



Centro Universitario de la Defensa en la Escuela Naval Militar

TRABAJO FIN DE GRADO

*Dimensionamiento básico de una estructura a dos aguas para el
techado de instalaciones deportivas en la ENM*

Grado en Ingeniería Mecánica

ALUMNO: Juan Francisco Farrona Marín

DIRECTORES: D. Arturo González Gil
D. Miguel Ángel Gómez Rodríguez

CURSO ACADÉMICO: 2014-2015

Universida_{de}Vigo



Centro Universitario de la Defensa en la Escuela Naval Militar

TRABAJO FIN DE GRADO

*Dimensionamiento básico de una estructura a dos aguas para el
techado de instalaciones deportivas en la ENM*

Grado en Ingeniería Mecánica

Intensificación en Tecnología Naval

Cuerpo General

UniversidadeVigo

RESUMEN

El presente proyecto trata sobre el diseño y cálculo de una estructura para cubrir las pistas polideportivas exteriores que actualmente existen en la Escuela Naval Militar (ENM).

En primer lugar, se analizan los diferentes tipos de estructura atendiendo principalmente a su funcionalidad y se selecciona el más adecuado para este caso. Para el diseño y cálculo de los diferentes elementos estructurales se sigue la normativa vigente y se utiliza el software CYPE, que es uno de los programas más potentes del mercado en lo que a cálculo estructural se refiere. Concretamente, se trabaja con los módulos “Generador de Pórticos” y “Nuevo Metal 3D”. Una vez definidos los perfiles estructurales, se realiza un presupuesto aproximado para la construcción de la estructura y se redacta el correspondiente estudio básico de seguridad y salud.

Como resultado del trabajo, se define una estructura de acero de planta rectangular (45m x 32m), con cubierta a dos aguas y pórticos rígidos con cartelas inferiores. Para los pilares de la estructura se proponen perfiles HEA; para los pilarcillos hastiales, vigas de atado y cabios de la estructura, se plantean perfiles IPE; y para las cruces de San Andrés (arriostramientos) se proyectan perfiles redondos.

El resultado obtenido en este trabajo se puede considerar como un estudio preliminar que la ENM puede tomar como base para decidir sobre el posible techado de sus pistas polideportivas exteriores.

PALABRAS CLAVE

Estructura metálica, cubierta, cálculo, diseño, CYPE.

AGRADECIMIENTOS

Quiero aprovechar esta oportunidad para agradecer a todas las personas que me han ayudado y me han apoyado a lo largo de estos duros años en la Escuela Naval Militar.

En primer lugar quería agradecer el apoyo recibido por parte de toda mi familia, por lo ánimos que me han dado a lo largo de toda la carrera. A la Escuela Naval y al Centro Universitario de la Defensa por su ayuda en la realización del proyecto.

A Ana Sirvent de CYPE Ingenieros, la cual me ha proporcionado la clave temporal del programa CYPE sin la cual no hubiera sido posible la realización de este proyecto.

A Talleres RABLAME, por proporcionarme información básica para el desarrollo del proyecto.

Quiero mostrar mi más sincero agradecimiento a mis compañeros de brigada, que han hecho que estos duros años en la Escuela se llevaran de forma más amena.

Me gustaría agradecer a todos los profesores que he tenido durante mi vida académica, porque entre todos me han formado y constituido una sólida base. Entre los profesores, cabe una mención especial para mi tutor D. Arturo González Gil, que me facilitó la posibilidad de trabajar en este proyecto que creo es tan fascinante y bonito.

CONTENIDO

Contenido	1
Índice de Figuras	3
Índice de Tablas.....	5
1 Introducción y objetivos	6
1.1 Motivación	6
1.2 Emplazamiento.....	6
1.3 Objetivos	7
1.4 Metodología	8
2 Requisitos de diseño	9
2.1 Selección de la tipología estructural más adecuada	9
2.1.1 Material principal de la estructura	9
2.1.1 Tipos de pórticos.....	10
2.1.2 Cerramientos laterales.....	13
2.1.3 Cubierta.....	14
2.2 Dimensiones básicas de la estructura	15
2.3 Requisitos normativos	15
3 Cálculo de la estructura	16
3.1 Descripción del software utilizado	16
3.2 Acciones sobre la estructura.....	18
3.2.1 Acciones permanentes	18
3.2.2 Acciones variables	18
3.3 Cálculo de Pandeos	23
3.3.1 Pandeo longitudinal	23
3.1.2 Pandeo lateral.....	27
3.4 Cálculo de deformaciones (Flechas)	27
3.5 Dimensionamiento de la estructura	30
3.5.1 Introducción de cargas en CYPE	30
3.5.2 Dimensionado de correas	35
3.5.3 Pórticos	37
3.5.4 Tirantes	40
4 Presupuesto.....	43
4.1 Vigas y Pilares.....	43
4.2 Tirantes.....	44

4.3 Cartelas	44
4.4 Correas	44
4.5 Panel de Cubierta	44
4.6 Presupuesto total	45
5 Conclusiones y líneas futuras	46
5.1 Conclusiones	46
5.2 Líneas futuras	46
6 Bibliografía.....	47
Anexo I: Estudio básico de seguridad y salud	
Anexo II: Cálculo de tirantes con CYPE	
Anexo III: Cálculo con CYPE	
Anexo IV: Planos con CYPE	

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1 Imagen aérea de la ENM	7
Figura 1-2 Imagen aérea de las instalaciones deportivas	7
Figura 2-1 Nave con cerchas	11
Figura 2-2 Nave con pórticos rígidos	11
Figura 2-3 Celosía americana con cerchas	12
Figura 2-4 Pórtico rígido	12
Figura 2-5 Vista de la estructura completa.....	13
Figura 2-6 Modelo de pórtico con muros laterales configurados en CYPE.....	14
Figura 2-7 Cubierta tipo Sándwich de 50 mm.....	14
Figura 3-1 Módulos del software CYPE Ingenieros	16
Figura 3-2 Valores característicos de la sobrecarga de uso.....	19
Figura 3-3 Mapa eólico en España	20
Figura 3-4 Valores coeficientes de exposición.....	20
Figura 3-5 Mapa de nieve en España	21
Figura 3-6 Sobrecarga de nieve.....	22
Figura 3-7 Mapa de peligrosidad sísmica según NCSE-02.....	22
Figura 3-8 Pórticos intraslacional.....	23
Figura 3-9 Pórticos traslacionales	24
Figura 3-10 Longitudes de pandeo en pórticos	24
Figura 3-11 Longitudes de pandeo en pilares de las esquinas.....	25
Figura 3-12 Pandeo en pilarcillos hastiales	25
Figura 3-13 Pandeos en cabios	26
Figura 3-14 Pandeos en vigas de atado	26
Figura 3-15 Concepto de pandeo lateral.....	27
Figura 3-16 Cabios con cruces de San Andrés.....	28
Figura 3-17 Flecha máxima absoluta	29
Figura 3-18 Flecha relativa.....	29
Figura 3-19 Hipótesis activa Peso Propio	30
Figura 3-20 Estructura con el peso propio	31
Figura 3-21 Peso propio en vigas de atado.....	31
Figura 3-22 Hipótesis de Nieve 1	32
Figura 3-23 Hipótesis de Nieve 2.....	32
Figura 3-24 Hipótesis de Nieve 3.....	33
Figura 3-25 Combinatoria de Nieve	33

Figura 3-26 Situaciones de máxima presión interior y máxima succión interior.....	34
Figura 3-27 Pórtico configurado con correas	36
Figura 3-28 Propiedades Correos en Z	36
Figura 3-29 Perfil HE300A	38
Figura 3-30 Pórtico hastial con Cruces de San Andrés	38
Figura 3-31 Pórticos normales optimizados	39
Figura 3-32 Dimensiones perfil HEA	39
Figura 3-33 Dimensiones perfil IPE.....	40
Figura 3-34 Características Cruces de San Andrés	41

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3-1 Valores de pandeo	23
Tabla 3-2 Características perfiles HEA utilizados	40
Tabla 3-3 Características perfiles IPE utilizados	40
Tabla 4-1 Presupuesto para vigas y pilares	43
Tabla 4-2 Presupuesto para tirantes.....	44
Tabla 4-3 Presupuesto para cartelas	44
Tabla 4-4 Presupuesto para correas	44
Tabla 4-5 Presupuesto para cubierta	44
Tabla 4-6 Presupuesto Total	45

1 INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

1.1 Motivación

El presente proyecto pretende diseñar y dimensionar una estructura que sirva de cubierta para las pistas polideportivas exteriores que actualmente existen en la Escuela Naval Militar (ENM).

Los motivos que han impulsado el desarrollo de este proyecto han sido principalmente los siguientes:

- En primer lugar, la aplicación y ampliación de la formación académica recibida sobre cálculo estructural y desarrollo de proyectos.
- La necesidad de disponer de un techado para posibilitar la práctica deportiva en estas instalaciones en condiciones meteorológicas adversas. Asimismo, con la construcción de dicha estructura se pretende disminuir el deterioro de dicha instalación deportiva.
- Obtención del título de Grado en Ingeniería Mecánica.

1.2 Emplazamiento

Las pistas polideportivas en las cuales se pretende realizar el estudio estructural forman parte de las instalaciones de la ENM, en el municipio de Marín (36920), Pontevedra. La Figura 1-1 muestra la ubicación de dichas pistas en el recinto de la ENM. Las pistas poseen accesos desde la subida de la cuesta de la Virgen por el Norte y desde la puerta de Palmeras por el Sur.

Las coordenadas geográficas de las pistas polideportivas son:

42°23,43'N

008°42,26'W



Figura 1-1 Imagen aérea de la ENM

La instalación deportiva que se pretende cubrir, posee forma rectangular y tiene 1460 m^2 de superficie. Actualmente, las instalaciones deportivas constan de dos pistas de baloncesto y una central de fútbol sala, estando asfaltadas en su conjunto. En la Figura 1-2 se aprecian las dimensiones y distribución de las pistas.

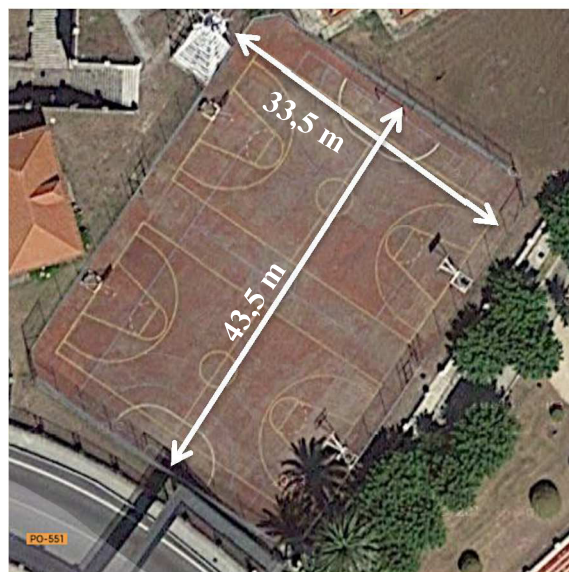


Figura 1-2 Imagen aérea de las instalaciones deportivas

1.3 Objetivos

Los principales objetivos establecidos en el presente proyecto son los siguientes:

- Análisis de las diferentes tipologías estructurales existentes y selección de la más adecuada para cubrir las pistas deportivas exteriores en la ENM.
- Dimensionado de los principales elementos de dicha estructura, teniendo en cuenta la normativa vigente.
- Aprendizaje y manejo del software informático CYPE, ya que se trata de uno de los programas comerciales más extendidos para el cálculo de estructuras.

1.4 Metodología

Para conseguir los objetivos anteriormente definidos, utilizaremos la siguiente metodología:

- Análisis de los diferentes tipos de estructuras válidos para el proyecto.
- Selección del tipo de estructura más adecuada.
- Definición de las medidas básicas de la estructura de cubierta.
- Aprendizaje y aplicación del programa CYPE para el cálculo de los elementos principales de la estructura.
- Análisis de los resultados obtenidos con el software de cálculo.
- Selección de los diferentes perfiles estructurales.
- Realización de un presupuesto aproximado para la construcción de la estructura.
- Realización de un estudio básico de seguridad y salud para la construcción de la estructura.
- Definición de conclusiones y posibles líneas de trabajo futuro.

2 REQUISITOS DE DISEÑO

En este apartado se analizarán los requisitos de diseño que debe cumplir la estructura para las pistas polideportivas en la ENM. Esto incluirá el análisis y selección de la tipología estructural más adecuada (materiales y tipo de pórticos), la definición de las medidas básicas de la estructura y un resumen de los requisitos normativos aplicables para el cálculo de dicha estructura.

2.1 Selección de la tipología estructural más adecuada

2.1.1 Material principal de la estructura

A continuación se detallarán las diferencias principales entre los dos grandes materiales para la construcción de naves industriales, los cuales son el **acero** y el **hormigón armado**.

La elección de uno y otro material dependerá de múltiples factores entre los que destaca, por supuesto, el económico, aunque no es el único, ya que tanto el acero como el hormigón armado presentan ventajas e inconvenientes que se deben tener en cuenta.

En primer lugar, se comenzará exponiendo algunas de las ventajas del acero estructural [1]:

- Alta resistencia.- La alta resistencia del acero por unidad de peso implica que el peso de las estructuras es relativamente bajo. Esto es de gran importancia en para el diseño de vigas de grandes perfiles.
- Uniformidad.- Las propiedades del acero no cambian apreciablemente con el tiempo.
- Durabilidad.- Si el mantenimiento de las estructuras de acero es adecuado duraran indefinidamente.
- Ductilidad.- La ductilidad es la propiedad que tiene un material de soportar grandes deformaciones sin fallar bajo altos esfuerzos de tensión. La naturaleza dúctil de los aceros estructurales comunes les permite fluir localmente, evitando así fallas prematuras.
- Gran facilidad para unir diversos elementos por medio de varios tipos de conectores como son la soldadura, los tornillos y los remaches (no estudiados en el presente proyecto). Esto favorece la rapidez de montaje.
- Gran capacidad de laminarse y en gran cantidad de tamaños y formas, lo que favorece el prefabricado de los elementos estructurales.

Los inconvenientes más importantes del acero, pueden resumirse como [1]:

- Coste de mantenimiento.- La mayor parte de los aceros son susceptibles a la corrosión al estar expuestos al agua y al aire y, por consiguiente, deben pintarse periódicamente.
- Coste de la protección contra el fuego.- Aunque algunos elementos estructurales son incombustibles, sus resistencias se reducen considerablemente durante los incendios.
- Susceptibilidad al pandeo. Es decir cuanto más esbeltos sean los elementos a compresión, mayor es el peligro de pandeo. Como se indicó previamente, el acero tiene una alta resistencia por unidad de peso, pero al utilizarse como columnas no resulta muy económico ya que debe usarse bastante material, solo para hacer más rígidas las columnas contra el posible pandeo.

Las principales ventajas del hormigón armado son las siguientes [2]:

- Gran resistencia estructural y versatilidad: combina las altas prestaciones del hormigón para resistir esfuerzos de compresión y las del acero para tracción.
- Gran variedad de tamaños y adaptabilidad a diferentes formas.
- Buena resistencia al fuego.
- Buena resistencia al desgaste y a la corrosión (las armaduras de acero quedan protegidas por el propio hormigón)
- Buen aislamiento acústico: la estructura porosa del hormigón celular permite un gran aislamiento al ruido;
- Proporciona buen aislamiento térmico.

En cambio, podemos considerar varios inconvenientes del hormigón armado como material estructural, como pueden ser [2]:

- Peso y volumen considerablemente mayores para un elemento estructural que proporcione la misma resistencia con acero.
- Posibilidad de fisuras en la estructura.
- Elevado tiempo de fraguado del cemento, lo que ralentiza la construcción de estructuras de hormigón armado.

La estructura metálica en general es muy ligera y más flexible que la de hormigón armado, por lo que se comporta mejor en terrenos que puedan plantear asientos diferenciales. Además, su montaje es muy rápido, con lo que se consiguen menores tiempos de construcción, lo que en ocasiones puede ser de gran importancia. En nuestro caso, las construcciones de hormigón son mucho más pesadas, pudiendo así precisar de cimentaciones más voluminosas en función del tipo del terreno y espacio para la construcción, el cual es limitado en el solar planteado, por lo que nos hemos decantado por el acero, tanto por los factores anteriormente descritos, como por el factor económico.

2.1.1 Tipos de pórticos

Las estructuras de acero para naves industriales e instalaciones polideportivas están típicamente formadas por pilares y cerchas (Figura 2-1) o por pórticos rígidos (Figura 2-2).

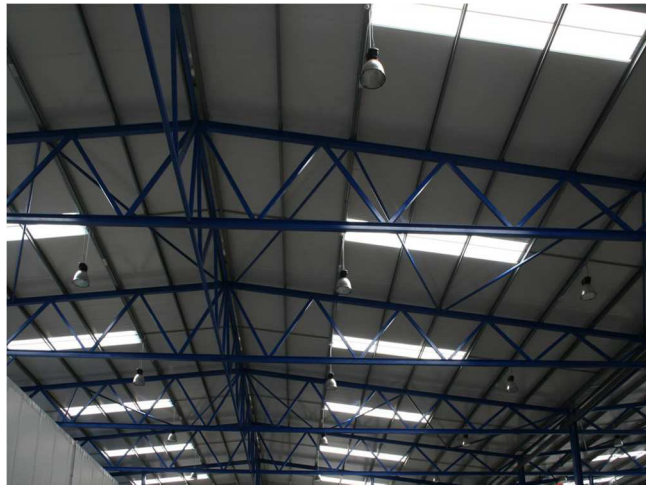


Figura 2-1 Nave con cerchas

En este caso para la construcción de una estructura para el techado de instalaciones deportivas, no requiere mucha imagen estética, pero si volumen útil dentro de la nave, de aquí la necesidad de una estructura de tipo pórtico rígido.



Figura 2-2 Nave con pórticos rígidos

A la hora de diseñar la estructura, se ha tenido en cuenta las diferentes opciones de pórticos que se ofrecen. Cada uno de ellos posee características diferentes. En este proyecto la estructura va enfocada a techar pistas deportivas, por lo que la opción más conveniente son los pórticos rígidos, ya que el principal objetivo es ganar volumen útil dentro de la estructura. Según la normativa vigente del Consejo Superior de Deportes, la altura mínima para pabellones deportivos con pistas de fútbol sala y baloncesto, deben ser de 7m (pilares).

En las siguientes imágenes se aprecian los tipos de pórticos más comunes. Se puede observar en la Figura 2-3 que el pórtico en Celosía Americana posee más elementos estructurales, siendo así más cara su construcción, aunque estéticamente más bonitos.

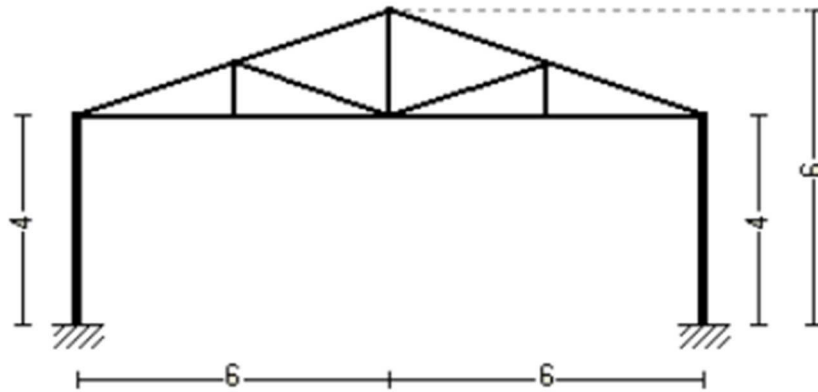


Figura 2-3 Celosía americana con cerchas

En la Figura 2-4 se puede apreciar un pórtico rígido, el cual se aprecia que su construcción podría ser más sencilla y barata, ya que posee una tipología más sencilla.

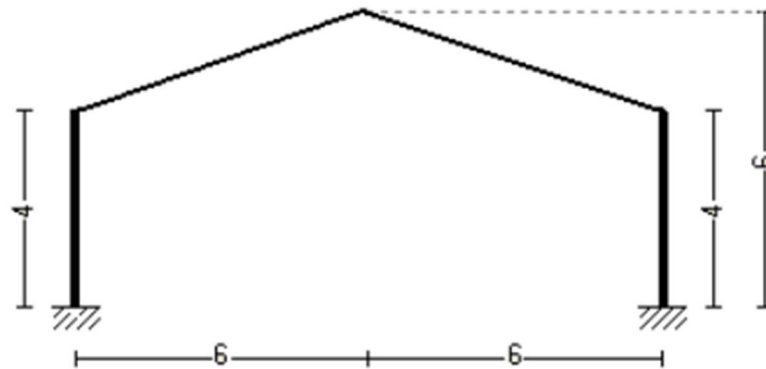


Figura 2-4 Pórtico rígido

La elección del pórtico rígido, se ha llevado a cabo por los siguientes motivos:

- Pórticos rígidos más barato.
- Facilidad en la construcción.
- Mayor volumen útil dentro de la nave.

En la Figura 2-5, se muestra la estructura completa a dos aguas que se estudiará en el presente proyecto, mostrando todos sus elementos estructurales. Se considerará el uso de pilarcillos hastiales para conformar a la estructura una resistencia adecuada al viento frontal.

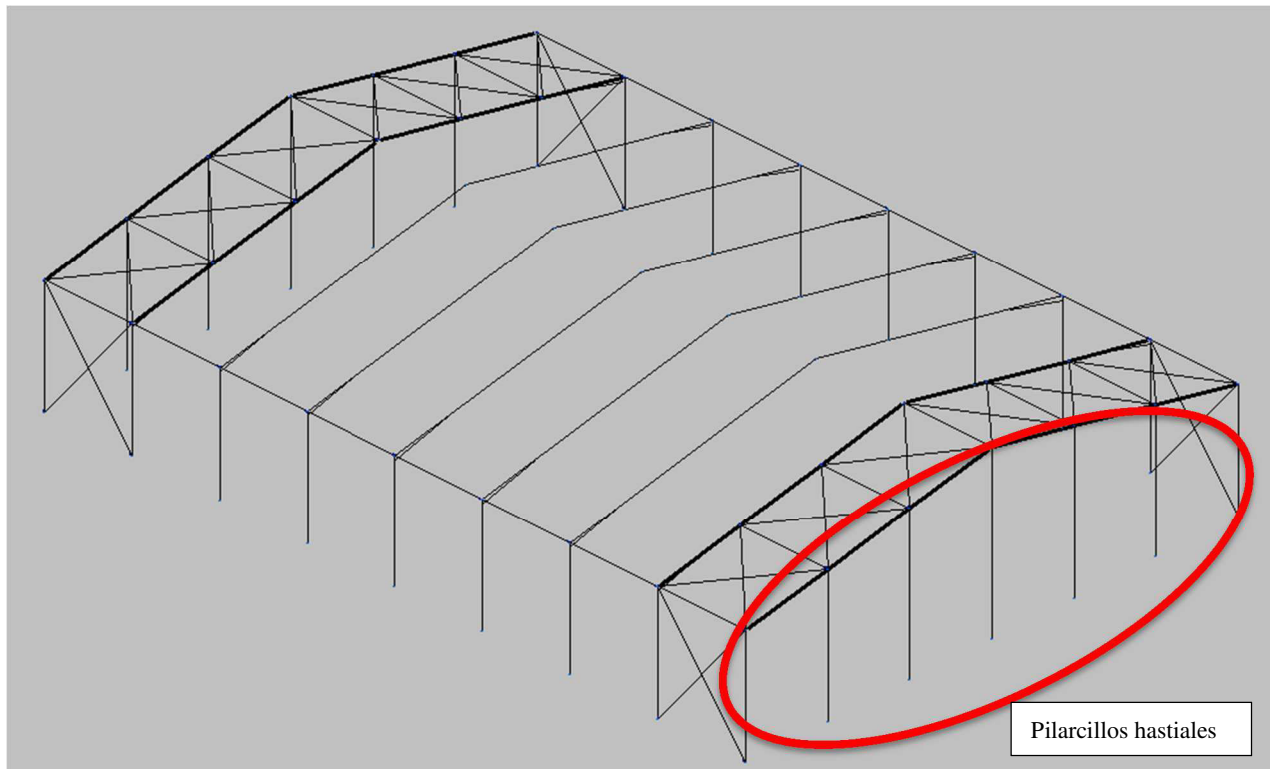


Figura 2-5 Vista de la estructura completa

2.1.2 Cerramientos laterales

El presente proyecto no pretende profundizar en el diseño de los cerramientos laterales, solo se supondrán a efectos de cálculo. Se considerarán muros laterales de hormigón armado, cuyo peso será de 375 kg/m^2 [3] (ver Figura 2-6).

Debido a estos cerramientos, se ha tenido que considerar una estructura con puertas y ventanas, cuyas características serán las siguientes:

- Dos puertas laterales situadas en el centro de la estructura de 2m de ancho x 3m de alto.
- Cuatro ventanas: dos laterales y dos en las paredes de luz de 1,5m x 1,5m.
- Se considerará que tanto las puertas como las ventanas se pueden abrir y cerrar cuando el usuario lo crea conveniente.

La utilización de puertas y ventanas en la estructura es meramente a efectos de cálculos, ya que debemos considerar que la estructura posee aberturas laterales para el cálculo de ésta. El coeficiente de obstrucción puede ser de 0 a 1, siendo 0 una estructura no obstruida (sin cerramientos laterales) y 1 una estructura muy obstruida (con cerramientos laterales). En el presente proyecto, las puertas y ventanas pueden abrir y cerrarse, por lo que el coeficiente de obstrucción es de 1 [4].

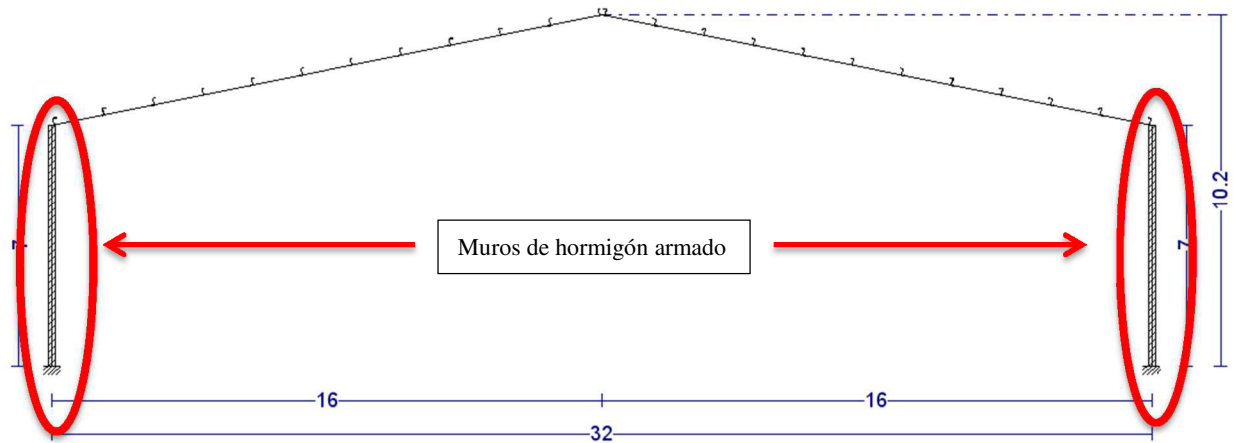


Figura 2-6 Modelo de pórtico con muros laterales configurados en CYPE

2.1.3 Cubierta

La tipología seleccionada será una cubierta formada por dinteles a dos aguas. La cubierta del techado presentará una inclinación del 20% sobre la horizontal.

Las pendientes de las cubiertas de las estructuras industriales con perfiles metálicos suelen estar por debajo del 25%. Mientras más pendiente tenga una cubierta mejor suele trabajar la estructura, porque es más abovedada y porque la nieve resbalará mejor. En este caso, se ha considerado el 20%, ya que es el porcentaje de inclinación de los dinteles más usado en estructuras convencionales [4].

La cubierta estará compuesta por paneles tipo sándwich, como se puede apreciar en la Figura 2-7. Estos paneles están formados por dos chapas prelacadas con un núcleo de poliuretano interior de 50 mm.

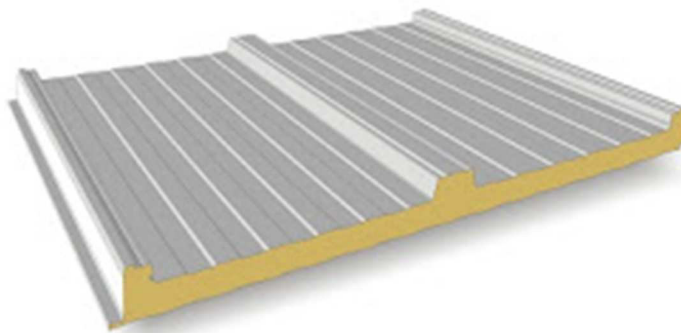


Figura 2-7 Cubierta tipo Sándwich de 50 mm

Los paneles se fijan a unos elementos denominados correas que se disponen entre pórticos. Las correas metálicas son el elemento constructivo sobre el que se apoya la chapa o panel que actuará como cubierta para un edificio o nave, en nuestro caso de tipo Sándwich.

Las correas de cubierta están constituidas por perfiles en Z. Estos perfiles poseen un diseño que permite la fabricación de estructuras de soporte, con la ventaja de ser un elemento constructivo ligero y fácil de instalar.

En la estructura, las correas se encuentran separadas 1,45 m, teniendo así un total de 24 correas, como se explicará en el apartado 3.5.2 del presente documento.

2.2 Dimensiones básicas de la estructura

Como resultado de lo expuesto en apartados anteriores, la estructura tendrá las siguientes dimensiones básicas:

- Largo: 45 m.
- Ancho: 32 m.
- Pendiente de la cubierta: 20%.
- Altura en pilares: 7 m, ya que es lo recomendado por el Consejo Superior de Deportes [5].
- Altura máxima: 10,2 m, debido al 20% de inclinación de los dinteles a dos aguas.
- Separación entre pórticos: 5,69 m. Para este tipo de estructuras, la modulación óptima (distancia entre pórticos) suele ser aproximadamente de 5m. En nuestra estructura se usará el valor de 5,69m para obtener 8 pórticos.
- Separación entre correas: 1,45m, ya que para cubiertas de panel Sándwich, al ser más resistente que otras cubiertas, podemos espaciarlas hasta 2 metros. Lo normal para una cubierta menos resistente es de 1,5m [4]. En nuestro caso, la separación entre correas ha sido calculada y comprobada por CYPE.

2.3 Requisitos normativos

En la realización del presente proyecto se tendrá en cuenta toda la normativa referente al cálculo estructural actualmente vigente a nivel nacional: el Código Técnico de la Edificación (CTE) y sus correspondientes Documentos Básicos [6]. El cumplimiento de esta normativa impone una serie de limitaciones que hay que salvar con el buen diseño de la estructura.

A continuación se describe dicha normativa:

- Código Técnico de la Edificación (CTE). El código técnico de la edificación establece las exigencias que deben cumplir los edificios en relación con los requisitos básicos de seguridad y habitabilidad, se debe garantizar la seguridad de las personas, el bienestar de la sociedad y la protección del medio ambiente [7].
- Documento Básico de Seguridad Estructural General (SE). Este Documento Básico (DB) tiene por objeto establecer reglas y procedimientos que permitan cumplir las exigencias básicas de seguridad estructural. La correcta aplicación del conjunto del DB supone que se satisface el requisito básico “Seguridad estructural” [8].
- Documento Básico de Seguridad Estructural en el Acero (SE-A). Este DB se refiere únicamente a la seguridad en condiciones adecuadas de utilización, incluidas los aspectos relativos a la durabilidad, de acuerdo con el DB-SE [9].
- Documento Básico de Acciones en la Edificación (SE-AE). El campo de aplicación de este Documento Básico es el de la determinación de las acciones sobre los edificios, para verificar el cumplimiento de los requisitos de seguridad estructural (capacidad portante y estabilidad) y aptitud al servicio, establecidos en el DB-SE [6].

3 CÁLCULO DE LA ESTRUCTURA

3.1 Descripción del software utilizado

Para el desarrollo del cálculo se ha utilizado la versión 2015.h del programa CYPE Ingenieros. CYPE se divide en cuatro módulos: estructuras, Instalaciones, Gestión y Documentación. En nuestro caso, nos centramos en el de estructuras, como se muestra en el gráfico.

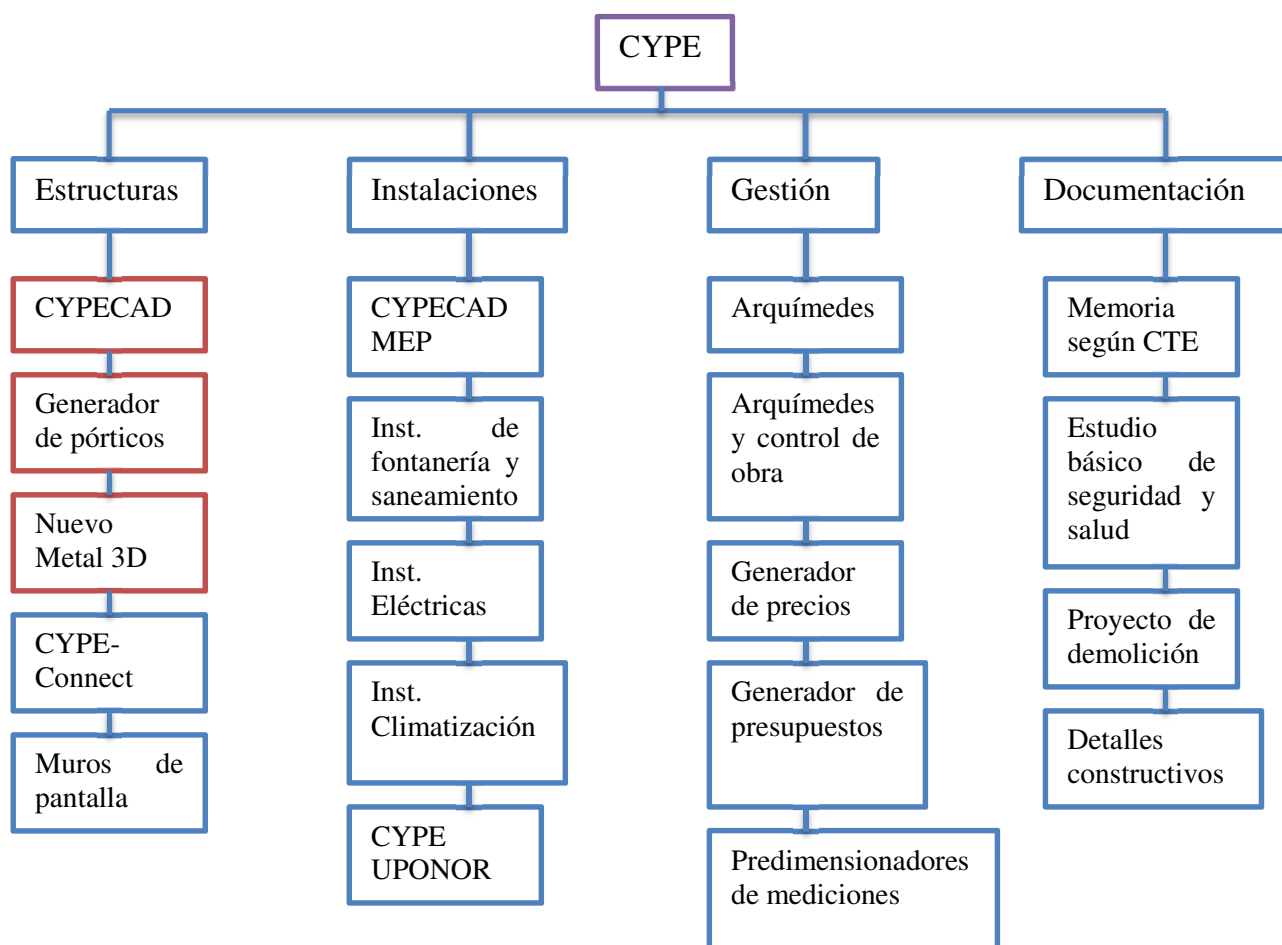


Figura 3-1 Módulos del software CYPE Ingenieros

Como se puede observar en la Figura 3-1, CYPE se divide en cuatro módulos, centrándonos este estudio en el módulo de Estructuras. A continuación se resume las características de cada uno de los módulos utilizados [10].

CYPECAD:

Ha sido concebido para realizar el cálculo y dimensionado de estructuras de hormigón armado y metálicas diseñado con forjados unidireccionales, reticulares y losas macizas para edificios sometidos a acciones verticales y horizontales. Las vigas de forjados pueden ser de hormigón y metálicas. Los soportes pueden ser pilares de hormigón armado, metálicos, pantallas de hormigón armado, muros de hormigón armado con o sin empujes horizontales y muros de fábrica. La cimentación puede ser fija (por zapatas o encepados) o flotante (mediante vigas y losas de cimentación).

Con él se pueden obtener la salida gráfica de planos de dimensiones y armado de las plantas, vigas, pilares, pantallas y muros por plotter, impresora y ficheros DXF, así como listado de datos y resultados del cálculo.

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

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

Cuando en una misma planta existan zonas independientes, se considerará cada una de éstas como una parte distinta de cara a la indeformabilidad de esa zona, y no se tendrá en cuenta en su conjunto. Por tanto, las plantas se comportarán como planos indeformables independientes. Un pilar no conectado se considera zona independiente.

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

Generador de Pórticos:

Permite crear de forma rápida y sencilla la geometría y las cargas de peso propio, sobrecarga de uso, viento y nieve de un pórtico formado por nudos rígidos (cómo es nuestro caso), celosías o cerchas. Proporciona el dimensionamiento de correas de cubiertas y laterales de fachadas, optimizando el perfil y la separación entre correas.

Las cargas de viento y nieve se calculan automáticamente, según la norma elegida, con la simple selección por parte del usuario de la localidad donde se sitúa la estructura.

Proporciona una memoria de cálculo con los datos facilitados y los resultados obtenidos.

Exporta a CYPE 3D la geometría del pórtico con apoyos biarticulados o biempotrados, sus cargas (correspondientes a un pórtico central, final o una generación de pórticos paralelos en 3D) y los coeficientes de pandeo de las barras que lo componen suponiendo la estructura traslacional o intraslacional.

Cuando la exportación se realiza hacia CYPE 3D, se exportan todas las cargas de viento: las de cubierta, las de los laterales de la nave y las perpendiculares a los pórticos de pared final (muros piñón). Estas cargas se exportan como cargas superficiales, lo que facilita enormemente la labor de introducción de datos en CYPE 3D; ya que, en el caso de los pórticos de pared final, el usuario no

necesita introducir cargas lineales en los pilares intermedios, tan solo debe introducir estos pilares y el programa repartirá la carga superficial sobre todas las barras del muro piñón con una dirección de reparto horizontal.

Nuevo Metal 3D:

Es un ágil y eficaz programa pensado para realizar el cálculo de estructuras en tres dimensiones de barras de madera, de acero, de aluminio o de cualquier material, incluido el dimensionamiento de uniones (soldadas y atornilladas de perfiles de acero laminado y armado en doble T y perfiles tubulares) y el de su cimentación con placas de anclaje, zapatas, encepados, correas de atado y vigas centradoras. Si la estructura es de barras de madera, de acero o de aluminio, puede obtener su redimensionamiento y optimización máxima.

También permite la discretización de estructuras mediante láminas (elementos planos bidimensionales de espesor constante cuyo perímetro está definido por un polígono) para calcular sus esfuerzos y tensiones.

3.2 Acciones sobre la estructura

Al calcular una estructura, hay que tener en cuenta las acciones que actúan sobre ella, viniendo éstas recogidas en el CTE en su Documento Básico SE-AE. Se deben considerar las siguientes acciones:

- Acciones Permanentes:
 - Peso Propio.
- Acciones Variables:
 - Sobrecarga de uso.
 - Viento.
 - Nieve.
- Acciones Accidentales:
 - Sismo

3.2.1 Acciones permanentes

Las acciones permanentes en una estructura son aquellas que actúan en todo momento y son constantes en magnitud y posición. Dentro de este grupo se engloban el peso propio de la estructura (P), de soldados y pavimentos, de accesorios e instalaciones fijas, etc. [4].

3.2.2 Acciones variables

Son aquellas cuyo valor varía frecuentemente a lo largo del tiempo, de forma no monótona. Dentro de este grupo se incluyen sobrecargas de uso, acciones climáticas, acciones debidas al proceso constructivo, etc. [4].

Sobrecarga de uso

La sobrecarga de uso es el peso de todo lo que puede gravitar sobre el edificio por razón de su uso. La muestra los valores considerados en el CTE para este tipo de cargas.

Tabla 3.1. Valores característicos de las sobrecargas de uso

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

Figura 3-2 Valores característicos de la sobrecarga de uso

Como se puede observar en la Figura 3-2, la categoría de uso elegida ha sido la G, específicamente su subcategoría G¹, lo que supone una carga uniforme de 0,4 kN/m² y una carga concentrada de 1 kN. En nuestro caso es una cubierta ligera sobre correas con una inclinación de 20°. El superíndice (5) que muestra la carga uniforme indica que una cubierta ligera es aquella cuya carga permanente debida únicamente a su propio peso no excede de 1kN/m². En nuestro caso la suma de la cubierta tipo sándwich más las correas no llegan a 0,2 kN/m², por lo que se puede considerar cubierta ligera [4].

Viento

La distribución y el valor de las presiones que ejerce el viento sobre un edificio y las fuerzas resultantes dependen de la forma y de las dimensiones de la construcción, de las características y de la permeabilidad de su superficie, así como de la dirección, de la intensidad y del racheo del viento.

El cálculo de las acciones de viento se realiza según el CTE-DB-SE-AE, presentando las siguientes características:

- En primer lugar, como se visualiza en la Figura 3-3, se distinguen tres zonas de viento, obtenidos por datos históricos de velocidades de viento.
- El grado de aspereza del terreno, tiene bastante importancia, ya que servirá después para calcular los coeficientes de exposición al viento. Como se observa en la Figura 3-4, se distinguen 5 grados de aspereza.
- Se establecerá un periodo de servicio limitado y en función de esto, se obtendrán unos perfiles u otros.
- Se deben de asumir huecos en fachadas, ya que nos afectará a la hora de estimar la succión y la presión sobre la estructura.

En la Figura 3-4 se muestran los diferentes grados de aspereza y las altura que debemos considerar para obtener los coeficientes de exposición al viento, Para obtener la altura del punto considerado se asume la base de la nave como cota 0.

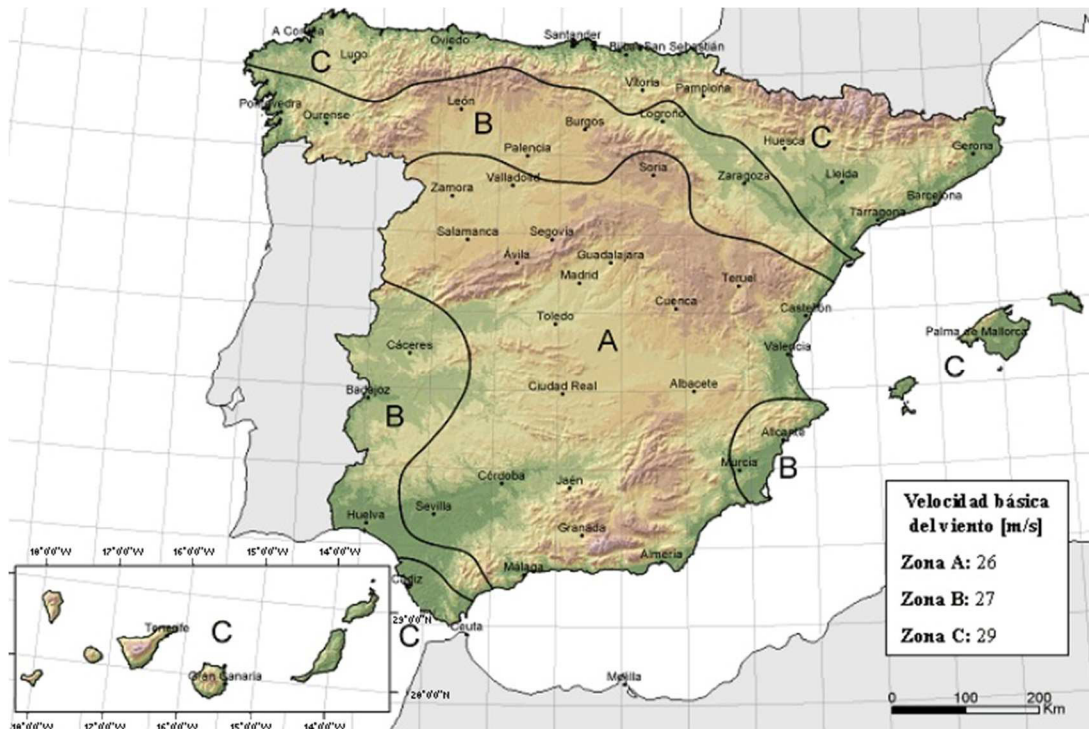


Figura 3-3 Mapa eólico en España

Como no se especifica la altura, se adoptará una altura z igual al punto medio de cada barra. Con estos datos de puntos medios, se entra en la Tabla 3.4, que se muestra en la Figura 3-4, y se interpolan los valores para obtener la altura del punto considerado [4].

Tabla 3.4. Valores del coeficiente de exposición c_e

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

Figura 3-4 Valores coeficientes de exposición

A continuación se detallan los parámetros considerados en el presente estudio:

- Zona eólica B: Velocidad básica 27 m/s.
- Grado de aspereza: I (Borde del mar o de un lago), ya que nos encontramos a menos de 5km del borde del mar.
- Se asume un periodo de servicio de 50 años.
- Huecos en fachadas como se indicó en el apartado 2.1.3.
- Coeficiente de obstrucción para cubiertas aisladas: 1.

Nieve

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 [4].

El cálculo de las acciones de viento se realiza según el CTE-DB-SE-AE, presentando las siguientes características:

- Se debe especificar una de las 7 zonas de nieve que se establecen en la península, como se puede observar en la Figura 3-5.
- La altitud topográfica juega un papel importante.



Figura 3-5 Mapa de nieve en España

- La estructura puede estar protegida, expuesta al viento o fuertemente expuesta al viento, lo que afectará a como se deposita la nieve en la cubierta.
- Se debe indicar si posee resaltos o no, ya que esto provocará que la nieve pueda resbalar libremente o no.

En el presente estudio se toman los siguientes parámetros:

- Datos del emplazamiento: Zona 1.
- Altitud topográfica: 5m.
- Exposición al viento: Fuertemente expuesta.
- Cubierta sin resaltos, ya que se considera que la nieve puede resbalar libremente hasta caer, no pudiendo almacenarse en el alero por impedimentos constructivos.

En el presente proyecto la carga de nieve corresponde a un valor pequeño de $0,3\text{kN/m}^2$, como se puede observar en la Figura 3-6. Puesto que nos encontramos en las proximidades del borde del mar, obtenemos un valor pequeño, que se asemeja al valor de la sobrecarga de uso ($0,4\text{ kN/m}^2$). En este caso se ha considerado la sobrecarga de uso con un valor igual que el valor de la nieve, ya que cuando la cubierta esté nevada no existirá tal sobrecarga de uso [4].

Tabla 3.8 Sobrecarga de nieve en capitales de provincia y ciudades autónomas

Capital	Altitud m	s_k kN/m ²	Capital	Altitud m	s_k kN/m ²	Capital	Altitud m	s_k kN/m ²
Albacete	690	0,6	Guadalajara	680	0,6	Pontevedra	0	0,3
Alicante / <i>Alacant</i>	0	0,2	Huelva	0	0,2	Salamanca	780	0,5
Almería	0	0,2	Huesca	470	0,7	SanSebas- tián/ <i>Donostia</i>	0	0,3
Ávila	1.130	1,0	Jaén	570	0,4	Santander	1.000	0,7
Badajoz	180	0,2	León	820	1,2	Segovia	10	0,2
Barcelona	0	0,4	Lérida / <i>Lleida</i>	150	0,5	Sevilla	1.090	0,9
Bilbao / <i>Bilbo</i>	0	0,3	Logroño	380	0,6	Soria	0	0,4
Burgos	860	0,6	Lugo	470	0,7	Tarragona	0	0,2
Cáceres	440	0,4	Madrid	660	0,6	Tenerife	950	0,9
Cádiz	0	0,2	Málaga	0	0,2	Teruel	550	0,5
Castellón	0	0,2	Murcia	40	0,2	Toledo	0	0,2
Ciudad Real	640	0,6	Orense / <i>Ourense</i>	130	0,4	Valencia/ <i>València</i>	690	0,4
Córdoba	100	0,2	Oviedo	230	0,5	Valladolid	520	0,7
Coruña / <i>A Coruña</i>	0	0,3	Palencia	740	0,4	Vitoria / <i>Gasteiz</i>	650	0,4
Cuenca	1.010	1,0	Palma de Mallorca	0	0,2	Zamora	210	0,5
Gerona / <i>Girona</i>	70	0,4	Palmas, Las	0	0,2	Zaragoza	0	0,2
Granada	690	0,5	Pamplona/ <i>Iruña</i>	450	0,7	Ceuta y Melilla		

Figura 3-6 Sobrecarga de nieve

Sismo

Este apartado no se considerará las acciones de sismo, ya que en este caso estamos exentos de hacerlo según la normativa al respecto vigente en España, la NCSE-02 [4].

Según el apartado 1.2.3 de dicha norma: Criterios de aplicación de la norma, “la aplicación de ésta es de obligatoria en las construcciones recogidas en el artículo 1.2.1, excepto:

- En las construcciones de importancia moderada.
- En las edificaciones de importancia normal o excepcional, cuando la aceleración sísmica básica ab sea inferior a 0.04g, siendo g la aceleración de la gravedad.



Figura 3-7 Mapa de peligrosidad sísmica según NCSE-02

Como se aprecia en la Figura 3-7 Mapa de peligrosidad sísmica la situación donde se plantea el estudio de la construcción posee una aceleración sísmica menos de 0.04g, por lo que no es necesario plantear el estudio.

3.3 Cálculo de Pandeos

3.3.1 Pandeo longitudinal

El pandeo es un fenómeno que condiciona a las piezas sometidas a compresión. Los coeficientes de pandeos deben ser asignados a todas las piezas, excepto a las cruces de San Andrés, ya que estas o trabajan a tracción o no trabajan. El coeficiente de pandeo es un valor mayor o igual a cero que ponderará la longitud de la barra en función del tipo de apoyos... La longitud de pandeo es la distancia que habrá entre dos puntos de inflexión consecutivos en la deformada de la barra para ese plano de pandeo [4].

A continuación en la Tabla 3-1 se muestran los valores de los coeficientes de pandeo con la descripción de los extremos de las barras establecidos por el [9].

Condiciones de extremo	Biarticulada	Biempotrada	Empotrada articulada	Biempotrada desplazable	En ménsula
Longitud L_k	1,0 L	0,5 L	0,7 L	1,0 L	2,0 L

Tabla 3-1 Valores de pandeo

En esta estructura es muy importante conocer el comportamiento del pórtico si es traslacional o intraslacional, ya que se comportan de maneras diferentes, según el artículo 5.3 del CTE-DB-SE-A “Rigidez de los pórticos de acero en su plano frente a las acciones horizontales”. A continuación se detallan cada uno de ellos:

Pórticos intraslacional: aquel en el que el incremento de las solicitaciones debido a las deformaciones de la estructura resultan despreciables.

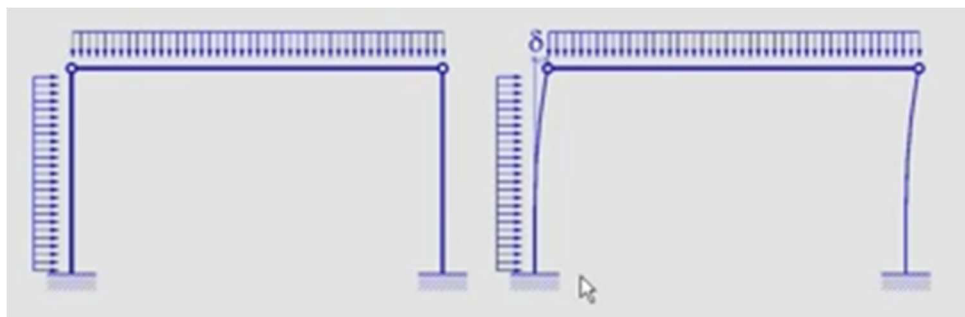


Figura 3-8 Pórticos intraslacional

En la Figura 3-8, se puede observar que se ha producido un desplazamiento horizontal, producido por las cargas horizontales, eso hace que las cargas verticales sufran una traslación y se produzca un incremento de solicitaciones en la base de los soportes. Si ese incremento es suficientemente pequeño, podemos afirmar que el pórtico es intraslacional [4].

Pórticos traslacionales: aquel en el que los desplazamientos tienen una influencia sustancial en los esfuerzos [4].

En la Figura 3-9, se puede observar como el desplazamiento es suficientemente grande para que los esfuerzos producidos en las bases de la estructura no se puedan despreciar.

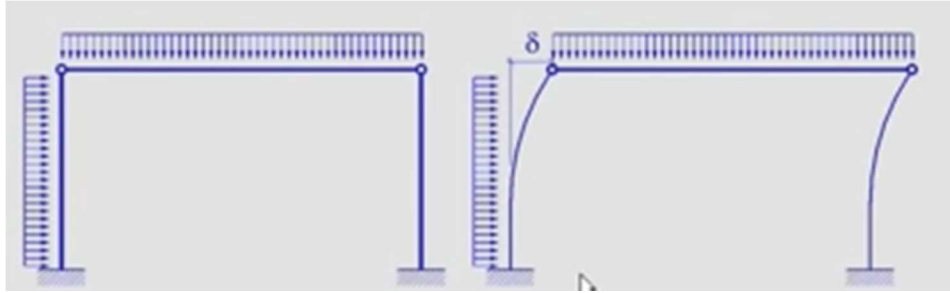


Figura 3-9 Pórticos traslacionales

A continuación se describen cada uno de los pandeos asumidos en el cálculo de cada uno de los elementos estructurales, considerando los siguientes planos:

- Plano XY: plano de inercia débil, el cual se encuentra perpendicular al alma.
- Plano XZ: plano del alma de cada barra, siendo éste el plano de inercia fuerte.

Pilares de los pórticos

En dichos pilares, se ha considerado que el pandeo en el plano XY es 0, ya que los pilares se encuentran arriostrados al muro de hormigón, el cual impide el pandeo en este plano. En plano XZ el pandeo lo calcula el programa introduciendo la longitud de la barra, la cual en nuestro caso la altura de pilares es de 7m, mediante la siguiente fórmula:

$$L_k = \beta L$$

Siendo L_k la longitud de pandeo, β el coeficiente de pandeo y L la longitud de la barra [11].

En la Figura 3-10 se muestran las longitudes de pandeo de los pilares de los pórticos:

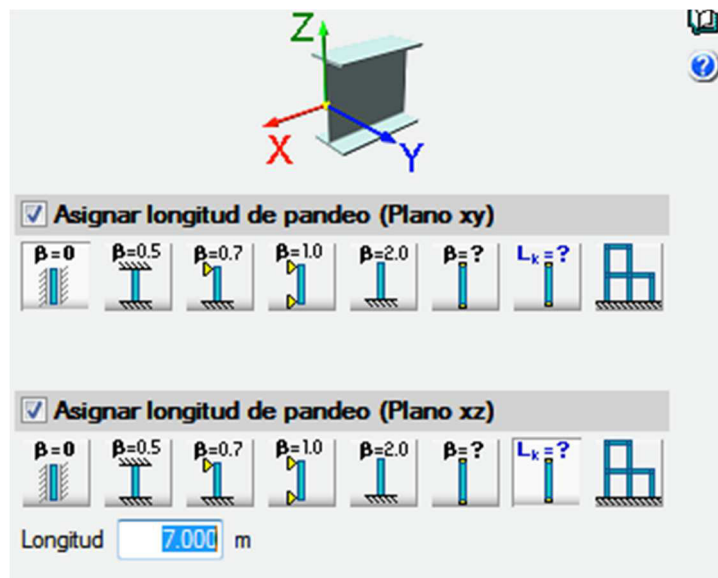


Figura 3-10 Longitudes de pandeo en pórticos

Pilares de las esquinas

En este caso los pilares poseen paredes laterales en los dos sentidos, por lo que el muro arriostra al pilar a pandeo en las dos direcciones, pero si permite pandear hacia fuera de la estructura, por lo que se ha considerado el valor de 0,7, como se puede observar en la Figura 3-11. Otra razón es que se considera una barra apoyada en un extremo y articulada en el otro [11].

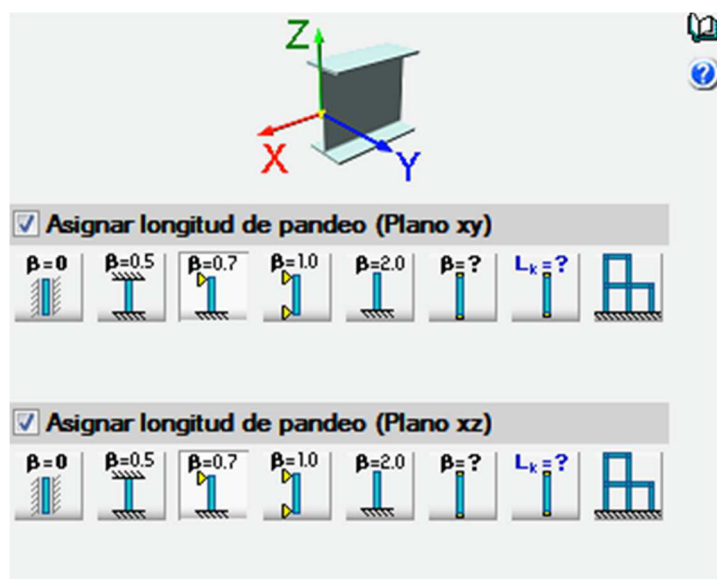


Figura 3-11 Longitudes de pandeo en pilares de las esquinas

Pilarcillos hastiales

Como en los pilares de los pórticos, en el plano XY el muro arriostra el pilar a pandeo, por lo que se considera valor igual a 0. En cambio en el plano XZ el valor es de 1, biapoyada. En la Figura 3-12 se muestran los valores de pandeo [11].

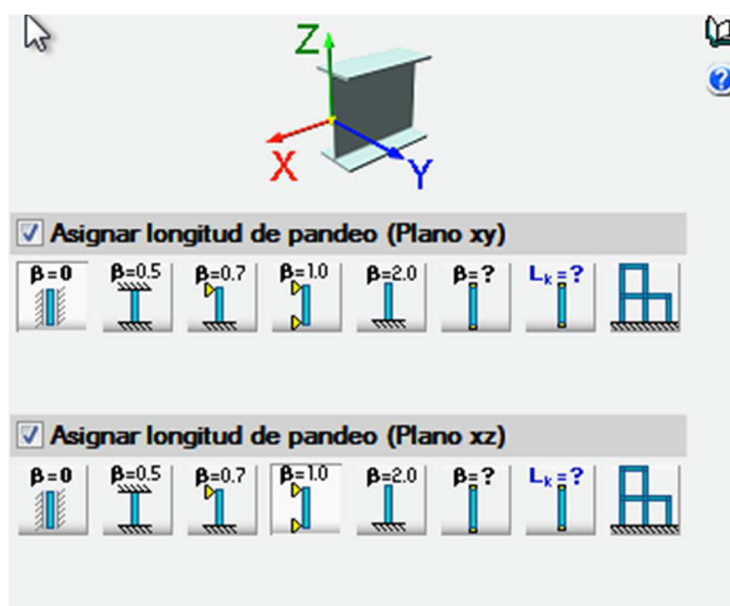


Figura 3-12 Pandeo en pilarcillos hastiales

Cabios

El pandeo es la distancia entre dos puntos de inflexión consecutivos de la deformada, por lo que en los cabios el pandeo vendrá definido por la distancia entre correas. Puesto que las correas arriostran el pilar a pandeo, la longitud de pandeo estará definida por la distancia entre correas que será 1,45m para el plano XY. En el plano XZ, el valor es de 1, ya que se encuentra biapoyada, como se ve reflejado en la Figura 3-13 [11].

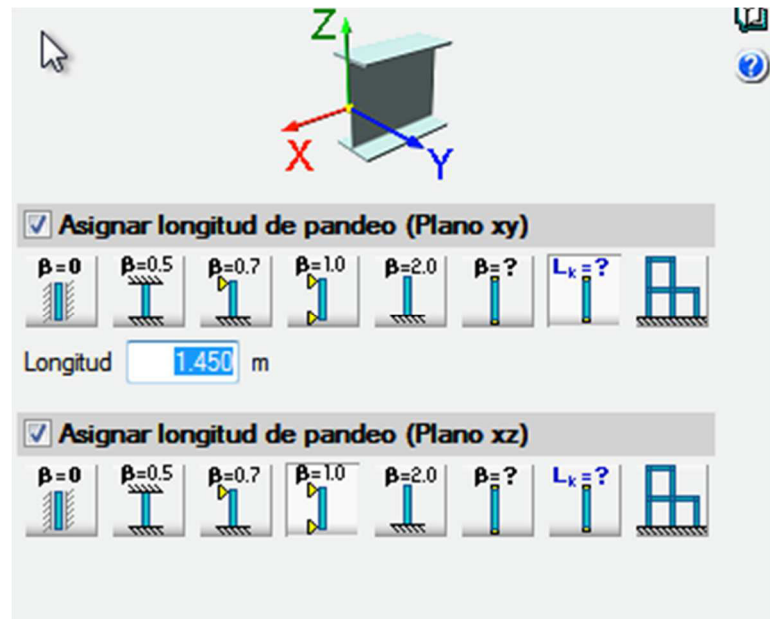


Figura 3-13 Pandeos en cables

Vigas de atado

Estas vigas solo trabajan a tracción cuando las cargas tienden a separar los pórticos entre sí, por lo que en el plano XY se desestima el coeficiente de pandeo. En cambio en el plano XZ al encontrarse biapoyada el coeficiente será 1. En la Figura 3-14 se observan los valores introducidos [11].

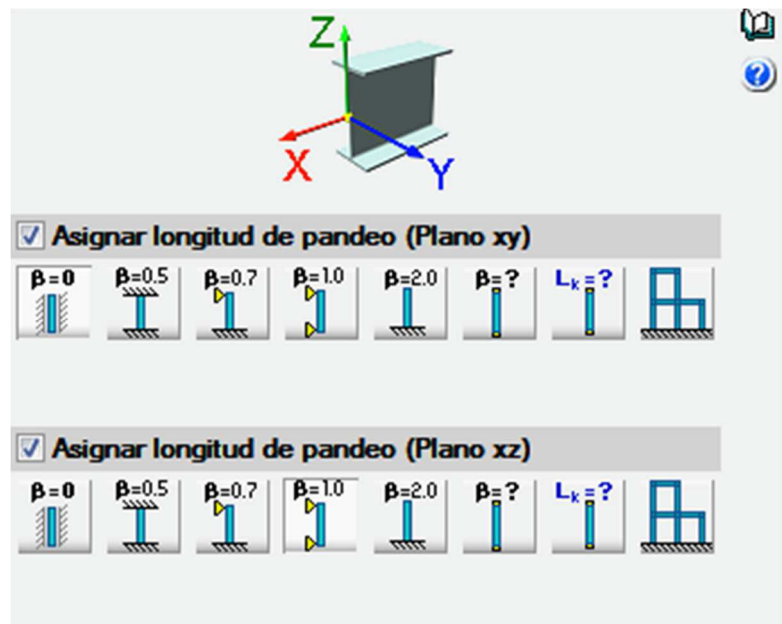


Figura 3-14 Pandeos en vigas de atado

3.1.2 Pandeo lateral

Al someter una chapa delgada a flexión recta en el plano de mayor rigidez, antes de colapsar en la dirección de carga lo hace en la transversal por su flexibilidad. Esta situación puede darse en perfiles en doble T si tienen una inercia mucho mayor en uno de sus planos principales que en el otro [4].

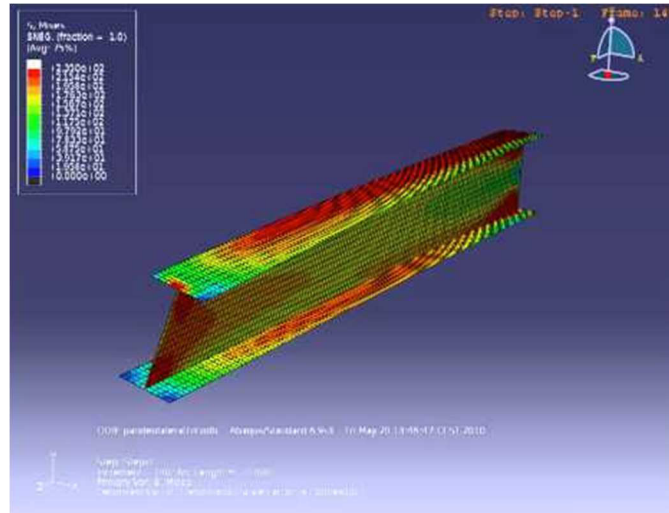


Figura 3-15 Concepto de pandeo lateral

En el presente proyecto, el pandeo lateral se ha despreciado, ya que en perfiles de sección constante no se suele considerar [4].

3.4 Cálculo de deformaciones (Flechas)

En el dimensionamiento de una estructura, se debe diferenciar entre [12]:

- Estados límites: Situaciones que, de ser superadas, puede considerarse que el edificio no cumple con alguno de los requisitos estructurales para los que ha sido concebido.
- Estados límite último (E.L.U): situación que, de ser superada, existe un riesgo para las personas, ya sea por una puesta fuera de servicio o por colapso parcial o total de la estructura.
- Estados límite de servicio (E.L.S): situación que de ser superada afecta a:
 - El nivel de confort y bienestar de los usuarios.
 - El correcto funcionamiento del edificio.
 - El aspecto de la construcción.

En el presente proyecto, las comprobaciones de los E.L.S se reducirán a la comprobación de las deformaciones (o flechas). Las flechas pueden ser de tres tipos [8]:

- Flecha instantánea y diferida: es la flecha que se genera en una pieza en el momento de cargarse.
- Flecha activa: es la que se produce en un elemento estructural con respecto a un elemento dañable desde el momento de construirse dicho elemento dañable (flecha que se acusa en una viga debida a la construcción de un tabique sobre ella).
- Flecha total a plazo infinito: es la suma de todas las flechas instantáneas producidas por todas las cargas.

Según el CTE-DB se distinguen tres casos de flechas máximas relativas a la longitud de las barras.

- 1/500 en pisos con tabiques frágiles.
- 1/400 en pisos con tabiques ordinarios.
- 1/300 en el resto de los casos.

El valor escogido en este caso es de 1/300.

Todas las barras (cabios) se encuentran situadas de igual manera enfrentando su plano de inercia fuerte (alma) a la carga, por lo que todas las flechas van a producirse en el plano XZ (plano del alma), por lo que se descartan todos los planos XY.

Cabe destacar que la flecha producida en cabios con Cruces de San Andrés, mostrados en la Figura 3-16, no será igual que en cabios continuos, por lo que se han creado dos grupos de flechas: los cabios que poseen Cruces de San Andrés y los cabios que no la poseen.

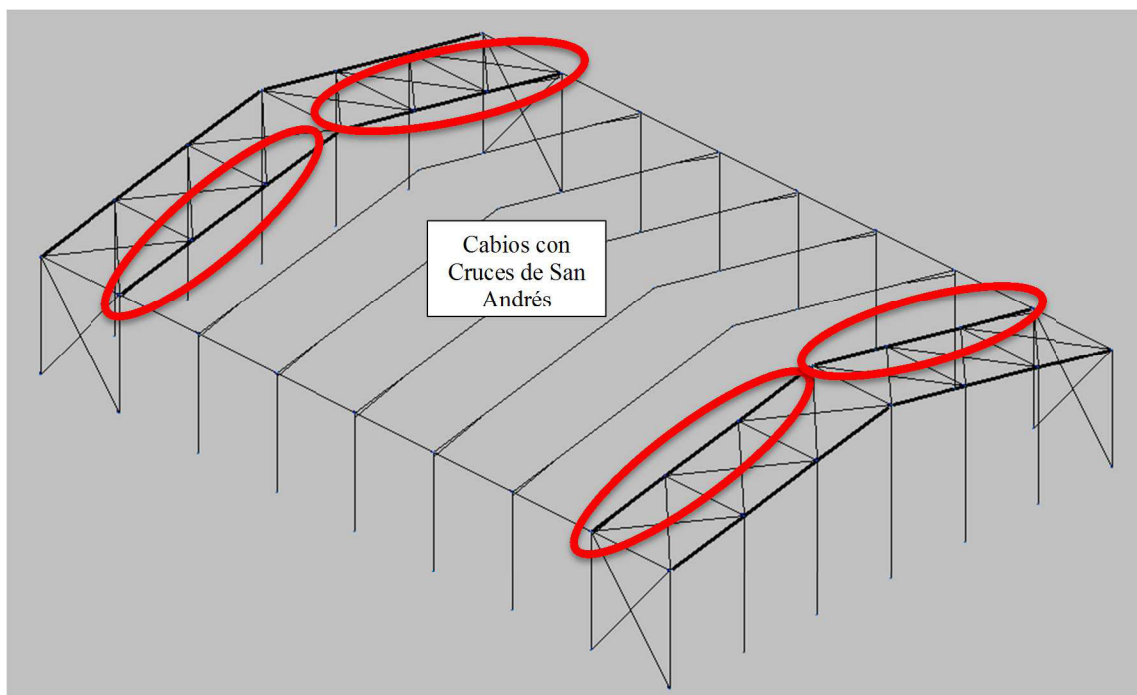


Figura 3-16 Cabios con cruces de San Andrés

En el primer caso, los cabios sin Cruces de San Andrés y que poseen cartelas se ha considerado Flecha Máxima Absoluta en XZ calculándola por el teorema de Pitágoras y dividiendo entre 300, ya que CYPE no calcula bien la longitud L debido a las cartelas de los pórticos [4].

$$a^2 + b^2 = c^2$$

Siendo:

a= 16.75 (Longitud de la barra)

b= 3.2 (20% de pendiente)

El resultado obtenido es la división de $c/300=54.4\text{mm}$, el cual es el valor que se debe introducir en el programa, como se observa en la Figura 3-17.

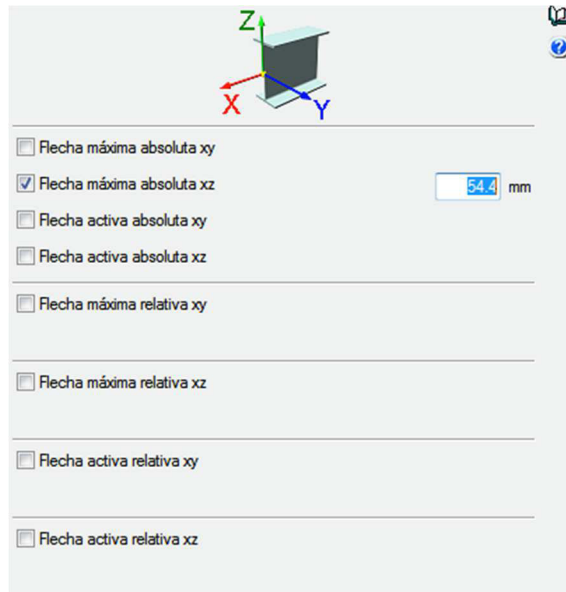


Figura 3-17 Flecha máxima absoluta

En el caso de los cabios de los hastiales, al no encontrarse con cartelas, el programa puede calcular perfectamente las flechas, introduciendo una Flecha Máxima Relativa de $L/300$, como se puede apreciar en la Figura 3-18.

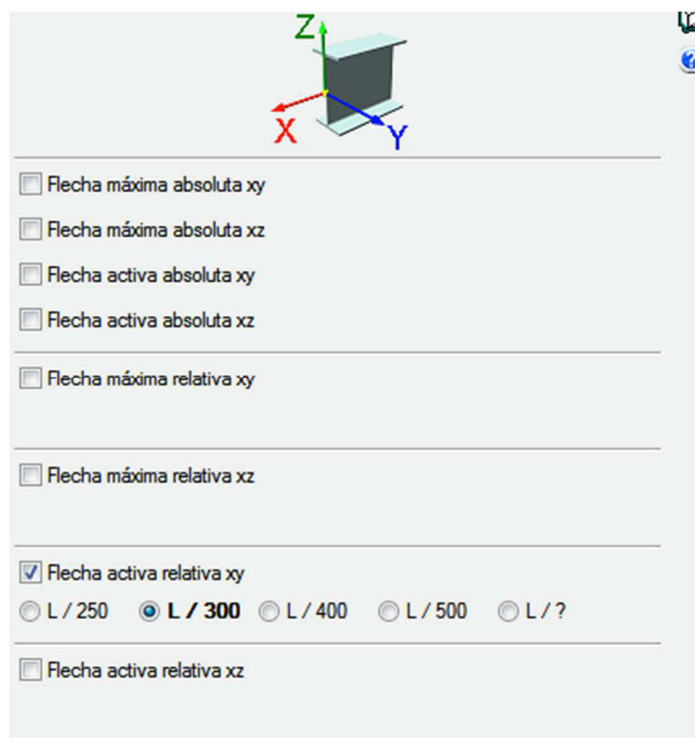


Figura 3-18 Flecha relativa

3.5 Dimensionamiento de la estructura

Antes de detallar las dimensiones (perfiles) de cada elemento estructural, se realizará una breve definición de cada elemento [10]:

- **Pilares:** Son barras verticales entre cada planta, definiendo un nudo en arranque de cimentación o en otro elemento, como una viga o forjado, y en la intersección de cada planta, siendo su eje el de la sección transversal.
- **Vigas:** se definen en planta fijando nudos en la intersección con las caras de soportes (pilares, pantallas o muros), así como en los puntos de corte con elementos de forjado o con otras vigas.
- **Correas:** pieza horizontal que sirve de apoyo de los cabios con la cubierta.
- **Pórticos:** estructura rígida formada por dos pilares y una viga superior.

3.5.1 Introducción de cargas en CYPE

En este apartado, se explicará cómo cargar la estructura aplicando el CTE-DB-SE-AE en CYPE.

Como se comentó anteriormente, las cargas consideradas en este proyecto son:

- Peso propio (cargas permanentes).
- Viento.
- Nieve.

Antes de comenzar a introducir cargas, se ha considerado las unidades del Sistema Internacional, que es como se expresa en el CTE-DB-SE-AE. En este sistema se hablará en kN, siendo aproximadamente $100 \text{ kg} = 1 \text{ kN}$.

Lo primero que tenemos que decidir es el número de hipótesis de carga que vamos a considerar. Hay que considerar el número de aquellas solicitaciones que puedan compartir una misma hipótesis, para no generar un número excesivo de éstas.

Una vez fijadas e introducidas sus cargas, el programa calcula para cada barra sus solicitaciones, buscando la peor circunstancia para cada barra.

Para implementar cada una de las hipótesis, se ha utilizado la ayuda de CYPE Ingenieros de “Hipótesis adicionales”. Esta ayuda nos informa de que la estructura tiene hipótesis automáticas de carga permanente. Cuando considera las hipótesis de nieve, sólo se considerará una de ellas en cada combinación posible [4].

Cargas permanentes:

En el estudio, solamente se tendrá una hipótesis activa.

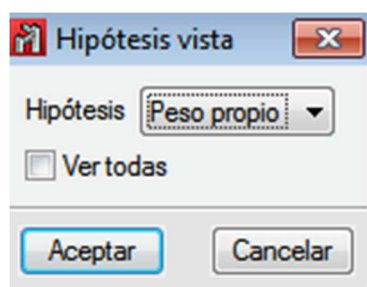


Figura 3-19 Hipótesis activa Peso Propio

Una vez aceptado el cuadro de la Figura 3-19 el programa genera automáticamente las cargas en el pórtico que seleccionemos o en la estructura completa.

En la Figura 3-20, se aprecia que todas las barras aparecen cargadas con su peso.

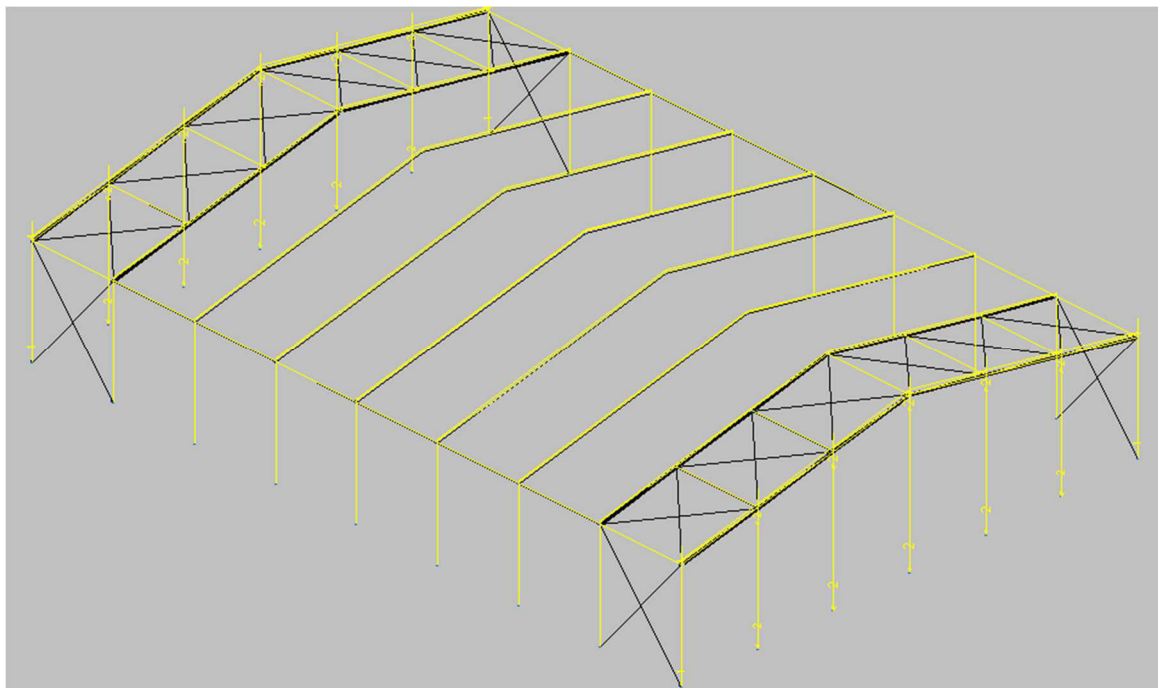


Figura 3-20 Estructura con el peso propio

En la Figura 3-20, se muestra el peso de las vigas de atado, el cual es de 0,184 kN/m, que equivale aproximadamente al peso del perfil IPE-180 que se consideró anteriormente.

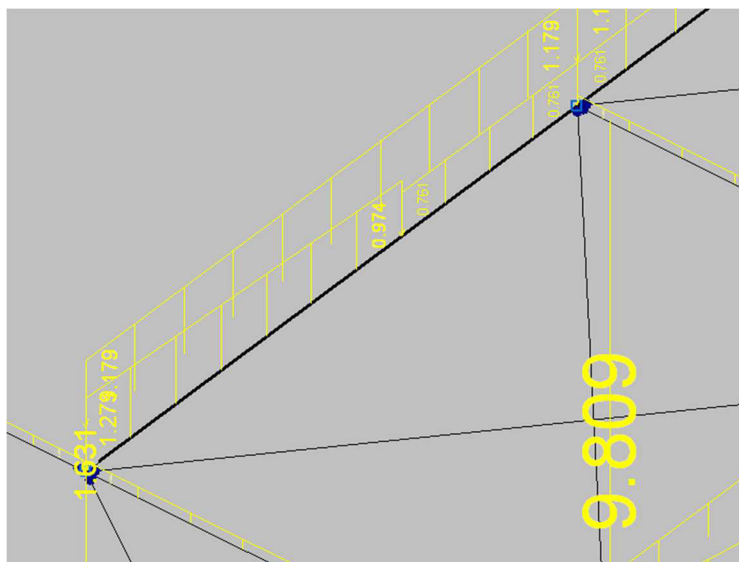


Figura 3-21 Peso propio en vigas de atado

En la Figura 3-21 se aprecian tres valores diferentes, siendo el valor de 0,974 kN/m, el valor del peso de la viga más el peso de la cartela. El valor del peso del perfil IPE-450 es 0,761kN/m, mientras que 1,179 kN/m es el valor del perfil IPE-450 más el peso propio del panel tipo Sándwich. Las correas afectan a los cabios de la estructura, siendo el valor de estas de 0,03 kN/m, que ya viene prefijado una vez que exportamos la estructura del generador de pórticos a Nuevo Metal 3D.

Cargas de nieve:

En el apartado 3.5.1 del CTE se especifica como determinar el valor de carga de nieve por unidad de superficie en proyección horizontal, qn , que puede tomarse:

$$qn = \mu \cdot S_k$$

Siendo:

μ = coeficiente de forma de cubierta.

S_k = Valor característico de la carga de nieve sobre un terreno horizontal.

En nuestro caso se toma $\mu = 1$ ya que según el subapartado 2 del epígrafe 3.5.2 del CTE:

“En un faldón limitado inferiormente por cornisas o limatesas, y en el que no hay impedimento de deslizamiento de la nieve, el factor de forma tiene el valor 1 para cubiertas con inclinación menor de 30° y 0 para cubiertas con inclinación mayor o igual que 60° ” [7].

El valor de S_k , se toma como $0,3\text{kN/m}^2$.

Como se explicó en el apartado 3, se ha considerado que la nieve puede resbalar libremente de la cubierta, por lo que según el apartado 5 del CTE-DB, no consideramos ningún elemento que pueda acumular nieve en la estructura.

Para la carga de nieve, CYPE considera tres hipótesis adicionales en función del ángulo de caída de nieve, siendo estas que el viento es favorable por un lado, o bien por el otro o bien no existe viento:

- N (EI) $\rightarrow$ Nieve sin viento, representado en la Figura 3-22.
- N(R) 1 $\rightarrow$ Nieve con viento de izquierda a derecha, representado en la Figura 3-23.
- N(R) 2 $\rightarrow$ Nieve con viento de derecha a izquierda, representado en la Figura 3-24.

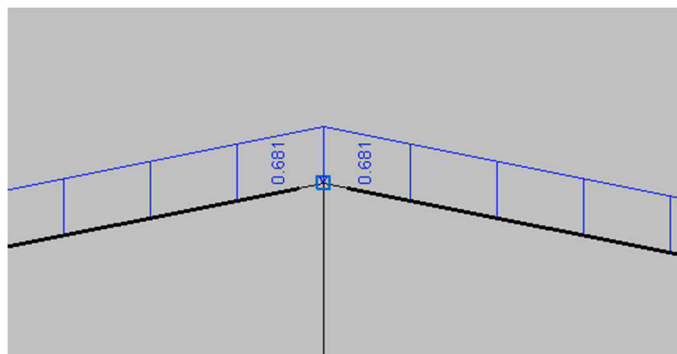


Figura 3-22 Hipótesis de Nieve 1

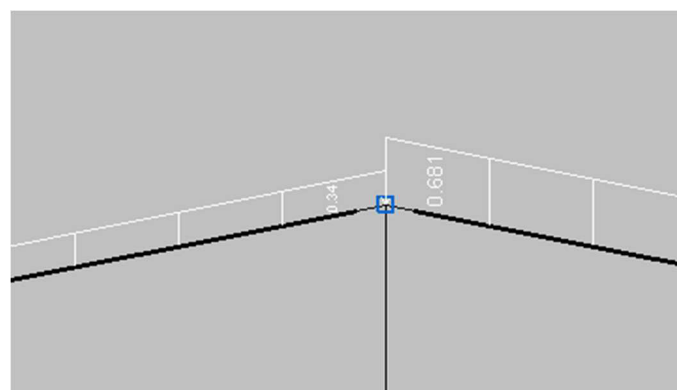


Figura 3-23 Hipótesis de Nieve 2

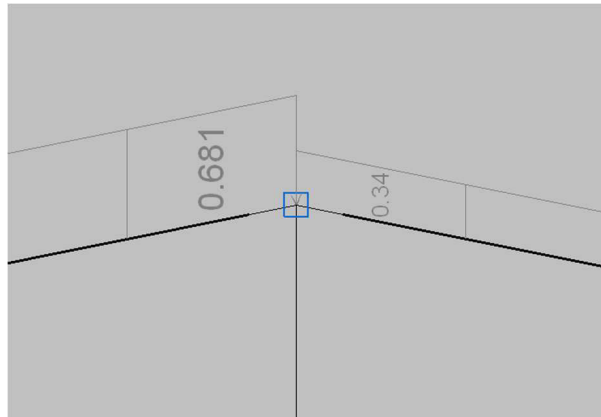


Figura 3-24 Hipótesis de Nieve 3

Los valores explicados en las imágenes anteriores, corresponden al hastial delantero, por lo que los valores serán la mitad que en el resto de pórticos, ya que tienen que soportar el doble de acciones de cada lado del cabio, siendo por lo tanto el valor de la carga de nieve para un pórtico de 1,361 kN/m² [4].

En la Figura 3-25 se muestra la combinatoria de nieve, en la cual se observa que solamente puede darse uno de los tres casos de nieve planteados.

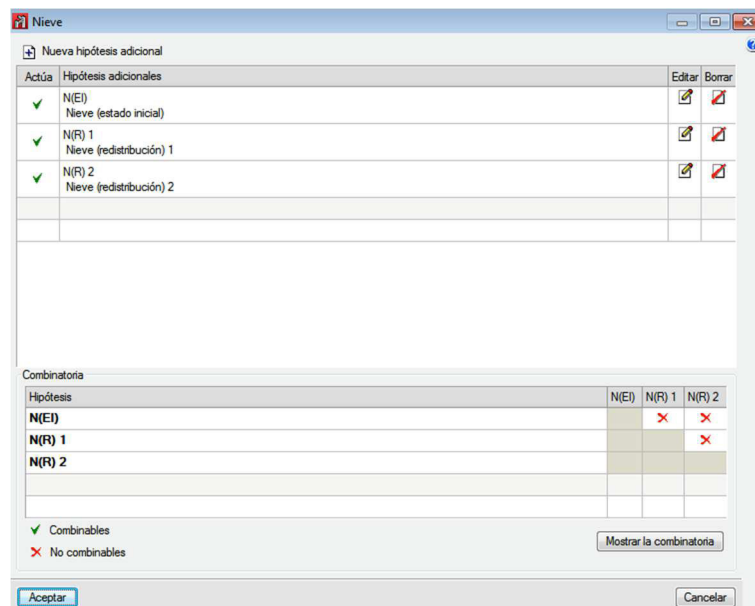


Figura 3-25 Combinatoria de Nieve

Cargas de Viento:

Según el apartado 3.3.2 del CTE, las cargas de viento sobre la estructura se calculan con la siguiente expresión: [4]

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

Siendo [6]:

q_b Presión dinámica del viento en kN/m². Para la obtención de su valor se debe mirar el anejo D del [6].

q_e Presión estática del viento en kN/m².

c_e Coeficiente de exposición, variable con la altura del punto considerado. Se determina con lo acordado en lo establecido en el apartado 3.3.3 del CTE-DB-SE-AE.

c_p Coeficiente eólico o de presión. Este coeficiente puede tomar valores positivos (presión) o negativos (succión). Estos valores deben extraerse del Art. 3.3.5.

Según el anexo D del Eurocódigo: Acción del viento, en su apartado D.1 Presión Dinámica, epígrafe 4, se nos dice que para construcciones en la zona B, la presión dinámica del viento que le corresponde es de $0,45 \text{ kN/m}^2$ [13].

$$q_b = 0,45 \text{ KN/m}^2$$

El coeficiente de exposición depende de la altura del punto considerado con respecto a la rasante de barlovento.

Según el Eurocódigo 1, la altura a considerar siempre es la de coronación de la nave, pero se ha decidido trabajar de una manera más exacta, tomando valores z igual al punto medio de cada barra, obteniendo un valor en la tabla 3.3 del Art. 3.3.3, considerando un grado de aspereza 1 [13].

Para calcular el coeficiente eólico de presión, se utilizará como se dijo anteriormente, el Art. 3.3.5, en su tabla 3.5 tenemos que entrar con la esbeltez que ve el viento en su dirección y con el área de los huecos que quedan a sotavento, en la succión [4].

En la Figura 3-26 se muestra la tabla de coeficientes de presión interior.

Esbeltez en el plano paralelo al viento	Área de huecos en zonas de succión respecto al área total de huecos del edificio										
	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
≤ 1	0,7	0,7	0,6	0,4	0,3	0,1	0,0	-0,1	-0,3	-0,4	-0,5
≥ 4	0,5	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1	0,0	-0,1	-0,2	-0,3	-0,3

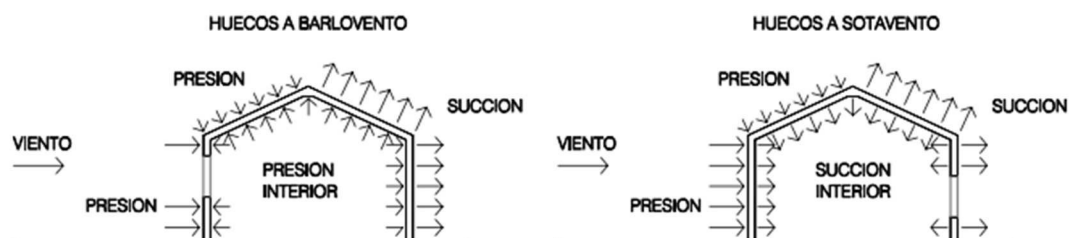


Figura 3-26 Situaciones de máxima presión interior y máxima succión interior

Si el viento viene por cualquiera de los dos laterales, tiene que recorrer 32 m de anchura hasta superar el edificio de 10,2m de alto, por lo que:

$$\frac{10,2}{32} = 0,318 \ll 1$$

En cambio, si el viento sopla por la dirección de los hastiales, tiene que recorrer 45m de largo hasta superar el edificio de 10,2 m de alto, por lo que:

$$\frac{10,2}{45} = 0,2266 \ll 1$$

Para hallar la máxima presión, hay que considerar todas las ventanas a barlovento abiertas y resto cerrado. En cambio, si busco la máxima succión interior es justo al revés, hay que abrir todos los huecos de sotavento y cerrar los de barlovento, obteniendo los siguientes resultados [4]:

$$c_{p,int} \text{ presión máx} = 0,7$$

$$c_{p,int} \text{ succión max} = -0,5$$

Tenemos que considerar que el viento puede solicitar a nuestra nave soplando por cualquiera de sus cuatro caras. Con estas direcciones del viento y con las situaciones extremas de presión y succión interior, podemos deducir 8 hipótesis, que posteriormente nos la dará el programa [4]:

- Viento a 0°, máxima presión interior.
- Viento a 0°, máxima succión interior.
- Viento a 90°, máxima presión interior.
- Viento a 90°, máxima succión interior.
- Viento a 180°, máxima presión interior.
- Viento a 180°, máxima succión interior.
- Viento a 270°, máxima presión interior.
- Viento a 270°, máxima succión interior.

3.5.2 Dimensionado de correas

Para el cálculo estructural, se debe comenzar a calcular la estructura de arriba abajo, para poder ir cargando la estructura con los pesos que vayamos trayendo desde arriba. Por eso, lo primero es calcular las correas en cubierta. Para ellos se ha usado uno de los programas que trae el paquete de CYPE Ingenieros: el Generador de Pórticos.

El primer dato que se nos solicita es la distancia entre dos pórticos consecutivos. Como se ha comentado en el apartado 2.2, será de 5,69m.

Al indicar el tipo de cerramiento en cubierta, se debe especificar su peso propio por m². Suponemos que vamos a cubrir con panel sándwich, como se especificó en el apartado 2.1.3, por lo que pondremos 15 kg/m² [3]

El siguiente valor a introducir para el cálculo de correas, es el valor de la sobrecarga de uso, el cual ha sido explicado en el apartado 3.2.2 del presente documento.

Para definir las correas en cubierta, las cuales se aprecian en la Figura 3-27 Pórtico configurado con correas, es necesario predeterminedinar una serie de datos previos adicionales que son:

- Límite de flecha: Según el epígrafe 4.3.3.1 del CTE-DB-SE y como se explicó anteriormente, consideramos una flecha relativa máxima de $L/300$ [8].
- Número de vanos: en este caso, se dispone de 8 vanos de correas (8 módulos).
- Tipo de Fijación: en el presente estudio, se considera fijación rígida, ya que se supone la cubierta tan rígida que es capaz de impedir que las correas giren.

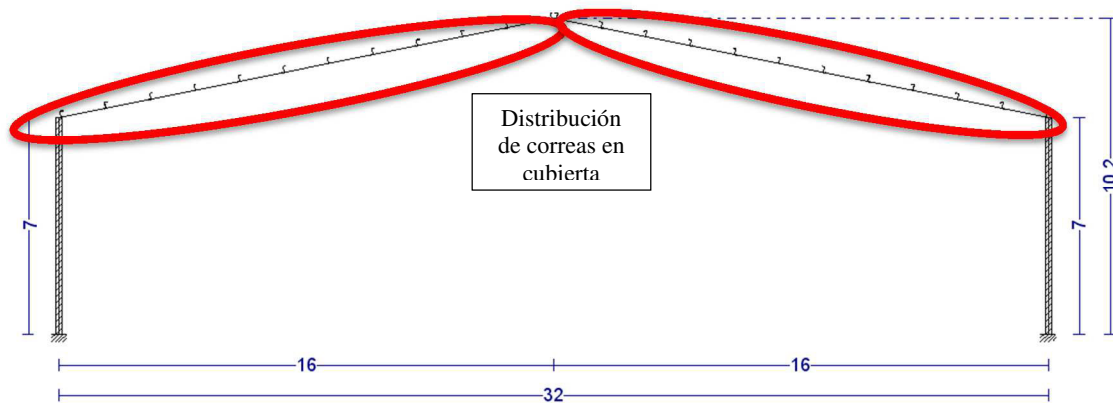


Figura 3-27 Pórtico configurado con correas

Como se explicó anteriormente en el apartado 2.1.3, las correas de cubierta están constituidas por perfiles en Z, ya que transmiten la carga uniformemente repartida y son los más usados por su relación resistencia/peso; nótese que el precio de una estructura es función de su peso. En la Figura 3-28 Propiedades Correos en Z se observan las características de los perfiles en Z [4].

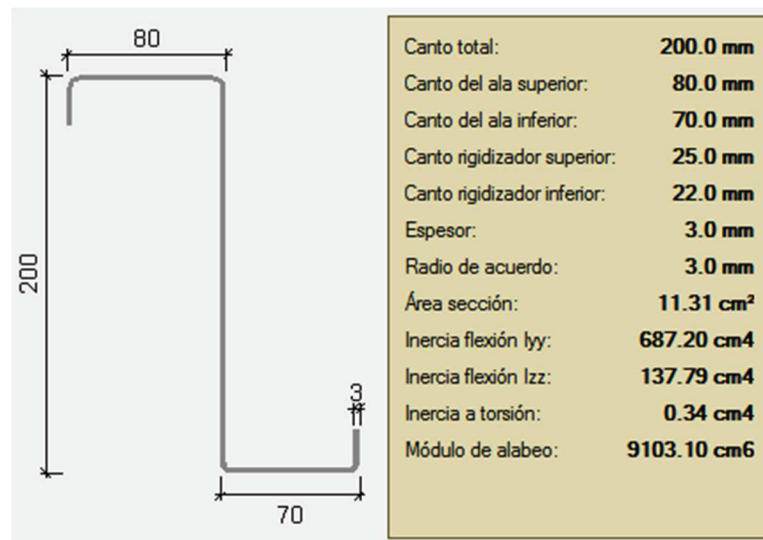


Figura 3-28 Propiedades Correos en Z

Los perfiles tipo ZF, poseen un diseño que permite la fabricación de estructuras de soporte, con la ventaja de ser un elemento constructivo ligero y fácil de instalar. En la estructura, las correas se encuentran separadas 1,45 m [4].

Se tiene un total de 24 correas de tipo ZF-200x3. El asiento de las correas se realizará de modo que el lado más ancho del perfil ZF quede apoyado y soldado (o atornillado) sobre el pórtico.

Para no transmitir esfuerzos entre las diferentes correas, éstas estarán formadas por elementos dispuestos de forma consecutiva, es decir, correas que unan cabios con una longitud igual a 5,69m cada una de ellas.

El cálculo de tensiones y flechas queda recogido en el Anexo III del presente proyecto.

El acero utilizado para las correas es el único diferente en la estructura, ya que no son laminados en caliente, sino conformados en frío, considerándose un acero S235.

3.5.3 Pórticos

Como se explicó anteriormente en el apartado 2.1.1 Tipos de pórticos, los pórticos considerados en la estructura son pórticos rígidos. En la estructura del proyecto se consideran 9 pórticos, separados una distancia de 5,69 m entre cada uno. La justificación adoptada de esta medida es que según el CTE-DB-SE, las medidas de separación de pórticos para una estructura de acero de sección constante debe de ser de entre 5 y 6m, ya que serán las medidas óptimas en las cuales obtendremos el mejor rendimiento del material [4].

En la estructura se han considerado la agrupación de 3 tipos de pórticos, los pórticos hastiales, los pórticos con Cruces de San Andrés y los pórticos de la estructura. Cada uno de estos pórticos se han agrupado entre sí, para que obtengan la misma distribución de perfiles en la estructura.

Una estructura posee nudos empotrados y articulados, por lo que pueden resistir momentos, pero resulta conveniente establecer elementos de arriostramiento para asegurar la estabilidad ante los empujes de viento, considerándose así el uso de pilarcillos hastiales [4].

Para la unión de los hastiales delanteros y traseros, se han establecido unas vigas de atado de pórticos, para garantizar la seguridad estructural ante los esfuerzos horizontales. Estas vigas de atado, poseerán un perfil IPE [4].

Para afrontar la resistencia al viento frontal, se han establecido en el hastial delantero y trasero, pilares hastiales y Cruces de San Andrés, mejorando así el comportamiento de la estructura [4].

Mediante los cálculos realizados por CYPE (que se adjuntan en el Anexo III), se ha podido comprobar la resistencia estructural de todos y cada uno de los elementos pertenecientes a los pórticos, obteniendo así también los perfiles más adecuados para el cada uno de los pilares y cada uno de los cabios.

A continuación se describen los perfiles utilizados para cada uno de los diferentes pórticos:

Pórticos hastiales:

Se asume el perfil HEA, ya que, al poseer las alas más anchas, resultan más adecuados para sujetar los paneles de hormigón (cerramientos laterales).

En los pórticos hastiales se ha asumido un perfil aleatorio HE200A. Tras la realización de los cálculos iterativos de cargas, el programa CYPE ha calculado dicho valor como erróneo, siendo el valor adecuado el HE300A. Las características de este perfil se pueden ver en la Figura 3-29.

Para todos los cabios de la estructura se han considerado perfiles IPE, ya que son los perfiles que menos peso aportan a nuestra estructura. Para los cabios de los pórticos hastiales, se ha tomado un valor IPE200, resultando ser éste un valor correcto. Nótese que, en este caso, los perfiles serán menores que en el resto de los cabios, ya que soportan la mitad de cargas.

Para completar la estructura de los pórticos hastiales, se han considerado cinco pilarcillos hastiales, colocados con el alma perpendicular a la longitud de la nave. Dichos pilares poseen un perfil IPE 360 y se encuentran articulados al suelo.

Debido a las Cruces de San Andrés que unen los pórticos hastiales a sus pórticos contiguos, se han considerado siete vigas de atado, obteniéndose un perfil IPE 180 para cada una de ellas. Estas vigas de atado poseen una inclinación del 20% respecto a la horizontal para la correcta unión con el alma del cabio de los pórticos [4].

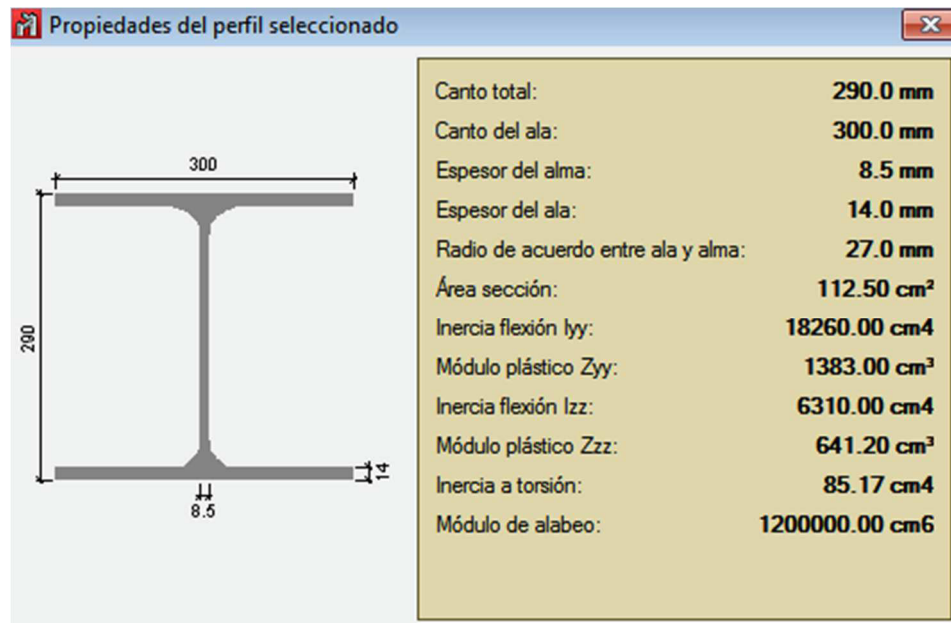


Figura 3-29 Perfil HE300A

Pórticos con Cruces de San Andrés.

Los pórticos con Cruces de San Andrés son el 2º y el 8º. Sus pilares van a poseer un perfil diferente y bastante mayor a los del resto de la estructura, ya que deben de soportar los esfuerzos de las cruces de San Andrés cuando trabajen a tracción. El perfil obtenido ha sido un HE550A, como se puede observar en la Figura 3-30, por las mismas características que se explicaron en el apartado anterior, estando empotrado al suelo.

Estos dos pórticos poseen cartelas inferiores con una longitud de 3,5m para que sean del 20% de la longitud del cable.

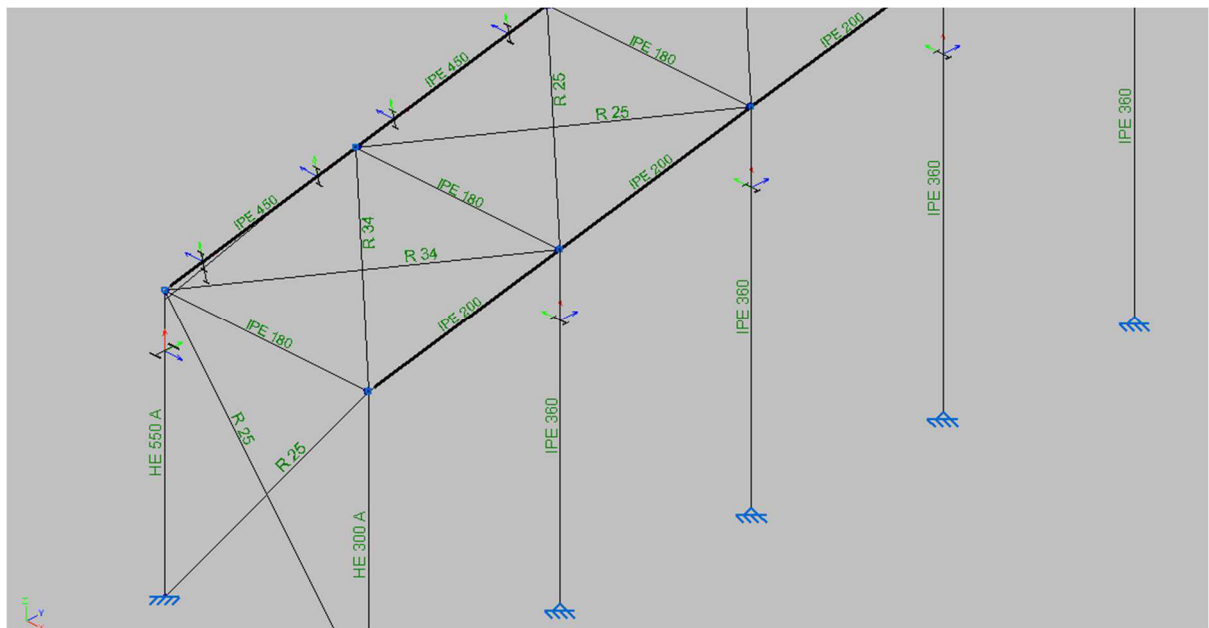


Figura 3-30 Pórtico hastial con Cruces de San Andrés

Pórticos normales.

Para el resto de pórticos, se han agrupado todos entre sí, obteniendo los mismos perfiles en todos y cada uno de ellos. Todos los pilares poseen un empotramiento al suelo, siendo el perfil obtenido el HE400A, como se puede observar en la Figura 3-31.

Para las vigas de atado de pórticos se han considerado, como se explicó anteriormente, perfiles IPE180.

Para los cabios de estos pórticos, hay que tener en cuenta que son vigas de más de 16 metros con una pendiente de 20%, por lo que se prevé que se obtenga un perfil grande. En estos casos se deben utilizar perfiles IPE, ya que aportan menos peso a la estructura. Tras realizar los cálculos con CYPE, se han obtenido un valor de IPE 450, siendo este perfil el más grande de los cabios.

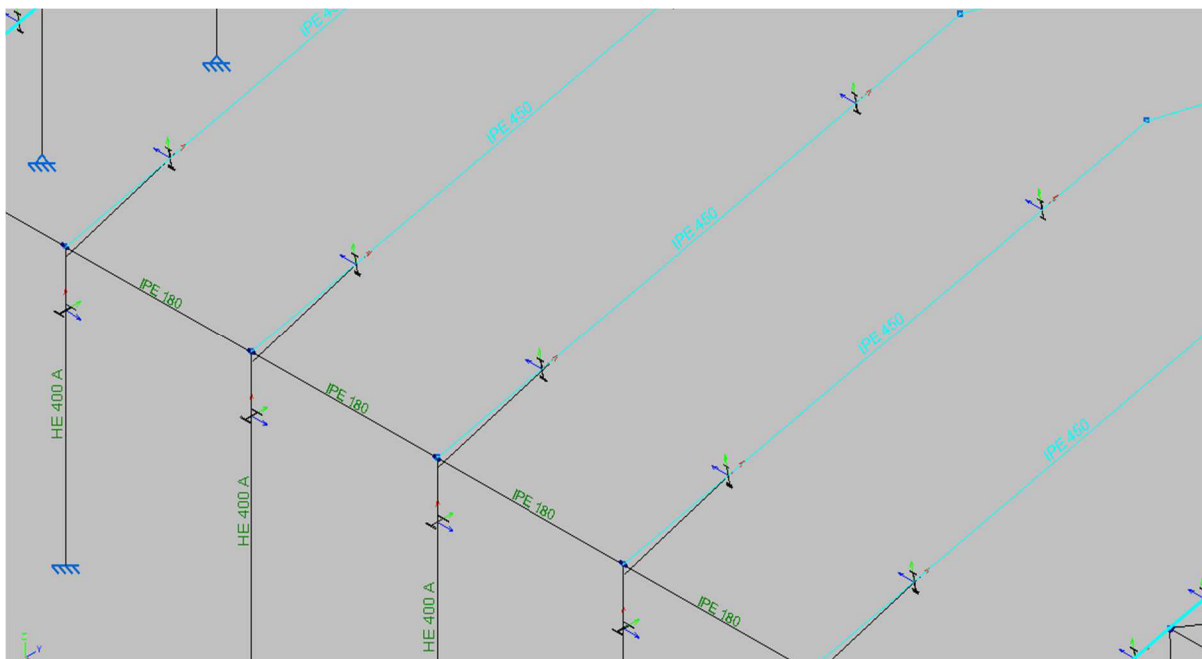


Figura 3-31 Pórticos normales optimizados

A continuación se muestran las características de cada uno de los **perfiles** utilizados en los pórticos cuyo acero en todos los casos es S275 [14].

Perfiles HEA.

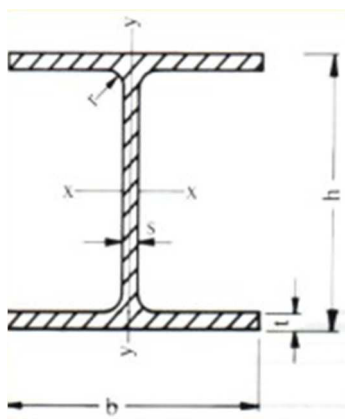


Figura 3-32 Dimensiones perfil HEA

HEA	Dimensiones					Área cm ²	Peso kg/m
	h	b	s	t	r1		
550	540	300	12,5	24	27	212	170,15
400	390	300	11	19	27	159	128,13
300	290	300	8,5	14	27	113	90,51

Tabla 3-2 Características perfiles HEA utilizados

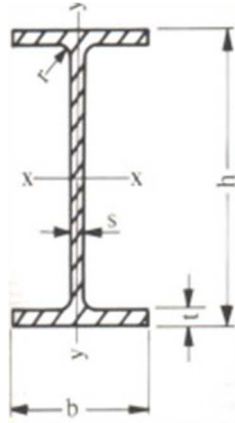
Perfil IPE

Figura 3-33 Dimensiones perfil IPE

IPE	Dimensiones					Área cm ²	Peso kg/m
	h	b	s	t	r1		
450	450	190	9,4	14,6	21	98,8	77,6
360	360	170	8	12,7	18	72,7	57,1
200	200	100	5,6	8,5	12	28,5	22,96
180	180	91	5,3	8	9	23,9	19,27

Tabla 3-3 Características perfiles IPE utilizados

3.5.4 Tirantes

El método de cálculo de tirantes usado por Nuevo Metal 3D es un método basado en la experiencia que compara los resultados con la obtención del resultado real. El programa calcula la estructura con el método de la matriz de rigidez. Este método de cálculo es aplicable a estructuras hiperestáticas de barras. El método matricial se basa en estimar los componentes de las relaciones de rigidez para resolver las fuerzas o los desplazamientos mediante un ordenador [12].

El hecho de que los tirantes o tensores son barras de eje recto que admiten sólo esfuerzos de tracción en la dirección de su eje (biarticuladas), implica que su modelización sólo sería estrictamente exacta si se hiciese un análisis no lineal de la estructura para cada combinación de hipótesis, en el que deberían suprimirse en cada cálculo todos aquellos tirantes cuyos axiles sean de compresión [12].

Como aproximación al método exacto, CYPE propone un método alternativo cuyos resultados, en los casos que cumplen con las condiciones que se detallan a continuación, son suficientemente

aceptables para la práctica habitual del diseño de tirantes, y permiten un análisis integrado de la estructura completa [12].

El método tiene las siguientes limitaciones, cuyo cumplimiento comprueba el programa:

- El tirante forma parte de un recuadro arriostrado en forma de cruz de San Andrés enmarcado en sus cuatro bordes, o en tres, si la rigidización llega a dos vínculos exteriores. Además cada recuadro debe formar un rectángulo (los cuatro ángulos interiores rectos), es decir, se han de disponer de un recuadro totalmente arriostrado y rectangular con vigas que formen un bastidor para introducir la Cruz de San Andrés.
- El área transversal de los tirantes es menor que el 20.0 % del área del resto de elementos (vigas y pilares) que completan el recuadro arriostrado (cruz de San Andrés).
- Las dos diagonales (tirantes) de un mismo recuadro arriostrado deben tener la misma sección transversal, es decir, el mismo tipo de perfil y el mismo tipo de acero.

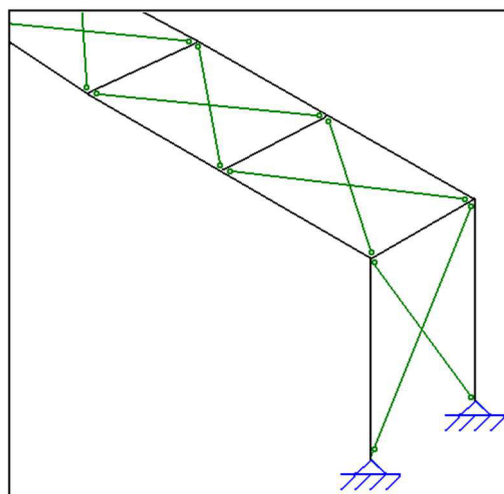


Figura 3-34 Características Cruces de San Andrés

Aplicación del método [10].

El método de cálculo es lineal y elástico con formulación matricial. Cada tirante se introduce en la matriz de rigidez únicamente con el término de rigidez axil ($A \cdot E/L$), que se toma igual a la mitad de la rigidez real de cada tirante. De esta manera se logran desplazamientos en el plano de la rigidización similares a los que se obtendrían si la diagonal comprimida se hubiese suprimido del análisis matricial considerando el área real de la sección del tirante traccionado.

Para cada combinación de hipótesis, se obtienen los esfuerzos finales en cada tirante y en aquellos en los que el axil resulte de compresión se procede de la siguiente manera:

- Se anula el axil del tirante comprimido.
- Dicho valor del esfuerzo se suma al axil del otro tirante que forma parte del recuadro arriostrado.
- Con la nueva configuración de axiles en los tirantes, se procede a restituir el equilibrio en los nudos.

Dado que el método compatibiliza esfuerzos y no desplazamientos, es importante considerar la restricción de rigideces axiles de las secciones que forman el recuadro rigidizado, ya que el método gana mayor exactitud cuánto menores sean los acortamientos y los alargamientos relativos de las barras que enmarcan la cruz de San Andrés. En todos los casos analizados por CYPE Ingenieros, las

discrepancias entre los resultados obtenidos por éste método y los obtenidos por análisis no lineal, han sido despreciables.

Para más información sobre el método de cálculo de tirantes, véase el Anexo II.

4 PRESUPUESTO

En esta sección se muestra un presupuesto aproximado de la construcción descrita en el presente trabajo, excluyendo los cerramientos laterales, las uniones y la cimentación de la estructura.

El presupuesto se divide en: vigas y pilares, tirantes, cartelas, correas, cubierta y un presupuesto general. Los resultados para cada tipo de elemento estructural se presentan en tablas que incluyen la siguiente información: longitud, peso y coste total. Nótese que el precio de una estructura de acero se expresa normalmente en €/kg. En este caso, y tras consultar a una empresa especializada en construcciones metálicas, se ha considerado un precio de 1,5€/kg, incluyendo este precio el IVA y la mano de obra de la construcción.

4.1 Vigas y Pilares

Perfil	Longitud total (m)	Peso del perfil (kg/m)	Total (kg)	Precio(€/kg)	Coste (€)
HE550A	28	170,15	4.764,2	1,5	7.146,3
HE400A	70	128,13	8.969,1	1,5	13.453,65
HE300A	28	90,51	2.534,28	1,5	3.801,42
IPE450	228,4	77,6	17.723,84	1,5	26.585,76
IPE360	89,2	58,53	5.220,87	1,5	7.831,30
IPE200	65,3	22,96	1.499,3	1,5	2.248,95
IPE180	148	19,27	2.851,96	1,5	4.277,94
					65345,32

Tabla 4-1 Presupuesto para vigas y pilares

4.2 Tirantes

Perfil	Longitud total (m)	Peso del perfil (kg/m)	Total (kg)	Precio(€/kg)	Coste (€)
R34	63	7,13	449,19	1,5	673,78
R25	198,1	4	792,4	1,5	1.188,6
					1.862,38

Tabla 4-2 Presupuesto para tirantes

4.3 Cartelas

Perfil	Longitud total (m)	Peso del perfil (kg/m)	Total (kg)	Precio(€/kg)	Coste (€)
IPE200	49	22,96	1.125,04	1,5	1.687,56

Tabla 4-3 Presupuesto para cartelas

4.4 Correas

Perfil	Longitud total (m)	Peso del perfil (kg/m)	Total (kg)	Precio(€/kg)	Coste (€)
ZF 200x3	1.092	8,35	9.118,2	1,5	13.677,3

Tabla 4-4 Presupuesto para correas

4.5 Panel de Cubierta

Para calcular el precio de la cubierta, hay que obtener el total de pliegos de panel que necesitamos, siendo cada pliego de 16,32m y siendo el precio correspondiente a la cantidad total de m² en la cubierta.

Concepto	Cantidad (pliegos)	Medida por pliego(m)	Total (kg)	Precio(€/m ²)	Coste (€)
Chapa Sándwich de 50mm	90	16,32	1.468,8	20,7	30.404,16

Tabla 4-5 Presupuesto para cubierta

4.6 Presupuesto total

En la Tabla 4-6 se presenta un resumen del presupuesto total de la estructura, considerando todos los elementos definidos en este proyecto.

Concepto	Total (kg o m^2)	Coste (€)
ZF 200x3	9118,2	13.677,3
IPE	28421	42.631,51
HEA	16267,58	24.401,37
R	1241,6	1.862,38
CUBIERTA	1468	30.404,16
TOTAL		112.976,72

Tabla 4-6 Presupuesto total

5 CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS

5.1 Conclusiones

Tras la finalización del proyecto, se ha llegado a la conclusión de que se han alcanzado los objetivos fijados en un principio, ya que:

- Se han aplicado y ampliado los conocimientos adquiridos en la asignatura de “Cálculo de Estructuras” y “Desarrollo de proyecto”.
- Se ha llegado a una conclusión válida y formal para posibilitar un techado en las instalaciones deportivas de la ENM.
- Se ha descrito y aplicado una metodología aceptada para el cálculo de la estructura metálica.
- Se han seguido en todo momento las normativas vigentes que definen el cálculo de las estructuras de acero.
- Se ha obtenido un sólido aprendizaje en el manejo del programa CYPE Ingenieros.
- Se ha obtenido un presupuesto aproximado de la estructura diseñada, el cual puede servir como base preliminar para que en un futuro la ENM tome la decisión de construirla o no.

5.2 Líneas futuras

Como continuación del presente proyecto, se pueden definir las siguientes líneas de trabajo:

- Estudio y cálculo de cimentación para la estructura metálica con uso deportivo.
- Remodelación de asfaltos de pistas deportivas.
- Estudio de instalaciones en el interior de la estructura diseñada.
- Estudio de viabilidad de construcción de nuevas estructuras de cubiertas para otras instalaciones deportivas de la ENM.
- Cálculo de uniones de la estructura diseñada.

6 BIBLIOGRAFÍA

- [1] IMCA, Manual de contrucción en acero, LIMUSA.
- [2] P. Jiménez Montoya, Á. García Messeguer y F. Morán Cabré, Hormigón Armado, Gustavo Gil.
- [3] A. Rolando Ayuso, Cerramientos ligeros y pesados en los edificios, Bellisco.
- [4] A. M. Reyes Rodríguez, CYPE 2010 Cálculo de estructuras metálicas con Nuevo Metal 3D, Madrid, Madrid: Grupo Anaya, S.A, 2013.
- [5] Consejo Superior de deportes, «Ministerio de Educación, Cultura y Deporte,» [En línea]. Available: <http://www.csd.gob.es/csd/instalaciones/politicas-publicas-de-ordenacion/actuaciones-en-el-ambito-tecnico/1normasNIDE/02nide1/03NormProyCamPq/pistas-pequenas>.
- [6] CTE-DB-SE-AE, «Código Técnico de la Edificación,» Abril 2009. [En línea]. Available: www.codigotecnico.org. [Último acceso: 2015].
- [7] CTE-DB, «Código Técnico de la Edificación,» [En línea]. Available: <http://www.codigotecnico.org/web/recursos/documentos/>.
- [8] CTE-DB-SE, «Código Técnico de la Edificación,» [En línea]. Available: <http://www.codigotecnico.org/web/recursos/documentos/>.
- [9] CTE-DB-SE-A, «Código Técnico de la Edificación,» [En línea]. Available: <http://www.codigotecnico.org/web/recursos/documentos/>.
- [10] CYPE, «CYPE Ingenieros,» [En línea]. Available: www.CYPE.es.
- [11] R. Argüelles Álvarez, R. Argüelles Bustillo y J. R. Atienza Reales, Estructuras de acero. Cálculo: Norma básica y eurocódigo, Bellisco.
- [12] R. C. Hibbeler, ANÁLISIS ESTRUCTURAL, PEARSON.
- [13] Eurocódigo1, «Ministerio de Fomento,» [En línea]. Available: http://www.fomento.gob.es/mfom/lang_castellano/direcciones_generales/arq_vienda/_informacion/normativa/norma_ue/edificacion/euro_estru/.
- [14] R. Rodríguez Borlado, C. Martínez Lasheras y R. Martínez Lasheras, Prontuario de Estructuras Metálicas.

ANEXO I: ESTUDIO BÁSICO DE SEGURIDAD Y SALUD

I. Justificación

La obra proyectada requiere la redacción de un estudio básico de seguridad y salud, debido a su reducido volumen y a su relativa sencillez de ejecución, cumpliéndose el artículo 4. "Obligatoriedad del estudio de seguridad y salud o del estudio básico de seguridad y salud en las obras" del Real Decreto 1627/97, de 24 de octubre, del Ministerio de la Presidencia, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y de salud en las obras de construcción, al verificarse que:

- El presupuesto de ejecución por contrata incluido en el proyecto es inferior a 450.760,00 euros.
- No se cumple que la duración estimada sea superior a 30 días laborables, empleándose en algún momento a más de 20 trabajadores simultáneamente.
- El volumen estimado de mano de obra, entendiéndose por tal la suma de los días de trabajo del total de los trabajadores en la obra, no es superior a 500 días.
- No se trata de una obra de túneles, galerías, conducciones subterráneas o presas.

II. Objeto

En el presente Estudio Básico de Seguridad y Salud se definen las medidas a adoptar encaminadas a la prevención de los riesgos de accidente y enfermedades profesionales que pueden ocasionarse durante la ejecución de la obra, así como las instalaciones preceptivas de higiene y bienestar de los trabajadores.

Se exponen unas directrices básicas de acuerdo con la legislación vigente, en cuanto a las disposiciones mínimas en materia de seguridad y salud, con el fin de que el contratista cumpla con sus obligaciones en cuanto a la prevención de riesgos profesionales.

Los objetivos que pretende alcanzar el presente Estudio Básico de Seguridad y Salud son:

- Garantizar la salud e integridad física de los trabajadores
- Evitar acciones o situaciones peligrosas por improvisación, o por insuficiencia o falta de medios
- Delimitar y esclarecer atribuciones y responsabilidades en materia de seguridad de las personas que intervienen en el proceso constructivo
- Determinar los costes de las medidas de protección y prevención
- Referir la clase de medidas de protección a emplear en función del riesgo
- Detectar a tiempo los riesgos que se derivan de la ejecución de la obra
- Aplicar técnicas de ejecución que reduzcan al máximo estos riesgos

III. Contenido del EBSS

El Estudio Básico de Seguridad y Salud precisa las normas de seguridad y salud aplicables a la obra, contemplando la identificación de los riesgos laborales que puedan ser evitados, indicando las medidas técnicas necesarias para ello, así como la relación de los riesgos laborales que no puedan eliminarse, especificando las medidas preventivas y

protecciones técnicas tendentes a controlar y reducir dichos riesgos y valorando su eficacia, en especial cuando se propongan medidas alternativas, además de cualquier otro tipo de actividad que se lleve a cabo en la misma.

En el Estudio Básico de Seguridad y Salud se contemplan también las previsiones y las informaciones útiles para efectuar en su día, en las debidas condiciones de seguridad y salud, los previsibles trabajos posteriores de reparación o mantenimiento, siempre dentro del marco de la Ley de Prevención de Riesgos Laborales.

IV. Datos generales

Agentes

Entre los agentes que intervienen en materia de seguridad y salud en la obra objeto del presente estudio, se reseñan:

- Promotor: Se considera un trabajo de final de grado, por lo que se considera promotor a Juan Francisco Farrona Marín
- Autor del proyecto: Juan Francisco Farrona Marín

Características generales del Proyecto de Ejecución

De la información disponible en la fase de proyecto básico y de ejecución, se aporta aquella que se considera relevante y que puede servir de ayuda para la redacción del plan de seguridad y salud.

- Denominación del proyecto: Dimensionamiento básico de una estructura a dos aguas para techado de instalaciones deportivas
- Presupuesto de ejecución material: 112976,72€

Emplazamiento

En el presente apartado se especifican, de forma resumida, las condiciones del entorno a considerar para la adecuada evaluación y delimitación de los riesgos que pudieran causar.

- Dirección: Escuela Naval Militar, Marín (Pontevedra)
- Accesos a la obra:
- Subida de la cuesta de la virgen por el Norte.
- Puerta de Palmeras por el Sur.
- Edificaciones colindantes:

Sector 7 y Residencia de Oficiales.

Comandancia.

CECOM.

Edificio rectoral.

Durante los periodos en los que se produzca entrada y salida de vehículos se señalará convenientemente el acceso de los mismos, tomándose todas las medidas oportunas establecidas por la Dirección General de Tráfico y por la Policía Local, para evitar posibles accidentes de circulación.

Se conservarán los bordillos y el pavimento de las aceras colindantes, causando el mínimo deterioro posible y reponiendo, en cualquier caso, aquellas unidades en las que se aprecie algún desperfecto.

Características generales de la obra

Descripción de las características de las unidades de la obra que pueden influir en la previsión de los riesgos laborales:

Estructura horizontal

Estructura de acero de 45x32x7m

Fachadas

Cerramientos laterales de muro de hormigón armado

Cubierta

Panel tipo Sándwich prelacado de 50mm

V. Medios de auxilio

La evacuación de heridos a los centros sanitarios se llevará a cabo exclusivamente por personal especializado, en ambulancia. Tan solo los heridos leves podrán trasladarse por otros medios, siempre con el consentimiento y bajo la supervisión del responsable de emergencias de la obra.

Se dispondrá en lugar visible de la obra un cartel con los teléfonos de urgencias y de los centros sanitarios más próximos.

Medios de auxilio en obra

En la obra se dispondrá de un armario botiquín portátil modelo B con destino a empresas de 5 a 25 trabajadores, en un lugar accesible a los operarios y debidamente equipado, según la Orden TAS/2947/2007, de 8 de octubre, por la que se establece el suministro a las empresas de botiquines con material de primeros auxilios en caso de accidente de trabajo.

Su contenido se limitará, como mínimo, al establecido en el anexo VI. A). 3 del Real Decreto 486/97, de 14 de abril:

- Desinfectantes y antisépticos autorizados
- Gasas estériles
- Algodón hidrófilo
- Vendas
- Esparadrapo
- Apósitos adhesivos
- Tijeras
- Pinzas y guantes desechables

El responsable de emergencias revisará periódicamente el material de primeros auxilios, reponiendo los elementos utilizados y sustituyendo los productos caducados.

Medios de auxilio en caso de accidente: centros asistenciales más próximos

Se aporta la información de los centros sanitarios más próximos a la obra, que puede ser de gran utilidad si se llegara a producir un accidente laboral.

NIVEL ASISTENCIAL	NOMBRE, EMPLAZAMIENTO Y TELÉFONO	DISTANCIA APROX. (KM)
Primeros auxilios	Botiquín portátil	En la obra
Asistencia primaria (Urgencias)	Hospital provincial Pontevedra C/Dr. Loureiro Crespo,2 986800000	8,00 km
Empresas de ambulancias	Ambulancias Pontevedra C/De los Campos, 14 986107522	9,00 km

La distancia al centro asistencial más próximo C/Dr. Loureiro Crespo,2 se estima en 24 minutos, en condiciones normales de tráfico.

VI. Identificación de riesgos y medidas preventivas a adoptar

A continuación se expone la relación de los riesgos más frecuentes que pueden surgir durante las distintas fases de la obra, con las medidas preventivas y de protección colectiva a adoptar con el fin de eliminar o reducir al máximo dichos riesgos, así como los equipos de protección individual (EPI) imprescindibles para mejorar las condiciones de seguridad y salud en la obra.

Riesgos generales más frecuentes

- Caída de objetos y/o materiales al mismo o a distinto nivel
- Desprendimiento de cargas suspendidas
- Exposición a temperaturas ambientales extremas
- Exposición a vibraciones y ruido
- Cortes y golpes en la cabeza y extremidades
- Cortes y heridas con objetos punzantes
- Sobreesfuerzos, movimientos repetitivos o posturas inadecuadas
- Electrocuciones por contacto directo o indirecto
- Dermatitis por contacto con yesos, escayola, cemento, pinturas, pegamentos, etc.
- Intoxicación por inhalación de humos y gases

Medidas preventivas y protecciones colectivas de carácter general

- La zona de trabajo permanecerá ordenada, libre de obstáculos, limpia y bien iluminada

- Se colocarán carteles indicativos de las medidas de seguridad en lugares visibles de la obra
- Se prohibirá la entrada a toda persona ajena a la obra
- Los recursos preventivos de la obra tendrán presencia permanente en aquellos trabajos que entrañen mayores riesgos, en cumplimiento de los supuestos regulados por el Real Decreto 604/06 que exigen su presencia.
- Las operaciones que entrañen riesgos especiales se realizarán bajo la supervisión de una persona cualificada, debidamente instruida
- Se suspenderán los trabajos en caso de tormenta y cuando llueva con intensidad o la velocidad del viento sea superior a 50 km/h
- Cuando las temperaturas sean extremas, se evitará, en la medida de lo posible, trabajar durante las horas de mayor insolación
- La carga y descarga de materiales se realizará con precaución y cautela, preferentemente por medios mecánicos, evitando movimientos bruscos que provoquen su caída
- La manipulación de los elementos pesados se realizará por personal cualificado, utilizando medios mecánicos o palancas, para evitar sobreesfuerzos innecesarios
- Ante la existencia de líneas eléctricas aéreas, se guardarán las distancias mínimas preventivas, en función de su intensidad y voltaje
- No se realizará ningún trabajo dentro del radio de acción de las máquinas o vehículos
- Los operarios no desarrollarán trabajos, ni permanecerán, debajo de cargas suspendidas
- Se evitarán o reducirán al máximo los trabajos en altura
- Se utilizarán escaleras normalizadas, sujetas firmemente, para el descenso y ascenso a las zonas excavadas
- Los huecos horizontales y los bordes de los forjados se protegerán mediante la colocación de barandillas o redes homologadas
- Dentro del recinto de la obra, los vehículos y máquinas circularán a una velocidad reducida, inferior a 20 km/h
- Equipos de protección individual (EPI) a utilizar en las distintas fases de ejecución de la obra
- Casco de seguridad homologado
- Casco de seguridad con barboquejo
- Cinturón de seguridad con dispositivo anti caída
- Cinturón portaherramientas
- Guantes de goma
- Guantes de cuero
- Guantes aislantes

- Calzado con puntera reforzada
- Calzado de seguridad con suela aislante y anti clavos
- Botas de caña alta de goma
- Mascarilla con filtro mecánico para el corte de ladrillos con sierra
- Ropa de trabajo impermeable
- Faja anti lumbago
- Gafas de seguridad anti impactos
- Protectores auditivos

Durante los trabajos previos a la ejecución de la obra

Se expone la relación de los riesgos más frecuentes que pueden surgir en los trabajos previos a la ejecución de la obra, con las medidas preventivas, protecciones colectivas y equipos de protección individual (EPI), específicos para dichos trabajos.

Vallado de obra

Riesgos más frecuentes

- Cortes y heridas con objetos punzantes
- Proyección de fragmentos o de partículas
- Exposición a temperaturas ambientales extremas
- Exposición a vibraciones y ruido

Medidas preventivas y protecciones colectivas

- Se prohibirá el aparcamiento en la zona destinada a la entrada de vehículos a la obra
- Se retirarán los clavos y todo el material punzante resultante del vallado
- Se localizarán las conducciones que puedan existir en la zona de trabajo, previamente a la excavación

Equipos de protección individual (EPI)

- Calzado con puntera reforzada
- Guantes de cuero
- Ropa de trabajo reflectante

Durante las fases de ejecución de la obra

Estructura

Riesgos más frecuentes

- Desprendimientos de los materiales de encofrado por apilado incorrecto
- Caída del encofrado al vacío durante las operaciones de desencofrado

- Cortes al utilizar la sierra circular de mesa o las sierras de mano

Medidas preventivas y protecciones colectivas

- Se protegerá la vía pública con una visera de protección formada por ménsula y entablado
- Los huecos horizontales y los bordes de los forjados se protegerán mediante la colocación de barandillas o redes homologadas

Equipos de protección individual (EPI)

- Cinturón de seguridad con dispositivo anti caída
- Guantes homologados para el trabajo con hormigón
- Guantes de cuero para la manipulación de las armaduras
- Botas de goma de caña alta para hormigonado
- Botas de seguridad con plantillas de acero y antideslizantes con filtro mecánico para el corte de ladrillos con sierra

Cubiertas

Riesgos más frecuentes

- Caída por los bordes de cubierta o deslizamiento por los faldones

Medidas preventivas y protecciones colectivas

- El acopio de los materiales de cubierta se realizará en zonas alejadas de los bordes o aleros, y fuera de las zonas de circulación, preferentemente sobre vigas o soportes
- El acceso a la cubierta se realizará mediante escaleras de mano homologadas, ubicadas en huecos protegidos y apoyadas sobre superficies horizontales, sobrepasando 1,0 m la altura de desembarque
- Se instalarán anclajes en la cumbrera para amarrar los cables y/o los cinturones de seguridad.

Equipos de protección individual (EPI)

- Calzado con suela antideslizante
- Ropa de trabajo impermeable
- Cinturón de seguridad con dispositivo anti caída

Instalaciones en general

Riesgos más frecuentes

- Electrocuciones por contacto directo o indirecto

- Quemaduras producidas por descargas eléctricas
- Intoxicación por vapores procedentes de la soldadura
- Incendios y explosiones

Medidas preventivas y protecciones colectivas

- El personal encargado de realizar trabajos en instalaciones estará formado y adiestrado en el empleo del material de seguridad y de los equipos y herramientas específicas para cada labor
- Se utilizarán solamente lámparas portátiles homologadas, con manguera antihumedad y clavija de conexión normalizada, alimentadas a 24 voltios
- Se utilizarán herramientas portátiles con doble aislamiento

Equipos de protección individual (EPI)

- Guantes aislantes en pruebas de tensión
- Calzado con suela aislante ante contactos eléctricos
- Banquetas aislantes de la electricidad
- Comprobadores de tensión
- Herramientas aislantes

Durante la utilización de medios auxiliares

La prevención de los riesgos derivados de la utilización de los medios auxiliares de la obra se realizará atendiendo a las prescripciones de la Ley de Prevención de Riesgos Laborales y a la Ordenanza de Trabajo en la Construcción, Vidrio y Cerámica (Orden de 28 de agosto de 1970), prestando especial atención a la Sección 3ª "Seguridad en el trabajo en las industrias de la Construcción y Obras Públicas" Subsección 2ª "Andamios en general".

En ningún caso se admitirá la utilización de andamios o escaleras de mano que no estén normalizados y cumplan con la normativa vigente.

En el caso de las plataformas de descarga de materiales, sólo se utilizarán modelos normalizados, disponiendo de barandillas homologadas y enganches para cinturón de seguridad, entre otros elementos.

Relación de medios auxiliares previstos en la obra con sus respectivas medidas preventivas y protecciones colectivas:

- Se utilizarán plataformas homologadas, no admitiéndose su construcción "in situ"
- Las características resistentes de la plataforma serán adecuadas a las cargas a soportar, disponiendo un cartel indicativo de la carga máxima de la plataforma

- Dispondrá de un mecanismo de protección frontal cuando no esté en uso, para que quede perfectamente protegido el frente de descarga
- La superficie de la plataforma será de material antideslizante
- Se conservará en perfecto estado de mantenimiento, realizándose inspecciones en la fase de instalación y cada 6 meses

Plataforma motorizada

- Los elementos que denoten algún fallo técnico o mal comportamiento se desmontarán de forma inmediata para su reparación o sustitución
- Se balizará la zona situada bajo el andamio de cremallera para evitar el acceso a la zona de riesgo
- Se cumplirán las indicaciones del fabricante en cuanto a la carga máxima
- No se permitirán construcciones auxiliares realizadas in situ para alcanzar zonas alejadas

Durante la utilización de maquinaria y herramientas

Las medidas preventivas a adoptar y las protecciones a emplear para el control y la reducción de riesgos debidos a la utilización de maquinaria y herramientas durante la ejecución de la obra se desarrollarán en el correspondiente Plan de Seguridad y Salud, conforme a los siguientes criterios:

- Todas las máquinas y herramientas que se utilicen en la obra dispondrán de su correspondiente manual de instrucciones, en el que estarán especificados claramente tanto los riesgos que entrañan para los trabajadores como los procedimientos para su utilización con la debida seguridad.
- La maquinaria cumplirá las prescripciones contenidas en el vigente Reglamento de Seguridad en las Máquinas, las Instrucciones Técnicas Complementarias (ITC) y las especificaciones de los fabricantes.
- No se aceptará la utilización de ninguna máquina, mecanismo o artificio mecánico sin reglamentación específica.

Relación de máquinas y herramientas que está previsto utilizar en la obra, con sus correspondientes medidas preventivas y protecciones colectivas:

Camión para transporte

- Las maniobras del camión serán dirigidas por un señalista de tráfico
- Las cargas se repartirán uniformemente en la caja, evitando acopios con pendientes superiores al 5% y protegiendo los materiales sueltos con una lona
- Antes de proceder a las operaciones de carga y descarga, se colocará el freno en posición de frenado y, en caso de estar situado en pendiente, calzos de inmovilización debajo de las ruedas

- En las operaciones de carga y descarga se evitarán movimientos bruscos que provoquen la pérdida de estabilidad, permaneciendo siempre el conductor fuera de la cabina

Camión grúa

- El conductor accederá al vehículo descenderá del mismo con el motor apagado, en posición frontal, evitando saltar al suelo y haciendo uso de los peldaños y asideros
- Se cuidará especialmente de no sobrepasar la carga máxima indicada por el fabricante
- La cabina dispondrá de botiquín de primeros auxilios y de extintor timbrado y revisado
- Los vehículos dispondrán de bocina de retroceso
- Se comprobará que el freno de mano está activado antes de la puesta en marcha del motor, al abandonar el vehículo y durante las operaciones de elevación
- La elevación se realizará evitando operaciones bruscas, que provoquen la pérdida de estabilidad de la carga

Equipo de soldadura

- No habrá materiales inflamables ni explosivos a menos de 10 metros de la zona de trabajo de soldadura
- Antes de soldar se eliminarán las pinturas y recubrimientos del soporte
- Durante los trabajos de soldadura se dispondrá siempre de un extintor de polvo químico en perfecto estado y condiciones de uso, en un lugar próximo y accesible
- En los locales cerrados en los que no se pueda garantizar una correcta renovación de aire se instalarán extractores, preferentemente sistemas de aspiración localizada
- Se paralizarán los trabajos de soldadura en altura ante la presencia de personas bajo el área de trabajo
- Tanto los soldadores como los trabajadores que se encuentren en las inmediaciones dispondrán de protección visual adecuada, no permaneciendo en ningún caso con los ojos al descubierto

Herramientas manuales diversas

- La alimentación de las herramientas se realizará a 24 V cuando se trabaje en ambientes húmedos o las herramientas no dispongan de doble aislamiento
- El acceso a las herramientas y su uso estará permitido únicamente a las personas autorizadas

- No se retirarán de las herramientas las protecciones diseñadas por el fabricante
- Se prohibirá, durante el trabajo con herramientas, el uso de pulseras, relojes, cadenas y elementos similares
- Las herramientas eléctricas dispondrán de doble aislamiento o estarán conectadas a tierra
- En las herramientas de corte se protegerá el disco con una carcasa anti proyección
- Las conexiones eléctricas a través de clemas se protegerán con carcasas anti contactos eléctricos
- Las herramientas se mantendrán en perfecto estado de uso, con los mangos sin grietas y limpios de residuos, manteniendo su carácter aislante para los trabajos eléctricos
- Las herramientas eléctricas estarán apagadas mientras no se estén utilizando y no se podrán usar con las manos o los pies mojados
- En los casos en que se superen los valores de exposición al ruido indicados en el artículo 51 del Real Decreto 286/06 de protección de los trabajadores frente al ruido, se establecerán las acciones correctivas oportunas, tales como el empleo de protectores auditivos

VII. Identificación de los riesgos laborales evitables

En este apartado se reseña la relación de las medidas preventivas a adoptar para evitar o reducir el efecto de los riesgos más frecuentes durante la ejecución de la obra.

Caídas al mismo nivel

- La zona de trabajo permanecerá ordenada, libre de obstáculos, limpia y bien iluminada
- Se habilitarán y balizarán las zonas de acopio de materiales

Caídas a distinto nivel

- Se dispondrán escaleras de acceso para salvar los desniveles
- Los huecos horizontales y los bordes de los forjados se protegerán mediante barandillas y redes homologadas
- Se mantendrán en buen estado las protecciones de los huecos y de los desniveles
- Las escaleras de acceso quedarán firmemente sujetas y bien amarradas

Polvo y partículas

- Se regará periódicamente la zona de trabajo para evitar el polvo

- Se usarán gafas de protección y mascarillas anti polvo en aquellos trabajos en los que se genere polvo o partículas

Ruido

- Se evaluarán los niveles de ruido en las zonas de trabajo
- Las máquinas estarán provistas de aislamiento acústico
- Se dispondrán los medios necesarios para eliminar o amortiguar los ruidos

Esfuerzos

- Se evitará el desplazamiento manual de las cargas pesadas
- Se limitará el peso de las cargas en caso de desplazamiento manual
- Se evitarán los sobreesfuerzos o los esfuerzos repetitivos
- Se evitarán las posturas inadecuadas o forzadas en el levantamiento o desplazamiento de cargas

Incendios

- No se fumará en presencia de materiales fungibles ni en caso de existir riesgo de incendio

Intoxicación por emanaciones

- Los locales y las zonas de trabajo dispondrán de ventilación suficiente
- Se utilizarán mascarillas y filtros apropiados

VIII. Relación de los riesgos laborales que no pueden eliminarse

Los riesgos que difícilmente pueden eliminarse son los que se producen por causas inesperadas (como caídas de objetos y desprendimientos, entre otras). No obstante, pueden reducirse con el adecuado uso de las protecciones individuales y colectivas, así como con el estricto cumplimiento de la normativa en materia de seguridad y salud, y de las normas de la buena construcción.

Caída de objetos

Medidas preventivas y protecciones colectivas

- Se montarán marquesinas en los accesos
- La zona de trabajo permanecerá ordenada, libre de obstáculos, limpia y bien iluminada
- Se evitará el amontonamiento de materiales u objetos sobre los andamios
- No se lanzarán cascotes ni restos de materiales desde los andamios

Equipos de protección individual (EPI)

- Casco de seguridad homologado
- Guantes y botas de seguridad
- Uso de bolsa portaherramientas

Electrocuciones

Medidas preventivas y protecciones colectivas

- Se revisará periódicamente la instalación eléctrica
- El tendido eléctrico quedará fijado a los paramentos verticales
- Los alargadores portátiles tendrán mango aislante
- La maquinaria portátil dispondrá de protección con doble aislamiento
- Toda la maquinaria eléctrica estará provista de toma de tierra

Equipos de protección individual (EPI)

- Guantes dieléctricos
- Calzado aislante para electricistas
- Banquetas aislantes de la electricidad

Quemaduras

Medidas preventivas y protecciones colectivas

- La zona de trabajo permanecerá ordenada, libre de obstáculos, limpia y bien iluminada
- Equipos de protección individual (EPI)
- Guantes, polainas y mandiles de cuero

IX. Condiciones de seguridad y salud, en trabajos posteriores de reparación y mantenimiento.

En este apartado se aporta la información útil para realizar, en las debidas condiciones de seguridad y salud, los futuros trabajos de conservación, reparación y mantenimiento del edificio construido que entrañan mayores riesgos.

Trabajos en cerramientos exteriores y cubiertas

Para los trabajos en cerramientos, aleros de cubierta, revestimientos de paramentos exteriores o cualquier otro que se efectúe con riesgo de caída en altura, deberán utilizarse andamios que cumplan las condiciones especificadas en el presente estudio básico de seguridad y salud.

Durante los trabajos que puedan afectar a la vía pública, se colocará una visera de protección a la altura de la primera planta, para proteger a los transeúntes y a los vehículos de las posibles caídas de objetos.

X. Trabajos que implican riesgos especiales

En la obra objeto del presente Estudio Básico de Seguridad y Salud concurren los riesgos especiales referidos en los puntos 1, 2 y 10 incluidos en el Anexo II. "Relación no exhaustiva de los trabajos que implican riesgos especiales para la seguridad y la salud de los trabajadores" del R.D. 1627/97 de 24 de Octubre.

Estos riesgos especiales suelen presentarse en la ejecución de la estructura, cerramientos y cubiertas y en el propio montaje de las medidas de seguridad y de protección. Cabe destacar:

- Montaje de forjado, especialmente en los bordes perimetrales.
- Ejecución de cerramientos exteriores.
- Formación de los antepechos de cubierta.
- Colocación de horcas y redes de protección.
- Los huecos horizontales y los bordes de los forjados se protegerán mediante barandillas y redes homologadas
- Disposición de plataformas voladas.
- Elevación y acople de los módulos de andamiaje para la ejecución de las fachadas.

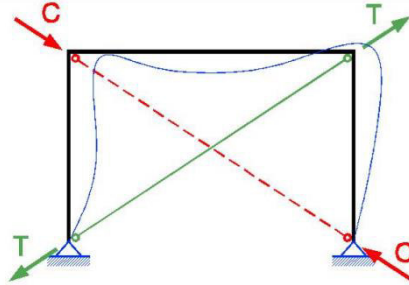
XI. Medidas en caso de emergencia

El contratista deberá reflejar en el correspondiente plan de seguridad y salud las posibles situaciones de emergencia, estableciendo las medidas oportunas en caso de primeros auxilios y designando para ello a personal con formación, que se hará cargo de dichas medidas.

ANEXO II: CÁLCULOS DE TIRANTES CON CYPE

Como complemento a lo explicado en el apartado en apartado 3.5.4, se detalla el proceso descrito:

Esfuerzos provenientes de cada una de las combinaciones en estudio:

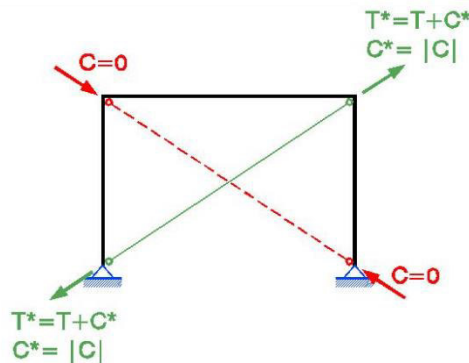


T: esfuerzo axial en el tirante traccionado

C: esfuerzo axial en el tirante comprimido

A. Anulación del esfuerzo axial en el tirante comprimido. - Asignación del valor de la compresión al tirante traccionado.

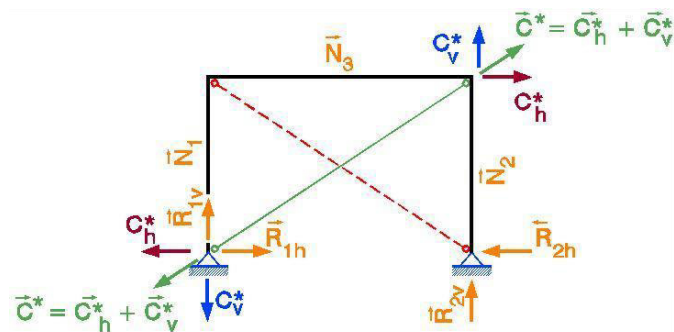
Se elimina el axil en el tirante comprimido ($C=0$) y se le suma al tirante traccionado ($T^*=T+|C|$).



B. Distribución (por descomposición de fuerzas) del incremento de axil en el tirante traccionado (C^*).

El incremento de axil (C^*) en el tirante se descompone en la dirección de las barras (o reacciones de vínculo) que acometen a los nudos.

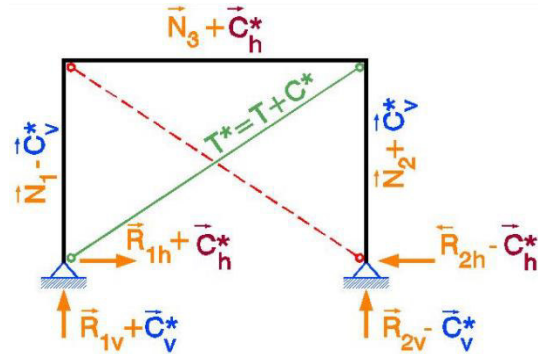
$N_1, N_2, N_3, R_{1h}, R_{1v}, R_{2h}, R_{2v}$: esfuerzos y reacciones en los elementos que enmarcan la rigidización sin considerar el incremento de tracción en el tirante traccionado.



C. Restitución del equilibrio en los nudos extremos de los tirantes - Equilibrio de fuerzas.

En cada barra y vínculo externo del recuadro se realiza la suma vectorial de las componentes del incremento de tracción (de igual valor absoluto que la compresión eliminada en el tirante comprimido).

El estado final de esfuerzos y reacciones resulta como se indica en la siguiente figura:



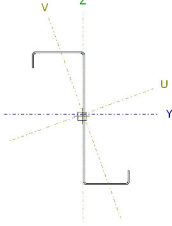
Dichos valores se pueden consultar en cada barra o nudo por hipótesis y por combinaciones. Cada hipótesis es tratada como una combinación unitaria.

Todos estos cálculos, han sido obtenidos por el módulo de cálculo de CYPE.

ANEXO III: CÁLCULOS CON CYPE

Comprobación de resistencia

Comprobación de resistencia
El perfil seleccionado cumple todas las comprobaciones.
Aprovechamiento: 93.58 %
Barra pésima en cubierta

Perfil: ZF-200x3.0 Material: S235												
	Nudos		Longitud d (m)	Características mecánicas								
	Inicial	Final		Área (cm ²)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _z ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _{yz} ⁽⁴⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)	y _g ⁽³⁾ (mm)	z _g ⁽³⁾ (mm)	α ⁽⁵⁾ (grados)	
	0.711, 45.520, 7.142	0.711, 39.830, 7.142	5.690	11.3 1	687.2 0	137.7 9	- 227.80	0.34	1.99	3.22	19.8	
	Notas: (1) Inercia respecto al eje indicado (2) Momento de inercia a torsión uniforme (3) Coordenadas del centro de gravedad (4) Producto de inercia (5) Es el ángulo que forma el eje principal de inercia U respecto al eje Y, positivo en sentido antihorario.											
		Pandeo				Pandeo lateral						
	Plano XY		Plano XZ		Ala sup.		Ala inf.					
β	0.00		1.00		0.00		0.00					
L _K	0.000		5.690		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												

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	N _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: 5.69 m η = 93.6	N.P. ⁽⁴⁾	N.P. ⁽⁵⁾	N.P. ⁽⁶⁾	x: 5.69 m η = 19.9	N.P. ⁽⁷⁾	N.P. ⁽⁸⁾	N.P. ⁽⁹⁾	N.P. ⁽¹⁰⁾	CUMPLE η = 93.6
Notación: b / t: Relación anchura / espesor $\bar{\lambda}$: Limitación de esbeltez N _t : Resistencia a tracción N _c : Resistencia a compresión M _y : Resistencia a flexión. Eje Y M _z : Resistencia a flexión. Eje Z M _y M _z : Resistencia a flexión biaxial V _y : Resistencia a corte Y V _z : Resistencia a corte Z N _t M _y M _z : Resistencia a tracción y flexión N _c M _y M _z : Resistencia a compresión y flexión NM _y M _z V _y V _z : Resistencia a cortante, axil y flexión N _t NM _y M _z V _y V _z : Resistencia a torsión combinada con axil, flexión y cortante 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 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.														

Relación anchura / espesor (CTE DB SE-A, Tabla 5.5 y Eurocódigo 3 EN 1993-1-3: 2006, Artículo 5.2)

Se debe satisfacer:

h / t : 62.7 ✓

b₁ / t : 22.7 ✓

c₁ / t : 6.3 ✓

$$b_2 / t : \underline{19.3} \quad \checkmark$$

$$c_2 / t : \underline{5.3} \quad \checkmark$$

Los rigidizadores proporcionan suficiente rigidez, ya que se cumple:

$$c_1 / b_1 : \underline{0.279}$$

$$c_2 / b_2 : \underline{0.276}$$

Donde:

h: Altura del alma.

$$h : \underline{188.00} \text{ mm}$$

b₁: Ancho del ala superior.

$$b_1 : \underline{68.00} \text{ mm}$$

c₁: Altura del rigidizador del ala superior.

$$c_1 : \underline{19.00} \text{ mm}$$

b₂: Ancho del ala inferior.

$$b_2 : \underline{58.00} \text{ mm}$$

c₂: Altura del rigidizador del ala inferior.

$$c_2 : \underline{16.00} \text{ mm}$$

t: Espesor.

$$t : \underline{3.00} \text{ mm}$$

Nota: Las dimensiones no incluyen el acuerdo entre elementos.

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

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

Resistencia a tracción (CTE DB SE-A y Eurocódigo 3 EN 1993-1-3: 2006, Artículo 6.1.2)

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

Resistencia a compresión (CTE DB SE-A y Eurocódigo 3 EN 1993-1-3: 2006, Artículo 6.1.3)

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

Resistencia a flexión. Eje Y (CTE DB SE-A y Eurocódigo 3 EN 1993-1-3: 2006, Artículo 6.1.4.1)

Se debe satisfacer:

$$\eta : \underline{0.936} \quad \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo 0.711, 39.830, 7.142, para la combinación de acciones $0.80 \cdot G1 + 0.80 \cdot G2 + 1.50 \cdot V(0^\circ)$ H1.

M_{v,Ed}: Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{v,Ed}^+ : \underline{1.421} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

M_{v,Ed}: Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{v,Ed}^- : \underline{0.000} \text{ t}\cdot\text{m}$$

La resistencia de cálculo a flexión $M_{c,Rd}$ viene dada por:

$$M_{c,Rd} : \underline{1.519} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Donde:

W_{el} : Módulo resistente elástico correspondiente a la fibra de mayor tensión.

f_{yb} : Límite elástico del material base. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

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

$$W_{el} : \underline{66.58} \text{ cm}^3$$

$$f_{yb} : \underline{2395.51} \text{ kp/cm}^2$$

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

Resistencia a pandeo lateral del ala superior: (CTE DB SE-A y Eurocódigo 3 EN 1993-1-3: 2006, Artículo 6.2.4)

La comprobación a pandeo lateral no procede, ya que la longitud de pandeo lateral es nula.

Resistencia a pandeo lateral del ala inferior: (CTE DB SE-A y Eurocódigo 3 EN 1993-1-3: 2006, Artículo 6.2.4)

La comprobación a pandeo lateral no procede, ya que no hay momento flector.

Resistencia a flexión. Eje Z (CTE DB SE-A y Eurocódigo 3 EN 1993-1-3: 2006, Artículo 6.1.4.1)

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

Resistencia a flexión biaxial (CTE DB SE-A y Eurocódigo 3 EN 1993-1-3: 2006, Artículo 6.1.4.1)

La comprobación no procede, ya que no hay flexión biaxial para ninguna combinación.

Resistencia a corte Y (CTE DB SE-A y Eurocódigo 3 EN 1993-1-3: 2006, Artículo 6.1.5)

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

Resistencia a corte Z (CTE DB SE-A y Eurocódigo 3 EN 1993-1-3: 2006, Artículo 6.1.5)

Se debe satisfacer:

$$\eta : \underline{0.199} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo 0.711, 39.830, 7.142, para la combinación de acciones $0.80 \cdot G1 + 0.80 \cdot G2 + 1.50 \cdot V(0^\circ)$ H1.

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

$$V_{Ed} : \underline{1.533} \text{ t}$$

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

$$V_{b,Rd} : \underline{7.716} \text{ t}$$

Donde:

h_w : Altura del alma.

t : Espesor.

ϕ : Ángulo que forma el alma con la horizontal.

f_{bv} : Resistencia a cortante, teniendo en cuenta el pandeo.

$$h_w : \underline{194.36} \text{ mm}$$

$$t : \underline{3.00} \text{ mm}$$

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

$$f_{bv} : \underline{1389.40} \text{ kp/cm}^2$$

Siendo:

$\bar{\lambda}_w$: Esbeltez relativa del alma.

$\bar{\lambda}_w$: 0.75

Donde:

f_{yb} : Límite elástico del material base. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_{yb} : 2395.51 kp/cm²

E : Módulo de elasticidad.

E : 2140672.78 kp/cm²

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

γ_{Mo} : 1.05

Resistencia a tracción y flexión (CTE DB SE-A y Eurocódigo 3 EN 1993-1-3: 2006, Artículos 6.1.8 y 6.3)

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

Resistencia a compresión y flexión (CTE DB SE-A y Eurocódigo 3 EN 1993-1-3: 2006, Artículos 6.1.9 y 6.2.5)

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

Resistencia a cortante, axil y flexión (CTE DB SE-A y Eurocódigo 3 EN 1993-1-3: 2006, Artículo 6.1.10)

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

Resistencia a torsión combinada con axil, flexión y cortante (CTE DB SE-A y Eurocódigo 3 EN 1993-1-3: 2006, Artículo 6.1.6)

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

Comprobación de flecha

Comprobación de flecha
El perfil seleccionado cumple todas las comprobaciones. Porcentajes de aprovechamiento: - Flecha: 79.01 %

Coordenadas del nudo inicial: 0.711, 5.690, 7.142

Coordenadas del nudo final: 0.711, 0.000, 7.142

El aprovechamiento pésimo se produce para la combinación de hipótesis $1.00 \cdot G1 + 1.00 \cdot G2 + 1.00 \cdot V(0^\circ)$ H1 a una distancia 2.845 m del origen en el tercer vano de la correa.

($I_y = 687 \text{ cm}^4$) ($I_z = 138 \text{ cm}^4$)

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

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

$$\bar{\lambda} : \underline{0.76} \quad \checkmark$$

Donde:

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

$$\text{Clase} : \underline{2}$$

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

$$A : \underline{28.50} \text{ cm}^2$$

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

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

N_{cr} : Axil crítico de pandeo elástico.

$$N_{cr} : \underline{138.734} \text{ t}$$

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

a) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

$$N_{cr,y} : \underline{138.734} \text{ t}$$

b) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

$$N_{cr,z} : \underline{142.693} \text{ t}$$

c) Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

$$N_{cr,T} : \underline{\infty}$$

Donde:

I_y : Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y.

$$I_y : \underline{1943.00} \text{ cm}^4$$

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

$$I_z : \underline{142.00} \text{ cm}^4$$

I_t : Momento de inercia a torsión uniforme.

$$I_t : \underline{6.98} \text{ cm}^4$$

I_w : Constante de alabeo de la sección.

$$I_w : \underline{13000.00} \text{ cm}^6$$

E: Módulo de elasticidad.

$$E : \underline{2140673} \text{ kp/cm}^2$$

G: Módulo de elasticidad transversal.

$$G : \underline{825688} \text{ kp/cm}^2$$

L_{ky} : Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Y.

$$L_{ky} : \underline{5.440} \text{ m}$$

L_{kz} : Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Z.

$$L_{kz} : \underline{1.450} \text{ m}$$

L_{kt} : Longitud efectiva de pandeo por torsión.

$$L_{kt} : \underline{0.000} \text{ m}$$

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

$$i_0 : \underline{8.55} \text{ cm}$$

Siendo:

i_y, i_z : Radios de giro de la sección bruta, respecto a los ejes principales de inercia Y y Z.

$$i_y : \underline{8.26} \text{ cm}$$

$$i_z : \underline{2.23} \text{ cm}$$

y_0, z_0 : Coordenadas del centro de torsión en la dirección de los ejes principales Y y Z, respectivamente, relativas al centro de gravedad de la sección.

$$y_0 : \underline{0.00} \text{ mm}$$

$$z_0 : \underline{0.00} \text{ mm}$$

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

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

$$\bar{\lambda} : \underline{0.39} \quad \checkmark$$

Donde:

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

$$\text{Clase} : \underline{4}$$

A_{ef}: Área de la sección eficaz para las secciones de clase 4.

$$\text{A}_{\text{ef}} : \underline{93.67} \text{ cm}^2$$

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

$$\text{f}_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

N_{cr}: Axil crítico de pandeo elástico.

$$\text{N}_{\text{cr}} : \underline{1684.178} \text{ t}$$

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

a) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

$$\text{N}_{\text{cr},Y} : \underline{2410.009} \text{ t}$$

b) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

$$\text{N}_{\text{cr},Z} : \underline{1684.178} \text{ t}$$

c) Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

$$\text{N}_{\text{cr},T} : \underline{\infty}$$

Donde:

I_y: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y.

$$\text{I}_y : \underline{33740.00} \text{ cm}^4$$

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

$$\text{I}_z : \underline{1676.00} \text{ cm}^4$$

I_t: Momento de inercia a torsión uniforme.

$$\text{I}_t : \underline{66.90} \text{ cm}^4$$

I_w: Constante de alabeo de la sección.

$$\text{I}_w : \underline{791000.00} \text{ cm}^6$$

E: Módulo de elasticidad.

$$\text{E} : \underline{2140673} \text{ kp/cm}^2$$

G: Módulo de elasticidad transversal.

$$\text{G} : \underline{825688} \text{ kp/cm}^2$$

L_{ky}: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Y.

$$\text{L}_{ky} : \underline{5.439} \text{ m}$$

L_{kz}: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Z.

$$\text{L}_{kz} : \underline{1.450} \text{ m}$$

L_{kt}: Longitud efectiva de pandeo por torsión.

$$\text{L}_{kt} : \underline{0.000} \text{ m}$$

i₀: Radio de giro polar de la sección bruta, respecto al centro de torsión.

$$\text{i}_0 : \underline{18.93} \text{ cm}$$

Siendo:

i_y , i_z: Radios de giro de la sección bruta, respecto a los ejes principales de inercia Y y Z.

$$\text{i}_y : \underline{18.48} \text{ cm}$$

$$\text{i}_z : \underline{4.12} \text{ cm}$$

y₀ , z₀: Coordenadas del centro de torsión en la dirección de los ejes principales Y y Z, respectivamente, relativas al centro de gravedad de la sección.

$$\text{y}_0 : \underline{0.00} \text{ mm}$$

$$\text{z}_0 : \underline{0.00} \text{ mm}$$

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

La esbeltez reducida $\bar{\lambda}$ de las barras de arriostramiento traccionadas no debe superar el valor 4.0.

$$\bar{\lambda} < \underline{0.01} \quad \checkmark$$

Donde:

A: Área bruta de la sección transversal de la barra.

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

N_{cr}: Axil crítico de pandeo elástico.

$$\mathbf{A} : \underline{9.08} \text{ cm}^2$$

$$\mathbf{f_y} : \underline{2701.33} \text{ kp/cm}^2$$

$$\mathbf{N_{cr}} : \underline{\infty}$$

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

La esbeltez reducida $\bar{\lambda}$ de las barras de arriostramiento traccionadas no debe superar el valor 4.0.

$$\bar{\lambda} < \underline{0.01} \quad \checkmark$$

Donde:

A: Área bruta de la sección transversal de la barra.

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

N_{cr}: Axil crítico de pandeo elástico.

$$\mathbf{A} : \underline{4.91} \text{ cm}^2$$

$$\mathbf{f_y} : \underline{2701.33} \text{ kp/cm}^2$$

$$\mathbf{N_{cr}} : \underline{\infty}$$

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

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

$$\bar{\lambda} : \underline{0.47} \quad \checkmark$$

Donde:

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

$$\text{Clase} : \underline{2}$$

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

$$\text{A} : \underline{159.00} \text{ cm}^2$$

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

$$f_y : \underline{2701.33} \text{ kp/cm}^2$$

N_{cr} : Axil crítico de pandeo elástico.

$$N_{cr} : \underline{1943.307} \text{ t}$$

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

a) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

$$N_{cr,y} : \underline{1943.307} \text{ t}$$

b) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

$$N_{cr,z} : \underline{\infty}$$

c) Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

$$N_{cr,T} : \underline{\infty}$$

Donde:

I_y : Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y.

$$I_y : \underline{45070.00} \text{ cm}^4$$

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

$$I_z : \underline{8564.00} \text{ cm}^4$$

I_t : Momento de inercia a torsión uniforme.

$$I_t : \underline{189.00} \text{ cm}^4$$

I_w : Constante de alabeo de la sección.

$$I_w : \underline{2942000.00} \text{ cm}^6$$

E: Módulo de elasticidad.

$$E : \underline{2140673} \text{ kp/cm}^2$$

G: Módulo de elasticidad transversal.

$$G : \underline{825688} \text{ kp/cm}^2$$

L_{ky} : Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Y.

$$L_{ky} : \underline{7.000} \text{ m}$$

L_{kz} : Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Z.

$$L_{kz} : \underline{0.000} \text{ m}$$

L_{kt} : Longitud efectiva de pandeo por torsión.

$$L_{kt} : \underline{0.000} \text{ m}$$

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

$$i_0 : \underline{18.37} \text{ cm}$$

Siendo:

i_y, i_z : Radios de giro de la sección bruta, respecto a los ejes principales de inercia Y y Z.

$$i_y : \underline{16.84} \text{ cm}$$

$$i_z : \underline{7.34} \text{ cm}$$

y_0, z_0 : Coordenadas del centro de torsión en la dirección de los ejes principales Y y Z, respectivamente, relativas al centro de gravedad de la sección.

$$y_0 : \underline{0.00} \text{ mm}$$

$$z_0 : \underline{0.00} \text{ mm}$$

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

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

$$\bar{\lambda} : \underline{0.75} \quad \checkmark$$

Donde:

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

$$\text{Clase} : \underline{3}$$

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

$$\text{A} : \underline{112.50} \text{ cm}^2$$

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

$$\text{f}_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

N_{cr}: Axil crítico de pandeo elástico.

$$\text{N}_{cr} : \underline{555.248} \text{ t}$$

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

a) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

$$\text{N}_{cr,y} : \underline{1606.788} \text{ t}$$

b) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

$$\text{N}_{cr,z} : \underline{555.248} \text{ t}$$

c) Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

$$\text{N}_{cr,T} : \underline{\infty}$$

Donde:

I_y: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y.

$$\text{I}_y : \underline{18260.00} \text{ cm}^4$$

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

$$\text{I}_z : \underline{6310.00} \text{ cm}^4$$

I_t: Momento de inercia a torsión uniforme.

$$\text{I}_t : \underline{85.17} \text{ cm}^4$$

I_w: Constante de alabeo de la sección.

$$\text{I}_w : \underline{1200000.00} \text{ cm}^6$$

E: Módulo de elasticidad.

$$\text{E} : \underline{2140673} \text{ kp/cm}^2$$

G: Módulo de elasticidad transversal.

$$\text{G} : \underline{825688} \text{ kp/cm}^2$$

L_{ky}: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Y.

$$\text{L}_{ky} : \underline{4.900} \text{ m}$$

L_{kz}: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Z.

$$\text{L}_{kz} : \underline{4.900} \text{ m}$$

L_{kt}: Longitud efectiva de pandeo por torsión.

$$\text{L}_{kt} : \underline{0.000} \text{ m}$$

i₀: Radio de giro polar de la sección bruta, respecto al centro de torsión.

$$\text{i}_0 : \underline{14.78} \text{ cm}$$

Siendo:

i_y, i_z: Radios de giro de la sección bruta, respecto a los ejes principales de inercia Y y Z.

$$\text{i}_y : \underline{12.74} \text{ cm}$$

$$\text{i}_z : \underline{7.49} \text{ cm}$$

y₀, z₀: Coordenadas del centro de torsión en la dirección de los ejes principales Y y Z, respectivamente, relativas al centro de gravedad de la sección.

$$\text{y}_0 : \underline{0.00} \text{ mm}$$

$$\text{z}_0 : \underline{0.00} \text{ mm}$$

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

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

$$\bar{\lambda} : \underline{0.34} \quad \checkmark$$

Donde:

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

$$\text{Clase} : \underline{3}$$

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

$$\text{A} : \underline{211.80} \text{ cm}^2$$

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

$$f_y : \underline{2701.33} \text{ kp/cm}^2$$

N_{cr} : Axil crítico de pandeo elástico.

$$N_{cr} : \underline{4824.852} \text{ t}$$

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

a) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

$$N_{cr,y} : \underline{4824.852} \text{ t}$$

b) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

$$N_{cr,z} : \underline{\infty}$$

c) Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

$$N_{cr,T} : \underline{\infty}$$

Donde:

I_y : Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y.

$$I_y : \underline{111900.00} \text{ cm}^4$$

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

$$I_z : \underline{10820.00} \text{ cm}^4$$

I_t : Momento de inercia a torsión uniforme.

$$I_t : \underline{351.50} \text{ cm}^4$$

I_w : Constante de alabeo de la sección.

$$I_w : \underline{7189000.00} \text{ cm}^6$$

E: Módulo de elasticidad.

$$E : \underline{2140673} \text{ kp/cm}^2$$

G: Módulo de elasticidad transversal.

$$G : \underline{825688} \text{ kp/cm}^2$$

L_{ky} : Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Y.

$$L_{ky} : \underline{7.000} \text{ m}$$

L_{kz} : Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Z.

$$L_{kz} : \underline{0.000} \text{ m}$$

L_{kt} : Longitud efectiva de pandeo por torsión.

$$L_{kt} : \underline{0.000} \text{ m}$$

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

$$i_0 : \underline{24.07} \text{ cm}$$

Siendo:

i_y, i_z : Radios de giro de la sección bruta, respecto a los ejes principales de inercia Y y Z.

$$i_y : \underline{22.99} \text{ cm}$$

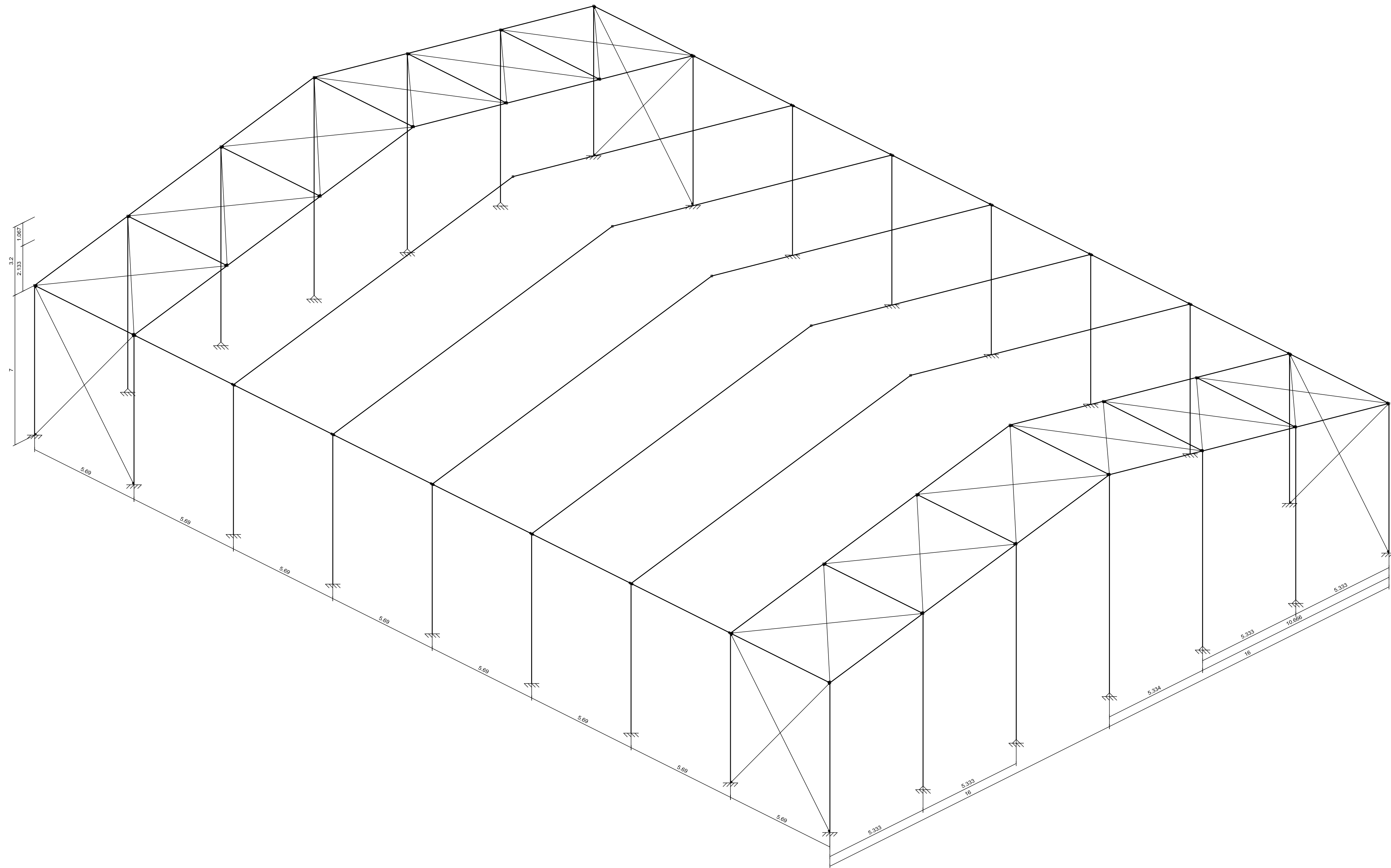
$$i_z : \underline{7.15} \text{ cm}$$

y_0, z_0 : Coordenadas del centro de torsión en la dirección de los ejes principales Y y Z, respectivamente, relativas al centro de gravedad de la sección.

$$y_0 : \underline{0.00} \text{ mm}$$

$$z_0 : \underline{0.00} \text{ mm}$$

ANEXO IV: PLANOS



**Centro Universitario de la Defensa
en la Escuela Naval Militar**

Autor:
Juan Francisco Farrona Marín

Dimensionamiento básico de una estructura
a dos aguas para el techado de
instalaciones deportivas en la ENM

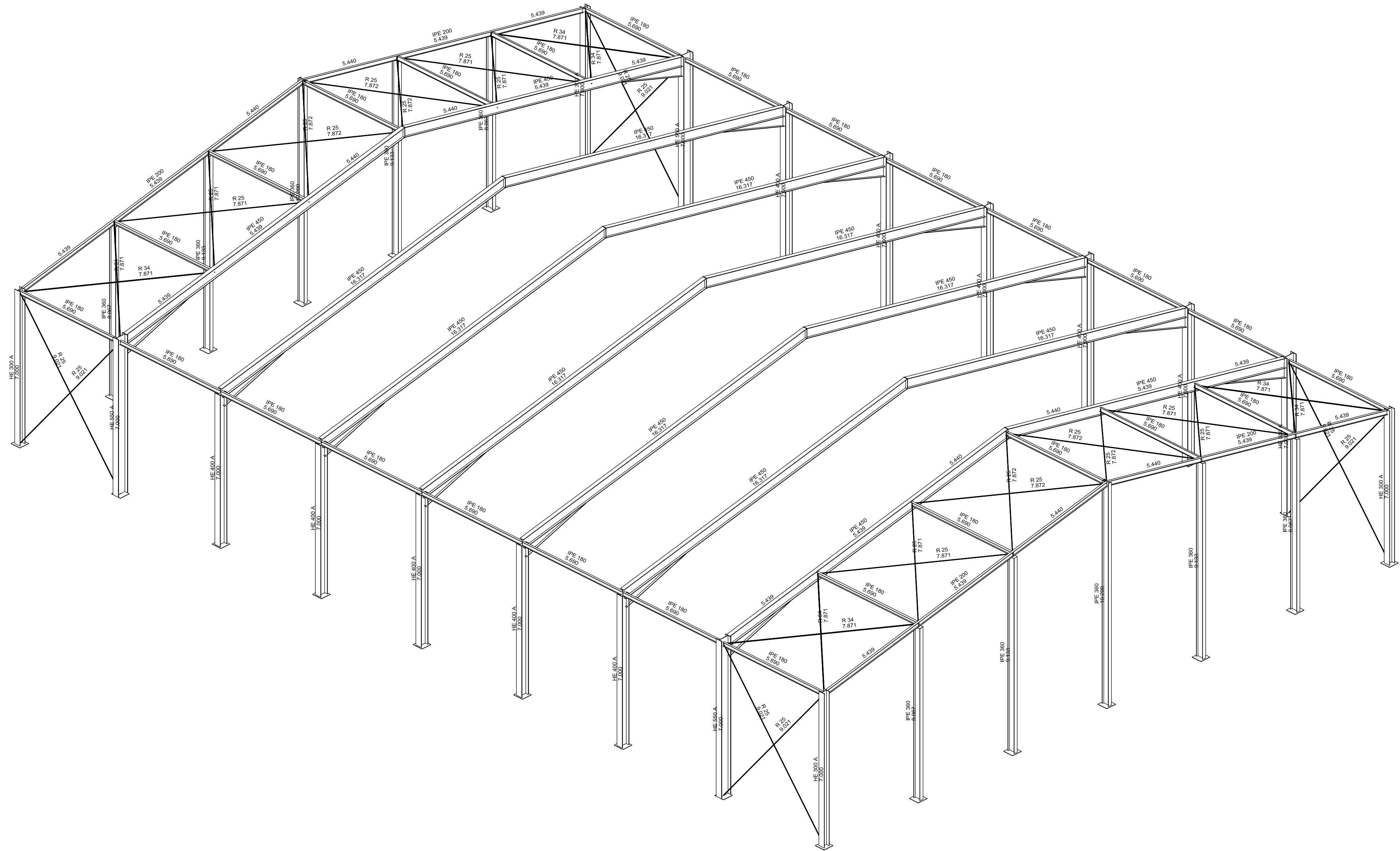
Directores:
D. Arturo González Gil
D. Miguel Ángel Gómez Rodríguez

ESCALA:
1:100

PLANO:
Perspectiva de la estructura. Cotas

FECHA:
Marzo de 2015

Nº:
01



**Centro Universitario de la Defensa
en la Escuela Naval Militar**

Autor:
Juan Francisco Farrona Marín

Dimensionamiento básico de una estructura
a dos aguas para el techado de
instalaciones deportivas en la ENM

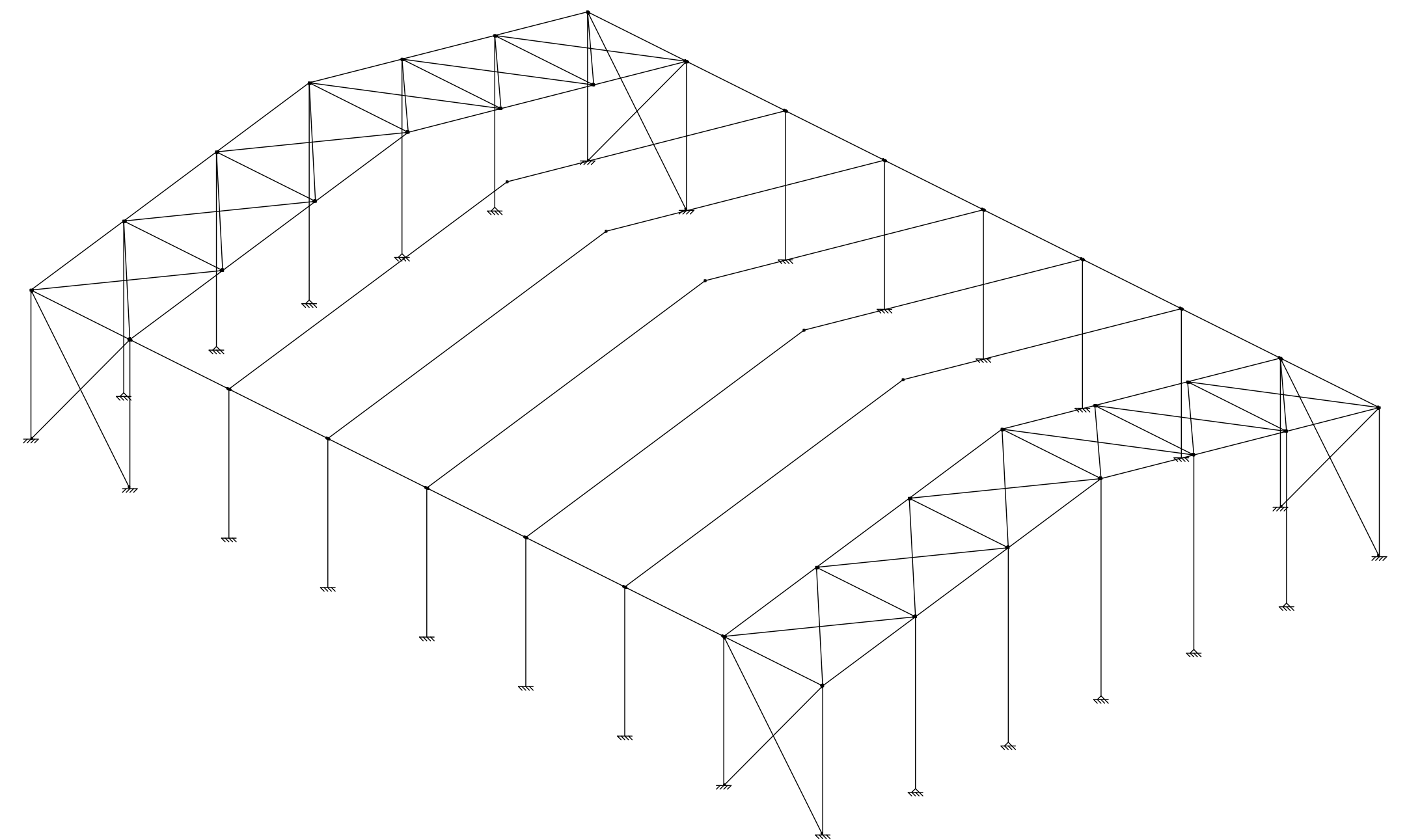
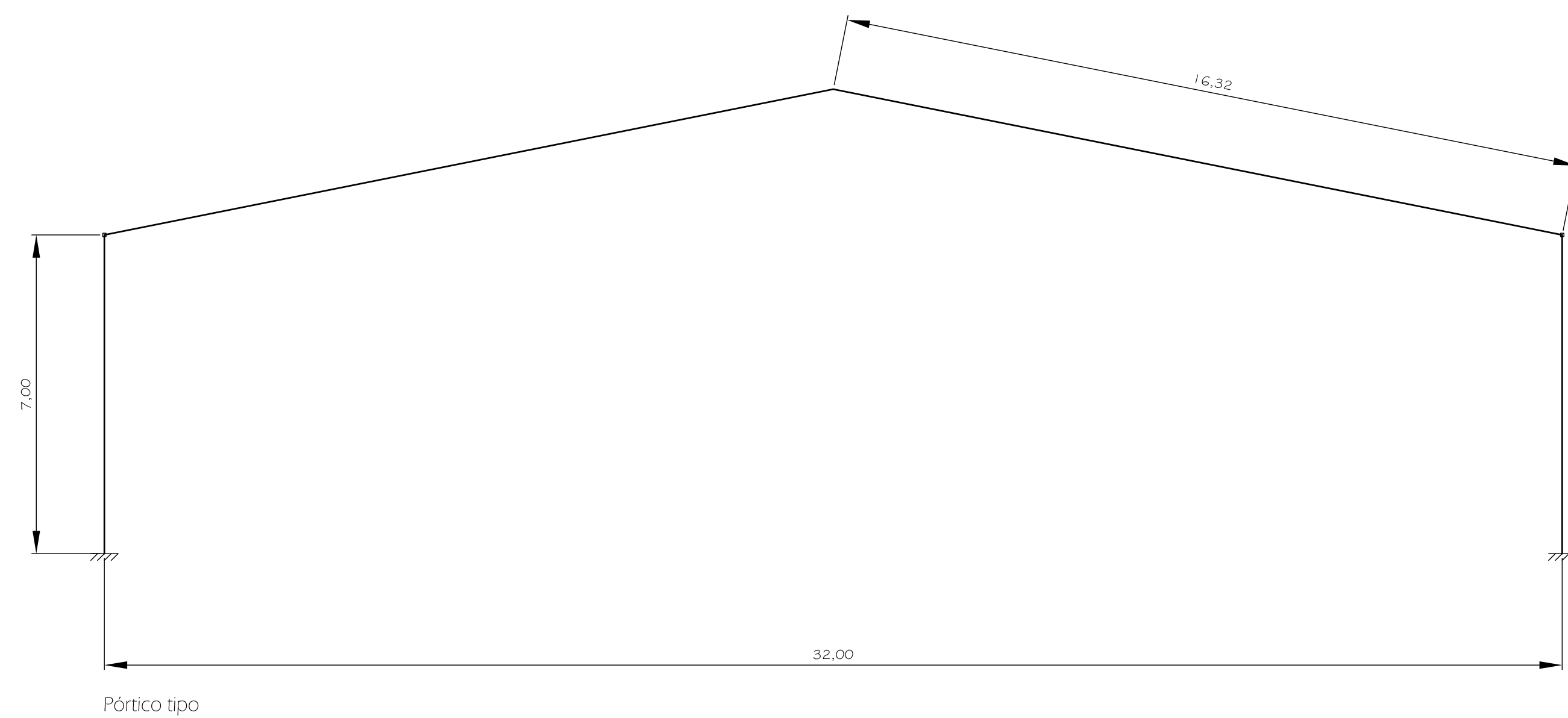
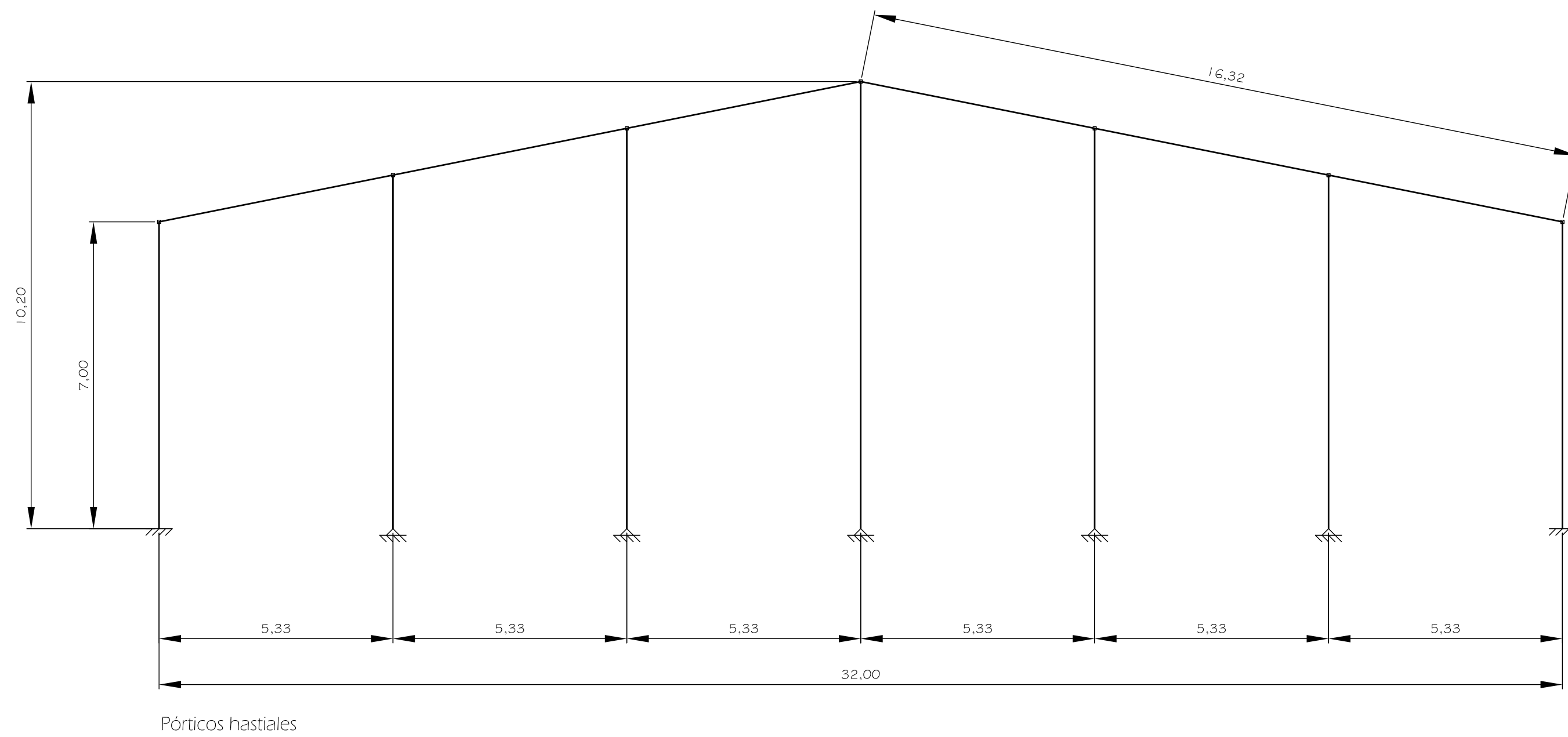
Directores:
D. Arturo González Gil
D. Miguel Ángel Gómez Rodríguez

ESCALA:
1:100

PLANO:
Perspectiva de la estructura.
Perfil real, perfiles y longitudes de barras

FECHA
Marzo de 2015

Nº:
02



**Centro Universitario de la Defensa
en la Escuela Naval Militar**

Autor:
Juan Francisco Farrona Marín

Dimensionamiento básico de una estructura
a dos aguas para el techado de
instalaciones deportivas en la ENM

Directores:
D. Arturo González Gil
D. Miguel Ángel Gómez Rodríguez

ESCALA:
1:100

PLANO:
Geometría de los pórticos

FECHA:
Marzo de 2015

Nº:
03