾	M _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽⁴⁾	V _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽⁵⁾	V _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽⁵⁾	N.P. ⁽⁶⁾	N.P. ⁽⁶⁾	N.P. ⁽⁷⁾	N.P. ⁽⁸⁾	M _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	N.P. ⁽²⁾	N.P. ⁽²⁾	CUMPLIDO $\eta = 39.5$

5.4 FACHADA LATERAL (ALINEACIÓN 7)

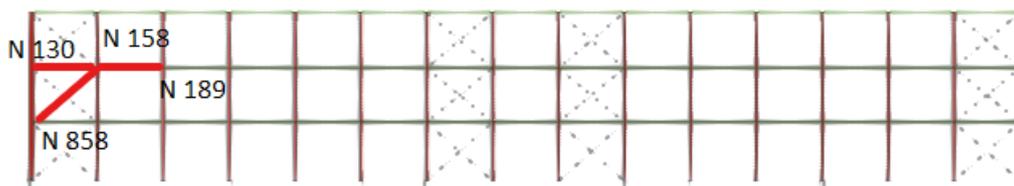


Figura 35. Elementos más significativos de la fachada lateral (alineación 7)

Las barras de las cuales se han obtenido listados son las marcadas en la Figura 35

- Diagonal de la cruz de San Andrés: N117-N158
- Montante de la cruz de San Andrés: N130-158
- Viga perimetral: N108-N100

Diseño y cálculo de la estructura portante de un pabellón de atletismo cubierto de 5250 m² de superficie situado en Valencia

5.3.1 CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS

Tipos de pieza	
Ref.	Piezas
1	N130/N158 y N158/N189
2	N858/N158

Características mecánicas									
Material		Ref.	Descripción	A (cm ²)	A _{vy} (cm ²)	A _{vz} (cm ²)	I _{yy} (cm ⁴)	I _{zz} (cm ⁴)	I _t (cm ⁴)
Tipo	Designación								
Acero laminado	S355	1	SHS 120x5.0, (Hot Finished SHS)	22.34	9.58	9.58	484.16	484.16	778.02
		2	R 24, (R)	4.52	4.07	4.07	1.63	1.63	3.26

Notación:
 Ref.: Referencia
 A: Área de la sección transversal
 A_{vy}: Área de cortante de la sección según el eje local 'Y'
 A_{vz}: Área de cortante de la sección según el eje local 'Z'
 I_{yy}: Inercia de la sección alrededor del eje local 'Y'
 I_{zz}: Inercia de la sección alrededor del eje local 'Z'
 I_t: Inercia a torsión
 Las características mecánicas de las piezas corresponden a la sección en el punto medio de las mismas.

5.3.2 COMPROBACIONES DE RESISTENCIA

En la siguiente tabla se recogen las comprobaciones resistencia llevadas a cabo en los elementos más significativos de la fachada lateral representados en la Figura 35.

Comprobación de resistencia										
Barra	η (%)	Posición (m)	Esfuerzos pésimos						Origen	Estado
			N (kN)	V _y (kN)	V _z (kN)	M _t (kN·m)	M _y (kN·m)	M _z (kN·m)		
N130/N158	61.27	3.570	-84.598	0.000	0.000	0.00	1.28	0.00	GV	Cumple
N158/N189	8.15	3.500	30.287	0.000	0.000	0.00	1.33	0.00	GV	Cumple
N858/N158	64.11	0.325	95.290	0.000	0.000	0.00	0.00	0.00	GV	Cumple

5.3.3 FLECHAS

En la siguiente tabla se recogen las comprobaciones de flechas llevadas a cabo en los elementos más significativos de la fachada lateral representados en la Figura 35.

Flechas									
Grupo	Flecha máxima absoluta xy		Flecha máxima absoluta xz		Flecha activa absoluta xy		Flecha activa absoluta xz		
	Flecha máxima relativa xy		Flecha máxima relativa xz		Flecha activa relativa xy		Flecha activa relativa xz		
	Pos. (m)	Flecha (mm)							
N130/N158	5.810	0.00	3.320	4.30	6.225	0.00	3.320	4.29	
	-	L/(>1000)	3.320	L/(>1000)	-	L/(>1000)	3.320	L/(>1000)	
N158/N189	6.356	0.00	3.390	4.67	6.356	0.00	3.390	4.66	
	-	L/(>1000)	3.390	L/(>1000)	-	L/(>1000)	3.390	L/(>1000)	
N858/N158	7.537	0.00	6.999	0.00	5.922	0.00	5.384	0.00	
	-	L/(>1000)	-	L/(>1000)	-	L/(>1000)	-	L/(>1000)	

Diseño y cálculo de la estructura portante de un pabellón de atletismo cubierto de 5250 m² de superficie situado en Valencia

5.3.4 ESTADO LÍMITE ÚLTIMO (E.L.U)

En la siguiente tabla se recogen las comprobaciones del Estado Límite Último llevadas a cabo en los elementos más significativos de la fachada lateral representados en la Figura 35.

Barras	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	$NM_YM_ZV_Y$	M_t	M_tV_Z		M_tV_Y
N130/N158	$\bar{\lambda} < 2.0$ Cumple	x: 0.665 m $\lambda_w \leq \lambda_{w,m\acute{a}x}$ Cumple	$\eta = 6.2$	$\eta = 55.7$	x: 3.57 m $\eta = 4.0$	$M_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽¹⁾	x: 0.25 m $\eta = 0.4$	$V_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽²⁾	x: 0.665 m $\eta < 0.1$	N.P. ⁽³⁾	x: 3.57 m $\eta = 61.3$	x: 0.665 m $\eta < 0.1$	$M_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽⁴⁾	N.P. ⁽⁵⁾	N.P. ⁽⁵⁾	CUMPLE $\eta = 61.3$
N158/N189	$\bar{\lambda} < 2.0$ Cumple	x: 0.534 m $\lambda_w \leq \lambda_{w,m\acute{a}x}$ Cumple	$\eta = 4.0$	$\eta = 1.7$	x: 3.5 m $\eta = 4.1$	$M_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽¹⁾	x: 0.11 m $\eta = 0.4$	$V_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽²⁾	x: 0.534 m $\eta < 0.1$	N.P. ⁽³⁾	x: 3.5 m $\eta = 8.2$	x: 0.534 m $\eta < 0.1$	$M_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽⁴⁾	N.P. ⁽⁵⁾	N.P. ⁽⁵⁾	CUMPLE $\eta = 8.2$

Barras	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	$NM_YM_ZV_Y$	M_t	M_tV_Z	M_tV_Y	
N858/N158	$\bar{\lambda} \leq 4.0$ Cumple	$\eta = 64.1$	$N_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽⁶⁾	$M_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽¹⁾	$M_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽¹⁾	$V_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽²⁾	$V_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽²⁾	N.P. ⁽³⁾	N.P. ⁽³⁾	N.P. ⁽⁷⁾	N.P. ⁽⁸⁾	$M_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽⁴⁾	N.P. ⁽⁵⁾	N.P. ⁽⁵⁾	CUMPLE $\eta = 64.1$

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
- $NM_YM_ZV_Y$: Resistencia a flexión, axil y cortante combinados
- M_t : Resistencia a torsión
- M_tV_Z : Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados
- M_tV_Y : Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados
- x: Distancia al origen de la barra
- η : Coeficiente de aprovechamiento (%)
- N.P.: No procede

Comprobaciones que no proceden (N.P.):

- ⁽¹⁾ La comprobación no procede, ya que no hay momento flector.
- ⁽²⁾ La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante.
- ⁽³⁾ No hay interacción entre momento flector y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.
- ⁽⁴⁾ La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor.
- ⁽⁵⁾ No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.
- ⁽⁶⁾ La comprobación no procede, ya que no hay axil de compresión.
- ⁽⁷⁾ No hay interacción entre axil y momento flector ni entre momentos flectores en ambas direcciones para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.
- ⁽⁸⁾ No hay interacción entre momento flector, axil y cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Diseño y cálculo de la estructura portante de un pabellón de atletismo cubierto de 5250 m² de superficie situado en Valencia

5.5 VIGA “DURMIENTE”

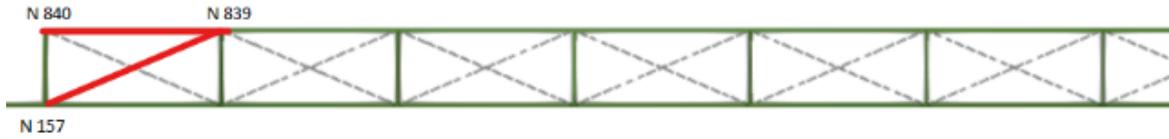


Figura 36. Elementos más significativos de la viga “durmiente” (Nivel +12.058 metros)

Las barras de las cuales se han obtenido listados son las marcadas en la Figura 36

- Diagonal de la viga “durmiente”: N157-N839
- Montante de la viga “durmiente”: N840-839

5.4.1 CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS

Tipos de pieza	
Ref.	Piezas
1	N840/N839
2	N157/N839

Características mecánicas									
Material		Ref.	Descripción	A (cm ²)	A _{vy} (cm ²)	A _{vz} (cm ²)	I _{yy} (cm ⁴)	I _{zz} (cm ⁴)	I _t (cm ⁴)
Tipo	Designación								
Acero laminado	S355	1	SHS 120x5.0, (Hot Finished SHS)	22.34	9.58	9.58	484.16	484.16	778.02
		2	R 24, (R)	4.52	4.07	4.07	1.63	1.63	3.26

Notación:
 Ref.: Referencia
 A: Área de la sección transversal
 A_{vy}: Área de cortante de la sección según el eje local 'Y'
 A_{vz}: Área de cortante de la sección según el eje local 'Z'
 I_{yy}: Inercia de la sección alrededor del eje local 'Y'
 I_{zz}: Inercia de la sección alrededor del eje local 'Z'
 I_t: Inercia a torsión
 Las características mecánicas de las piezas corresponden a la sección en el punto medio de las mismas.

5.4.2 COMPROBACIONES DE RESISTENCIA

En la siguiente tabla se recogen las comprobaciones resistencia llevadas a cabo en los elementos más significativos de la viga durmiente representados en la Figura 36.

Comprobación de resistencia										
Barra	η (%)	Posición (m)	Esfuerzos pésimos						Origen	Estado
			N (kN)	V _y (kN)	V _z (kN)	M _t (kN·m)	M _y (kN·m)	M _z (kN·m)		
N840/N839	4.50	3.500	-2.676	0.000	0.000	0.00	1.33	0.00	GV	Cumple
N157/N839	14.72	0.120	21.885	0.000	0.000	0.00	0.00	0.00	GV	Cumple

Diseño y cálculo de la estructura portante de un pabellón de atletismo cubierto de 5250 m² de superficie situado en Valencia

5.4.3 FLECHAS

En la siguiente tabla se recogen las comprobaciones de flechas llevadas a cabo en los elementos más significativos de la viga durmiente representados en la Figura 36.

Flechas								
Grupo	Flecha máxima absoluta xy Flecha máxima relativa xy		Flecha máxima absoluta xz Flecha máxima relativa xz		Flecha activa absoluta xy Flecha activa relativa xy		Flecha activa absoluta xz Flecha activa relativa xz	
	Pos. (m)	Flecha (mm)						
	N840/N839	5.509 -	0.00 L/(>1000)	3.390 3.390	4.67 L/(>1000)	5.509 -	0.00 L/(>1000)	3.390 3.390
N157/N839	1.381 -	0.00 L/(>1000)	6.905 -	0.00 L/(>1000)	4.604 -	0.00 L/(>1000)	5.985 -	0.00 L/(>1000)

5.4.4 ESTADO LÍMITE ÚLTIMO (E.L.U)

En la siguiente tabla se recogen las comprobaciones del Estado Límite Último llevadas a cabo en los elementos más significativos de la viga durmiente representados en la Figura 36.

Barras	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)														Estado	
	$\bar{\lambda}$	λ_w	N _t	N _c	M _Y	M _Z	V _Z	V _Y	M _Y V _Z	M _Z V _Y	NM _Y M _Z	NM _Y M _Z V _Y V _Z	M _t	M _t V _Z		M _t V _Y
N840/N839	$\bar{\lambda} < 2.0$ Cumpl e	x: 0.534 m $\lambda_w \leq \lambda_{w,max}$ Cumple	$\eta < 0.1$	$\eta = 0.4$	x: 3.5 m $\eta = 4.1$	M _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	x: 0.11 m $\eta = 0.4$	V _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	x: 0.534 m $\eta < 0.1$	N.P. ⁽³⁾	x: 3.5 m $\eta = 4.5$	x: 0.534 m $\eta < 0.1$	M _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽⁴⁾	N.P. ⁽⁵⁾	N.P. ⁽⁵⁾	CUMPL E $\eta = 4.5$

Barras	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)														Estado
	$\bar{\lambda}$	N _t	N _c	M _Y	M _Z	V _Z	V _Y	M _Y V _Z	M _Z V _Y	NM _Y M _Z	NM _Y M _Z V _Y V _Z	M _t	M _t V _Z	M _t V _Y	
N157/N839	$\bar{\lambda} \leq 4.0$ Cumpl e	$\eta = 14.7$	N _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽⁶⁾	M _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	M _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	V _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	V _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	N.P. ⁽³⁾	N.P. ⁽³⁾	N.P. ⁽⁷⁾	N.P. ⁽⁸⁾	M _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽⁴⁾	N.P. ⁽⁵⁾	N.P. ⁽⁵⁾	CUMPL E $\eta = 14.7$

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 (%)
- N.P.: No procede

Diseño y cálculo de la estructura portante de un pabellón de atletismo cubierto de 5250 m² de superficie situado en Valencia

Comprobaciones que no proceden (N.P.):

- (1) La comprobación no procede, ya que no hay momento flector.
- (2) La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante.
- (3) No hay interacción entre momento flector y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.
- (4) La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor.
- (5) No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.
- (6) La comprobación no procede, ya que no hay axil de compresión.
- (7) No hay interacción entre axil y momento flector ni entre momentos flectores en ambas direcciones para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.
- (8) No hay interacción entre momento flector, axil y cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

5.6 VISTA LATERAL (ALINEACIÓN 5)

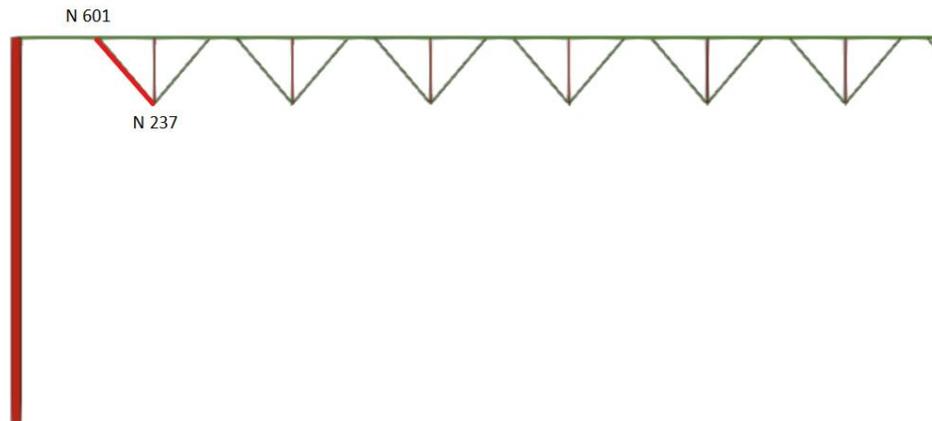


Figura 37. Elementos más significativos de la vista lateral (alineación 5)

Las barras de las cuales se han obtenido listados son las marcadas en la Figura 37

- Tornapunta: N237-N601

5.5.1 CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS

Tipos de pieza	
Ref.	Piezas
1	N237/N601

Características mecánicas									
Material		Ref.	Descripción	A (cm ²)	A _{vy} (cm ²)	A _{vz} (cm ²)	I _{yy} (cm ⁴)	I _{zz} (cm ⁴)	I _t (cm ⁴)
Tipo	Designación								
Acero laminado	S355	1	SHS 80x4.0, (Hot Finished SHS)	11.74	5.07	5.07	110.63	110.63	180.25
<p><i>Notación:</i> Ref.: Referencia A: Área de la sección transversal A_{vy}: Área de cortante de la sección según el eje local 'Y' A_{vz}: Área de cortante de la sección según el eje local 'Z' I_{yy}: Inercia de la sección alrededor del eje local 'Y' I_{zz}: Inercia de la sección alrededor del eje local 'Z' I_t: Inercia a torsión Las características mecánicas de las piezas corresponden a la sección en el punto medio de las mismas.</p>									

Diseño y cálculo de la estructura portante de un pabellón de atletismo cubierto de 5250 m² de superficie situado en Valencia

5.5.2 COMPROBACIONES DE RESISTENCIA

En la siguiente tabla se recogen las comprobaciones de resistencia llevadas a cabo en los elementos más significativos de la vista lateral representados en la Figura 37.

Comprobación de resistencia										
Barra	η (%)	Posición (m)	Esfuerzos p ^{és} imos						Origen	Estado
			N (kN)	V _y (kN)	V _z (kN)	M _t (kN·m)	M _y (kN·m)	M _z (kN·m)		
N237/N601	4.19	1.973	-2.263	0.000	-0.021	0.00	0.17	0.00	GV	Cumple

5.5.3 FLECHAS

En la siguiente tabla se recogen las comprobaciones de flechas llevadas a cabo en los elementos más significativos de la vista lateral representados en la Figura 37.

Flechas									
Grupo	Flecha máxima absoluta xy		Flecha máxima absoluta xz		Flecha activa absoluta xy		Flecha activa absoluta xz		Estado
	Flecha máxima relativa xy		Flecha máxima relativa xz		Flecha activa relativa xy		Flecha activa relativa xz		
	Pos. (m)	Flecha (mm)							
N237/N601	1.052	0.00	2.104	1.03	4.208	0.00	2.104	1.03	Cumple
	-	L/(>1000)	2.104	L/(>1000)	-	L/(>1000)	2.104	L/(>1000)	

5.5.4 ESTADO LÍMITE ÚLTIMO (E.L.U)

En la siguiente tabla se recogen las comprobaciones del Estado Límite Último llevadas a cabo en los elementos más significativos de la vista lateral representados en la Figura 37.

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)														Estado	
	$\bar{\lambda}$	λ_{w1}	N _t	N _c	M _y	M _z	V _z	V _y	M _y V _z	M _z V _y	NM _y M _z	NM _y M _z V _z	M _t	M _y V _z		M _z V _y
N237/N601	$\bar{\lambda} < 2.0$ Cumple	x: 0.395 m $\lambda_{w1} \leq \lambda_{w1,máx}$ Cumple	x: 4.34 m $\eta = 0.3$	x: 0.132 m $\eta = 2.8$	x: 2.236 m $\eta = 1.6$	M _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	x: 0.132 m $\eta = 0.1$	V _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	x: 0.395 m $\eta < 0.1$	N.P. ⁽³⁾	x: 1.973 m $\eta = 4.2$	x: 0.395 m $\eta < 0.1$	M _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽⁴⁾	N.P. ⁽⁵⁾	N.P. ⁽⁵⁾	CUMPLE $\eta = 4.2$
<p>Notación:</p> <ul style="list-style-type: none"> $\bar{\lambda}$: Limitación de esbeltez λ_w: Abolladura del alma inducida por el ala comprimida N_t: Resistencia a tracción N_c: Resistencia a compresión M_y: Resistencia a flexión eje Y M_z: Resistencia a flexión eje Z V_y: Resistencia a corte Z V_z: 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_z: Resistencia a flexión, axil y cortante combinados M_t: Resistencia a torsión M_yV_z: Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados M_zV_y: Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados x: Distancia al origen de la barra η: Coeficiente de aprovechamiento (%) N.P.: No procede <p>Comprobaciones que no proceden (N.P.):</p> <ul style="list-style-type: none"> ⁽¹⁾ La comprobación no procede, ya que no hay momento flector. ⁽²⁾ La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante. ⁽³⁾ No hay interacción entre momento flector y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede. ⁽⁴⁾ La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor. ⁽⁵⁾ No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede. 																

5.7 CUBIERTA

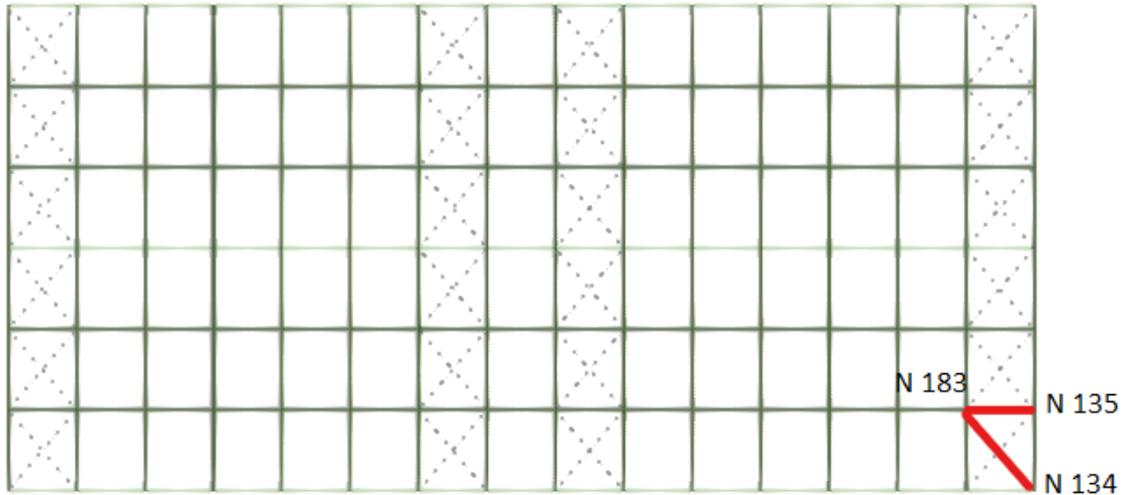


Figura 38. Elementos más significativos de la cubierta

Las barras de las cuales se han obtenido listados son las marcadas en la Figura 38

- Diagonal de la viga contraviento de cubierta: N134-N183
- Bastidor: N183-N135

5.6.1 CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS

Tipos de pieza	
Ref.	Piezas
1	N183/N135
2	N134/N183

Características mecánicas									
Material		Ref.	Descripción	A (cm ²)	Avy (cm ²)	Avz (cm ²)	Iyy (cm ⁴)	Izz (cm ⁴)	It (cm ⁴)
Tipo	Designación								
Acero laminado	S355	1	SHS 120x5.0, (Hot Finished SHS)	22.34	9.58	9.58	484.16	484.16	778.02
		2	R 24, (R)	4.52	4.07	4.07	1.63	1.63	3.26

Notación:
 Ref.: Referencia
 A: Área de la sección transversal
 Avy: Área de cortante de la sección según el eje local 'Y'
 Avz: Área de cortante de la sección según el eje local 'Z'
 Iyy: Inercia de la sección alrededor del eje local 'Y'
 Izz: Inercia de la sección alrededor del eje local 'Z'
 It: Inercia a torsión
 Las características mecánicas de las piezas corresponden a la sección en el punto medio de las mismas.

Diseño y cálculo de la estructura portante de un pabellón de atletismo cubierto de 5250 m² de superficie situado en Valencia

5.6.2 COMPROBACIONES DE RESISTENCIA

En la siguiente tabla se recogen las comprobaciones de resistencia llevadas a cabo en los elementos más significativos de la cubierta representados en la Figura 38.

Comprobación de resistencia										
Barra	η (%)	Posición (m)	Esfuerzos pésimos						Origen	Estado
			N (kN)	V _y (kN)	V _z (kN)	M _t (kN·m)	M _y (kN·m)	M _z (kN·m)		
N183/N712	21.90	2.845	-92.250	0.000	0.554	0.00	-1.00	0.00	GV	Cumple
N712/N135	31.32	0.000	-93.293	0.000	-0.528	0.00	-1.01	0.00	GV	Cumple
N134/N183	56.49	0.197	83.961	0.000	0.000	0.00	0.00	0.00	GV	Cumple

5.6.3 FLECHAS

En la siguiente tabla se recogen las comprobaciones de flechas llevadas a cabo en los elementos más significativos de la cubierta representados en la Figura 38.

Flechas									
Grupo	Flecha máxima absoluta xy Flecha máxima relativa xy		Flecha máxima absoluta xz Flecha máxima relativa xz		Flecha activa absoluta xy Flecha activa relativa xy		Flecha activa absoluta xz Flecha activa relativa xz		Estado
	Pos. (m)	Flecha (mm)							
	N183/N135	3.253 -	0.00 L/(>1000)	3.253 -	3.14 L/(>1000)	3.253 -	0.00 L/(>1000)	3.253 -	
N134/N183	9.902 -	0.00 L/(>1000)	9.902 -	0.00 L/(>1000)	9.902 -	0.00 L/(>1000)	9.902 -	0.00 L/(>1000)	

5.6.4 ESTADO LÍMITE ÚLTIMO (E.L.U)

En la siguiente tabla se recogen las comprobaciones del Estado Límite Último llevadas a cabo en los elementos más significativos de la cubierta representados en la Figura 38.

Barras	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)															Estado
	$\bar{\lambda}$	λ_{wv}	N _t	N _c	M _y	M _z	V _z	V _y	M _y V _z	M _z V _y	NM _y M _z	NM _y M _z V _y V _z	M _t	M _t V _z	M _t V _y	
N183/N712	$\bar{\lambda} < 2.0$ Cumplido	x: 0.296 m $\lambda_{wv} \leq \lambda_{wv,max}$ Cumple	$\eta = 9.7$	$\eta = 18.4$	x: 2.845 m $\eta = 3.6$	M _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	x: 0.1 m $\eta = 0.3$	V _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	x: 0.296 m $\eta < 0.1$	N.P. ⁽³⁾	x: 2.845 m $\eta = 21.9$	x: 0.296 m $\eta < 0.1$	M _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽⁴⁾	N.P. ⁽⁵⁾	N.P. ⁽⁵⁾	CUMPLE $\eta = 21.9$
N712/N135	$\bar{\lambda} < 2.0$ Cumplido	x: 0 m $\lambda_{wv} \leq \lambda_{wv,max}$ Cumple	$\eta = 9.6$	$\eta = 27.5$	x: 0.762 m $\eta = 3.8$	M _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	x: 4.065 m $\eta = 0.4$	V _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	x: 0 m $\eta < 0.1$	N.P. ⁽³⁾	x: 0 m $\eta = 31.3$	x: 0 m $\eta < 0.1$	M _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽⁴⁾	N.P. ⁽⁵⁾	N.P. ⁽⁵⁾	CUMPLE $\eta = 31.3$

Barras	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)															Estado
	$\bar{\lambda}$	N _t	N _c	M _y	M _z	V _z	V _y	M _y V _z	M _z V _y	NM _y M _z	NM _y M _z V _y V _z	M _t	M _t V _z	M _t V _y		
N134/N183	$\bar{\lambda} \leq 4.0$ Cumplido	$\eta = 56.5$	N _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽⁶⁾	M _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	M _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	V _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	V _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	N.P. ⁽³⁾	N.P. ⁽³⁾	N.P. ⁽⁷⁾	N.P. ⁽⁸⁾	M _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽⁴⁾	N.P. ⁽⁵⁾	N.P. ⁽⁵⁾	CUMPLE $\eta = 56.5$	

Diseño y cálculo de la estructura portante de un pabellón de atletismo cubierto de 5250 m² de superficie situado en Valencia

<p>Notación:</p> <p>$\bar{\lambda}$: Limitación de esbeltez λ_{w1}: 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 (%) N.P.: No procede</p>
<p>Comprobaciones que no proceden (N.P.):</p> <p>(1) La comprobación no procede, ya que no hay momento flector. (2) La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante. (3) No hay interacción entre momento flector y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede. (4) La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor. (5) No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede. (6) La comprobación no procede, ya que no hay axil de compresión. (7) No hay interacción entre axil y momento flector ni entre momentos flectores en ambas direcciones para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede. (8) No hay interacción entre momento flector, axil y cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.</p>

5.8 CORREAS DE CUBIERTA

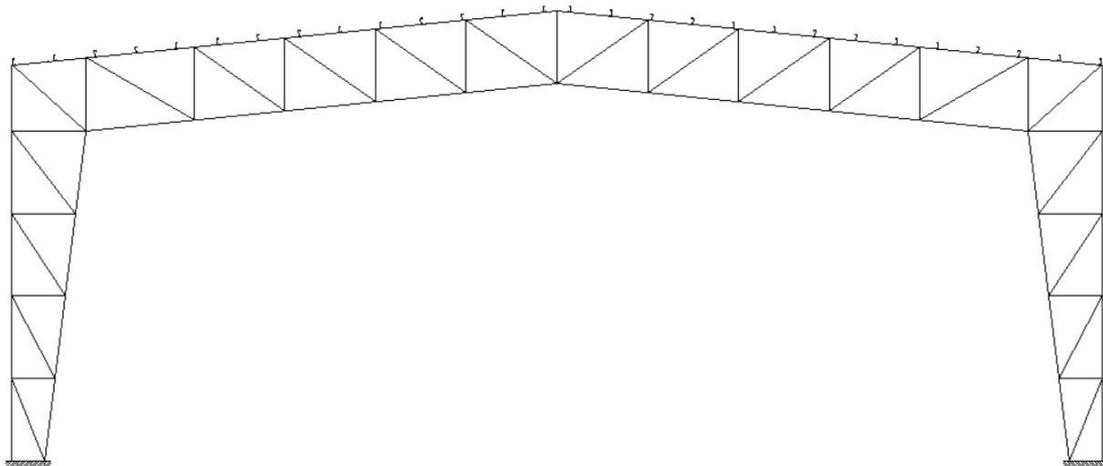


Figura 39. Correas de cubierta sobre el pórtico interior de la estructura

5.7.1 DESCRIPCIÓN Y MEDICIONES

Datos de correas de cubierta	
Descripción de correas	Parámetros de cálculo
Tipo de perfil: CF-275x3.0	Límite flecha: L / 300
Separación: 1.88 m	Número de vanos: Tres vanos
Tipo de Acero: S235	Tipo de fijación: Fijación rígida

Diseño y cálculo de la estructura portante de un pabellón de atletismo cubierto de 5250 m² de superficie situado en Valencia

Perfil: CF-275x3.0
Material: S235

	Nudos		Longitud (m)	Características mecánicas					
	Inicial	Final		Área (cm ²)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _z ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)	y _g ⁽³⁾ (mm)	z _g ⁽³⁾ (mm)
	0.935, 14.000, 18.094	0.935, 7.000, 18.094	7.000	13.95	1531.53	112.61	0.42	-18.63	0.00
	Notas: (1) Inercia respecto al eje indicado (2) Momento de inercia a torsión uniforme (3) Coordenadas del centro de gravedad								
	Pandeo			Pandeo lateral					
	Plano XY		Plano XZ	Ala sup.		Ala inf.			
	β		1.00	0.00		0.00			
	L _k		7.000	0.000		0.000			
	C ₁		-	1.000					
	Notación: β: Coeficiente de pandeo L _k : Longitud de pandeo (m) C ₁ : Factor de modificación para el momento crítico								

Medición de correas			
Tipo de correas	Nº de correas	Peso lineal kg/m	Peso superficial kN/m ²
Correas de cubierta	28	306.68	0.06

5.7.2 COMPROBACIONES

En las siguientes tablas se muestran las comprobaciones realizadas sobre las correas laterales de la estructura.

Comprobación de resistencia
El perfil seleccionado cumple todas las comprobaciones. Aprovechamiento: 82.55 %

Comprobación de flecha
El perfil seleccionado cumple todas las comprobaciones. Porcentajes de aprovechamiento: - Flecha: 57.50 %

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)													Estado
	b / t	$\bar{\lambda}$	N _t	N _c	M _y	M _z	M _y M _z	V _y	V _z	N _t M _y M _z	N _c M _y M _z	NM _y M _z V _y V _z	M _t NM _y M _z V _y V _z	
pésima en cubierta	b / t ≤ (b / t) _{Máx.} Cumple	N.P. ⁽¹⁾	N.P. ⁽²⁾	N.P. ⁽³⁾	x: 7 m η = 82.5	N.P. ⁽⁴⁾	N.P. ⁽⁵⁾	N.P. ⁽⁶⁾	x: 7 m η = 17.0	N.P. ⁽⁷⁾	N.P. ⁽⁸⁾	N.P. ⁽⁹⁾	N.P. ⁽¹⁰⁾	CUMPLE η = 82.5
Notación: b / t: Relación anchura / espesor $\bar{\lambda}$: Limitación de esbeltez N: Resistencia a tracción N _c : Resistencia a compresión M _y : Resistencia a flexión. Eje Y M _z : Resistencia a flexión. Eje Z M _y M _z : Resistencia a flexión biaxial V _y : Resistencia a corte Y V _z : Resistencia a corte Z N _t M _y : Resistencia a tracción y flexión N _c M _y : Resistencia a compresión y flexión NM _y M _z V _y : Resistencia a cortante, axil y flexión M _t NM _y M _z V _y : Resistencia a torsión combinada con axil, flexión y cortante x: Distancia al origen de la barra η: Coeficiente de aprovechamiento (%) N.P.: No procede														

Diseño y cálculo de la estructura portante de un pabellón de atletismo cubierto de 5250 m² de superficie situado en Valencia

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)													Estado
	b / t	$\bar{\lambda}$	N _t	N _c	M _y	M _z	M _y M _z	V _y	V _z	N _t M _y M _z	N _c M _y M _z	NM _y M _z V _y V _z	M _t NM _y M _z V _y V _z	
Comprobaciones que no proceden (N.P.):														
⁽¹⁾ La comprobación no procede, ya que no hay axil de compresión ni de tracción. ⁽²⁾ La comprobación no procede, ya que no hay axil de tracción. ⁽³⁾ La comprobación no procede, ya que no hay axil de compresión. ⁽⁴⁾ La comprobación no procede, ya que no hay momento flector. ⁽⁵⁾ La comprobación no procede, ya que no hay flexión biaxial para ninguna combinación. ⁽⁶⁾ La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante. ⁽⁷⁾ No hay interacción entre axil de tracción y momento flector para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede. ⁽⁸⁾ No hay interacción entre axil de compresión y momento flector para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede. ⁽⁹⁾ No hay interacción entre momento flector, axil y cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede. ⁽¹⁰⁾ La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor.														

5.9 PLACAS DE ANCLAJE

5.9.1 TIPO 1 (ALINEACIÓN A)

La placa de anclaje tipo 1 es la perteneciente a los pilares de los pórticos de fachada. En la Figura 40 se puede observar la placa de anclaje seleccionada en concreto.

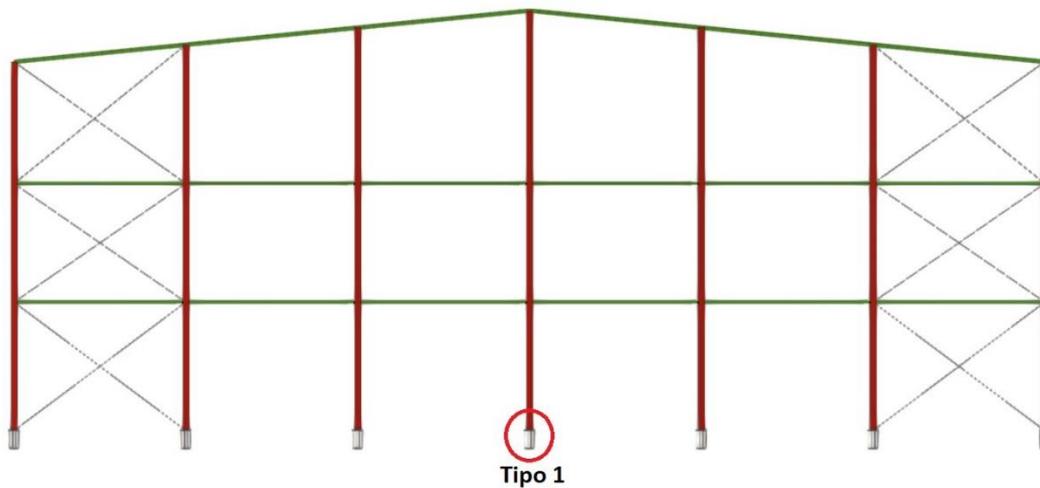


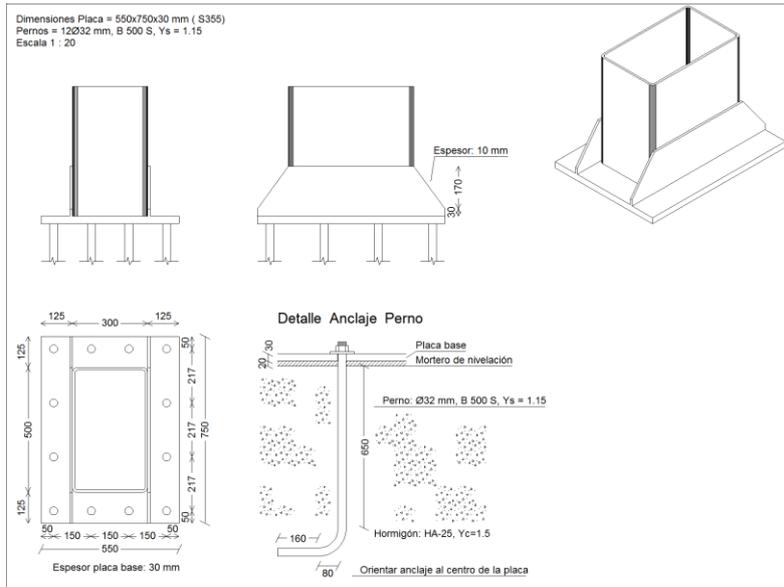
Figura 40. Placa de anclaje tipo 1 (alineación A)

5.9.1.1 GEOMETRÍA Y DESCRIPCIÓN

En las siguientes tablas se muestra tanto el detalle de la placa de anclaje seleccionada como los distintos elementos que la componen.

Nudos										
Referencia	Coordenadas			Vinculación exterior						Vinculación interior
	X (m)	Y (m)	Z (m)	Δ_x	Δ_y	Δ_z	θ_x	θ_y	θ_z	
N853	0.000	25.000	0.000	X	X	X	X	X	X	Empotrado

Diseño y cálculo de la estructura portante de un pabellón de atletismo cubierto de 5250 m² de superficie situado en Valencia



Elementos complementarios									
Pieza	Geometría				Taladros		Acero		
	Esquema	Ancho (mm)	Canto (mm)	Espezor (mm)	Cantidad	Diámetro (mm)	Tipo	f _y (MPa)	f _u (MPa)
Placa base		550	750	30	12	32	S355	355.0	470.0
Rigidizador		750	200	10	-	-	S355	355.0	470.0

Diseño y cálculo de la estructura portante de un pabellón de atletismo cubierto de 5250 m² de superficie situado en Valencia

5.9.1.2 COMPROBACIONES

Referencia:		
Comprobación	Valores	Estado
Separación mínima entre pernos: <i>3 diámetros</i>	Mínimo: 96 mm Calculado: 151 mm	Cumple
Separación mínima pernos-perfil: <i>1.5 diámetros</i>	Mínimo: 48 mm Calculado: 66 mm	Cumple
Separación mínima pernos-borde: <i>1.5 diámetros</i>	Mínimo: 48 mm Calculado: 50 mm	Cumple
Esbeltez de rigidizadores: - Paralelos a Y:	Máximo: 50 Calculado: 40.9	Cumple
Longitud mínima del perno: <i>Se calcula la longitud de anclaje necesaria por adherencia.</i>	Mínimo: 35 cm Calculado: 65 cm	Cumple
Anclaje perno en hormigón: - Tracción: - Cortante: - Tracción + Cortante:	Máximo: 231.13 kN Calculado: 211.62 kN Máximo: 161.79 kN Calculado: 12.59 kN Máximo: 231.13 kN Calculado: 229.61 kN	Cumple Cumple Cumple
Tracción en vástago de pernos:	Máximo: 255.69 kN Calculado: 198.63 kN	Cumple
Tensión de Von Mises en vástago de pernos:	Máximo: 476.19 MPa Calculado: 248.658 MPa	Cumple
Aplastamiento perno en placa: <i>Límite del cortante en un perno actuando contra la placa</i>	Máximo: 649.14 kN Calculado: 11.8 kN	Cumple
Tensión de Von Mises en secciones globales: - Derecha: - Izquierda: - Arriba: - Abajo:	Máximo: 338.095 MPa Calculado: 119.786 MPa Calculado: 119.786 MPa Calculado: 204.435 MPa Calculado: 204.38 MPa	Cumple Cumple Cumple Cumple
Flecha global equivalente: <i>Limitación de la deformabilidad de los vuelos</i> - Derecha: - Izquierda: - Arriba: - Abajo:	Mínimo: 250 Calculado: 1832.8 Calculado: 1832.8 Calculado: 6873.02 Calculado: 6875.01	Cumple Cumple Cumple Cumple
Tensión de Von Mises local: <i>Tensión por tracción de pernos sobre placas en voladizo</i>	Máximo: 338.095 MPa Calculado: 236.698 MPa	Cumple
Se cumplen todas las comprobaciones		
Información adicional:		
- Relación rotura pésima sección de hormigón: 0.302 - Punto de tensión local máxima: (-0.14, 0.25)		

5.9.2 TIPO 2 (ALINEACIÓN B)

Como se ha comentado antes, se trata de la placa de anclaje de los pilares de los pórticos interiores. En la Figura 41 se puede observar la placa de anclaje seleccionada en concreto.

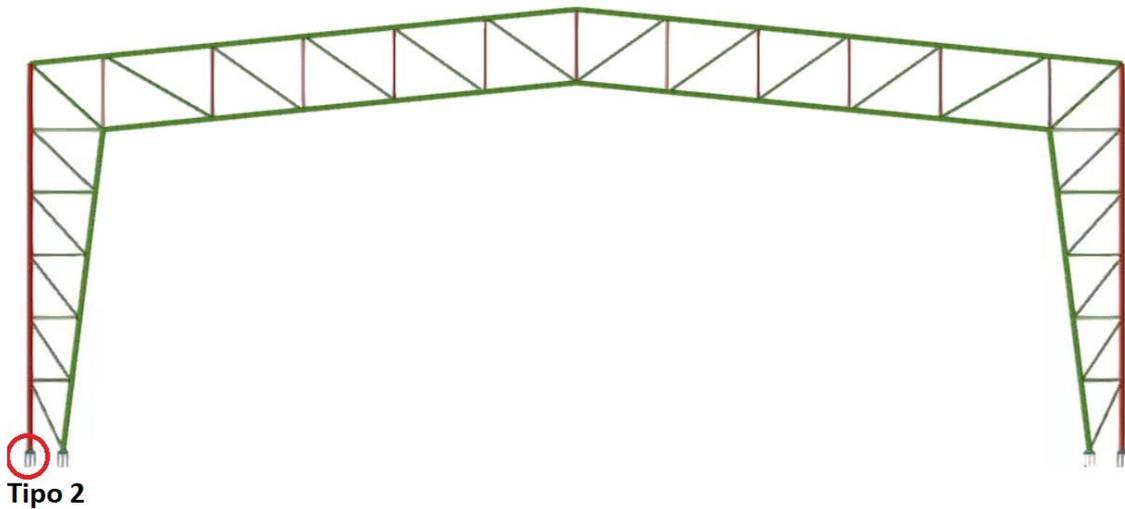
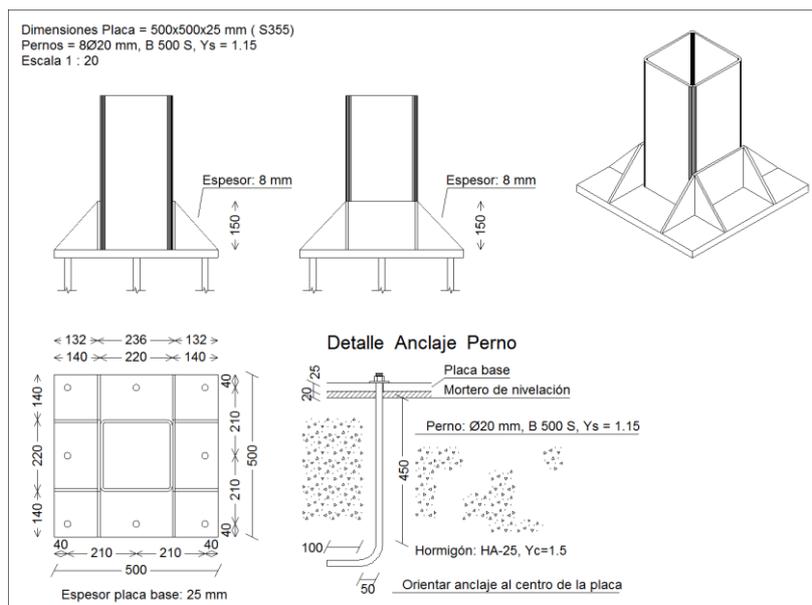


Figura 41. Placa de anclaje tipo 2 (alineación B)

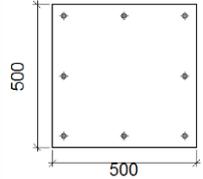
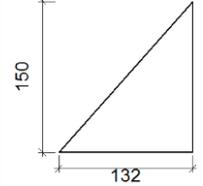
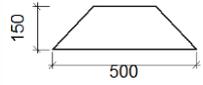
5.9.2.1 GEOMETRÍA Y DESCRIPCIÓN

En las siguientes tablas se muestra tanto el detalle de la placa de anclaje seleccionada como los distintos elementos que la componen.

Nudos										
Referencia	Coordenadas			Vinculación exterior						Vinculación interior
	X (m)	Y (m)	Z (m)	Δ_x	Δ_y	Δ_z	θ_x	θ_y	θ_z	
N105	7.000	0.000	0.000	X	X	X	X	X	X	Empotrado



Diseño y cálculo de la estructura portante de un pabellón de atletismo cubierto de 5250 m² de superficie situado en Valencia

Elementos complementarios									
Pieza	Geometría				Taladros		Acero		
	Esquema	Ancho (mm)	Canto (mm)	Espesor (mm)	Cantidad	Diámetro (mm)	Tipo	f _y (MPa)	f _u (MPa)
Placa base		500	500	25	8	20	S355	355.0	470.0
Rigidizador		132	150	8	-	-	S355	355.0	470.0
Rigidizador		500	150	8	-	-	S355	355.0	470.0

5.9.2.2 COMPROBACIONES

En la siguiente tabla se muestran las distintas comprobaciones que se han realizado sobre la placa de anclaje.

Referencia:		
Comprobación	Valores	Estado
Separación mínima entre pernos: <i>3 diámetros</i>	Mínimo: 60 mm Calculado: 210 mm	Cumple
Separación mínima pernos-perfil: <i>1.5 diámetros</i>	Mínimo: 30 mm Calculado: 92 mm	Cumple
Separación mínima pernos-borde: <i>1.5 diámetros</i>	Mínimo: 30 mm Calculado: 40 mm	Cumple
Esbeltez de rigidizadores: - Paralelos a X: - Paralelos a Y:	Máximo: 50 Calculado: 44.4 Calculado: 44.4	Cumple Cumple
Longitud mínima del perno: <i>Se calcula la longitud de anclaje necesaria por adherencia.</i>	Mínimo: 22 cm Calculado: 45 cm	Cumple
Anclaje perno en hormigón: - Tracción: - Cortante: - Tracción + Cortante:	Máximo: 100.01 kN Calculado: 73.24 kN Máximo: 70.01 kN Calculado: 15.41 kN Máximo: 100.01 kN Calculado: 95.25 kN	Cumple Cumple Cumple
Tracción en vástago de pernos:	Máximo: 99.86 kN Calculado: 70.35 kN	Cumple

Diseño y cálculo de la estructura portante de un pabellón de atletismo cubierto de 5250 m² de superficie situado en Valencia

Referencia:		
Comprobación	Valores	Estado
Tensión de Von Mises en vástago de pernos:	Máximo: 476.19 MPa Calculado: 225.517 MPa	Cumple
Aplastamiento perno en placa: <i>Límite del cortante en un perno actuando contra la placa</i>	Máximo: 338.1 kN Calculado: 14.86 kN	Cumple
Tensión de Von Mises en secciones globales:	Máximo: 338.095 MPa	
- Derecha:	Calculado: 107.623 MPa	Cumple
- Izquierda:	Calculado: 107.602 MPa	Cumple
- Arriba:	Calculado: 154.715 MPa	Cumple
- Abajo:	Calculado: 154.715 MPa	Cumple
Flecha global equivalente: <i>Limitación de la deformabilidad de los vuelos</i>	Mínimo: 250	
- Derecha:	Calculado: 7874.34	Cumple
- Izquierda:	Calculado: 7875.85	Cumple
- Arriba:	Calculado: 5331.89	Cumple
- Abajo:	Calculado: 5331.89	Cumple
Tensión de Von Mises local: <i>Tensión por tracción de pernos sobre placas en voladizo</i>	Máximo: 338.095 MPa Calculado: 243.625 MPa	Cumple
Se cumplen todas las comprobaciones		
Información adicional:		
- Relación rotura pésima sección de hormigón: 0.113		
- Punto de tensión local máxima: (0.118, -0.25)		

5.10 CIMENTACIÓN

Para reducir el número de páginas empleadas en el trabajo, se han seleccionado elementos concretos de la cimentación. Se ha escogido una zapata de los pilares del pórtico interior, una zapata de los pilares del pórtico de fachada y un tramo de la viga de atado. En la Figura 42 se muestran los elementos para los cuales se han realizado las comprobaciones.

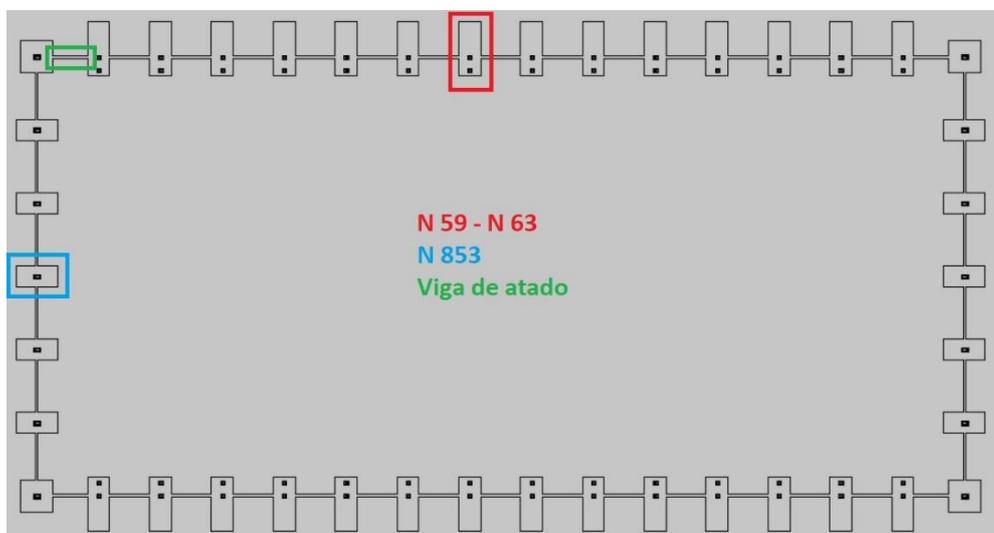


Figura 42. Elementos más significativos de la cimentación

Diseño y cálculo de la estructura portante de un pabellón de atletismo cubierto de 5250 m² de superficie situado en Valencia

5.10.1 ZAPATA RECTANGULAR EXCÉNTRICA (N59 – N63)

En las siguientes tablas se muestran los listados de las comprobaciones llevadas a cabo sobre la zapata rectangular excéntrica de la Figura 43.

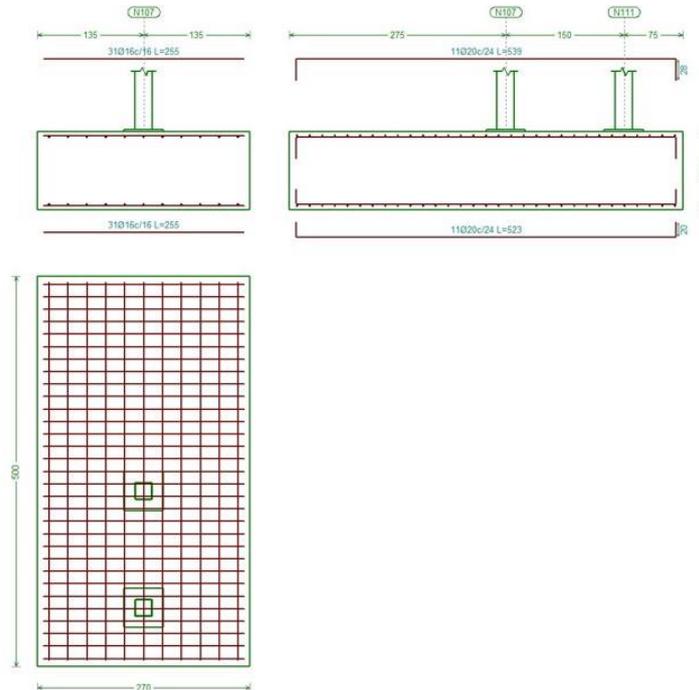


Figura 43. Dimensiones de la zapata rectangular excéntrica

Referencia: (N59 - N63)		
Dimensiones: 270 x 500 x 100		
Armados: Xi:Ø16c/16 Yi:Ø20c/24 Xs:Ø16c/16 Ys:Ø20c/24		
Comprobación	Valores	Estado
Tensiones sobre el terreno: <i>Criterio de CYPE</i>		
- Tensión media en situaciones persistentes:	Máximo: 0.2 MPa Calculado: 0.0501291 MPa	Cumple
- Tensión máxima en situaciones persistentes sin viento:	Máximo: 0.249959 MPa Calculado: 0.0514044 MPa	Cumple
- Tensión máxima en situaciones persistentes con viento:	Máximo: 0.249959 MPa Calculado: 0.100651 MPa	Cumple
Vuelco de la zapata: <i>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.</i>		
- En dirección X:	Reserva seguridad: 117.9 %	Cumple
- En dirección Y:	Reserva seguridad: 1.6 %	Cumple
Flexión en la zapata:		
- En dirección X:	Momento: 87.18 kN·m	Cumple
- En dirección Y:	Momento: 514.86 kN·m	Cumple

Diseño y cálculo de la estructura portante de un pabellón de atletismo cubierto de 5250 m² de superficie situado en Valencia

Referencia: (N59 - N63)		
Dimensiones: 270 x 500 x 100		
Armados: Xi:Ø16c/16 Yi:Ø20c/24 Xs:Ø16c/16 Ys:Ø20c/24		
Comprobación	Valores	Estado
Cortante en la zapata:		
- En dirección X:	Cortante: 29.23 kN	Cumple
- En dirección Y:	Cortante: 262.81 kN	Cumple
Compresión oblicua en la zapata:		
- Situaciones persistentes:	Máximo: 5000 kN/m ²	
<i>Criterio de CYPE</i>	Calculado: 312.5 kN/m ²	Cumple
Canto mínimo:	Mínimo: 15 cm	
<i>Criterio de CYPE</i>	Calculado: 100 cm	Cumple
Espacio para anclar arranques en cimentación:	Mínimo: 44 cm	
- N59:	Calculado: 93 cm	Cumple
- N63:	Calculado: 93 cm	Cumple
Cuantía geométrica mínima:		
<i>Norma Código Estructural. Artículo A19.9.2.1.1</i>		
- Armado inferior dirección X:	Mínimo: 0.00123 Calculado: 0.00125	Cumple
- Armado superior dirección X:	Mínimo: 0.00123 Calculado: 0.00125	Cumple
- Armado inferior dirección Y:	Mínimo: 0.0012 Calculado: 0.0013	Cumple
- Armado superior dirección Y:	Mínimo: 0.0012 Calculado: 0.0013	Cumple
Diámetro mínimo de las barras:	Mínimo: 12 mm	
<i>Norma Código Estructural. Artículo A19.9.8.2.1</i>		
- Parrilla inferior:	Calculado: 16 mm	Cumple
- Parrilla superior:	Calculado: 16 mm	Cumple
Separación máxima entre barras:	Máximo: 30 cm	
<i>Criterio de CYPE</i>		
- Armado inferior dirección X:	Calculado: 16 cm	Cumple
- Armado inferior dirección Y:	Calculado: 24 cm	Cumple
- Armado superior dirección X:	Calculado: 16 cm	Cumple
- Armado superior dirección Y:	Calculado: 24 cm	Cumple
Separación mínima entre barras:	Mínimo: 10 cm	
<i>Criterio de CYPE</i>		
- Armado inferior dirección X:	Calculado: 16 cm	Cumple
- Armado inferior dirección Y:	Calculado: 24 cm	Cumple
- Armado superior dirección X:	Calculado: 16 cm	Cumple
- Armado superior dirección Y:	Calculado: 24 cm	Cumple
Longitud de anclaje:		
49.5		

Diseño y cálculo de la estructura portante de un pabellón de atletismo cubierto de 5250 m² de superficie situado en Valencia

Referencia: (N59 - N63)		
Dimensiones: 270 x 500 x 100		
Armados: Xi:Ø16c/16 Yi:Ø20c/24 Xs:Ø16c/16 Ys:Ø20c/24		
Comprobación	Valores	Estado
- Armado inf. dirección X hacia der:	Mínimo: 16 cm Calculado: 28 cm	Cumple
- Armado inf. dirección X hacia izq:	Mínimo: 16 cm Calculado: 28 cm	Cumple
- Armado inf. dirección Y hacia arriba:	Mínimo: 25 cm Calculado: 188 cm	Cumple
- Armado inf. dirección Y hacia abajo:	Mínimo: 20 cm Calculado: 81 cm	Cumple
- Armado sup. dirección X hacia der:	Mínimo: 19 cm Calculado: 28 cm	Cumple
- Armado sup. dirección X hacia izq:	Mínimo: 19 cm Calculado: 28 cm	Cumple
- Armado sup. dirección Y hacia arriba:	Mínimo: 28 cm Calculado: 196 cm	Cumple
- Armado sup. dirección Y hacia abajo:	Mínimo: 28 cm Calculado: 89 cm	Cumple
Longitud mínima de las patillas:	Mínimo: 20 cm	
- Armado inf. dirección Y hacia arriba:	Calculado: 20 cm	Cumple
- Armado inf. dirección Y hacia abajo:	Calculado: 20 cm	Cumple
- Armado sup. dirección Y hacia arriba:	Calculado: 28 cm	Cumple
- Armado sup. dirección Y hacia abajo:	Calculado: 28 cm	Cumple
Se cumplen todas las comprobaciones		
Información adicional:		
- Zapata de tipo flexible (Criterio de CYPE)		
- Relación rotura pésima (En dirección X): 0.04		
- Relación rotura pésima (En dirección Y): 0.44		
- Cortante de agotamiento (En dirección X): 1454.14 kN		
- Cortante de agotamiento (En dirección Y): 785.19 kN		

Diseño y cálculo de la estructura portante de un pabellón de atletismo cubierto de 5250 m² de superficie situado en Valencia

5.10.2 ZAPATA RECTANGULAR CENTRADA (N853)

En las siguientes tablas se muestran los listados de las comprobaciones llevadas a cabo sobre la zapata rectangular de la Figura 44.

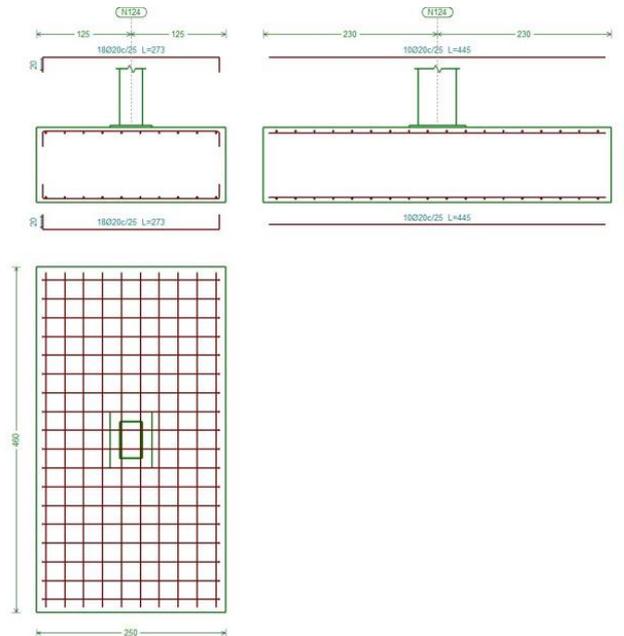


Figura 44. Dimensiones de la zapata rectangular

Referencia: N853		
Dimensiones: 250 x 460 x 100		
Armados: Xi:Ø20c/25 Yi:Ø20c/25 Xs:Ø20c/25 Ys:Ø20c/25		
Comprobación	Valores	Estado
Tensiones sobre el terreno: <i>Criterio de CYPE</i>		
- Tensión media en situaciones persistentes:	Máximo: 0.2 MPa Calculado: 0.0425754 MPa	Cumple
- Tensión máxima en situaciones persistentes sin viento:	Máximo: 0.249959 MPa Calculado: 0.033354 MPa	Cumple
- Tensión máxima en situaciones persistentes con viento:	Máximo: 0.249959 MPa Calculado: 0.092214 MPa	Cumple
Vuelco de la zapata: <i>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.</i>		
- En dirección X:	Reserva seguridad: 979.5 %	Cumple
- En dirección Y:	Reserva seguridad: 4.0 %	Cumple
Flexión en la zapata:		
- En dirección X:	Momento: 41.16 kN·m	Cumple
- En dirección Y:	Momento: 442.09 kN·m	Cumple
Cortante en la zapata:		
- En dirección X:	Cortante: 8.44 kN	Cumple
- En dirección Y:	Cortante: 283.02 kN	Cumple

Diseño y cálculo de la estructura portante de un pabellón de atletismo cubierto de 5250 m² de superficie situado en Valencia

Referencia: N853		
Dimensiones: 250 x 460 x 100		
Armados: Xi:Ø20c/25 Yi:Ø20c/25 Xs:Ø20c/25 Ys:Ø20c/25		
Comprobación	Valores	Estado
Compresión oblicua en la zapata: - Situaciones persistentes: <i>Criterio de CYPE</i>	Máximo: 5000 kN/m ² Calculado: 71.3 kN/m ²	Cumple
Canto mínimo: <i>Criterio de CYPE</i>	Mínimo: 15 cm Calculado: 100 cm	Cumple
Espacio para anclar arranques en cimentación: - N853:	Mínimo: 65 cm Calculado: 92 cm	Cumple
Cuantía geométrica mínima: <i>Norma Código Estructural. Artículo A19.9.2.1.1</i>		
- Armado inferior dirección X:	Mínimo: 0.00123 Calculado: 0.00123	Cumple
- Armado superior dirección X:	Mínimo: 0.00123 Calculado: 0.00123	Cumple
- Armado inferior dirección Y:	Mínimo: 0.0012 Calculado: 0.0013	Cumple
- Armado superior dirección Y:	Mínimo: 0.0012 Calculado: 0.0013	Cumple
Diámetro mínimo de las barras: <i>Norma Código Estructural. Artículo A19.9.8.2.1</i>	Mínimo: 12 mm	
- Parrilla inferior:	Calculado: 20 mm	Cumple
- Parrilla superior:	Calculado: 20 mm	Cumple
Separación máxima entre barras: <i>Criterio de CYPE</i>	Máximo: 30 cm	
- Armado inferior dirección X:	Calculado: 25 cm	Cumple
- Armado inferior dirección Y:	Calculado: 25 cm	Cumple
- Armado superior dirección X:	Calculado: 25 cm	Cumple
- Armado superior dirección Y:	Calculado: 25 cm	Cumple
Separación mínima entre barras: <i>Criterio de CYPE</i>	Mínimo: 10 cm	
- Armado inferior dirección X:	Calculado: 25 cm	Cumple
- Armado inferior dirección Y:	Calculado: 25 cm	Cumple
- Armado superior dirección X:	Calculado: 25 cm	Cumple
- Armado superior dirección Y:	Calculado: 25 cm	Cumple
Longitud de anclaje: 49.5		
- Armado inf. dirección X hacia der:	Mínimo: 35 cm Calculado: 35 cm	Cumple
- Armado inf. dirección X hacia izq:	Mínimo: 35 cm Calculado: 35 cm	Cumple

Diseño y cálculo de la estructura portante de un pabellón de atletismo cubierto de 5250 m² de superficie situado en Valencia

Referencia: N853		
Dimensiones: 250 x 460 x 100		
Armados: Xi:Ø20c/25 Yi:Ø20c/25 Xs:Ø20c/25 Ys:Ø20c/25		
Comprobación	Valores	Estado
- Armado inf. dirección Y hacia arriba:	Mínimo: 24 cm Calculado: 110 cm	Cumple
- Armado inf. dirección Y hacia abajo:	Mínimo: 23 cm Calculado: 110 cm	Cumple
- Armado sup. dirección X hacia der:	Mínimo: 35 cm Calculado: 35 cm	Cumple
- Armado sup. dirección X hacia izq:	Mínimo: 35 cm Calculado: 35 cm	Cumple
- Armado sup. dirección Y hacia arriba:	Mínimo: 28 cm Calculado: 110 cm	Cumple
- Armado sup. dirección Y hacia abajo:	Mínimo: 28 cm Calculado: 110 cm	Cumple
Longitud mínima de las patillas:	Mínimo: 20 cm	
- Armado inf. dirección X hacia der:	Calculado: 20 cm	Cumple
- Armado inf. dirección X hacia izq:	Calculado: 20 cm	Cumple
- Armado sup. dirección X hacia der:	Calculado: 20 cm	Cumple
- Armado sup. dirección X hacia izq:	Calculado: 20 cm	Cumple
Se cumplen todas las comprobaciones		
Información adicional:		
- Zapata de tipo rígido		
- Relación rotura pésima (En dirección X): 0.03		
- Relación rotura pésima (En dirección Y): 0.41		
- Cortante de agotamiento (En dirección X): 1336.71 kN		
- Cortante de agotamiento (En dirección Y): 726.53 kN		

Diseño y cálculo de la estructura portante de un pabellón de atletismo cubierto de 5250 m² de superficie situado en Valencia

5.10.3 VIGA DE ATADO

En las siguientes tablas se muestran los listados de las comprobaciones llevadas a cabo sobre la viga de atado de la Figura 45.

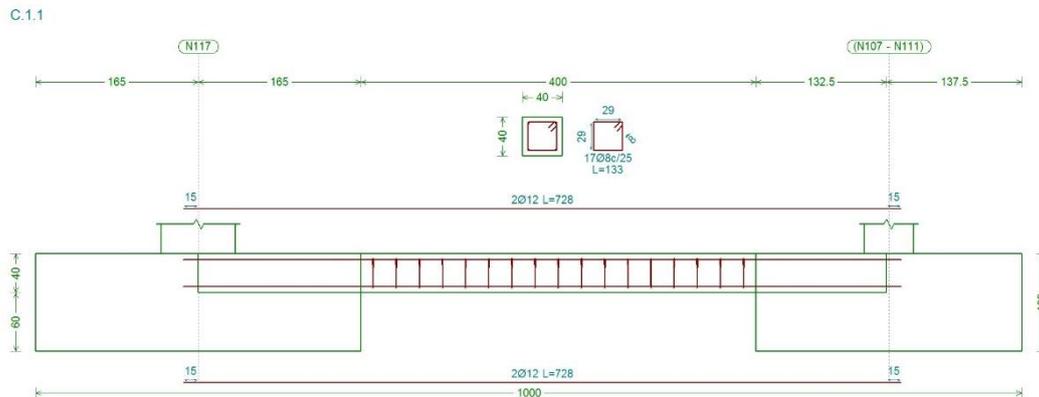


Figura 45. Dimensiones de la viga de atado

Referencia: C.1.1 [N117-(N107 - N111)] (Viga de atado)		
-Dimensiones: 40.0 cm x 40.0 cm		
-Armadura superior: 2Ø12		
-Armadura inferior: 2Ø12		
-Estribos: 1xØ8c/25		
Comprobación	Valores	Estado
Diámetro mínimo estribos:	Mínimo: 6 mm Calculado: 8 mm	Cumple
Separación mínima entre estribos: <i>Norma Código Estructural. Artículo A19.8.2 (2)</i>	Mínimo: 3.5 cm Calculado: 24.2 cm	Cumple
Separación mínima armadura longitudinal: <i>Norma Código Estructural. Artículo A19.8.2 (2)</i>	Mínimo: 3.5 cm	
- Armadura superior:	Calculado: 26 cm	Cumple
- Armadura inferior:	Calculado: 26 cm	Cumple
Separación máxima estribos: - Sin cortantes: <i>Norma Código Estructural. Artículo A19.9.2.2 (6)</i>	Máximo: 25.2 cm Calculado: 25 cm	Cumple
Separación máxima armadura longitudinal: <i>Criterio de CYPE</i>	Máximo: 30 cm	
- Armadura superior:	Calculado: 26 cm	Cumple
- Armadura inferior:	Calculado: 26 cm	Cumple
Se cumplen todas las comprobaciones		
Información adicional:		
- Diámetro mínimo de la armadura longitudinal (Norma Código Estructural. Artículo A19.9.8.3): Mínimo: 12.0 mm, Calculado: 12.0 mm (Cumple)		
- No llegan estados de carga a la cimentación.		

III. PRESUPUESTO

1. CAPÍTULO 1: ACONDICIONAMIENTO DEL TERRENO

-Desbroce y limpieza

Nº	Código	Ud	Descripción	Medición	Precio (€/ud)	Importe (€)
1.1	ADL005	m ²	Desbroce y limpieza del terreno.	5.250	0,98	5.145,00
Desbroce y limpieza del terreno de topografía con desniveles mínimos, con medios mecánicos. Comprende los trabajos necesarios para retirar de las zonas previstas para la edificación o urbanización: pequeñas plantas, maleza, broza, maderas caídas, escombros, basuras o cualquier otro material existente, hasta una profundidad no menor que el espesor de la capa de tierra vegetal, considerando como mínima 25 cm; y carga a camión.						

-Excavación de tierra

Nº	Código	Ud	Descripción	Medición	Precio (€/ud)	Importe (€)
1.2	ADE002	m ³	Excavación a cielo abierto, con medios mecánicos	567,44	5,30	3.007,43
Excavación a cielo abierto, en suelo de arcilla semidura, con medios mecánicos, y carga a camión.						

-Transporte de tierras

Nº	Código	Ud	Descripción	Medición	Precio (€/ud)	Importe (€)
1.3		m ³	Transporte de tierras con camión	567,44	3,83	2.173,29
Transporte de tierras con camión de los productos procedentes de la excavación de cualquier tipo de terreno a vertedero específico, instalación de tratamiento de residuos de construcción y demolición externa a la obra o centro de valorización o eliminación de residuos, situado a una distancia máxima de 10 km.						

Resumen del capítulo					Importe (€)	
1.1 Desbroce y limpieza					5.145,00	
1.2 Excavación de tierra					3.007,43	
1.3 Transporte de tierra					2.173,29	
Total capítulo 1					10.325,72	

2. CAPÍTULO 2: CIMENTACIÓN

-Hormigón de limpieza

Nº	Código	Ud	Descripción	Medición	Precio (€/ud)	Importe (€)
2.1	CRL010	m ²	Capa de hormigón de limpieza	613,18	7,27	4.462,32
Capa de hormigón de limpieza y nivelado de fondos de cimentación, de 10 cm de espesor, de hormigón HL-150/B/20, fabricado en central y vertido desde camión, en el fondo de la excavación previamente realizada.						

-Zapatatas de cimentación

Nº	Código	Ud	Descripción	Medición	Precio (€/ud)	Importe (€)
2.2	CSZ010	m ³	Zapata de cimentación de hormigón armado	536,56	161,95	86.895,89
Zapata de cimentación de hormigón armado, realizada con hormigón HA-25/B/20/XC2 fabricado en central, y vertido desde camión, y acero UNE-EN 10080 B 500 S, con una cuantía aproximada de 43,5 kg/m ³ . Incluso armaduras de espera del pilar, alambre de atar, y separadores.						

-Viga de atado

Nº	Código	Ud	Descripción	Medición	Precio (€/ud)	Importe (€)
2.3	CAV010	m ³	Viga entre zapatas	30,88	182,38	5.631,89
Viga de atado de hormigón armado, realizada con hormigón HA-25/B/20/XC2 fabricado en central, y vertido desde camión, y acero UNE-EN 10080 B 500 S, con una cuantía aproximada de 56,4 kg/m ³ . Incluso alambre de atar, y separadores.						

Resumen del capítulo					Importe (€)	
2.1 Hormigón de limpieza					4.462,32	
2.2 Zapatas de cimentación					86.895,89	
2.3 Viga de atado					5.631,89	
Total capítulo 2					96.990,10	

3. CAPÍTULO 3: ESTRUCTURA

-Acero en barras

Nº	Código	Ud	Descripción	Medición	Precio (€/ud)	Importe (€)
3.1	EAV010a	kg	Acero en barras	220.867,57	2,36	521.247,46
Acero UNE-EN 10210 S355JR, en pilares, montantes, diagonales, bastidores, tornapuntas, cordones, jácenas, vigas perimetrales, formadas por piezas simples de perfiles laminados en caliente de las series L, LD, T, redondo, cuadrado, rectangular o pletina, acabado con imprimación antioxidante, con uniones soldadas en obra, a una altura de más de 3 m.						
Tipo de barras						Medición (kg)
Acero en pilares						80.220,96
Acero en cordones						61.597,76
Acero en jácenas						5.156,69
Acero en montantes						20.769,25
Acero en diagonales						20.781,49
Acero en bastidores						26.639,84
Acero en tornapuntas						5.701,58

-Acero en cruces de San Andrés

Nº	Código	Ud	Descripción	Medición	Precio (€/ud)	Importe (€)
3.2	EAV010b	kg	Acero en cruces de San Andrés	7.077,6	2,36	16.703,13
Acero UNE-EN 10025 S355JR en diagonales formadas por piezas simples de perfiles laminados en caliente de las series "redondo acabado con imprimación antioxidante, con uniones soldadas en obra, a una altura de más de 3 m.						

-Acero en placas de anclaje

Nº	Código	Ud	Descripción	Medición	Precio (€/ud)	Importe (€)
3.3	EAS006a	ud	Placa de anclaje tipo 2	56	222,33	12.450,48
Placa de anclaje de acero UNE-EN 10025 S355JR en perfil plano, con rigidizadores y taladro central, de 500x500 mm y espesor 25 mm, y montaje sobre 8 pernos de acero corrugado UNE-EN 10080 B 500 S de 20 mm de diámetro y 45 cm de longitud total, embutidos en el hormigón fresco, y atornillados con arandelas, tuerca y contratuerca una vez endurecido el hormigón del cimiento. Incluso mortero autonivelante expansivo para relleno del espacio resultante entre el hormigón endurecido y la placa y protección anticorrosiva aplicada a las tuercas y extremos de los pernos.						
	EAS006b	ud	Placa de anclaje tipo 1	14	438,74	6.142,36
Placa de anclaje de acero UNE-EN 10025 S355JR en perfil plano, con rigidizadores y taladro central, de 550x750 mm y espesor 30 mm, y montaje sobre 12 pernos de acero corrugado UNE-EN 10080 B 500 S de 32 mm de diámetro y 65 cm de longitud total, embutidos en el hormigón fresco, y atornillados con arandelas, tuerca y contratuerca una vez endurecido el hormigón del cimiento.						

Diseño y cálculo de la estructura portante de un pabellón de atletismo cubierto de 5250 m² de superficie situado en Valencia

-Acero en correas

Nº	Código	Ud	Descripción	Medición	Precio (€/ud)	Importe (€)
3.4	EAT030	kg	Acero en correas metálicas	32.201,40	3,41	109.806,77
Acero UNE-EN 10162 S235JRC, en correas metálicas formadas por piezas simples de perfiles conformados en frío de las series omega, L, U, C o Z, acabado galvanizado, fijadas a las cerchas con uniones soldadas en obra.						

Resumen del capítulo		Importe (€)
3.1 Acero en barras		521.247,46
3.2 Acero en cruces de San Andrés		16.703,13
3.3 Acero en placas de anclaje		18.592,84
3.4 Acero en correas		109.806,77
Total capítulo 3		666.350,20

4. CAPÍTULO 4: CUBIERTA

-Panel sándwich

Nº	Código	Ud	Descripción	Medición	Precio (€/ud)	Importe (€)
4.1	QUM020	m ²	Cobertura de paneles sándwich aislantes, de acero	4.276,04	46,04	196.868,88
Cobertura de paneles sándwich aislantes de acero, con la superficie exterior grecada y la superficie interior lisa, de 30 mm de espesor y 1150 mm de anchura, formados por doble cara metálica de chapa estándar de acero, acabado prelacado, de espesor exterior 0,5 mm y espesor interior 0,5 mm y alma aislante de lana de roca de densidad media 145 kg/m ³ , y accesorios, colocados con un solape del panel superior de 200 mm y fijados mecánicamente sobre entramado ligero metálico, en cubierta inclinada, con una pendiente mayor del 10%. Incluso accesorios de fijación de los paneles sándwich, cinta flexible de butilo, adhesiva por ambas caras, para el sellado de estanqueidad de los solapes entre paneles sándwich y pintura antioxidante de secado rápido, para la protección de los solapes entre paneles sándwich.						

-Lucernarios

Nº	Código	Ud	Descripción	Medición	Precio (€/ud)	Importe (€)
4.2	QLL010	m ²	Lucernarios de placas translucidas	1.000	283,07	283.070,00
Lucernario a un agua con una luz máxima entre 3 y 8 m revestido con placas alveolares de policarbonato celular incoloras de 6 mm de espesor.						

Resumen del capítulo		Importe (€)
4.1 Panel sándwich		196.868,88
4.2 Lucernarios		283.070,00
Total capítulo 4		479.938,88

5. CAPÍTULO 5: FACHADAS

-Paneles de fachada

Nº	Código	Ud	Descripción	Medición	Precio (€/ud)	Importe (€)
5.1	FPP030	m ²	Fachada pesada de paneles alveolares prefabricados de hormigón pretensado	5.080	22,66	115.112,80
Cerramiento de fachada formado por paneles alveolares prefabricados de hormigón pretensado, de 16 cm de espesor, 1,2 metros de anchura y 9 metros de longitud máxima, acabado liso, de color gris, dispuestos en posición horizontal.						

-Lunas de vidrio

Nº	Código	Ud	Descripción	Medición	Precio (€/ud)	Importe (€)
5.2	LVP010	m ²	Luna de vidrio simple	500	23,31	11.655,00
Luna incolora, de 4 mm de espesor, fijada sobre carpintería con acuñado mediante calzos de apoyo perimetrales y laterales, sellado en frío con silicona sintética incolora (no acrílica), compatible con el material soporte.						

Resumen del capítulo					Importe (€)	
5.1 Paneles de fachada					115.112,80	
5.2 Lunas de vidrio					11.655,00	
Total capítulo 5					126.767,80	

6. CAPÍTULO 6: SOLADO

- Solera de hormigón

Nº	Código	Ud	Descripción	Medición	Precio (€/ud)	Importe (€)
6.1	CAV010	m ²	Solera de hormigón armado	5250	16,18	84.945,00
Solera de hormigón armado de 10 cm de espesor, realizada con hormigón HA-25/B/20/XC2 fabricado en central, y vertido desde camión, y malla electrosoldada ME 20x20 Ø 5-5 B 500 T 6x2,20 UNE-EN 10080 como armadura de reparto, colocada sobre separadores homologados, extendido y vibrado manual mediante regla vibrante, sin tratamiento de su superficie; con juntas de retracción de 5 mm de espesor, mediante corte con disco de diamante. Incluso panel de poliestireno expandido de 3 cm de espesor, para la ejecución de juntas de dilatación.						

Diseño y cálculo de la estructura portante de un pabellón de atletismo cubierto de 5250 m² de superficie situado en Valencia

-Pavimento deportivo

Nº	Código	Ud	Descripción	Medición	Precio (€/ud)	Importe (€)
6.2	RSH030	m ²	Pavimento vinílico deportivo indoor, multideporte	3500	46,64	163.240,00
Pavimento vinílico deportivo indoor multideporte, de 7 mm de espesor, formado por un complejo con superficie de vinilo plastificado, reforzado con una malla de fibra de vidrio, sobre una capa de espuma de alta densidad con estructura celular cerrada, suministrado en rollos, color a elegir, peso 4,6 kg/m ² , absorción de impactos según UNE-EN 14808 entre 25 y 35%, deformación vertical según UNE-EN 14809 < 2%, clasificación según UNE-EN 14904 P1, altura de rebote de pelota según UNE-EN 12235 >= 90%, resistencia al fuego según UNE-EN 13501-1 Cfl-s1, con tratamiento fotorreticulado (antihumedad, antiquemaduras, deslizamiento controlado), fungiestático y bacteriostático, instalado sobre una base soporte sin riesgo de humedad ascendente (no incluida en este precio) y fijado con adhesivo de contacto.						

Resumen del capítulo		Importe (€)
6.1	Solera de hormigón	84.945,00
6.2	Pavimento deportivo	163.240,00
Total capítulo 6		248.185,00

7. PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL (P.E.M)

Resumen de los capítulos		Importe (€)
1.	Acondicionamiento del terreno	10.325,72
2.	Cimentación	96.990,10
3.	Estructura	666.350,20
4.	Cubierta	479.938,88
5.	Fachada	126.767,80
6.	Solado	248.185,00
Presupuesto de Ejecución Material (P.E.M)		1.628.557,70

El presupuesto de ejecución material de la obra asciende a la cantidad de **UN MILLÓN SEISCIENTOS VEINTIOCHO MIL QUINIENTOS CINCUENTA Y SIETE EUROS CON SETENTA CÉNTIMOS**.

8. PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN POR CONTRATA (P.E.C)

Presupuesto de Ejecución Material (P.E.M)		1.628.557,70
13% de gastos generales		211.712,50
6% de beneficio industrial		97.713,46
Presupuesto de Ejecución por Contrata (P.E.C)		1.937.983,66

El presupuesto de ejecución por contrata asciende a la cantidad de **UN MILLÓN NOVECIENTOS TREINTA Y SIETE MIL NOVECIENTOS OCHENTA Y TRES EUROS CON SESENTA Y SEIS CÉNTIMOS**.

9. PRESUPUESTO BASE DE LICITACIÓN (P.B.L)

Presupuesto de Ejecución por Contrata (P.E.C)	1.937.983,66
21 % I.V.A	406.976,57
Presupuesto Base de Licitación (P.B.L)	2.344.960,23

El presupuesto base de licitación del proyecto asciende a la cantidad de **DOS MILLONES TRESCIENTOS CUARENTA Y CUATRO MIL NOVECIENTOS SESENTA EUROS CON VEINTITRES CÉNTIMOS**.

10. ANÁLISIS DEL PRESUPUESTO

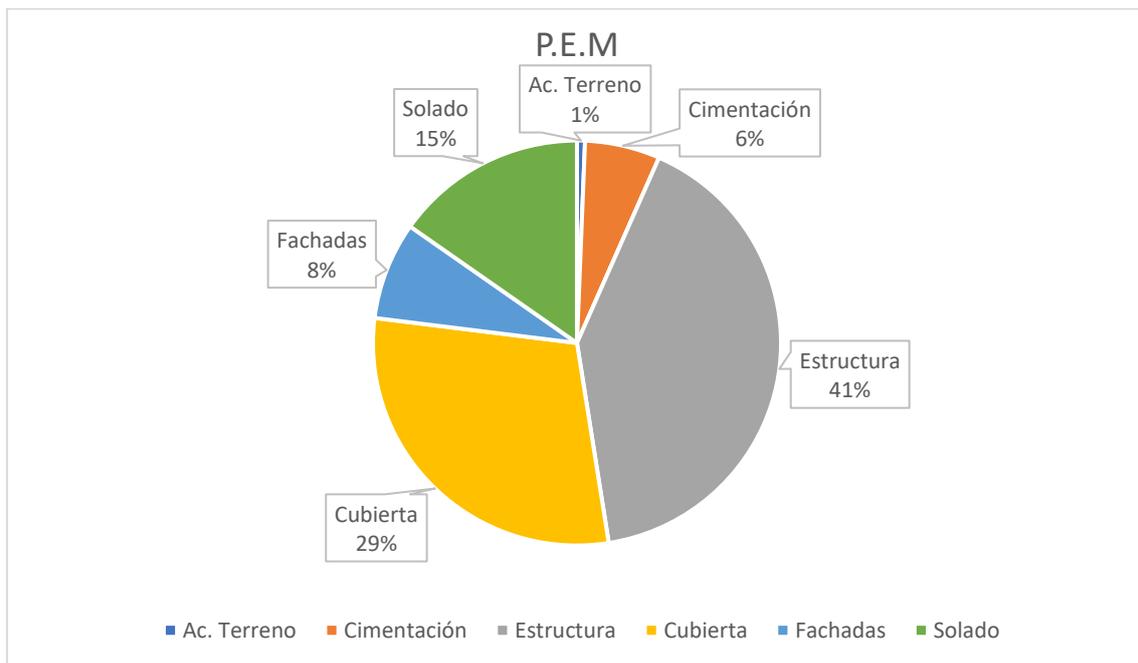


Figura 46. Distribución P.E.M

En la Figura 46 se puede observar el porcentaje del presupuesto de ejecución material que supone cada uno de los capítulos del presupuesto. Como era de esperar, el capítulo de la estructura es el de mayor porcentaje del presupuesto. Esto se debe a las grandes dimensiones de la estructura, con una luz y profundidad inusualmente grande, que obligan no solo a escoger perfiles de mayor tamaño sino también a tener una mayor densidad de barras. La altura del edificio también es considerable, lo que aumenta inevitablemente el tamaño de las placas de anclaje para poder soportar las grandes cargas de viento a las que se ve sometida la estructura. El gran tamaño de las placas de anclaje también repercute en el elevado coste de este capítulo.

El segundo capítulo en importancia es el de la cubierta. Esto se debe a que se ha optado por instalar unos lucernarios en la cubierta con el fin de maximizar la luz natural en el interior del edificio. El elevado coste de dichos lucernarios, unido a la gran cantidad de superficie a cubrir en el resto de la cubierta por los paneles sándwich, resulta en un coste para los elementos constructivos de la cubierta más elevado que el habitual.

El tercer capítulo en importancia es el del solado. En él se incluyen una solera de hormigón armado y un pavimento deportivo indoor. Este tipo de pavimento aumenta considerablemente el presupuesto final del proyecto, pero es necesario en una instalación deportiva de este tipo.

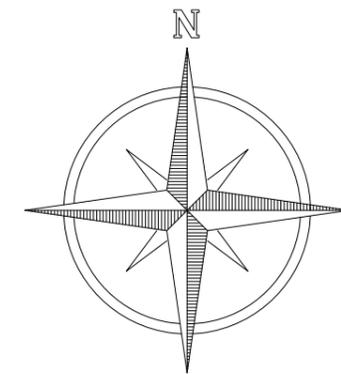
En cuarto lugar, se encuentra el capítulo referente a los elementos constructivos en las fachadas. Se da un caso similar al del capítulo de la cubierta, en el que las grandes superficies de las fachadas del edificio elevan el coste final del capítulo. Sin embargo, pese a que la superficie a cubrir es mayor en este caso, el coste final es menor. Esto se debe en gran parte al menor precio de las lunas de vidrio con respecto a los lucernarios de la cubierta.

El capítulo que contiene la cimentación representa un 6% del total del presupuesto de ejecución material del proyecto. En este capítulo se incluyen tanto las zapatas y la viga de atado como el hormigón de limpieza.

El capítulo referente al acondicionamiento del terreno previo a la construcción es el de menor coste, con apenas un 1% sobre el total de P.E.M. Es algo lógico, pues se trata de trabajos mucho menos complejos que los de la construcción de la estructura y en los que no se requiere apenas material. El buen estado de la parcela también influye en el bajo coste de este capítulo.

IV. PLANOS

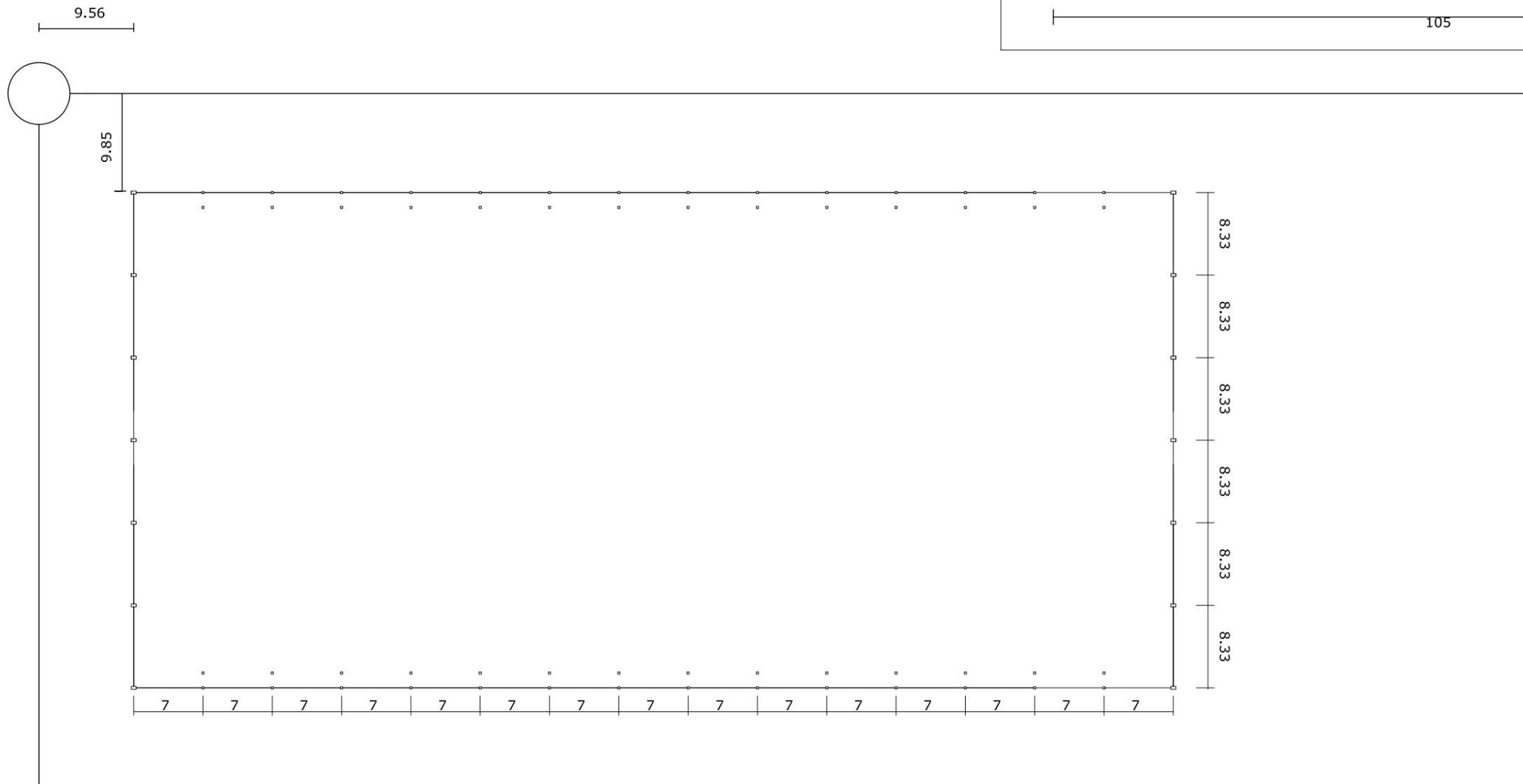
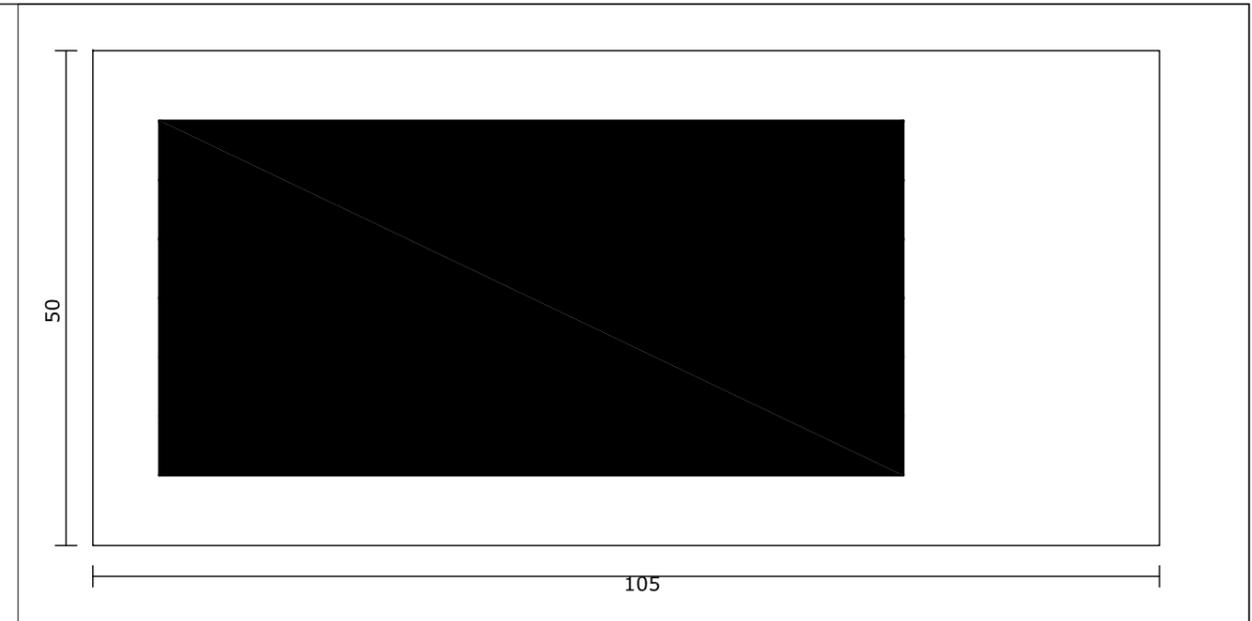
1. SITUACIÓN Y EMPLAZAMIENTO
2. DISTRIBUCIÓN EN PLANTA
3. CERRAMIENTO DE CUBIERTA
4. CERRAMIENTOS DE FACHADA
5. REPLANTEO
6. ESTRUCTURA 3D
7. CIMENTACIÓN
8. DETALLE DE LAS ZAPATAS Y VIGAS DE ATADO
9. PÓRTICO DE FACHADA (ALINEACIÓN A Y P)
10. PÓRTICO INTERIOR
11. FACHADA LATERAL (ALINEACIÓN 7)
12. ALINEACIÓN 4
13. VIGA "DURMIENTE" (NIVEL +12,058 METROS)
14. ESTRUCTURA DE CUBIERTA



1:30000



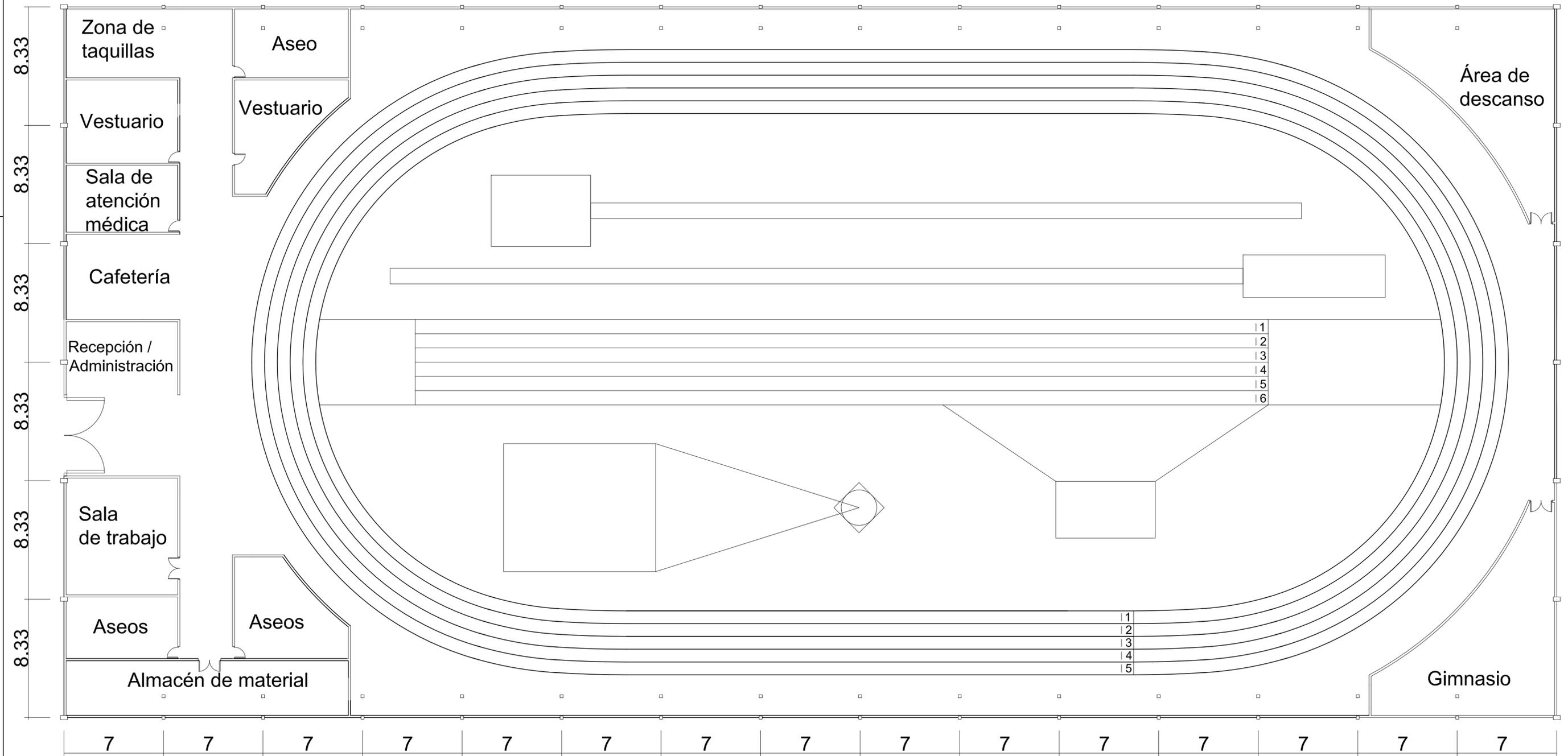
1:8000



1:1000

Cotas en metros

	Proyecto: Diseño y cálculo de la estructura portante de un pabellón de atletismo cubierto de 5250 m ² de superficie situado en Valencia	Plano: Replanteo	Fecha: Julio 2022	Nº Plano: 2
		Autor: Alejandro Marcos Ortigosa	Escala: 1:500	

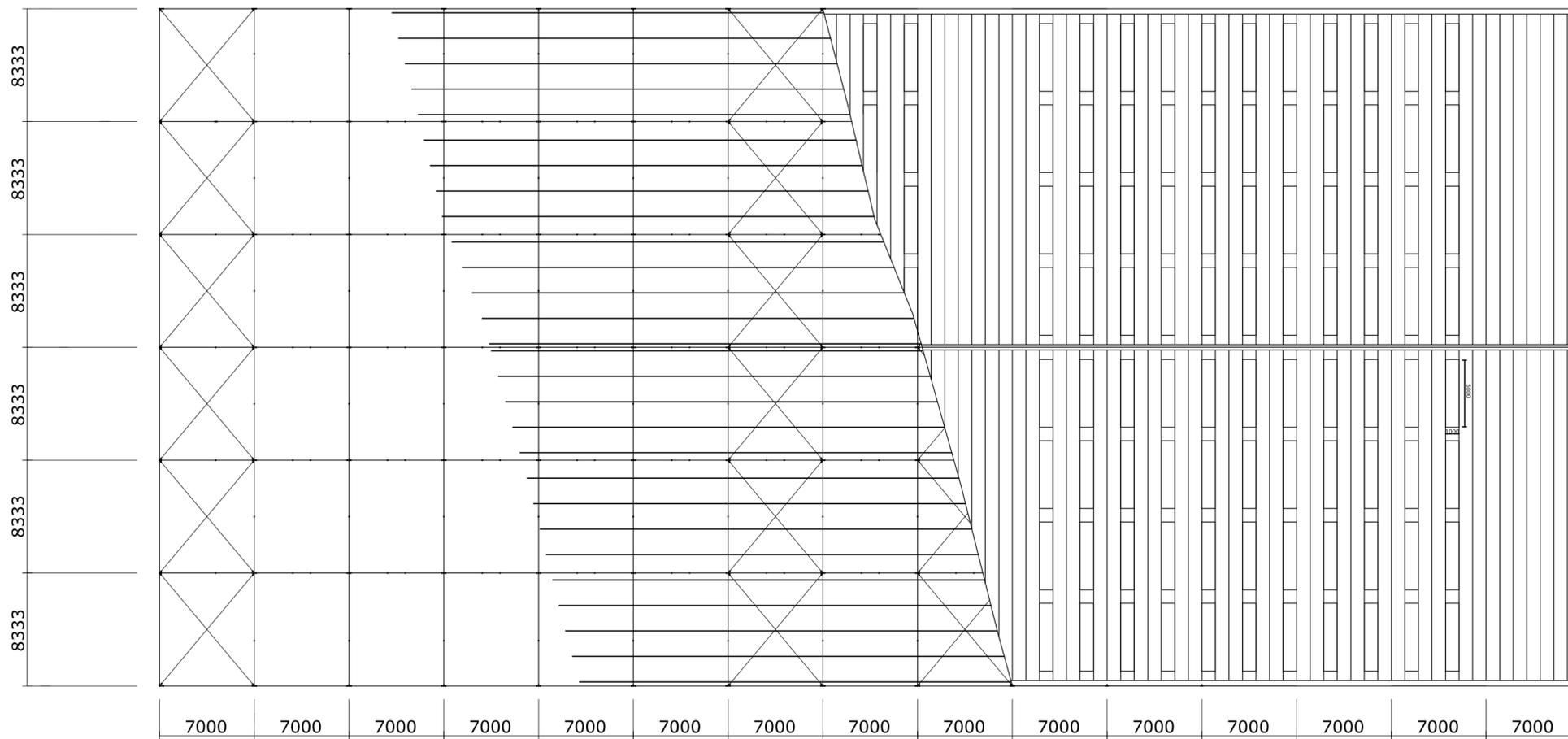


Cotas en metros
 TRABAJO FINAL DE GRADO EN INGENIERÍA EN
 TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

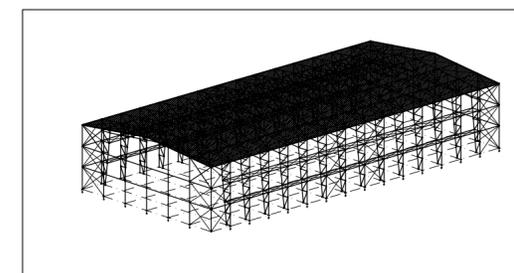


Alejandro Marcos Ortigosa
 Autor proyecto

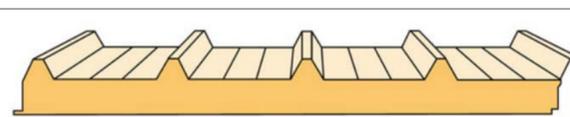
Proyecto: Diseño y cálculo de la estructura portante de un pabellón de atletismo cubierto de 5250 m2 de superficie situado en Valencia
 Fecha: Julio 2022
 Escala: 1/200
 Plano: Distribución en planta
 Nº Plano:



Cotas en milímetros



Detalle del panel sándwich



Separación entre pórticos (m): 7.00
 Correas en cubiertas
 Tipo de Acero: S235
 Tipo de perfil: CF-275x3.0
 Separación: 1.88 m.
 Número de correas: 28
 Peso lineal: 306.68 kg/m

CUADRO MATERIALES ESTRUCTURA METÁLICA			
ACERO EN ESTRUCTURA METÁLICA (Código Estructural (Real decreto 470/2021))		γ_{M0}	γ_{M1}
Perfiles laminados en caliente	S 355 - L.E. 355 N/mm ²	$\gamma_{M0}=1,05$	$\gamma_{M1}=1,05$
Perfiles conformados en frío	S 235 - L.E. 235 N/mm ²	$\gamma_{M0}=1,05$	$\gamma_{M1}=1,05$

TRABAJO FINAL DE GRADO EN INGENIERÍA EN
 TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES



Alejandro Marcos Ortigosa
 Autor
 proyecto

Proyecto: Diseño y cálculo de la estructura portante de un pabellón de atletismo cubierto de 5250 m² de superficie situado en Valencia

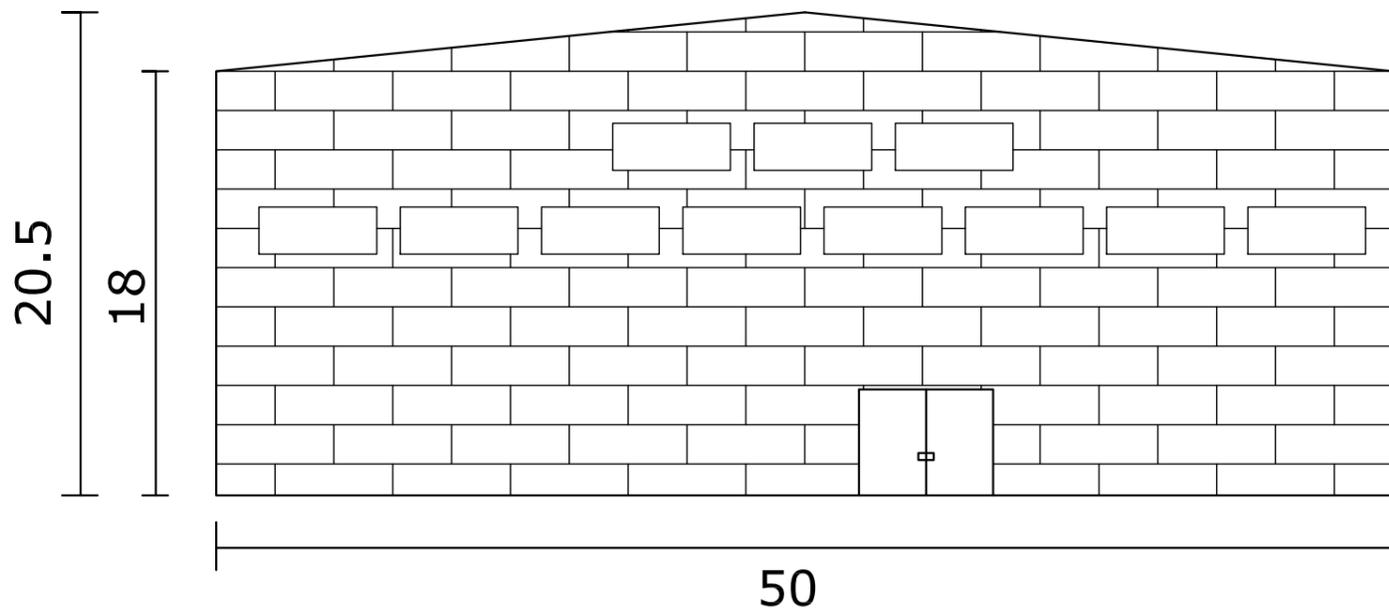
Fecha: Julio 2022

Escala: 1/300

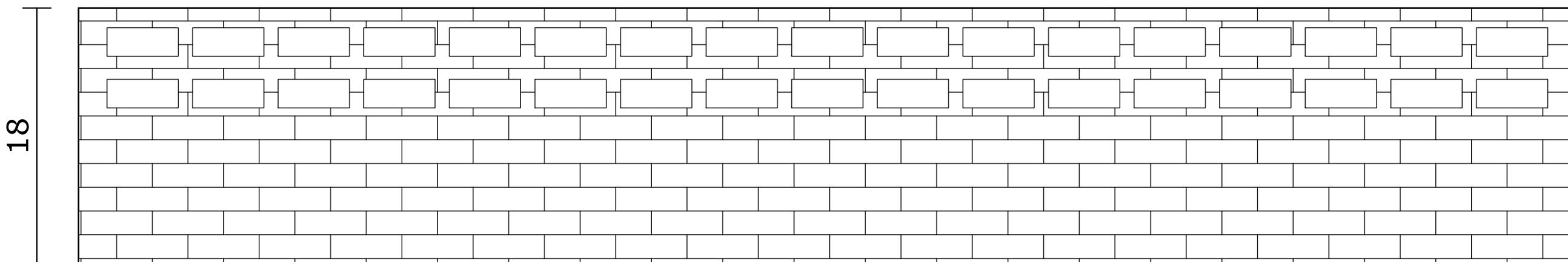
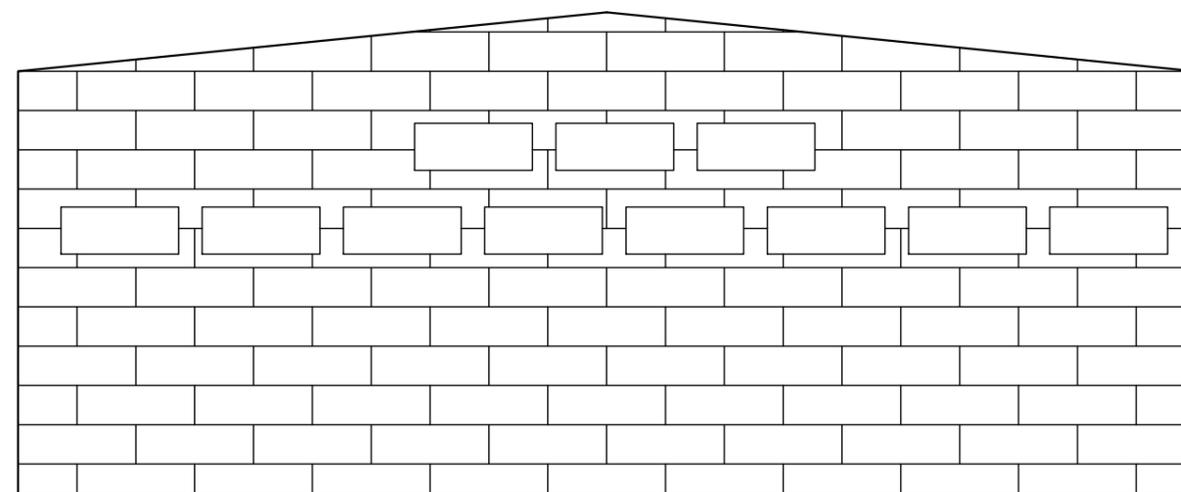
Plano: Cerramiento de cubierta

Nº Plano:

Fachada frontal



Fachada trasera



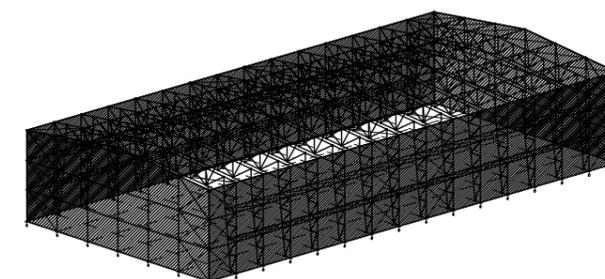
Fachadas laterales

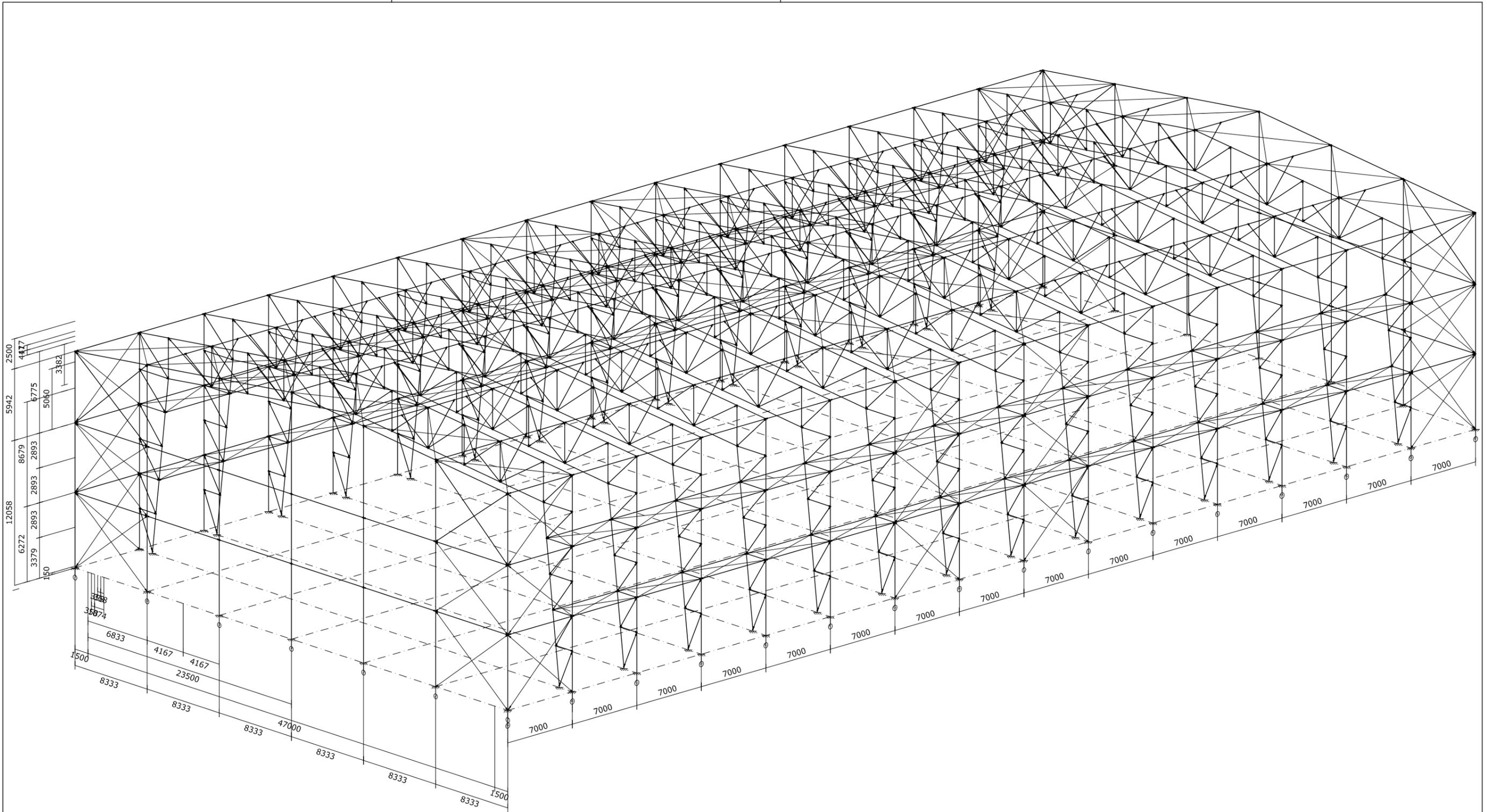
105

Cotas en metros



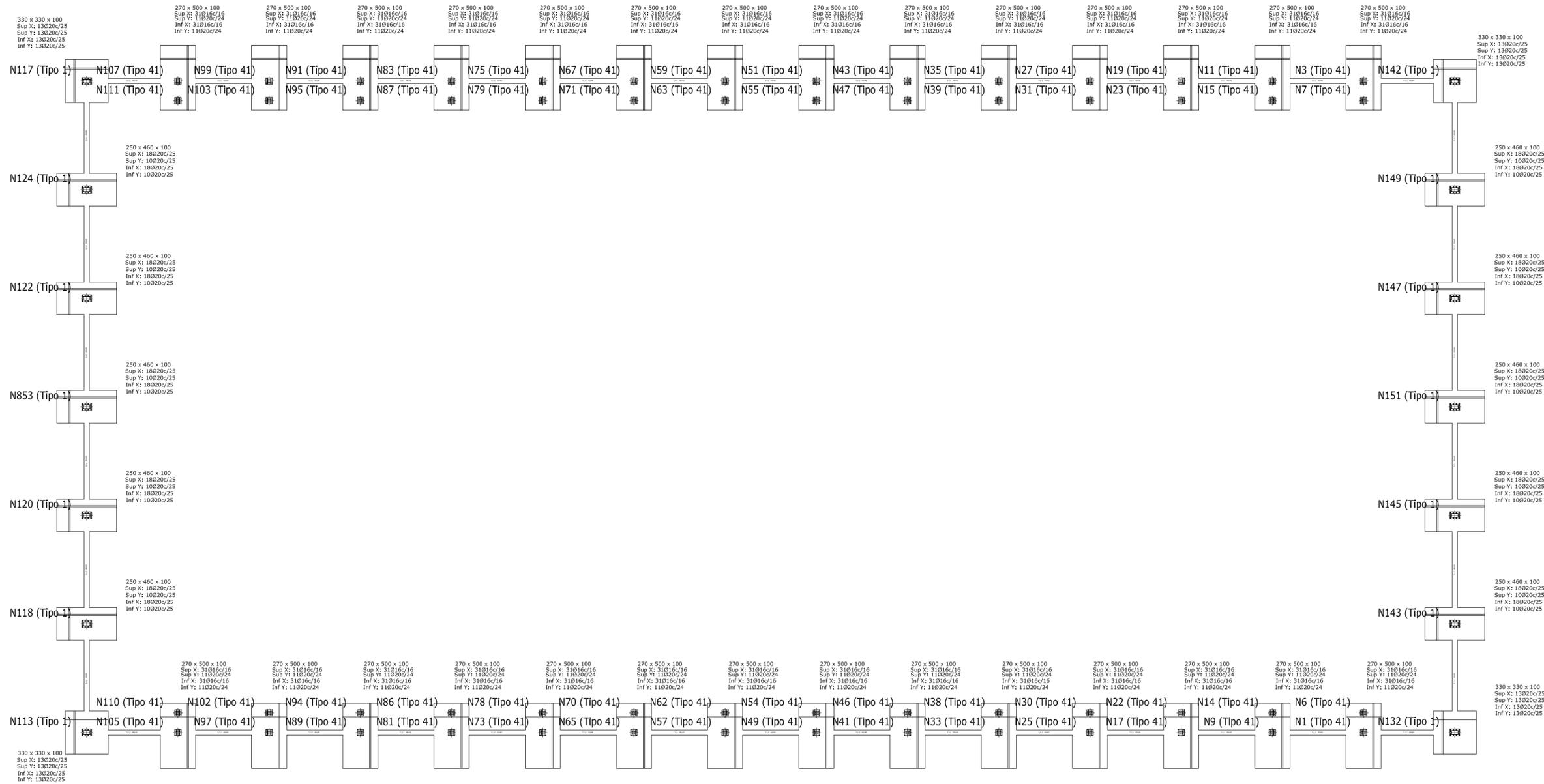
Detalle de los paneles prefabricados de hormigón pretensado



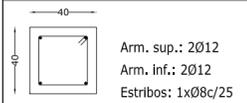


Cotas en milímetros

CUADRO MATERIALES ESTRUCTURA METÁLICA			
ACERO EN ESTRUCTURA METÁLICA (C.E)		γ_{M0}	γ_{M1}
Perfiles laminados en caliente	S 355 - L.E. 355 N/mm ²	$\gamma_{M0}=1,05$	$\gamma_{M1}=1,05$
Perfiles conformados en frío	S 235 - L.E. 235 N/mm ²	$\gamma_{M0}=1,05$	$\gamma_{M1}=1,05$



CUADRO DE VIGAS DE ATADO



CUADRO DE ELEMENTOS DE CIMENTACIÓN						
Referencias	Dimensiones (cm)	Canto (cm)	Armado inf. X	Armado inf. Y	Armado sup. X	Armado sup. Y
(N107 - N111), (N99 - N103), (N91 - N95), (N83 - N87), (N75 - N79), (N67 - N71), (N59 - N63), (N51 - N55), (N43 - N47), (N35 - N39), (N27 - N31), (N19 - N23), (N11 - N15) y (N3 - N7)	270x500	100	31Ø16c/16	11Ø20c/24	31Ø16c/16	11Ø20c/24
(N105 - N110), (N97 - N102), (N89 - N94), (N81 - N86), (N73 - N78), (N65 - N70), (N57 - N62), (N49 - N54), (N41 - N46), (N33 - N38), (N25 - N30), (N17 - N22), (N9 - N14) y (N1 - N6)	270x500	100	31Ø16c/16	11Ø20c/24	31Ø16c/16	11Ø20c/24
N113, N117, N132 y N142	330x330	100	13Ø20c/25	13Ø20c/25	13Ø20c/25	13Ø20c/25
N118, N120, N122, N124, N143, N145, N147, N149, N151 y N853	250x460	100	18Ø20c/25	10Ø20c/25	18Ø20c/25	10Ø20c/25

Cuadro de arranques		
Referencias	Pernos de Placas de Andaje	Dimensión de Placas de Andaje
N107, N111, N99, N103, N91, N95, N83, N87, N75, N79, N67, N71, N59, N63, N51, N55, N43, N47, N35, N39, N27, N31, N19, N23, N11, N15, N3, N7, N105, N110, N97, N102, N89, N94, N81, N86, N73, N78, N65, N70, N57, N62, N49, N54, N41, N46, N33, N38, N25, N30, N17, N22, N9, N14, N1 y N6	8 Pernos Ø 20	Placa base (500x500x25)
N124, N122, N120, N118, N149, N147, N151, N145, N143, N142, N132, N117, N113 y N853	12 Pernos Ø 32	Placa base (550x750x30)

Características de los materiales - Zapatas de cimentación						
Materiales	Hormigón			Acero		
	Nivel Control	Coef. Ponde.	Tipo	Nivel Control	Coef. Ponde.	Tipo
Zapatas	Estadístico	γ = 25.0	HA-25/B/20/XC2	Normal	γ = 1.15	BS500S
Vigas de atado	Estadístico	γ = 25.0	HA-25/B/20/XC2	Normal	γ = 1.15	BS500S
Ejecución (Aciones)	Normal	γ = 1.35	Adaptado a la Instrucción CTE-Ed-Cimientos			
Exposición/ambiente	Terreno		Terreno protegido u hormigón de Impleza	30	30	30
Recubrimientos nominales (mm)	80		Ver Exposición/Ambiente	30	35	35
Notas						
<ul style="list-style-type: none"> Control Estadístico en CE Solapes según CE El acero utilizado deberá estar garantizado con un distintivo reconocido: Sello CIETSID, CC-EHE, ... 						
Datos geotécnicos		Recubrimientos nominales				
- Tensión admisible del terreno considerada = 0.20 MPa (2.00 t/m²)		<ol style="list-style-type: none"> Recubrimiento con hormigón de Impleza 4 cm. Recubrimiento superior libre 4/5 cm. Recubrimiento lateral contacto terreno ≥ 8 cm. Recubrimiento lateral libre 4/5 cm. 				

TRABAJO FINAL DE GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES



Proyecto: **Diseño y cálculo de la estructura portante de un pabellón de atletismo cubierto de 5250 m2 de superficie situado en Valencia**

Fecha: **Julio 2022**

Escala: **1/250**

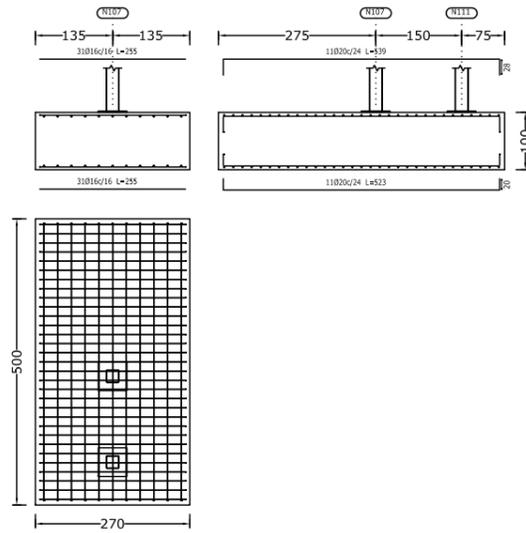
Plano: **Cimentación**

Nº Plano: **7**

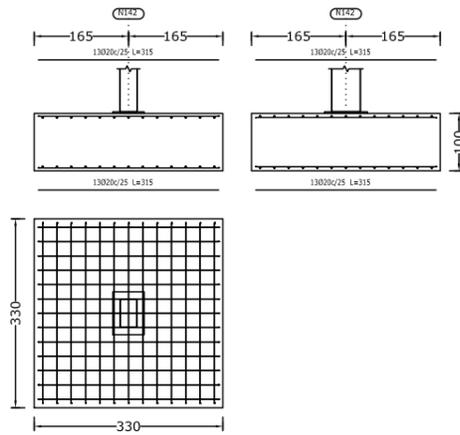
Alejandro Marcos Ortigosa

Autor

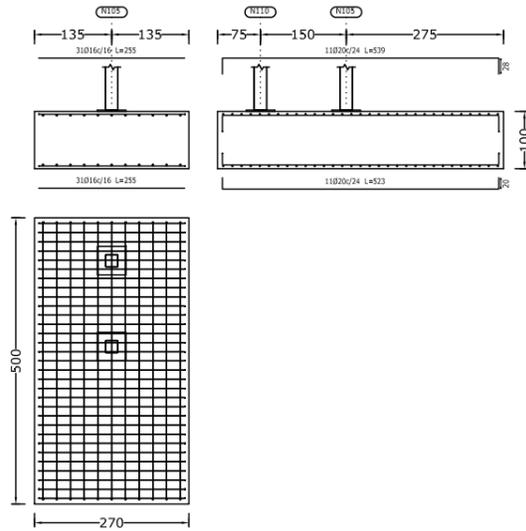
TIPO 1



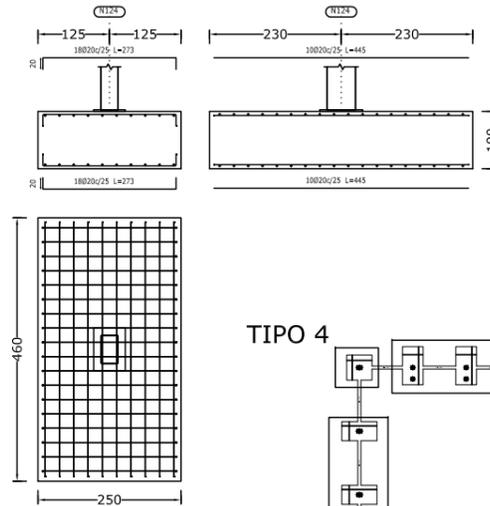
TIPO 4



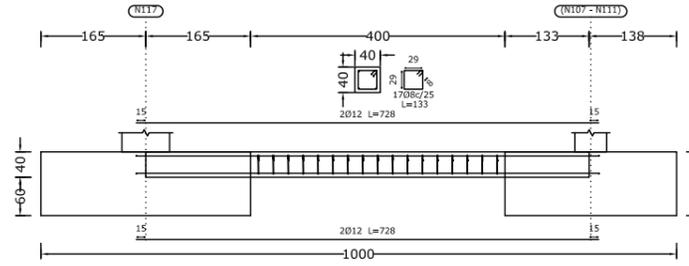
TIPO 2



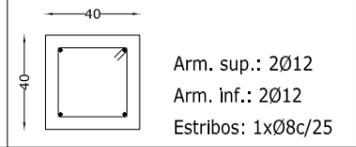
TIPO 3



Viga de atado

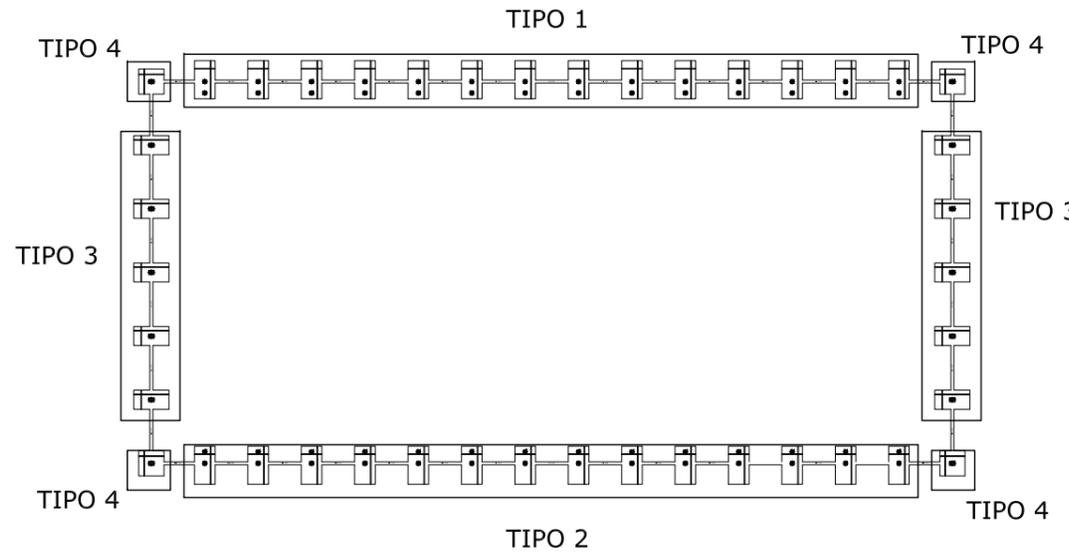


CUADRO DE VIGAS DE ATADO



Características de los materiales - Zapatas de cimentación									
Materiales	Hormigón					Acero			
	Nivel Control	Coef. Ponde.	Tipo	Consistencia	Tamaño máx. árido	Nivel Control	Coef. Ponde.	Tipo	
Zapatas	Estadístico	γ _{ce} =1.50	HA-25/B/20/XC2	Plástica a blanda (p=15 cm)	20/30 mm	Normal	γ _s =1.15	B500S	
Vigas de atado	Estadístico	γ _{ce} =1.50	HA-25/B/20/XC2	Plástica a blanda (p=15 cm)	20/30 mm	Normal	γ _s =1.15	B500S	
Ejecución (Acciones)	Normal	γ _{ges} =1.35	Adaptado a la Instrucción CTE DB-Cimentos						
Exposición/ambiente	Terreno	Terreno protegido u hormigón de limpieza			X0	XC1	XC2	XC3	
Recubrimientos nominales (mm)	80	Ver Exposición/Ambiente			30	35	35	35	
Notas									
- Control Estadístico en CE - Solapes según CE - El acero utilizado deberá estar garantizado con un distintivo reconocido: Sello CIETSID, CC-EHE, ...									

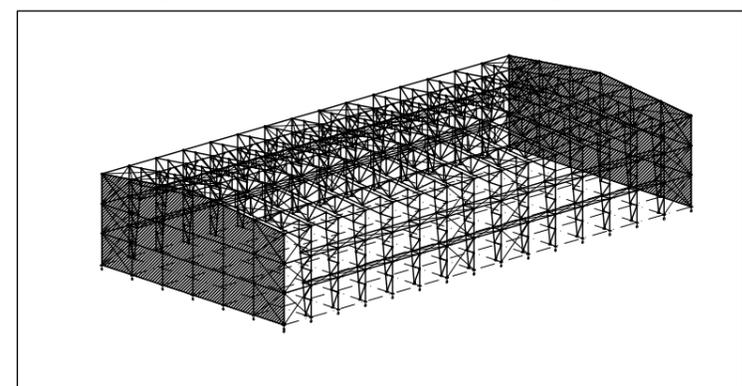
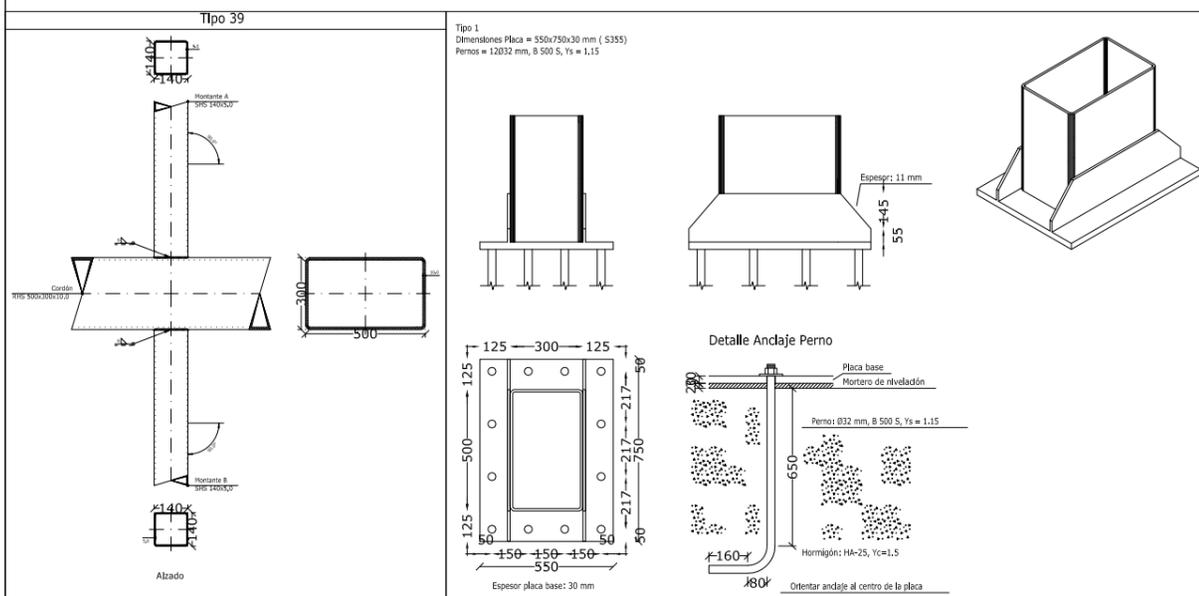
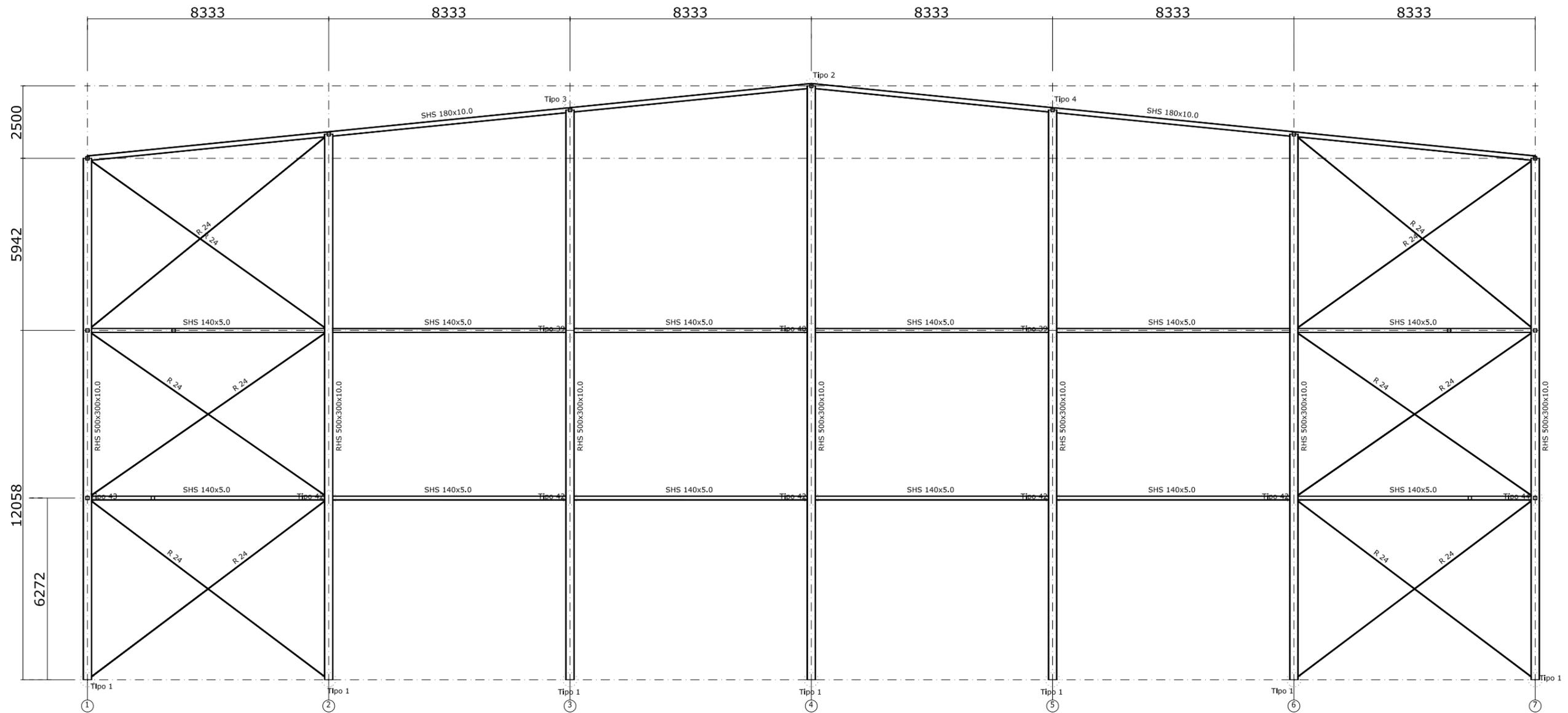
Datos geotécnicos	Recubrimientos nominales
- Tensión admisible del terreno considerada = 0.20 MPa (2.00)	<ol style="list-style-type: none"> 1.- Recubrimiento con hormigón de limpieza 4 cm 2.- Recubrimiento superior libre 4/5 cm. 3.- Recubrimiento lateral contacto terreno ≥ 8 cm. 4.- Recubrimiento lateral libre 4/5 cm.



Cuadro de arranques		
Referencias	Pernos de Placas de Anclaje	Dimensión de Placas de Anclaje
N107, N111, N99, N103, N91, N95, N83, N87, N75, N79, N67, N71, N59, N63, N51, N55, N43, N47, N35, N39, N27, N31, N19, N23, N11, N15, N3, N7, N105, N110, N97, N102, N89, N94, N81, N86, N73, N78, N65, N70, N57, N62, N49, N54, N41, N46, N33, N38, N25, N30, N17, N22, N9, N14, N1 y N6	8 Pernos Ø 20	Placa base (500x500x25)
N124, N122, N120, N118, N149, N147, N151, N145, N143, N142, N132, N117, N113 y N853	12 Pernos Ø 32	Placa base (550x750x30)

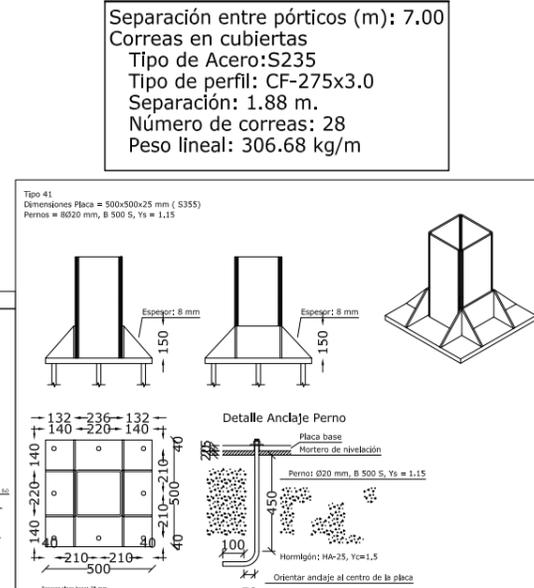
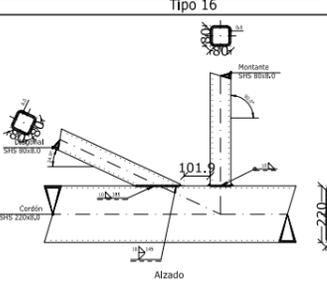
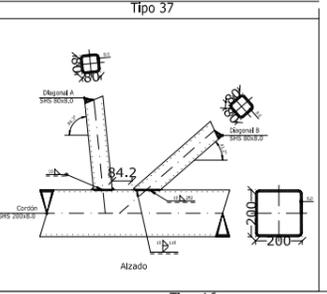
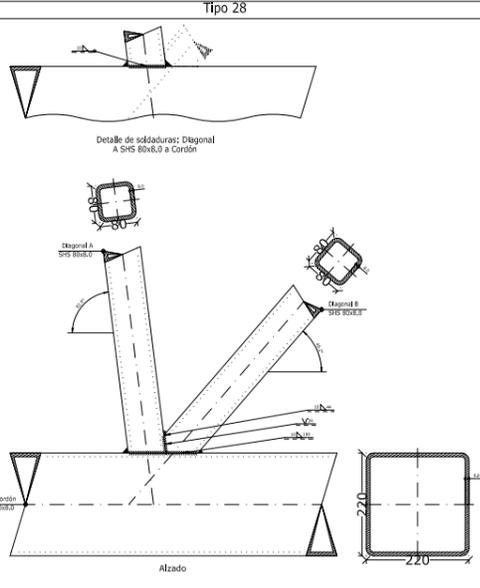
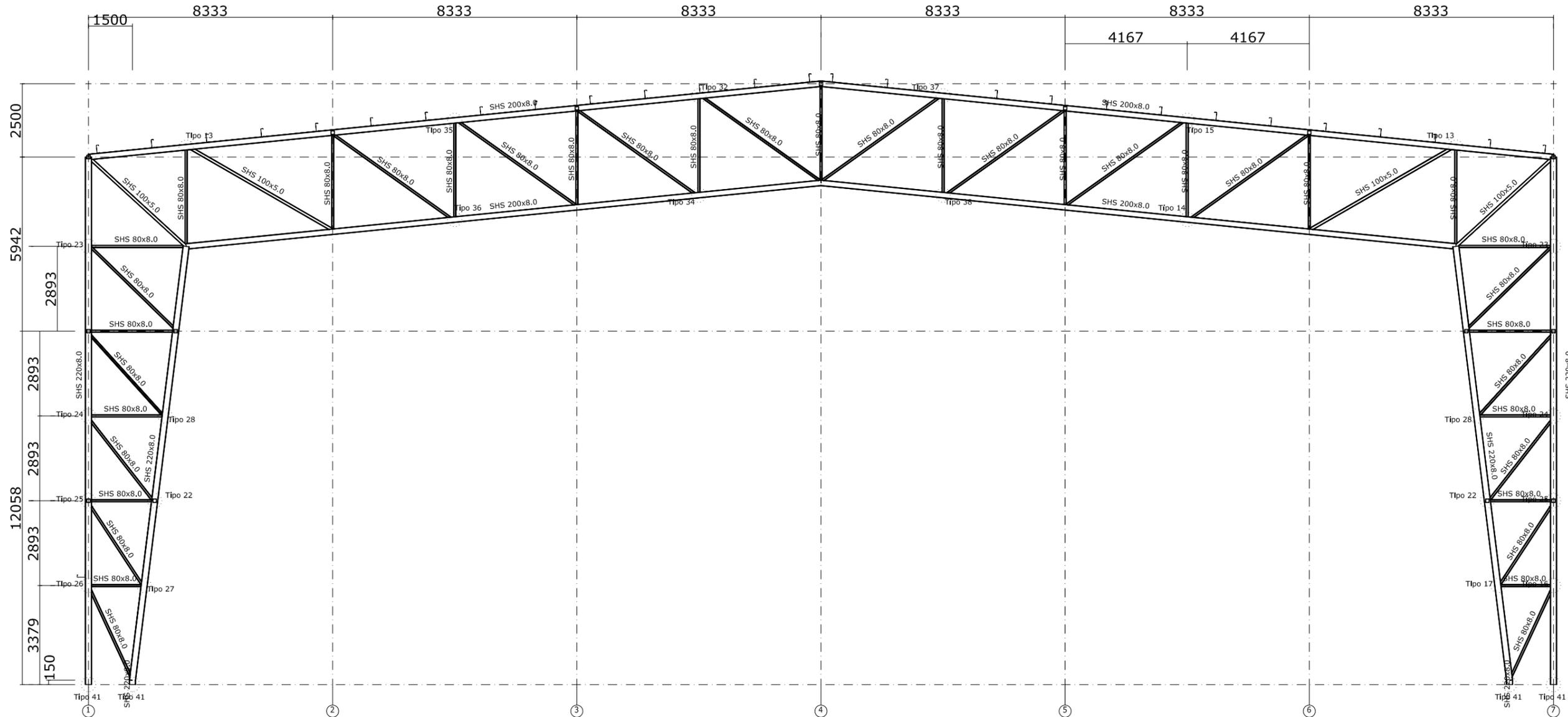
CUADRO DE ELEMENTOS DE CIMENTACIÓN						
Referencias	Dimensiones (cm)	Canto (cm)	Armado inf. X	Armado inf. Y	Armado sup. X	Armado sup. Y
(N107 - N111), (N99 - N103), (N91 - N95), (N83 - N87), (N75 - N79), (N67 - N71), (N59 - N63), (N51 - N55), (N43 - N47), (N35 - N39), (N27 - N31), (N19 - N23), (N11 - N15) y (N3 - N7)	270x500	100	31016c/16	11020c/24	31016c/16	11020c/24
(N105 - N110), (N97 - N102), (N89 - N94), (N81 - N86), (N73 - N78), (N65 - N70), (N57 - N62), (N49 - N54), (N41 - N46), (N33 - N38), (N25 - N30), (N17 - N22), (N9 - N14) y (N1 - N6)	270x500	100	31016c/16	11020c/24	31016c/16	11020c/24
N113, N117, N132 y N142	330x330	100	13020c/25	13020c/25	13020c/25	13020c/25
N118, N120, N122, N124, N143, N145, N147, N149, N151 y N853	250x460	100	18020c/25	10020c/25	18020c/25	10020c/25

Cotas en centímetros

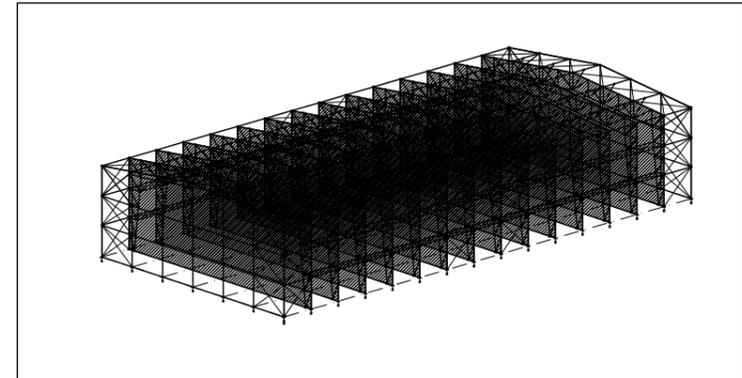


Cotas en milímetros

CUADRO MATERIALES ESTRUCTURA METÁLICA			
ACERO EN ESTRUCTURA METÁLICA (Código Estructural (Real decreto 470/2021))		γ_{M0}	γ_{M1}
Perfiles laminados en caliente	S 355 - L.E. 355 N/mm ²	$\gamma_{M0}=1,05$	$\gamma_{M1}=1,05$
Perfiles conformados en frío	S 235 - L.E. 235 N/mm ²	$\gamma_{M0}=1,05$	$\gamma_{M1}=1,05$

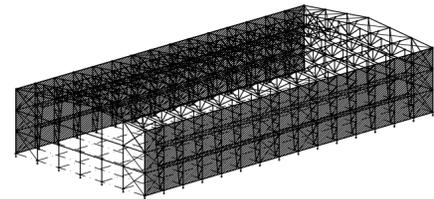
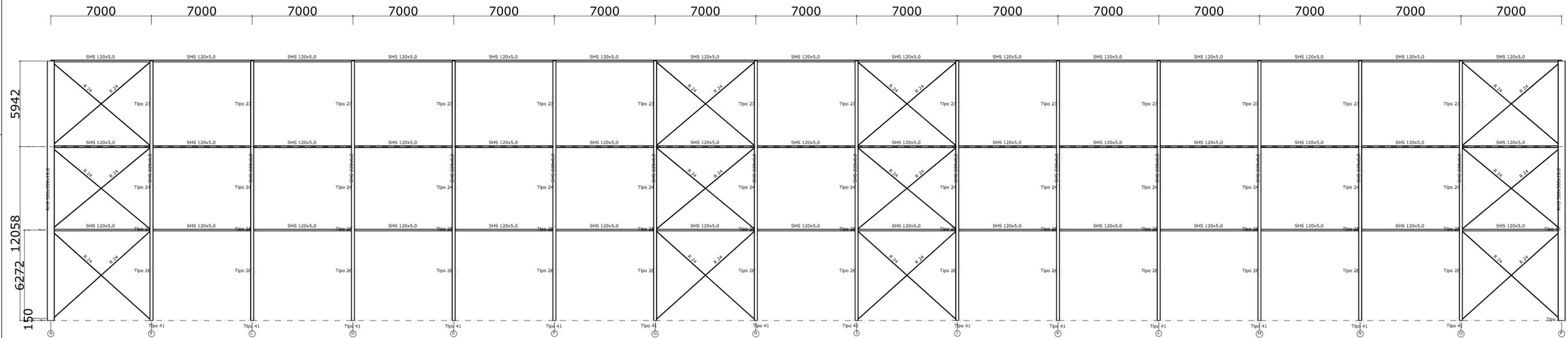


Separación entre pórticos (m): 7.00
 Correas en cubiertas
 Tipo de Acero: S235
 Tipo de perfil: CF-275x3.0
 Separación: 1.88 m.
 Número de correas: 28
 Peso lineal: 306.68 kg/m



Cotas en milímetros

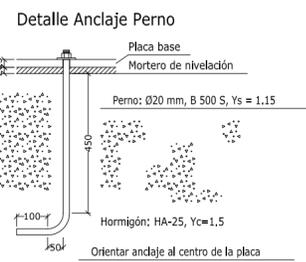
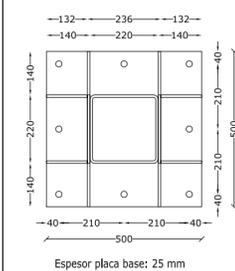
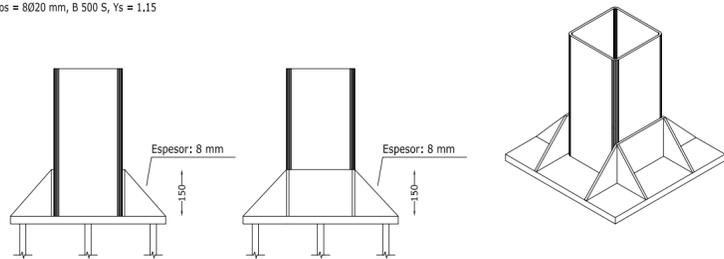
CUADRO MATERIALES ESTRUCTURA METÁLICA			
ACERO EN ESTRUCTURA METÁLICA (Código Estructural (Real decreto 470/2021))		γ_{M0}	γ_{M1}
Perfiles laminados en caliente	S 355 - L.E. 355 N/mm ²	$\gamma_{M0}=1,05$	$\gamma_{M1}=1,05$
Perfiles conformados en frío	S 235 - L.E. 235 N/mm ²	$\gamma_{M0}=1,05$	$\gamma_{M1}=1,05$



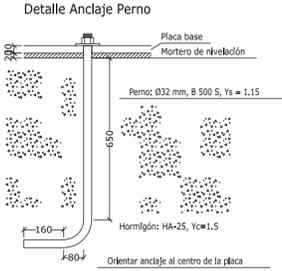
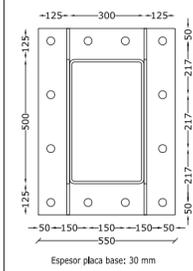
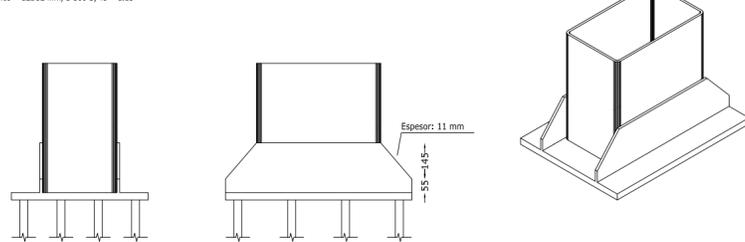
CUADRO MATERIALES ESTRUCTURA METÁLICA

ACERO EN ESTRUCTURA METÁLICA (Código Estructural (Real decreto 470/2021))			
		γ_{M0}	γ_{M1}
Perfiles laminados en caliente	S 355 - L.E. 355 N/mm ²	$\gamma_{M0}=1,05$	$\gamma_{M1}=1,05$
Perfiles conformados en frio	S 235 - L.E. 235 N/mm ²	$\gamma_{M0}=1,05$	$\gamma_{M1}=1,05$

Tipo 41
Dimensiones Placa = 500x500x25 mm (S355)
Pernos = 8020 mm, B 500 S, $\gamma_s = 1.15$



Tipo 1
Dimensiones Placa = 550x750x30 mm (S355)
Pernos = 12032 mm, B 500 S, $\gamma_s = 1.15$



Cotas en milímetros

TRABAJO FINAL DE GRADO EN INGENIERÍA EN
TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES



Proyecto:

Diseño y cálculo de la estructura portante de un pabellón de atletismo cubierto de 5250 m² de superficie situado en Valencia

Fecha:

Julio 2022

Escala:

1/200

Plano:

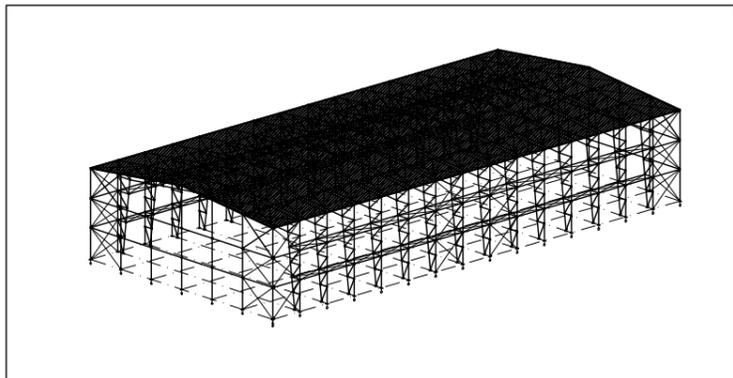
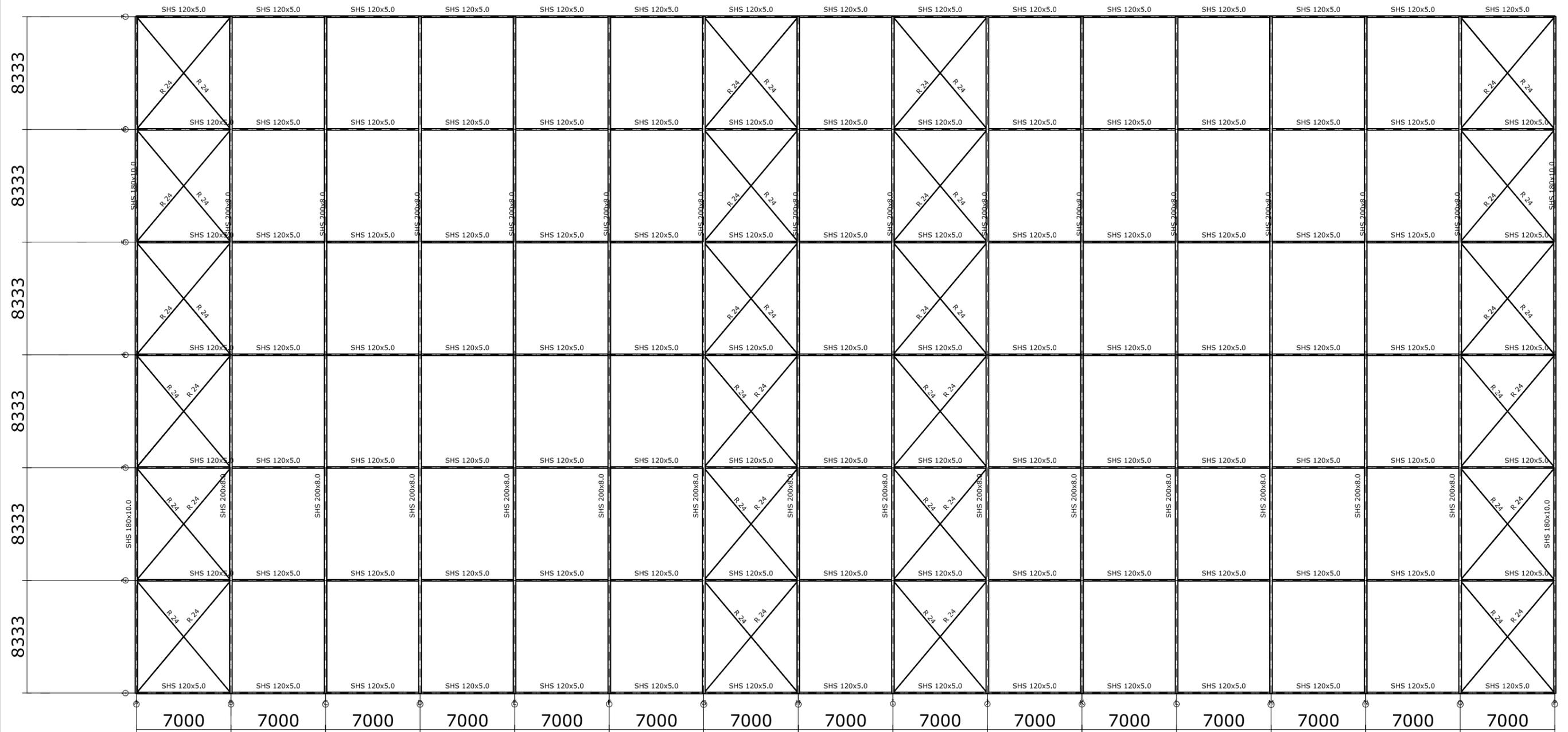
Fachada lateral (Alineación 7)

Nº Plano:

Alejandro Marcos Ortigosa

Autor

proyecto



Cotas en milímetros

CUADRO MATERIALES ESTRUCTURA METÁLICA			
ACERO EN ESTRUCTURA METÁLICA (C.E)		γ_{M0}	γ_{M1}
Perfiles laminados en caliente	S 355 - L.E. 355 N/mm ²	$\gamma_{M0}=1,05$	$\gamma_{M1}=1,05$
Perfiles conformados en frío	S 235 - L.E. 235 N/mm ²	$\gamma_{M0}=1,05$	$\gamma_{M1}=1,05$