



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA
SUPERIOR INGENIEROS
INDUSTRIALES VALENCIA

TRABAJO FIN DE GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

PROYECTO ESTRUCTURAL DE EDIFICIO
INDUSTRIAL DE 3000M² UBICADO EN EL
POLÍGONO INDUSTRIAL AEROPORT DE
MANISES PARA IMPRESIÓN EN GRAN
FORMATO, CON UNA PRODUCCIÓN
APROXIMADA DE 1.612.000 M²/AÑO

AUTORA: VERÓNICA LARRIEUX LIMA

TUTOR: JUAN JAIME CANO HURTADO

Curso Académico: 2017-18

Índice

1. Memoria

2. Anexos

I. Anexo normativa urbanística

II. Anexo cálculos

3. Planos

4. Presupuesto

1. MEMORIA

Índice memoria descriptiva actividad solución constructiva

1. Objeto del Trabajo de Fin de Grado	3
2. Antecedentes y justificación de las necesidades	3
2.1 Estudio del mercado	3
3. Proceso productivo y requerimientos funcionales	5
3.1 Descripción de la actividad	5
3.2 Volumen y dimensión de producción	6
3.3 Procesos productivos	7
3.3.1 Proceso TIPO A:	8
3.3.2 Proceso TIPO B:	10
3.3.3 Proceso tipo C:	12
3.4 Maquinaria	14
3.5 Distribución en planta	18
3.5.1 Diagrama relacional de actividades	19
3.5.2 Espacios físicos requeridos en planta	21
3.5.3 Distribución de las naves	24
4. Localización, emplazamiento y condiciones urbanísticas	26
4.1 Localización y condiciones urbanísticas	26
4.2 Ordenación de la parcela	27
5. Normativa aplicada	28
6. Descripción de la solución constructiva	29
6.1 Cimentación	30
6.2 Solera	35
6.3 Estructura	35
6.3.1 Pórticos	36
6.3.1.1 Pórticos de fachada	37
6.3.1.2 Pórticos interiores	39
6.3.2 Vigas contra viento (VCV)	40
6.3.3 Cruz de San Andrés (CSA)	43
6.3.4 Viga perimetral (VP)	44
6.3.5 Altillo	45
6.4 Cerramientos	46
6.5 Instalaciones. Ventilación natural y pluviales	48

7. Resumen del presupuesto	49
7.1 Capítulos del presupuesto	49
7.1.1 Acondicionamiento del terreno	49
7.1.2 Cimentación	50
7.1.3 Estructura	50
7.1.4 Cerramientos	50
7.1.5 Instalaciones de iluminación y ventilación. Carpintería metálica	50
7.1.6 Instalación de protección contra incendios	50
7.2 Presupuesto final del proyecto	51
8. Bibliografía	52
8.1 Bibliografía correspondiente a figuras extraídas por la web:	52
8.2 Bibliografía referida al cálculo estructural del proyecto.	54

1. Objeto del Trabajo de Fin de Grado

El objeto del Trabajo de Fin de Grado (TFG) se centra en el proyecto de implantación y de construcción de una nave industrial dedicada a la impresión digital en gran formato. Ha sido realizada la distribución en planta, de acuerdo al procedimiento SLP con el correspondiente cálculo de espacios en base al proceso productivo a desempeñar y el cálculo estructural de dicha nave a través del programa CYPE 3D.

2. Antecedentes y justificación de las necesidades

La idea de construir la nave industrial surge de la necesidad de adecuar un espacio, donde la empresa pueda ofrecer el trabajo completo para una impresión gran formato: desde el diseño basado en la idea del cliente, hasta la instalación de este.

Tras realizar un estudio de las empresas competidoras, se han comprobado dos tipos de actividad: Imprentas de gran formato con posibilidad de montaje o empresa de diseño y montaje donde la impresión se subcontrata externamente.

Debido a la necesidad existente de un proceso productivo completo, se ha propuesto esta idea constructiva de una nave dedicada a la impresión digital de gran formato con un equipo dedicado al diseño previo y zonas de preparación del material para su posterior montaje.

2.1 Estudio del mercado

Actualmente, las empresas utilizan diversos parámetros para ubicar el lugar de trabajo. Uno de los principales motivos para elegir el emplazamiento de la nave son las empresas competidoras cercanas. Para escoger la ubicación a las afueras de Valencia, se han marcado en la imagen adjunta las empresas más semejantes al perfil de imprenta en que se basa el proyecto.

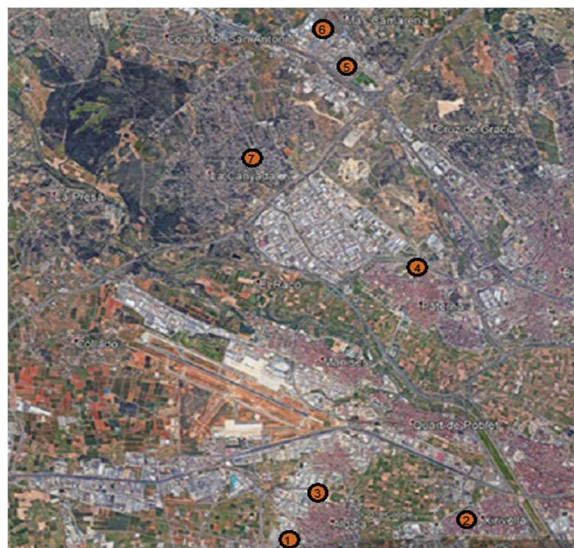


FIGURA 2.1: Localización de las empresas competidoras en el entorno de Valencia

Por ello, ha sido realizado un estudio de las empresas con una actividad de impresión gran formato, basándose en los tres servicios ofrecidos al cliente y su combinación:

·Diseño: engloba tanto el diseño personalizado del producto que el cliente desea y su adecuación a los procesos ofertados, como el asesoramiento personal para escogerlo.

·Impresión: Separada en los tres procesos existentes en la nave industrial.

·Montaje: Operación final que se oferta o exige al cliente, así como instrucciones y facilidades si el cliente desea montarlo él mismo.

EMPRESA	DISEÑO	IMPRESIÓN			MONTAJE
		RÍGIDOS	VINILOS	LONAS	
1		X	X	X	
2		X	X		X
3					
4		X	X	X	X
5	X				
6			X		X
7		X	X	X	X

TABLA 2.1: Actividad principal de las empresas competidoras

Como se puede interpretar de la TABLA 2.1, las empresas se dedican a ciertos servicios y procesos productivos, y en ningún caso, la empresa ofrece todos los servicios y tipos de impresiones.

Por otra parte, las empresas, o profesionales autónomos, dedicadas exclusivamente al diseño y montaje del producto, que utilizan como subcontrata las empresas detalladas en el cuadro, no han sido incluidas debido a la inexistencia de un proceso productivo en fábrica. Al subcontratar, la empresa obtiene un mayor gasto por fabricación del producto y en cuanto a beneficios se encuentra por debajo del proyecto propuesto.

Como conclusión al citado estudio, se puede observar que ninguna empresa oferta todas las actividades nombradas. Este nicho de mercado supone una ventaja y un motivo para crear el proceso productivo basándolo en incorporar estas actividades para ofrecerlas al cliente.

3. Proceso productivo y requerimientos funcionales

3.1 Descripción de la actividad

La actividad principal consiste en la impresión digital de gran formato con variedad de tipos de materiales y maquinaria: desde telas, hasta maderas o vinilos. Esto influye en la variedad de utilidades que se oferta a la impresión: Lonas de edificios, rotulación de vehículos o decoración de interiores, entre otros.

Todas las máquinas son impresoras digitales, es decir, se realiza la impresión directa desde los ordenadores sin necesidad de ningún proceso previo, a diferencia de las imprentas convencionales donde es necesario incorporar una plancha para dar paso a la impresión.

La fábrica adquiere la categoría de gran formato por las dimensiones de materiales impresos. Se puede llegar a imprimir desde 1,5 m a 100 m con un mismo rollo de material como la bobinas de vinilo que podemos observar en la siguiente figura.



FIGURA 3.1: Bobina de vinilo

Además de la impresión, la empresa se dedica al diseño de productos, asesoramiento, captación y montaje.

El diseño se enfoca en las necesidades del cliente y en la capacidad de la maquinaria de impresión, donde deben ajustarse las medidas a los estándares aceptados por las impresoras disponibles en la fábrica.

Para facilitar la conexión entre diseño y producción se utilizan programas que los relacionan llamados RIP (Raster Image Process). Son programas de alto rendimiento enfocados en mejorar el flujo de

trabajo entre las diferentes impresoras y gestionar el color para que sea uniforme entre todas las máquinas y materiales.

Por otra parte, asesorar al cliente en el diseño del boceto y donde se colocará, entre otros, es fundamental para que decida el producto que desea obtener de manera efectiva. También sirve de ayuda para filtrar trabajo al departamento de diseño.

En cuanto a captar clientela, la empresa dispone de varios métodos para hacer llegar el contacto a los futuros clientes: página web de venta online, comerciales, publicidad, acuerdos con otras empresas relacionadas de forma indirecta (P.ej.: cristalería o constructoras), etc.

Como última fase, el montaje tras finalizar el proceso en fábrica se basa en colocar el producto con las técnicas correspondientes. Esta operación puede ser realizada por un técnico experto en montajes de impresiones o por el propio cliente, en función de la dificultad.



FIGURA 3.2: Ejemplo del montaje de una lona impresa.

3.2 Volumen y dimensión de producción

El volumen de producción de la planta, calculado estimando un horario de impresión de 13h diarias, es de 1.612.000 m² anuales de material como puede observarse en la Tabla 2.

El cálculo del volumen está basado en los metros cuadrados que imprime cada máquina por hora, suponiendo que funcionan bajo dos turnos, con un rendimiento de trabajo del 82,5%.

Cabe matizar que las máquinas funcionan 5 días a la semana, y la empresa cierra un mes, con lo cual el cálculo aproximado se encuentra en 22 días de funcionamiento al mes durante 11 meses.

MÁQUINARIA	m ² /h	Nº DE MÁQUINA	TOTAL HORAS	m ² /día	m ² /año
Impresora A	45	2	90	1170	283.140
Impresora B1	12	2	24	312	75.504
Impresora B2	56	2	112	1456	352.352
Impresora C1	60	1	60	780	188.760
Impresora C2	102	2	204	2652	641.784
Impresora C3	20	1	20	260	62.920
				TOTAL	1.611.460

TABLA 3.1: Volumen de producción según impresoras.

Para ello es necesario implantar un total de 10 máquinas impresoras, 2 laminadoras y 1 fresadora.

En cuanto a la dimensión, debido a la variedad de productos diferenciados en tipos de impresiones, es necesario un espacio voluminoso para albergar la maquinaria que permite tales procesos.

Para almacenar las materias primas y los productos acabados, se utilizan estanterías industriales en los almacenes. A su vez, los almacenes disponen de entradas de camiones para extraer productos e introducir materiales.

Otro de los espacios se encuentra adaptado para acabados finales de los materiales, donde se colocarán mesas de grandes dimensiones, utensilios necesarios para los operarios y maquinaria manual.

Además, se dispone de espacios con buena ventilación debido a los productos utilizados en el proceso de fabricación. Se trabaja con tintas que desprenden gases y calor, con lo cual se exige una adecuada renovación de aire debido a las operaciones que se realizan.

3.3 Procesos productivos

Existen tres sistemas de producción de impresiones digitales, diferenciados según los procesos aplicados al material.

El sistema de producción de impresiones digitales comienza con el transporte del material y su almacenamiento en el "Almacén de materia prima". Seguidamente se transporta mediante una elevadora a la máquina de impresión correspondiente, donde los operarios programan el diseño específico que se debe imprimir.

Una vez impreso el producto puede seguir varios caminos dependiendo del tipo de impresión

3.3.1 Proceso TIPO A:

La materia prima se basa en materiales rígidos, como se ilustra en la Figura adjunta, con variedad de materiales como cartón, madera, plásticos, etc.



FIGURA 3.3: Materiales rígidos apilados

Esta materia sigue una línea de procesos transportada mediante una transpaleta a las siguientes operaciones:

•Impresión:

El primer proceso aplicado al material se realiza en la impresora. Se trata de una máquina de mesa plana de 3 x 2 m² que imprime con tinta ultravioleta (UV) sobre cualquier tipo de material rígido.

La tinta se libera a través de los cabezales con movimientos en doble dirección y sentido, mientras que el material se coloca en la zona superior de la máquina y se sujeta la pieza mediante succión para que no se desplace.

Una vez impresa a través del cabezal, a medida que avanza la impresión, se seca aplicando rayos ultravioletas mediante un láser incorporado a la impresora.

Tras finalizar la operación, se realiza una inspección sobre la pieza, por parte del operario, para corroborar su correcta impresión y realizar el traslado al siguiente proceso.

•Fresado:

En la fresadora tienen lugar las operaciones de corte y doblado de la pieza rígida. Se trata de una máquina de cama plana con un cabezal que contiene la fresa y puede desplazarse en los tres ejes.

Esta tecnología permite realizar cortes en diferentes profundidades, ya sean puntos o líneas, marcar la pieza mediante ranuras o dobleces, desplazándose a cualquier posición de la cara expuesta de la pieza.

La fresa contiene una variedad de herramientas que se utilizarán según la operación de mecanizado exigida. Para su uso se necesitan uno o dos operarios, dependiendo de las dimensiones de las piezas.

·Mesas de preparado:

En esta operación se pueden realizar diversas operaciones en función de la geometría y acabados superficiales deseados en la pieza.

Por una parte, se dispone de una cortadora vertical para realizar cortes en recto. Esta operación admite una amplia variedad de materiales y, en comparación con la fresadora, el tiempo de operación es menor.

La cortadora está formada por un tablero y una sierra desplazándose sobre guías, y se coloca verticalmente en la pared.

En cuanto a los acabados superficiales, las piezas son pulidas mediante fresas manuales con el fin de conseguir continuidad en extremos y cortes.

También se redondean las puntas, para mejorar tanto el acabado como la seguridad del elemento; los bordes punteados pueden provocar daños.



FIGURA 3.4: Impresión sobre madera.

•Embalaje:

Como último proceso en fábrica, el embalaje es una operación dedicada a la correcta manutención de la pieza y la impresión, guardándolas en cajas de cartón con espuma o corcho para evitar golpes.

Además, si el producto final es montado por el propio cliente, se introducen en el habitáculo todos los elementos y herramientas necesarias para el auto-montaje: cintas de doble cara, vástagos, plantillas de instalación, etc.

3.3.2 Proceso TIPO B:

Las siguientes operaciones están realizadas sobre materiales flexibles con una capa de pegamento, que se adhieren a otros elementos “in situ”, y adquieren el nombre de vinilos.

Los vinilos vienen enrollados en bobinas, como se observa en la figura adjunta, de hasta 50 m. Existe una gran variedad de colores y acabados y se escogen en función de los objetivos de material impreso.



FIGURA 3.5: Vinilos en varios colores

•Impresora:

En este segundo proceso, las máquinas contienen un sistema de avance del material mediante rodillos de arrastre, es decir, pueden girar en ambos sentidos para avanzar o retroceder el material.

De este modo, imprimen, como máximo, el ancho correspondiente a la impresora, en este caso pueden ser de hasta 1,6 m, y una extensión máxima de 50 m de largo (capacidad de la bobina de vinilo).

La tinta puede ser tipo Látex o Ecosolvente, dependiendo de la calidad de imagen que se pretenda obtener y la superficie a la que se adhiere. En cualquier caso, se expulsa mediante un cabezal piezoeléctrico en una única dirección, cuya característica principal se basa en la reducción al mínimo del tamaño de la gota de tinta.

También incluyen en el cabezal un sistema de corte del material para obtener figuras o letras a través de los cortes, como se observa en la Figura adjunta, o separar lotes de una bobina de material.



FIGURA 3.6: Vinilo troquelado o cortado

•Laminado:

Los materiales impresos acceden a la laminadora si es necesario aumentar la durabilidad del material, proteger contra el sol y mejorar su manipulación al conseguir mayor rigidez.

La laminadora en frío es una máquina de doble rodillo de presión, cuya tarea consiste en colocar al vinilo otra capa de material para que le proteja. Esta operación se consigue colocando cada material en uno de los dos rodillos y aplicando presión mientras giran para conseguir adherir la capa.

Cabe destacar la necesidad de realizar una espera de 24-48h para el secado de las tintas ecosolventes.

•Mesas de preparado.

Todos los vinilos, se extraen de la máquina impresos en bruto y se cortan para ajustarlos a la medida exacta. Los cortes se realizan en la cortadora vertical, explicada en el proceso tipo A.

En caso de troqueles (“corte en impresora”) se pela la zona que no se va a utilizar, es decir, se elimina el material sobrante y se aplica un papel transportador sobre el vinilo que servirá para la instalación del producto.

•Embalaje

Debido a la elasticidad del vinilo, se entregan enrollados en cilindros para evitar dobleces y se embalan en cajas de cartón para evitar daños superficiales.

En caso de auto-montaje, se envía plano con medidas del vinilo final y herramientas para unir vinilos.



FIGURA 3.7: Producto final montado sobre pared.

3.3.3 Proceso tipo C:

Este último proceso se basa en materiales textiles y lonas, diferenciándose ambos en la impresora que inicia las operaciones de fabricación.



FIGURA 3.8: Tejido lona

•Impresión:

Las impresoras de material textil son de bobina, es decir, arrastran la tela enrollada mientras se imprime sobre ellas. Contienen un cabezal con una única dirección de movimiento y el ancho que pueden imprimir no supera los 1,6 m.

Por otra parte, la diferencia de las impresoras de lonas se basa en el ancho de impresión (3,2 m) y han sido diseñadas específicamente para materiales de gran formato debido a sus dimensiones. Además, estas impresoras imprimen textiles con una calidad inferior a la impresora nombrada anteriormente.

•Mesas de preparado:

Con el fin de adaptar las lonas y telas a la posterior colocación “in situ”, se corta a medida utilizando la cortadora vertical. Los cortes necesarios son siempre rectos, para adecuar al formato del producto final.

Para lonas, se aplican refuerzos en todo el perímetro uniendo las caras planas por soldadura mediante calor. Los refuerzos son del mismo material y tienen una anchura de 10 cm.

Finalmente se aplica sobre los bordes, cada 50 cm, ollados de aluminio como se observa en la siguiente imagen, con el fin de unir la lona al sistema de fijación o cuadro donde se coloca, mediante las cintas elásticas, para la instalación, fijación y tensado.



FIGURA 3.9: Ollados colocados en lona

En cuanto a las telas impresas, se emplea la operación de cosido en todo el perímetro, para evitar que el producto final de deshilache, también se cose una cinta de silicona alrededor del perímetro que sirve como fijación a los bastidores de aluminio. Esta impresión está enfocada a banderas como producto final.

•Embalaje:

Para este tipo de materiales el embalaje no exige ningún medio para no doblar o marcar el producto final, ya que las telas y lonas son fácilmente transportables.

Se utilizan gomas para enrollar las lonas, y cajas para guardar las telas.

Si se realiza auto-montaje de estos productos se incluyen en el habitáculo de embalaje cintas elásticas y silicona de pegado, así como unas instrucciones para su correcta utilización.



FIGURA 3.10: Banderas impresas sobre material textil.

Acto seguido, se transportan al “Almacén de acabados”. Por último, se cargan un vehículo de transporte para ser llevadas a su destino y si es necesario realizar el montaje.

3.4 Maquinaria

Las máquinas de impresión se diferencian en el tipo de calidad, material sobre el que imprimen y aplicación final. En la zona de impresión se diferencian los siguientes tipos resumidos en el esquema mostrado a continuación:

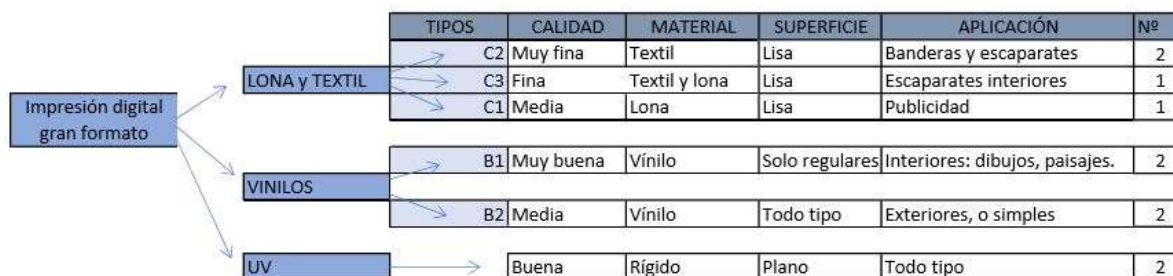


FIGURA 3.11: Esquema de máquinas según procesos

IMPRESORAS:

A continuación, se detalla la tipología de maquinarias empleadas en la empresa, así como una figura representativa de cada impresora.

-Impresora A (UV): Son impresoras de cama plana, es decir, no imprimen en bobina, lo hacen directamente en materiales rígidos (madera, cristal, cartón, etc.).

Se utilizan mayormente para impresión en PVC o cartón. Estos materiales se pueden fresar y dar forma para confeccionar exhibidores en cabeceras de góndolas de supermercado, marcas de producto, etc.



FIGURA 3.12: Ejemplo impresora tipo A

-Impresora B1 (VINILOS): Se trata de una impresora que imprime vinilos con tinta en base agua (no lleva disolvente) y el pigmento tiene un componente látex. Eso supone que al estirar la impresión no se deforma. La calidad es mucho mejor y se reduce mucho el tiempo de entrega, ya que no hace falta esperar secado para pasar a la laminadora.



FIGURA 3.13: Ejemplo de impresora B1, para vinilos impresos con tinta látex

-Impresora B2 (VINILOS): Imprime vinilos, y tiene una función de corte que permite hacer letras, dibujos y etiquetas. Se utiliza para la rotulación de vehículos, escaparates, decoración, etc. Imprime con una tinta llamada ecosolvente, que diluye el pigmento a base de solventes.

Las impresiones pasan por laminadora tras 24h. Las medidas máximas de impresión son: 1.6x50 m².



FIGURA 3.14: Impresora B2 tipo ecosolvente

-Impresora C1 (LONAS): En lonas de gran formato, se utiliza mucho para baja definición. Imprime dos tipos de material: PVC y vinilos microperforados. Las medidas máximas de impresión son: 3,2x100 m²



FIGURA 3.15: Impresora C1 para lonas

-Impresora C2 (TELAS): Son impresoras textiles que imprimen por sublimación. Además de imprimir sobre determinadas telas, son muy utilizadas en campañas publicitarias en interiores (tiendas y centros comerciales).



FIGURA 3.16: Impresoras C2 para textiles

-Impresora C3 (LONAS Y TEXTIL): Se encarga de imprimir lonas y textiles con una definición y calidad muy superior por la tinta látex. Tiene las mismas ventajas de no secar la tinta como en la impresora B1. No pasa por laminadora.



FIGURA 3.17: Ejemplo de impresora C3 de tinta látex

MÁQUINARIA	Capacidad(m ² /h)	DIMENSIONES(m)		Nº
		LARGO	ANCHO	MÁQUINAS
Impresora A	45	4,1	4,5	2
Impresora B1	12	2,3	0,9	2
Impresora B2	56	2,8	0,7	2
Impresora C1	60	4,9	1,2	1
Impresora C2	102	2,8	0,8	2
Impresora C3	20	5,7	1,4	1

TABLA 3.1: Resumen características principales de las impresoras

3.5 Distribución en planta

El desarrollo de la distribución en planta se basa en una serie de principios que se configuran como una base axiomática que permite desarrollar un método racional para la determinación de la ordenación en la planta productiva.

En primer lugar, se hace uso del principio de mínima distancia, basado en evitar desplazamientos inútiles del producto a tratar entre operaciones. Para ello se han distribuido las máquinas siguiendo la secuencia de operaciones a realizar en el proceso productivo, cercanas las operaciones contiguas.

Ligado al contexto, se sigue el principio de circulación del producto, cuyo objetivo se centra en facilitar la fluidez del transporte en cualquier proceso. Cabe destacar la importancia de seguir un orden de proceso ligado a la distribución de espacios en la industria con un único sentido de transporte, proporcionando un espacio específico para el traslado de materiales y trabajadores.

A su vez, se encuentra el principio de espacio cúbico plasmado en el proyecto, procurando aprovechar todo espacio en la planta, haciendo rentable cada metro cuadrado construido.

Para finalizar los motivos de relación entre actividades, se encuentra el punto de unión entre los nombrados anteriormente, es decir, el principio de integración. Con este último principio se pretende optimizar la distribución desde todos los puntos de vista posibles.

3.5.1 Diagrama relacional de actividades

Las actividades se distribuyen siguiendo el diagrama relacional de actividades. Dicho diagrama se centra en los principios expuestos anteriormente y tomados como guía para configurar la planta industrial.

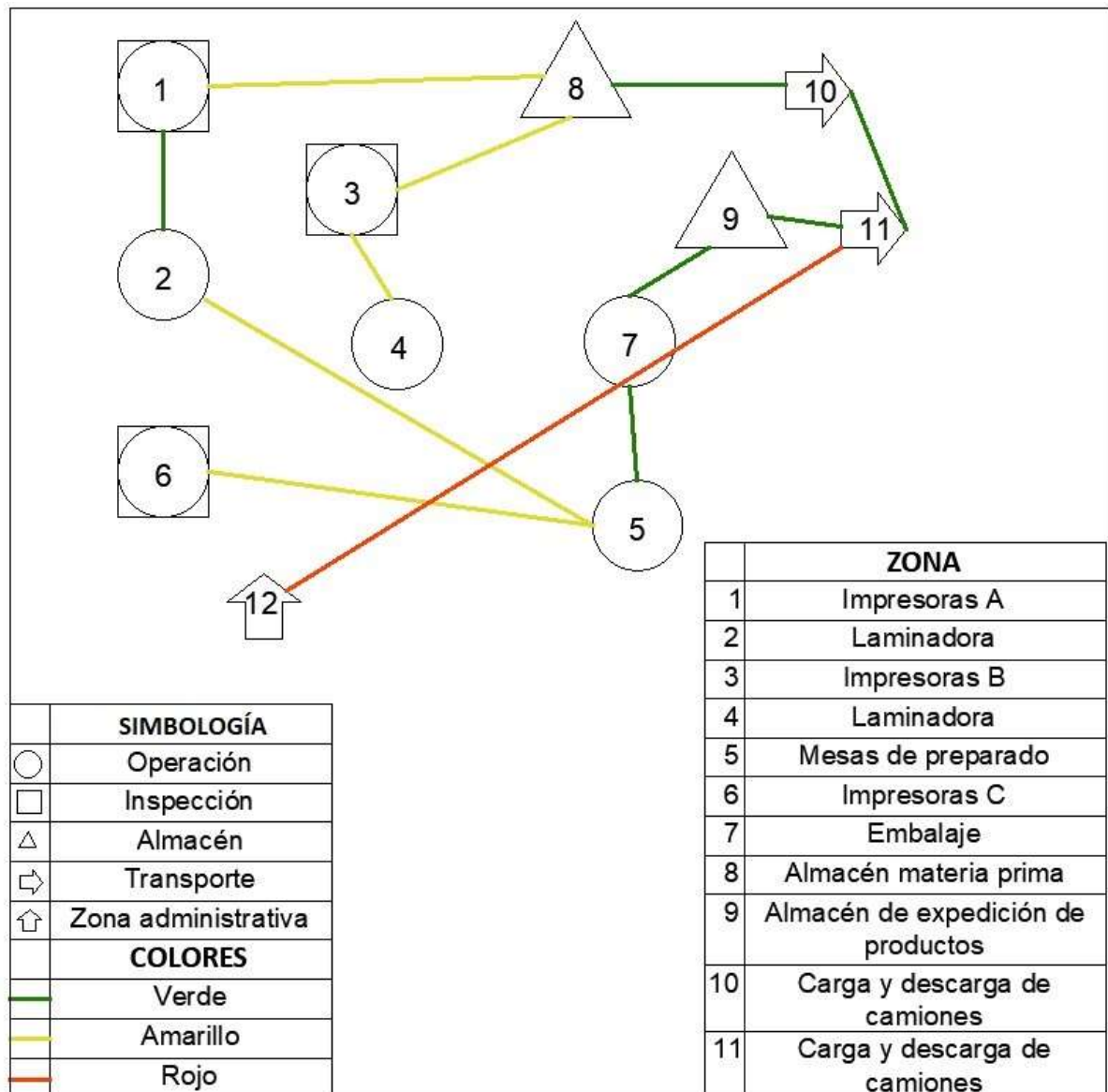


FIGURA 3.18: Diagrama relacional de operaciones

Debido al cruce de líneas que une el almacén de materia prima con las impresoras, como se observa en la Figura anterior, se propone como solución disponer de un pasillo para poder transportar los materiales y para el movimiento de los operarios y así evitar cruces de transporte.

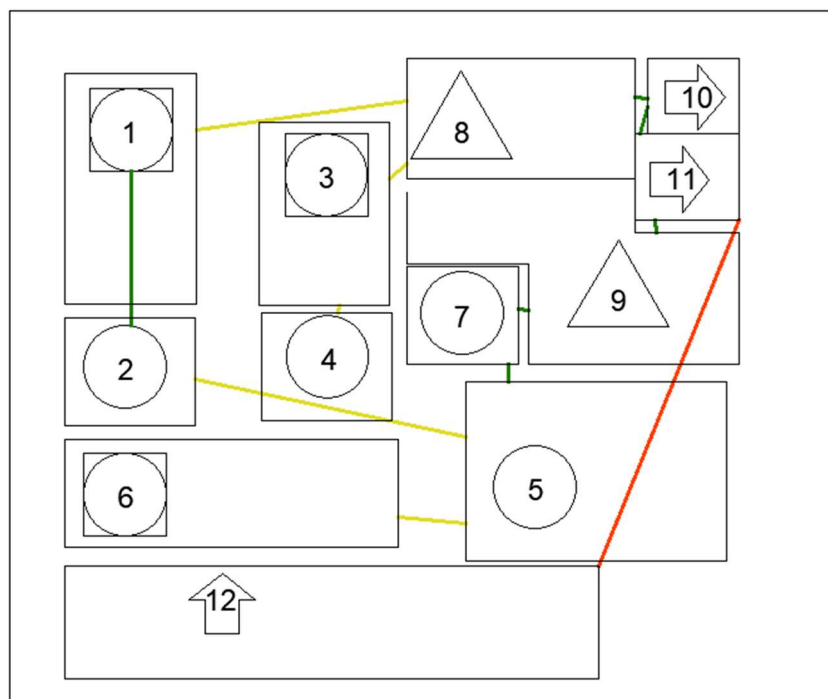


FIGURA 3.19: Diagrama relacional con dimensiones orientativas incluidas

3.5.2 Espacios físicos requeridos en planta

Una vez resuelto la distribución de actividades, se expresa la necesidad de configurar un espacio para cada máquina encargada de realizar operaciones sobre el material o pieza.

Para ello se ha resuelto el espacio físico siguiendo el método Guerchet, para evaluar el espacio mínimo que exige este tipo de maquinarias que puede observarse en la siguiente tabla.

MÁQUINARIA	DIMENSIONES(m)		Superficie Estática (m ²)	n	Superficie Gravitación(m ²)	k	Superficie Evolución(m ²)
	LARGO	ANCHO					
Impresora A	4,1	4,5	18,3	4	73,2	1,5	138
Impresora B1	2,3	0,9	1,9	3	5,8	1,5	11,6
Impresora B2	2,8	0,7	2	3	5,9	1,5	11,7
Impresora C1	4,9	1,2	5	3	15	1,5	30
Impresora C2	2,8	0,8	2,3	3	7,1	1,5	14,1
Impresora C3	5,7	1,4	8	3	23,8	1,5	47,6

TABLA 3.2: Ocupación de espacio de impresoras siguiendo método Guerchet.

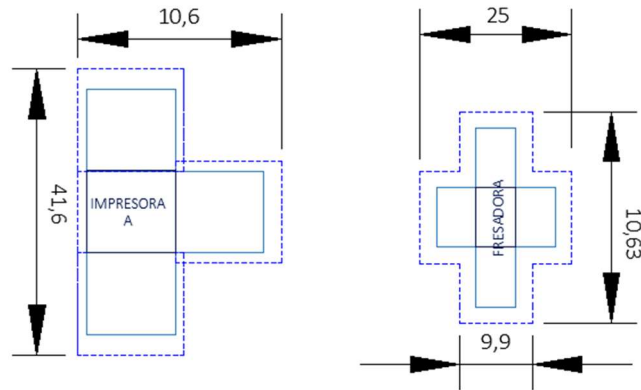


FIGURA 3.20: Espacio reservado para las maquinas del proceso A

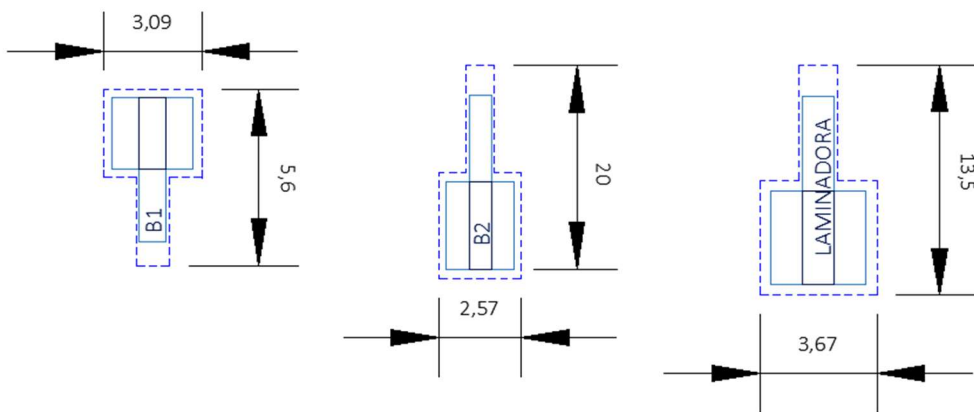


FIGURA 3.21: Espacios requeridos para máquinas proceso B

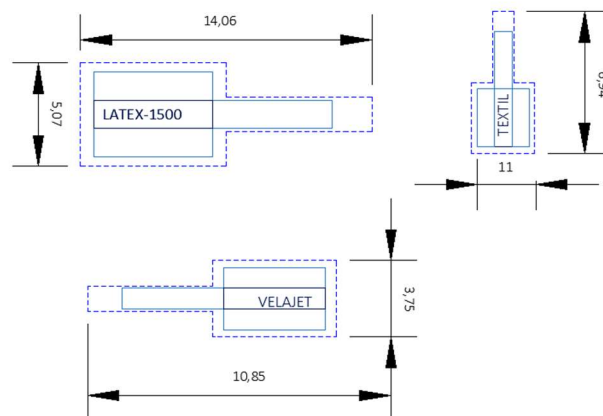


FIGURA 3.22: Espacios requeridos para impresoras del proceso C

Como puede observarse en las figuras anteriores, este es el resultado de aplicar el método Guerchet con el fin de obtener un espacio de trabajo para cada máquina, ya sea impresora, laminadora o fresadora.

En cuanto al transporte, el pasillo principal de la zona de producción cuenta con un ancho de 5 m, con la finalidad de permitir el paso de materiales en carretillas, cuya anchura oscila entre 1.6 y 3.2 m.

También consta de un pasillo que atraviesa la zona administrativa, con un ancho de 3m, para facilitar el movimiento de los trabajadores en los distintos sectores.

El resultado final de aplicar las zonas necesarias para distribuir la zona de fabricación es el siguiente:



FIGURA 3.23: Zona de procesos respetando espacios de cada máquina

Como vemos en la imagen, la zona de procesos ubica todas las máquinas en función del espacio que necesitan.

3.5.3 Distribución de las naves

Basándose en lo métodos expuestos anteriormente, se ha distribuido la planta como puede observarse en la siguiente imagen:

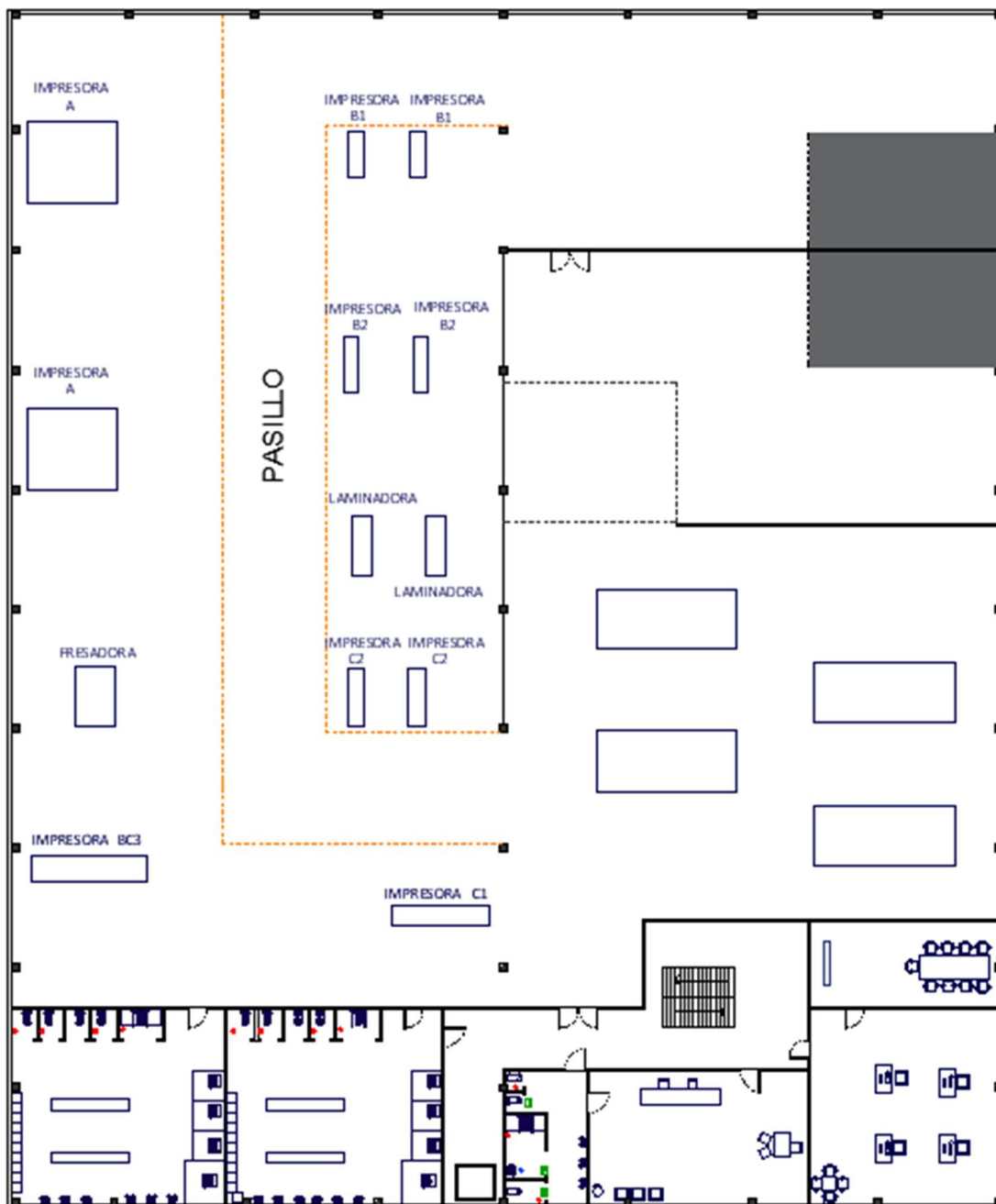


FIGURA 3.24: Distribución en Planta Baja

En primer lugar, se puede observar la zona de impresión, la cual cuenta con todas las impresoras, laminadoras y fresadora, distribuidas respetando el espacio de trabajo y de transporte del material.

Cada máquina se ha colocado siguiendo el diagrama relacional de actividades y como puede observarse, la distribución sigue claramente la secuencia de operaciones de cada proceso.

A continuación, se dispone de una zona de vestuarios separada por sexos para aseo personal. Además, cuenta con duchas y taquillas, donde los operarios pueden dejar sus pertenencias.

En la zona superior derecha, se encuentran dos espacios reservados al almacenaje de materiales y productos: uno almacena el material que descarga el camión, para que siempre haya stock, y el otro almacena el producto acabado a la espera de ser transportado.

En cada almacén existe un espacio de 5x10 m² reservado para la entrada y salida de camiones. En el almacén de materia prima, los camiones descargan los materiales y piezas que se van a procesar, mientras que en el almacén de expediciones el camión se carga de productos finales para entregarlos o montarlos en el destino.

Dentro de la zona de almacén de productos, existe un espacio específico para embalaje de productos finales, una operación previa al almacenaje vista anteriormente.

Por otra parte, está la “zona de trabajo”, donde se encuentran las mesas de preparado. Es la fase de terminación de todos los productos que se imprimen, ya que necesitan un proceso de acabado.

Por último, se encuentran las oficinas, divididas en dos plantas:

La planta baja consta de la recepción, con el fin de atender a los clientes que acudan a recoger sus productos o deseen uno, así como proveedores y cualquier tipo de comunicación que se realice en fábrica.

Colindante a la recepción existe una oficina dedicada a la captación del cliente, gestión de stock y tareas de administración, entre otras, y una sala de reuniones, para gestionar diversos problemas internos y mejoras de la empresa.

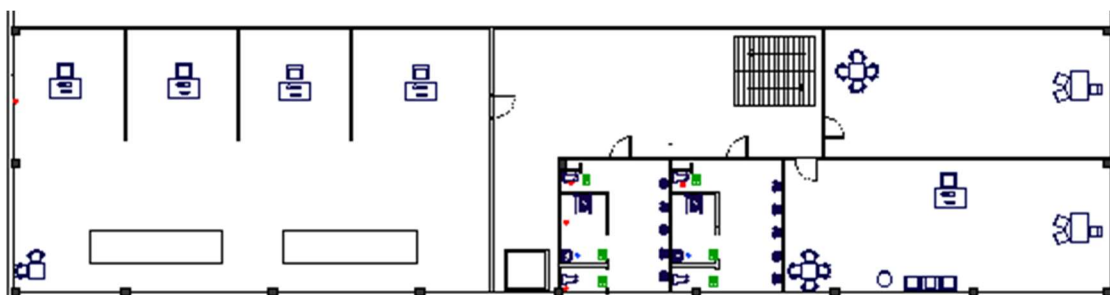


FIGURA 3.25: Planta altillo de zonas descritas

En la segunda planta o altillo, como se observa en la anterior figura, se encuentra una zona de diseño de producto, donde los expertos realizan los dibujos o los editan y envían a las diferentes maquinarias.

Para garantizar una mayor privacidad, en el altillo se encuentran los despachos, correspondientes a los altos cargos de la empresa.

También se dispone de aseos separados por sexo.

4. Localización, emplazamiento y condiciones urbanísticas

4.1 Localización y condiciones urbanísticas

La nave industrial se construirá en el polígono Aviación, situado en Manises, Valencia. Al tratarse de varias parcelas la empresa contará con tres accesos a la vía pública: Calle Alaquas, Calle Requena y Calle Burjassot. El acceso principal se encuentra en la calle Requena. Las restantes calles contienen acceso a vehículos para empleados y camiones.

La justificación de la ubicación del proyecto se basa en diversos criterios expuestos a continuación.

En cuanto a la actividad a desempeñar, se ha escogido una ciudad donde no se encuentra ninguna empresa dedicada a la impresión de gran formato a tal nivel de producción.

En la zona de Valencia y alrededores, existen otras empresas dedicadas a este tipo de actividad, no obstante, la nave se sitúa entre las dos zonas donde se observan mayor concentración de empresas. Esto supone que se podrá competir por los clientes de las dos zonas.

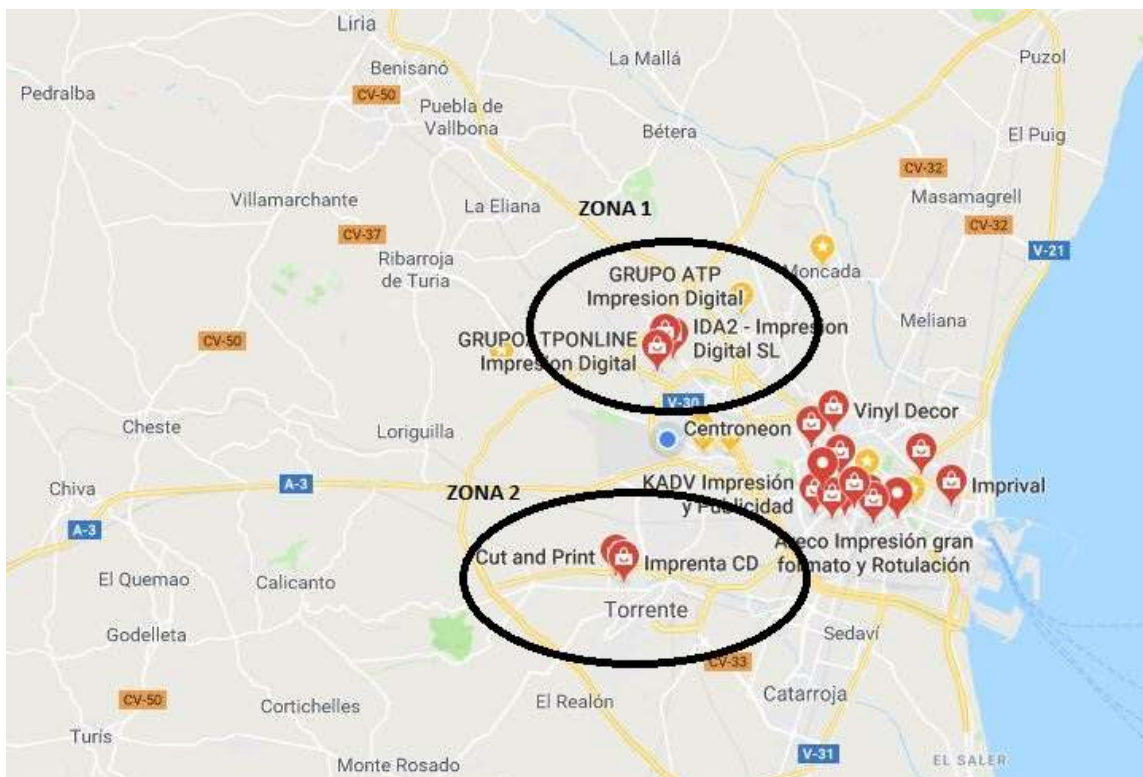


FIGURA 4.1: Zona 1 y 2 distinguidas por empresas competidoras

Como se observa en la Figura adjunta, tras el estudio realizado sobre las empresas competidoras, se han agrupado en dos zonas donde existe mayor concentración. De este modo puede observarse claramente la zona sin competencia que abarca la ciudad de Manises, como frontera entre estos grupos de competidores.

En la misma línea, existen empresas suministradoras de materia prima para la actividad que se desarrolla en la parcela en la misma localidad. Esta ventaja permite ahorrar tiempo y coste de transporte de materia prima.

Por último, las incorporaciones a las carreteras V30 y A3, son fácilmente accesibles para los camiones transportadores y comunican con otras carreteras a poca distancia.

Teniendo en cuenta que el tipo de producto se transporta a su destino para ser montado o entregado, es muy útil disponer de todos los accesos necesarios para los vehículos con accesibilidad inmediata.

4.2 Ordenación de la parcela

La nave de tipo industrial se construirá en cinco parcelas colindantes debido al espacio necesario, tanto de construcción como aparcamiento privado.

Una situada en la Calle Alaques nº4 polígono Aviación, Manises (Valencia), en suelo no edificado. Dicha parcela consta de 3987 m². El terreno tiene dos accesos a la vía pública: Calle Alaques y Calle Requena.

La segunda parcela es colindante, situada según catastro en Calle Burjassot nº9 con 832 m² no edificados y dos accesos a la vía pública, uno compartido con la primera parcela.

Las restantes parcelas se encuentran, como puede observarse en la imagen, con acceso en la Calle Burjassot nº7 con un espacio de 964 m², nº7A con 968 m² y nº5 con 441 m² no edificados. Las parcelas 7 y 7A tienen un uso actual como almacén de vehículos, con suelo pavimentado, pero sin ninguna edificación.

El espacio total calculado para realizar el proyecto es de 7162 m², de los cuales se construirán 3000 m² repartidos en dos naves adosadas de pórticos a un agua de igual dimensión. El restante espacio se utiliza como aparcamiento, teniendo en cuenta las zonas de retranqueo de edificación donde no se dará uso al suelo.

Dichas parcelas pertenecen a la clasificación de la vía pública nº3.

- La Instrucción Española del Hormigón Estructural (EHE), basada en el cálculo y la seguridad en estructuras de hormigón
- Ordenanza reguladora del ayuntamiento de Manises, sobre las condiciones urbanísticas del polígono.

6. Descripción de la solución constructiva

Tras determinar las dimensiones necesarias y su distribución para la actividad de impresión en gran formato, procedemos a describir los elementos constructivos escogidos para construir la nave industrial.

La actividad requiere una nave que disponga de una zona de producción con espacios amplios, así como almacenes y zonas de preparación de los productos. El flujo de trabajo en la fábrica se basa en el movimiento de los materiales hacia las distintas operaciones que sean precisas. Para facilitar el traslado es importante situar las operaciones cercanas y en orden (para mantener el flujo de trabajo).

También es interesante situar las oficinas cercanas a la fábrica. La comunicación entre administración y fábrica es importante a la hora de controlar almacenes, pedidos y envíos.

Por otra parte, los diseñadores se encargan de editar y enviar a imprimir los trabajos, con lo cual, han de observar el proceso productivo constantemente para tener un control de los procesos.

Por este último motivo se ha decidido construir un altillo, para albergar la zona de diseño, donde los trabajadores pueden observar desde su puesto de trabajo el proceso productivo.

Además, se ha decidido situar los despachos de altos cargos, con el fin de disponer de mayor privacidad.

Finalmente, la solución constructiva escogida se basa en dos naves simétricas a un agua, con una luz de 25m cada una y 10 separaciones de pórticos a 6m de distancia. Dichas naves contienen un altillo que ocupa toda la fachada principal y la distancia a el segundo pórtico interior, de 12m.

Las naves descritas suponen una superficie construida de 3000m², con un altillo dispuesto a 3m del suelo, ocupando una superficie de 300m².

En la siguiente imagen puede observarse la solución escogida:

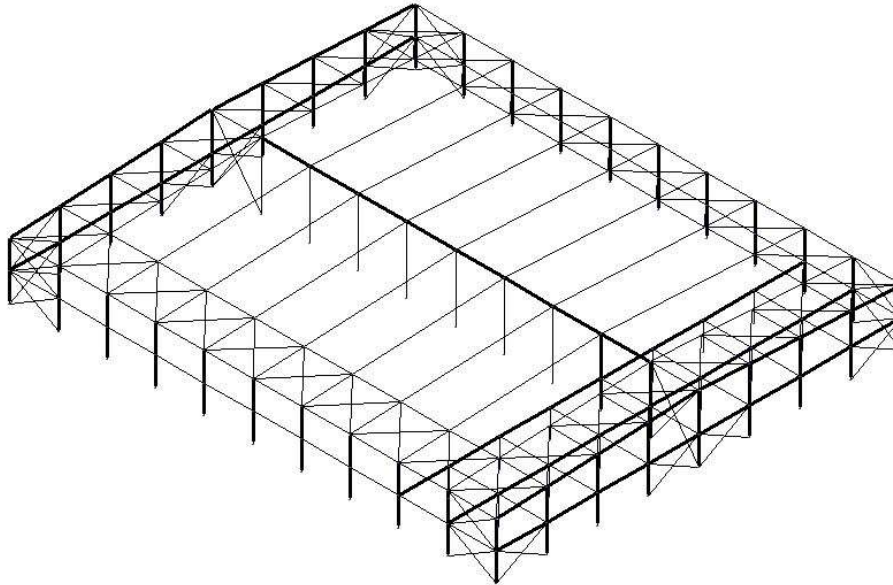


FIGURA 6.1: Nave industrial simétrica a un agua.

6.1 Cimentación

Para la elaboración de la estructura, ha sido fundamental dimensionar la cimentación de la nave, haciendo hincapié en obtener el equilibrio a través de zapatas y vigas de atado.

La construcción ha sido basada en una cimentación directa con zapatas aisladas. Son excéntricas para los pilares laterales de los pórticos interiores y cuadrada para los restantes pilares, tal y como se detalla en la figura 6.13.

A su vez, las zapatas se encuentran unidas mediante vigas de atado.

Las vigas de atado mantienen la misma configuración a lo largo de su recorrido, siendo cuadrada de 40cm, con una armadura superior e inferior de 2Ø12, como se detalla en la imagen:

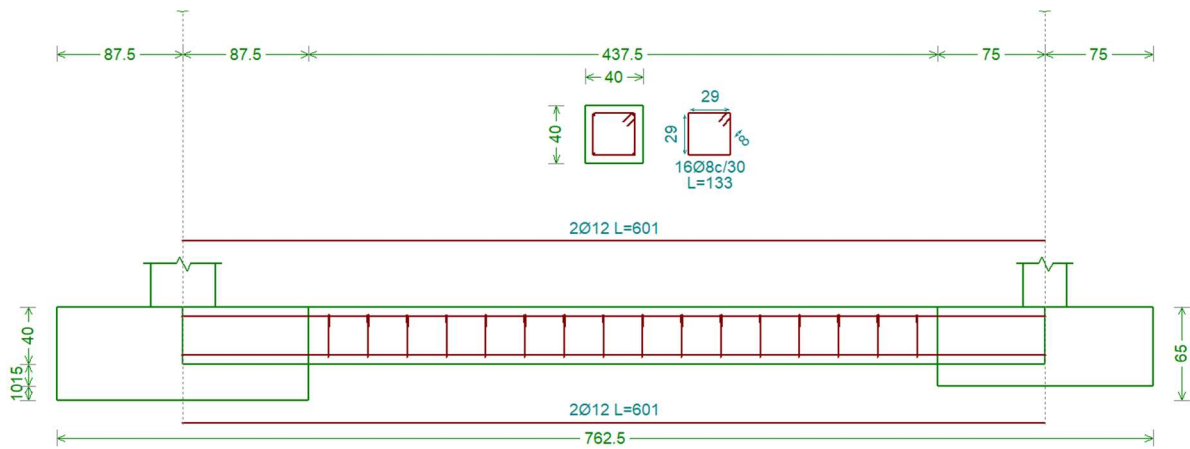


FIGURA 6.2: Ejemplo viga de atado entre pilares. Fuente: CYPE 2018

En cuanto a las zapatas, como se ha mencionado anteriormente, tienen diferentes configuraciones, que se detallan a continuación:

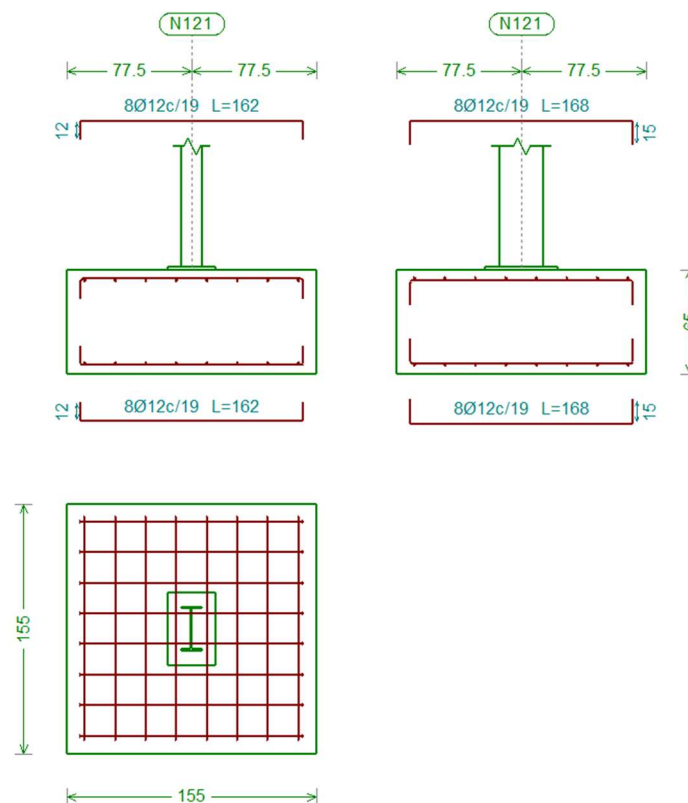


FIGURA 6.3: ZAPATA Nº1. Dimensiones de zapatas en los pilares interiores del atillo.

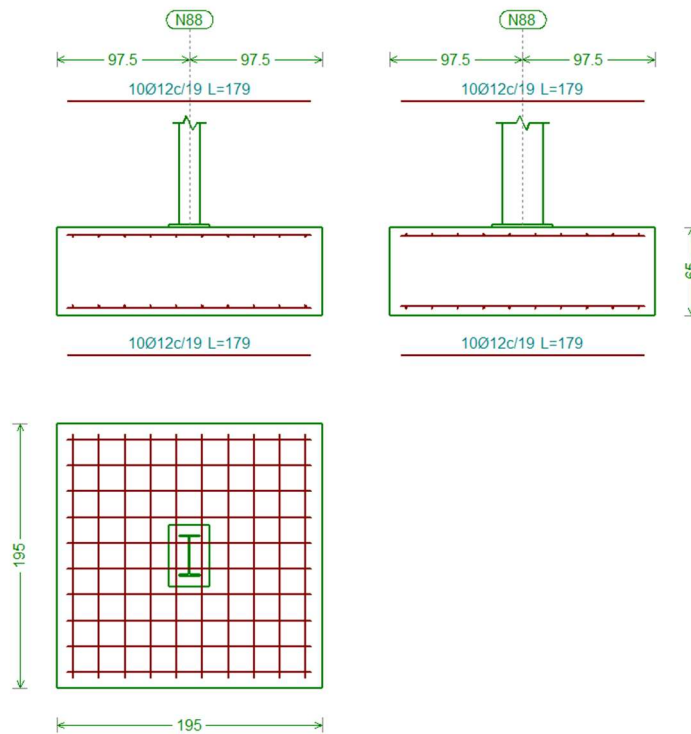


FIGURA 6.4: ZAPATA N°2. Dimensiones de zapatas en los pilares del pórtico de fachada y los pilares del altillo

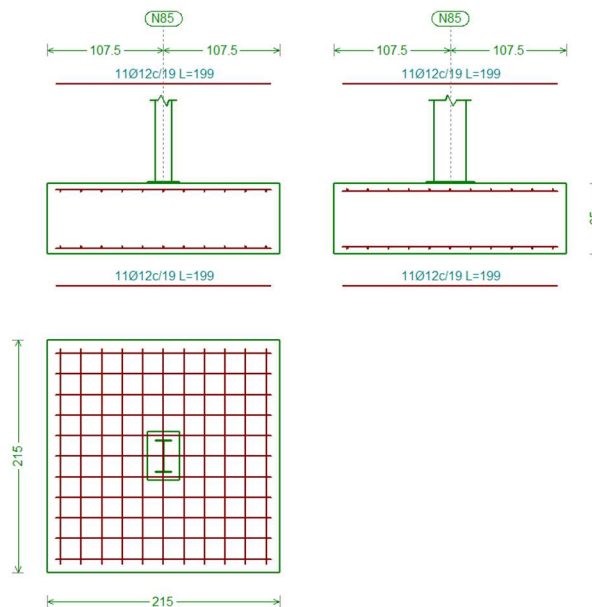


FIGURA 6.5: ZAPATA N°3. Dimensiones de zapatas en los pilares centrales del pórtico de fachada

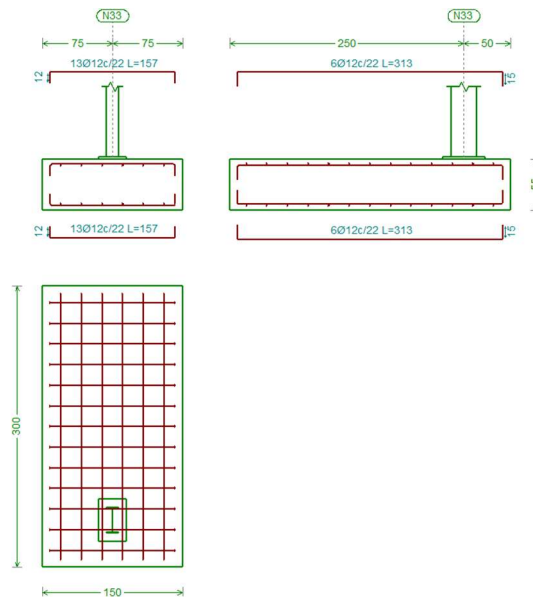


FIGURA 6.5: ZAPATA Nº4. Dimensiones de las zapatas excéntricas situadas en los pilares laterales exteriores.

A continuación, se detallan en el plano de planta de cimentación la ubicación de los tipos de zapatas mencionados en las figuras anteriores.

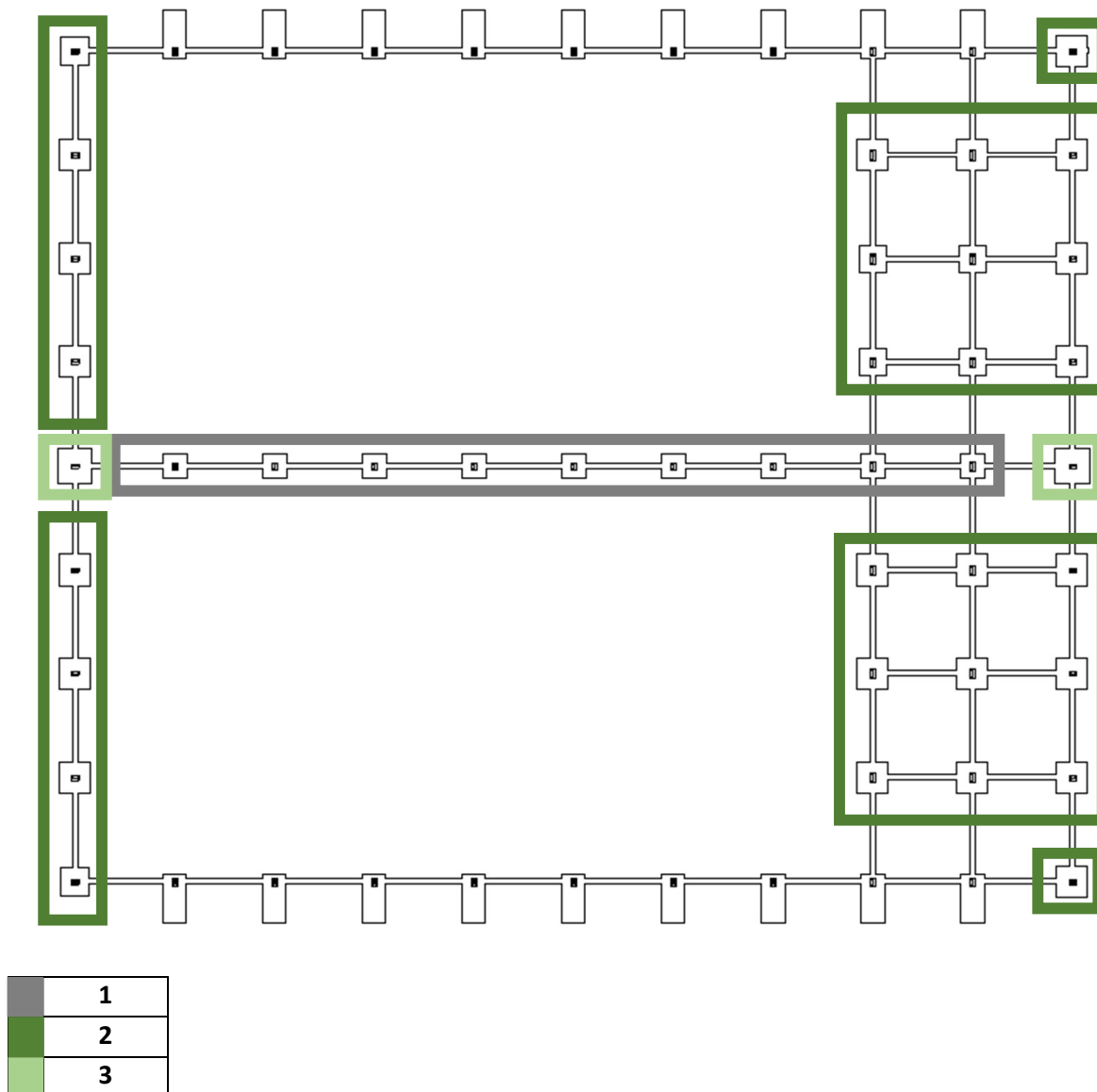


FIGURA 6.5: Plano cimentación detallando situación de tipologías cuadradas

El dimensionamiento de las zapatas nº1, nº2, nº5 y nº6, detallado en las figuras anteriores, corresponde a una zapata cuadrada que sujeta un pilar aislado de perfil IPE 400, el cual forma parte de la planta del altillo.

Como se puede distinguir las zapatas que sujetan los pilares centrales de la estructura tienen mayores dimensiones.

Las configuraciones nº3, nº4, nº4.1, nº7, nº9 y nº10 se deben a los pórticos de fachadas, con pilares de perfil IPE 300 en el interior e IPE 270 en los extremos.

Las dimensiones de la zapata cuadrada nº8 han sido escogidas para los pilares centrales de la estructura, con un perfil IPE 300.

Finalmente, las configuraciones de los laterales corresponden a zapatas excéntricas ubicadas en la planta de los pilares exteriores de los pórticos interiores.

6.2 Solera

La dimensión y tipo de hormigón de la solera ha sido escogida en función del peso a soportar por medio de la actividad del recinto. Básicamente, se utilizan carretillas para transportar materiales y entrarán camiones para recoger o descargar materia.

Se ha optado por colocar una solera de hormigón armado HA de 20 cm de espesor con refuerzos de malla electrosoldada. El hormigón se extenderá y vibrará manualmente mediante una regla vibrante y no recibirá ningún acabado superficial específico, ya que será pavimentado posteriormente.



FIGURA 6.6: Descripción solera escogida

6.3 Estructura

La nave industrial se ha diseñado en función de las necesidades dimensionales de la actividad, la cual necesita un espacio amplio para poder facilitar la producción. Las grandes fachadas dan lugar a deformaciones que pueden causar problemas en el dimensionamiento de la estructura, con lo cual para facilitar los cálculos se ha optado por el diseño de dos naves simétricas a un agua, con el fin de simular una nave con una anchura de 50m.

La estructura de la nave industrial está basada en dos naves de pórticos a un agua simétricos, con una luz de 25m y una extensión de 60m con 10 pórticos.

Con el fin de expresar la estructura dimensionada para la nave, se ha separado en varios capítulos.

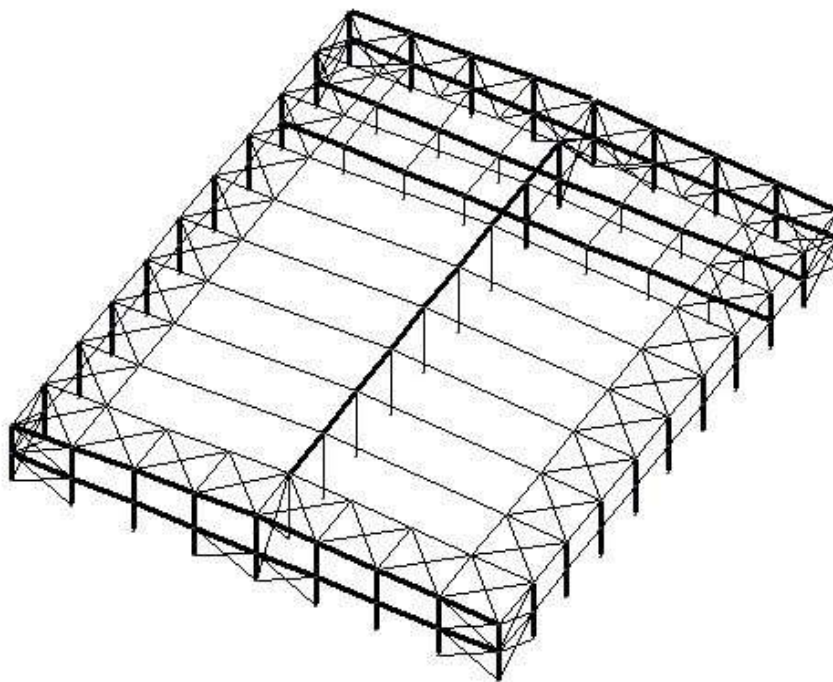


FIGURA 6.7: Estructura nave industrial a un agua simétrica

6.3.1 Pórticos

Los pórticos de la nave industrial se distinguen en pórticos de fachada para la estructura situada en los extremos, y pórticos interiores, para los restantes. La diferencia entre ambos incide en la variedad de acciones que actúan sobre ellos, destacando la acción del viento frontal, que sufren los pórticos de fachada.

6.3.1.1 Pórticos de fachada

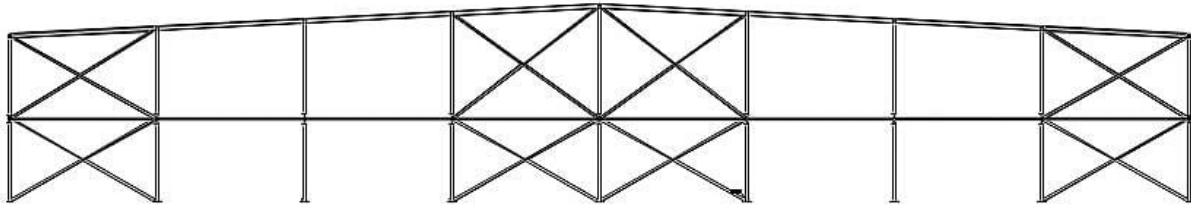


FIGURA 6.8: Pórtico de fachada para una nave a un agua simétrica de 50m de luz

El pórtico de fachada se ha estructurado mediante perfiles IPE, variando sus dimensiones según zona donde se sitúa.

Por una parte, para los extremos del pórtico se han escogido pilares con un perfil IPE 270 debido a las necesidades de resistencia exigidas por el programa de cálculo.

Los pilares intermedios, están contruidos bajo un perfil IPE 300. Las características de ambos perfiles pueden observarse en la figura siguiente:

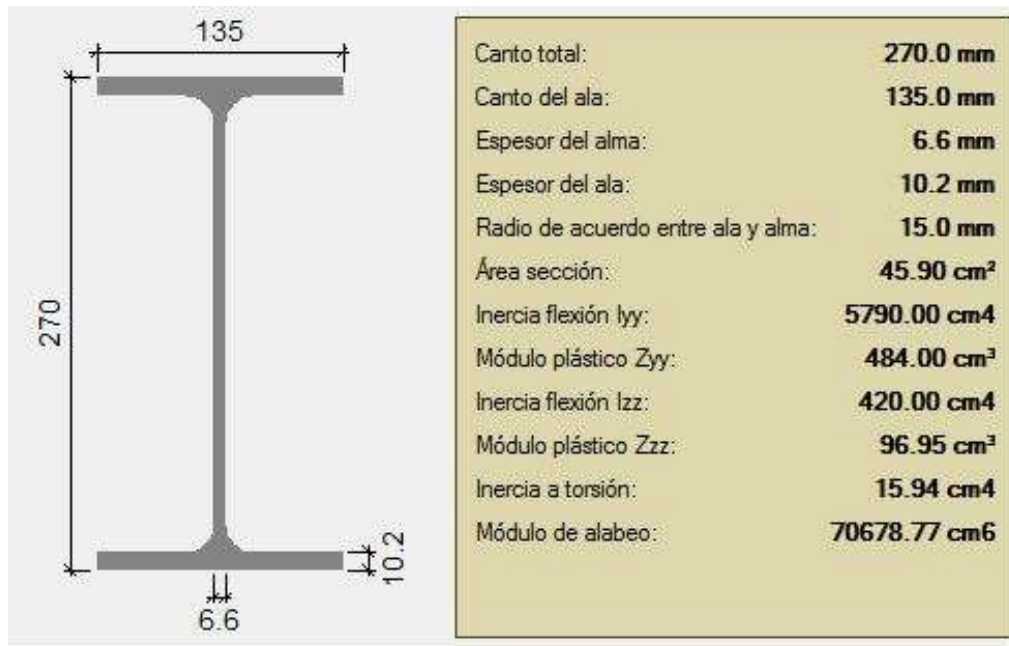


FIGURA 6.9: Dimensiones de un perfil IPE 270, utilizado en pilares del pórtico de fachada

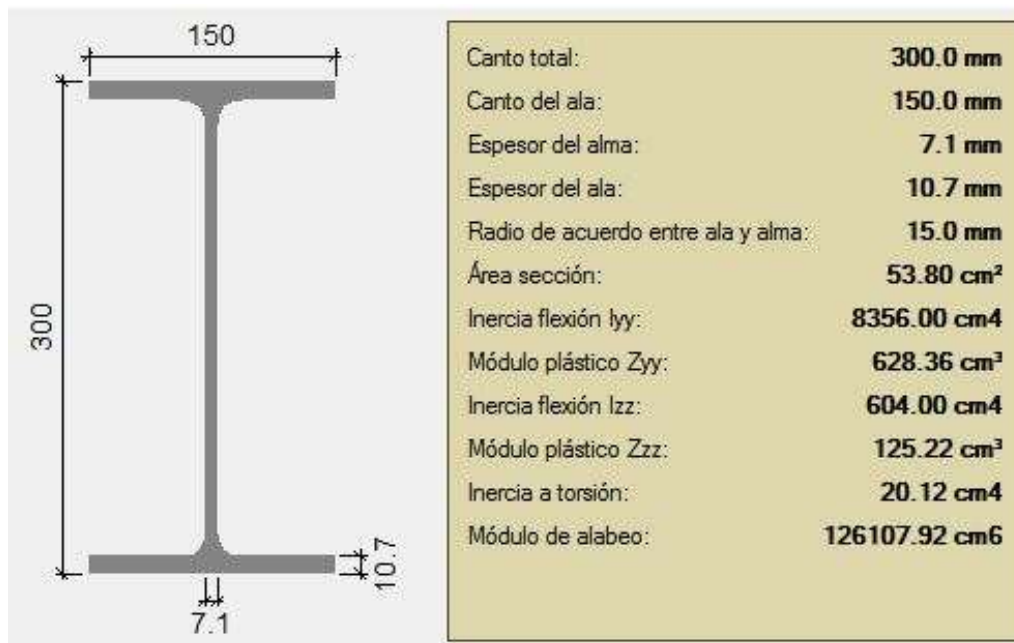
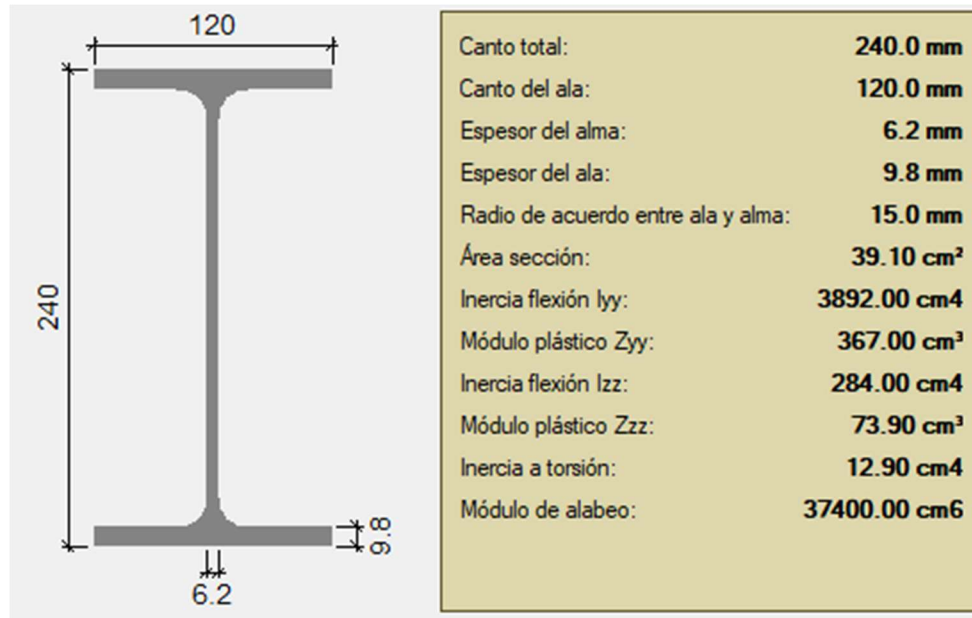


FIGURA 6.10: Dimensiones de un perfil IPE 300, utilizado en pilares del pórtico de fachada

La cubierta de dicho pórtico está formada por jácenas de perfil IPE 240.



FIFURA 6.11: Dimensiones de un perfil IPE 240, utilizado en la jácena del pórtico de fachada

6.3.1.2 Pórticos interiores

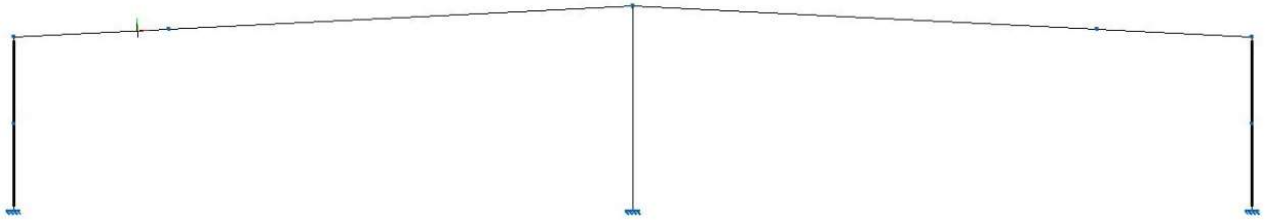


FIGURA 6.12: Estructura del pórtico interior

Los pilares han sido escogidos en función de la normativa del CTE, utilizando perfiles IPE300 para todos los pilares interiores excepto los que sostienen la carga del atillo, utilizando un dimensionamiento de pilares IPE 330.

Para configurar los perfiles de las jácenas, ha sido necesario aumentar el perfil a un IPE 550 para poder conseguir una estructura equilibrada.

Las dimensiones de los perfiles IPE 330 y de las jácenas puede observarse en la siguiente figura:

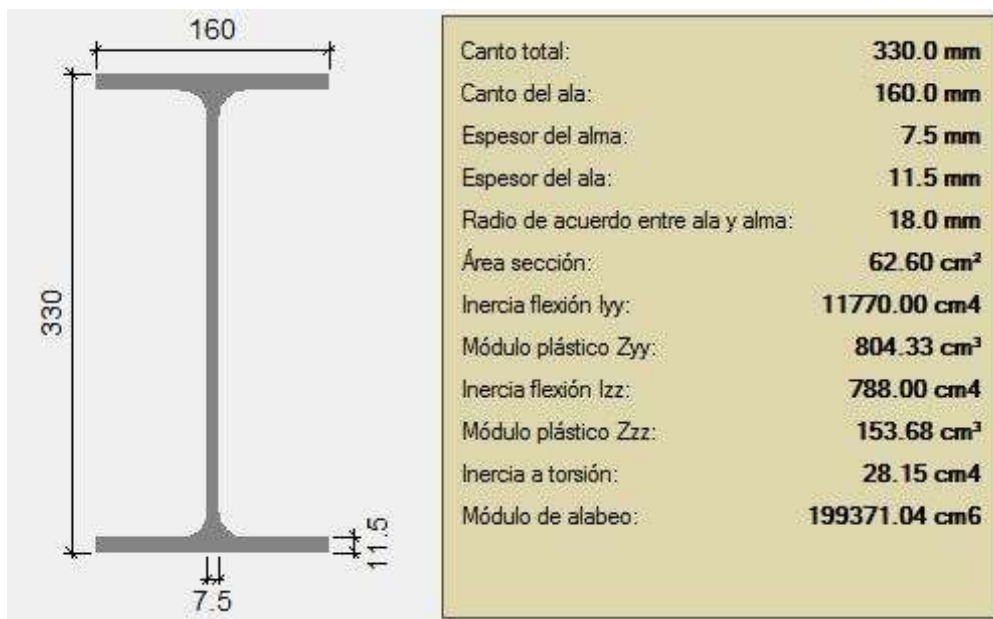


FIGURA 6.13: Dimensiones de un perfil IPE 330, utilizado en pilares del pórtico interior

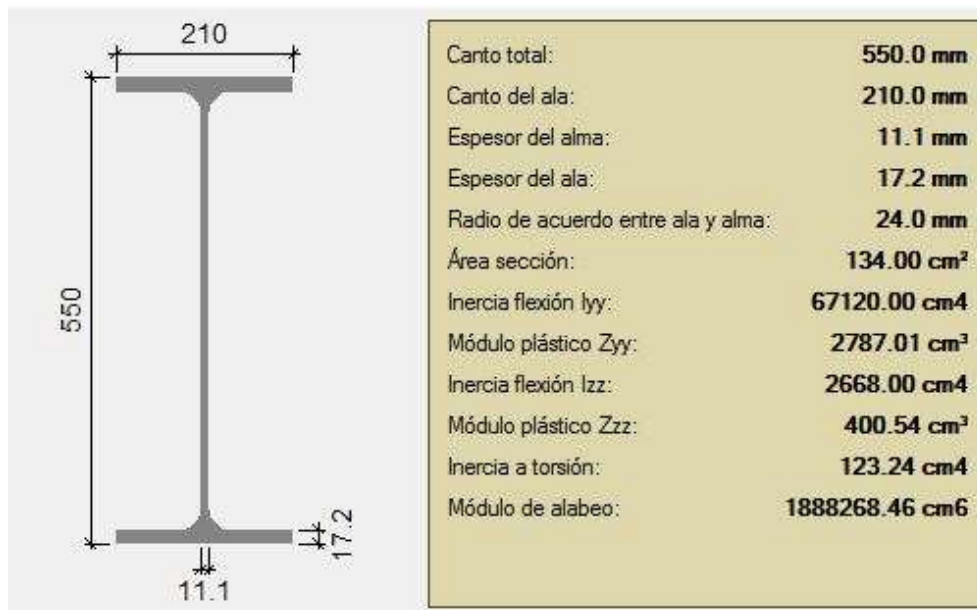


FIGURA 6.14: Dimensiones de un perfil IPE 550, utilizado en la jácena del pórtico interior

6.3.2 Vigas contra viento (VCV)

La viga contraviento que materializa el apoyo en la cabeza del pilar y transmite los esfuerzos, se ha configurado según el dimensionamiento tipo Pratt.

Se han colocado Vigas contraviento a lo largo y ancho de la cubierta. La idea de dicho dimensionamiento se basa en reducir los perfiles necesarios de la jácena, debido a la flecha que provoca las elevadas luces de 25m.

Debido al cálculo experimental realizado en CYPE, el perfil de las jácenas se ha reducido gracias a la configuración propuesta que se puede observar en la imagen.

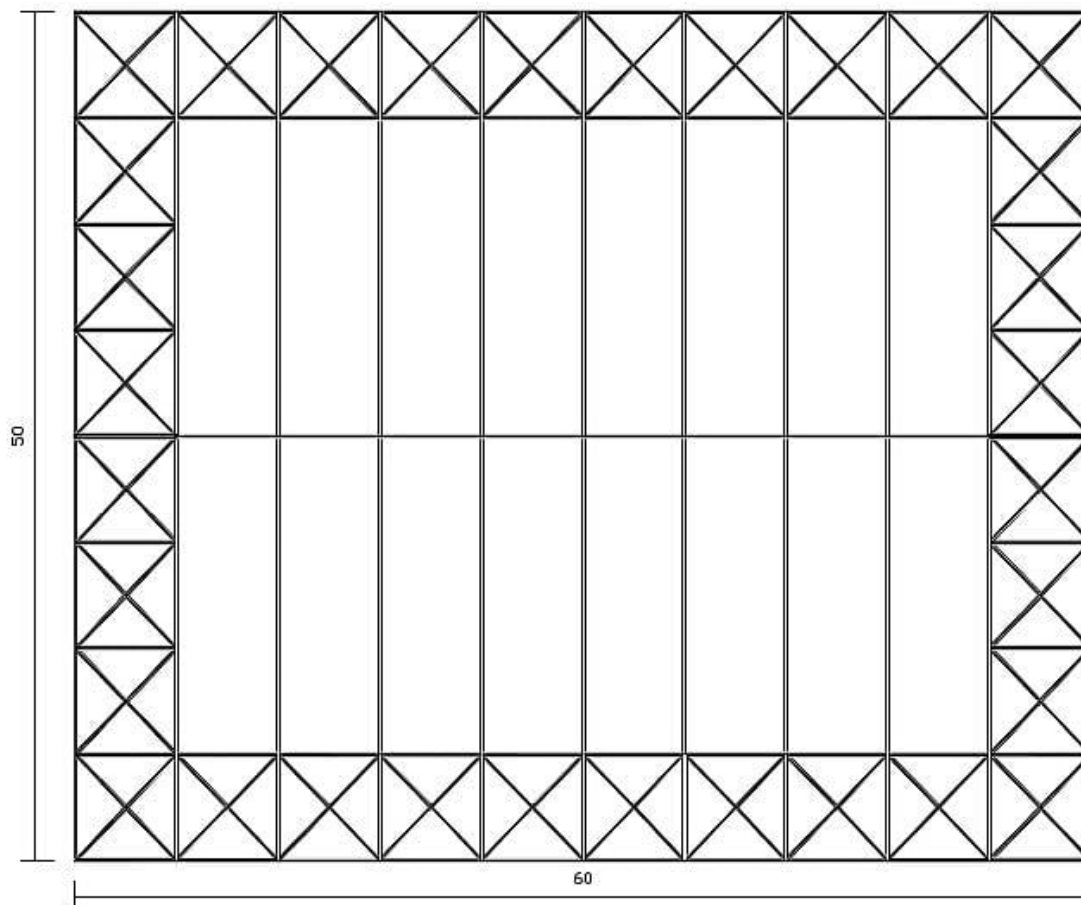


FIGURA 6.15: Solución escogida para la cubierta de la nave industrial

Los perfiles escogidos para los montantes de VCV son de perfil hueco cuadrado HC120. En cuanto a los tirantes hablamos de un perfil L80x80, de dimensiones detalladas en la figura.



FIGURA 6.16: Dimensiones de un perfil hueco cuadrado HC120, utilizado como montante de la viga contraviento en cubierta

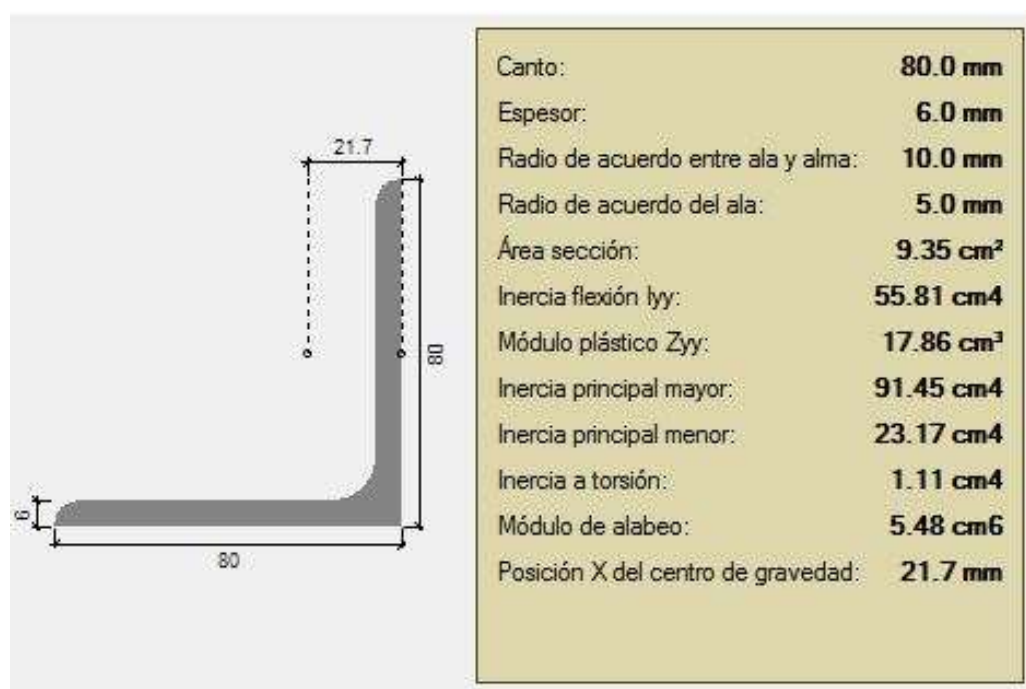


FIGURA 6.17: Dimensiones de un perfil tirante L80, utilizado como tirante de la viga contraviento en cubierta

6.3.3 Cruz de San Andrés (CSA)

Las reacciones de las VCV se absorben a través de las cruces de San Andrés que se han colocado en los laterales de la nave. Debido a la altura de los pilares exteriores (7 metros) y al altillo situado a 3,5m de altura sobre el suelo, se ha dimensionado dos CSA apiladas.

Se ha optado este sistema como arriostramiento de fachada lateral debido a su rigidez y economía frente a otras alternativas.

Los tirantes están diseñados por perfiles en L100x100 y los montantes con unas barras de SHS100, cuyas características se detallan en la siguiente figura:



FIGURA 6.18: Dimensiones de un perfil tirante L80, utilizado para las cruces de la CSA en laterales.



FIGURA 6.19: Dimensiones de un perfil montante SHS 100, utilizado para la CSA en laterales.

6.3.4 Viga perimetral (VP)

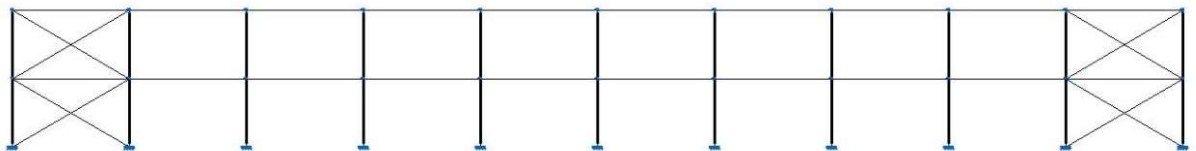


FIGURA 6.20: Nave industrial vista desde el lateral

Las vigas perimetrales son barras horizontales encargadas de unir los 10 pórticos que contiene la nave, utilizando un perfil IPE 160 como se observa en la figura.

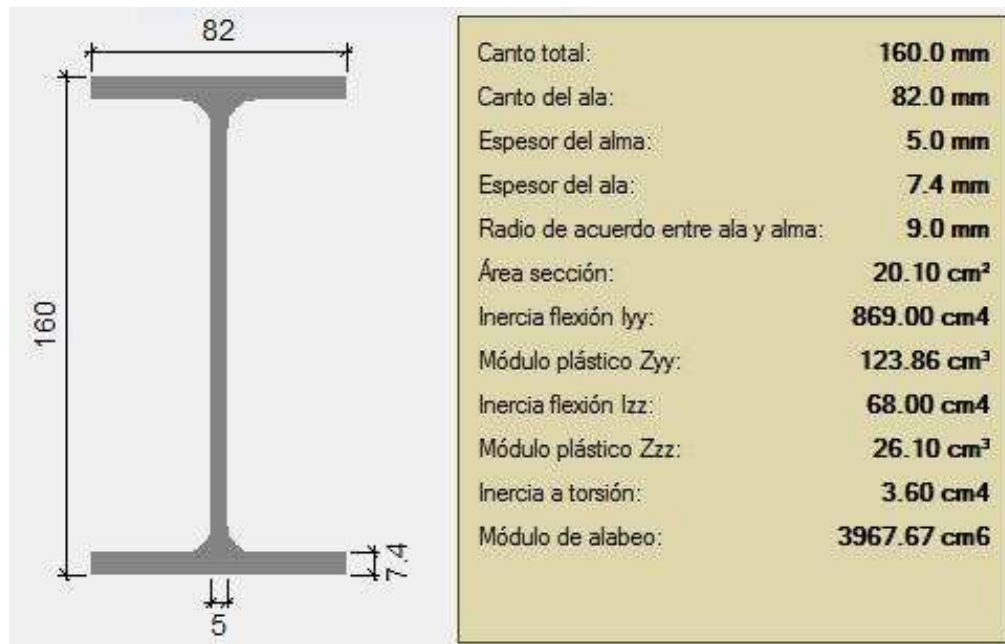


FIGURA 6.21: Dimensiones de un perfil IPE 160, utilizado en las vigas perimetrales

Debido al dimensionamiento de los sistemas contraviento CSA y el atillo, se ha optado por colocar dos vigas perimetrales: una apoyada en la cabeza de los pilares y otra a la altura del atillo.

6.3.5 Atillo

La necesidad de espacios amplios para la zona de fabricación ha propiciado el diseño de una planta intermedia, dedicado a zonas de diseño y oficinas.

Las dimensiones del atillo son de 50m x 12m, lo que equivale a cubrir toda la nave a lo ancho y hasta el segundo pórtico interior a lo largo de la nave.

Las siguientes figuras expresan las dimensiones de atillo, así como los perfiles utilizados tanto para los pilares que la sostienen (IPE 400) como para las vigas (IPE 360).

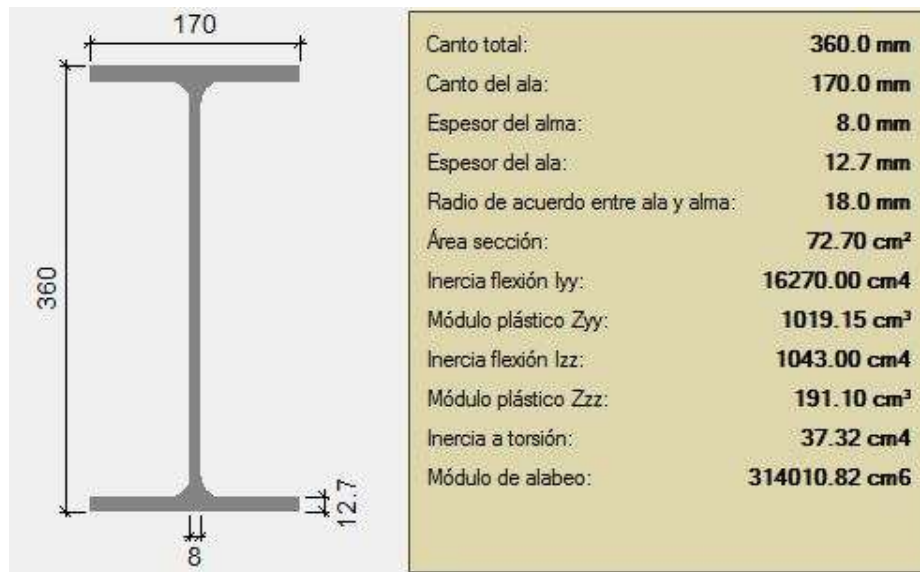


FIGURA 6.22: Dimensiones de un perfil IPE 360, utilizado en las vigas del atillo.

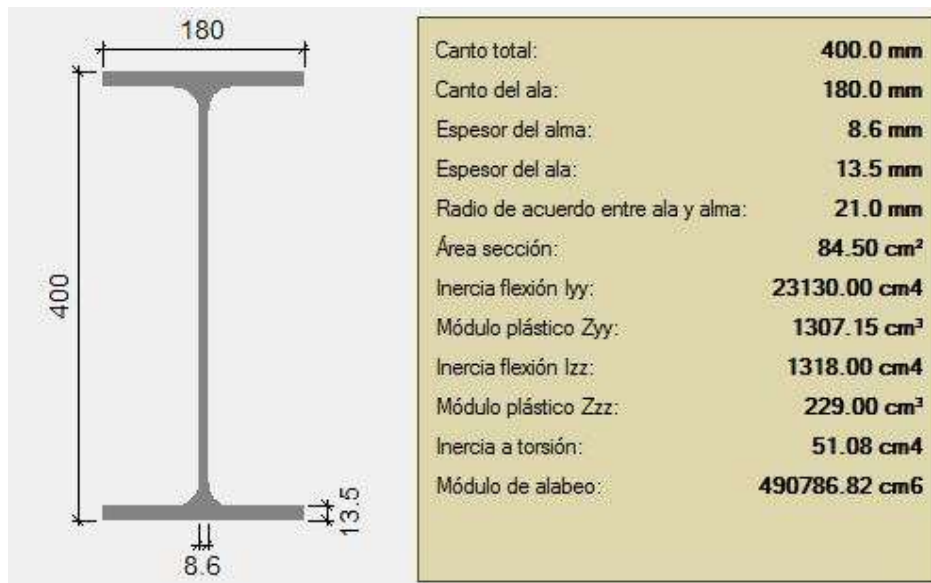


FIGURA 6.23: Dimensiones de un perfil IPE 400, utilizado en los pilares del atillo.

6.4 Cerramientos

Como paso final para dimensionar la estructura de nave, los cerramientos laterales definidos se basan en una losa de hormigón dispuesta a lo largo de todo el perímetro de la nave, hasta una altura de 3,5m.

Separado por la viga perimetral inferior en los laterales, y los montantes o vigas en fachada

principal, se encuentra un cerramiento formado por paneles sándwich.

Los cerramientos en cubiertas se han propuesto con paneles sándwich.

En las siguientes figuras pueden observarse los cerramientos descritos.

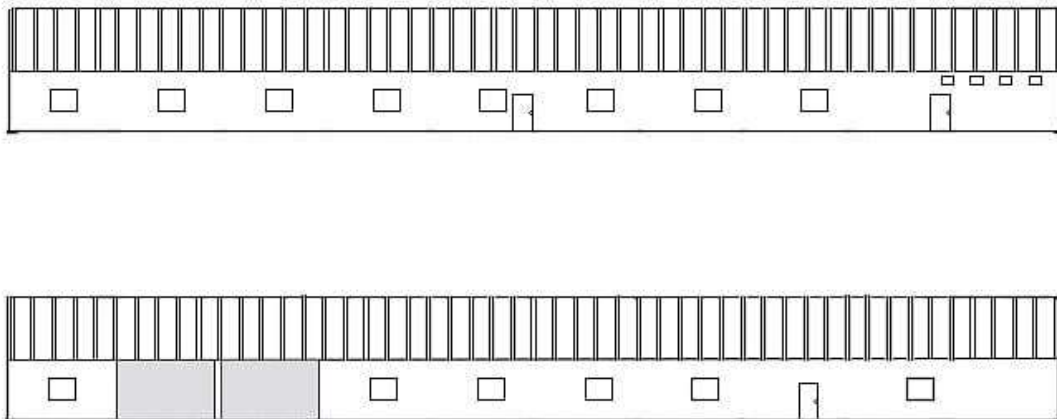


FIGURA 6.24: Cerramiento descrito en paredes laterales de la nave, con una zona de hormigón y otra de panel sándwich.

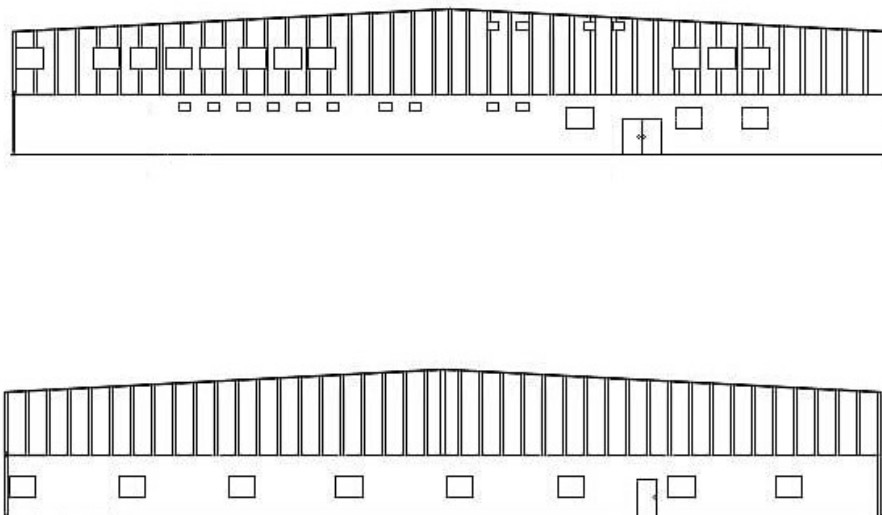


FIGURA 6.25: Cerramiento descrito en fachada, con una zona de hormigón y otra de panel sándwich.

6.5 Instalaciones. Ventilación natural y pluviales

Por último, las instalaciones para la correcta ventilación de la nave quedan definidas mediante extractores, colocados en los aseos, y en la zona de fabricación una ventilación industrial con un sistema esfera, para asegurar la correcta ventilación natural.

El sistema de ventilación serie esfera, se coloca en la cubierta de la nave industrial, canalizando el aire en espiral. Su geometría puede observarse en la siguiente imagen:



FIGURA 6.26: Sistema de ventilación de cubiertas, serie esfera

Las aguas acumuladas por la lluvia en la cubierta, serán recogidas mediante un sistema de red de pequeña evacuación de aguas pluviales. El dimensionado se basa en colocar sumideros cada 150 m², lo cual supone un total de 20 sumideros dispuestos a lo largo de la nave.

En cuanto a la iluminación natural, se dispondrá de lucernarios de placas traslúcidas a lo largo de todo el negocio, dispuestas como se detalla en la siguiente imagen.

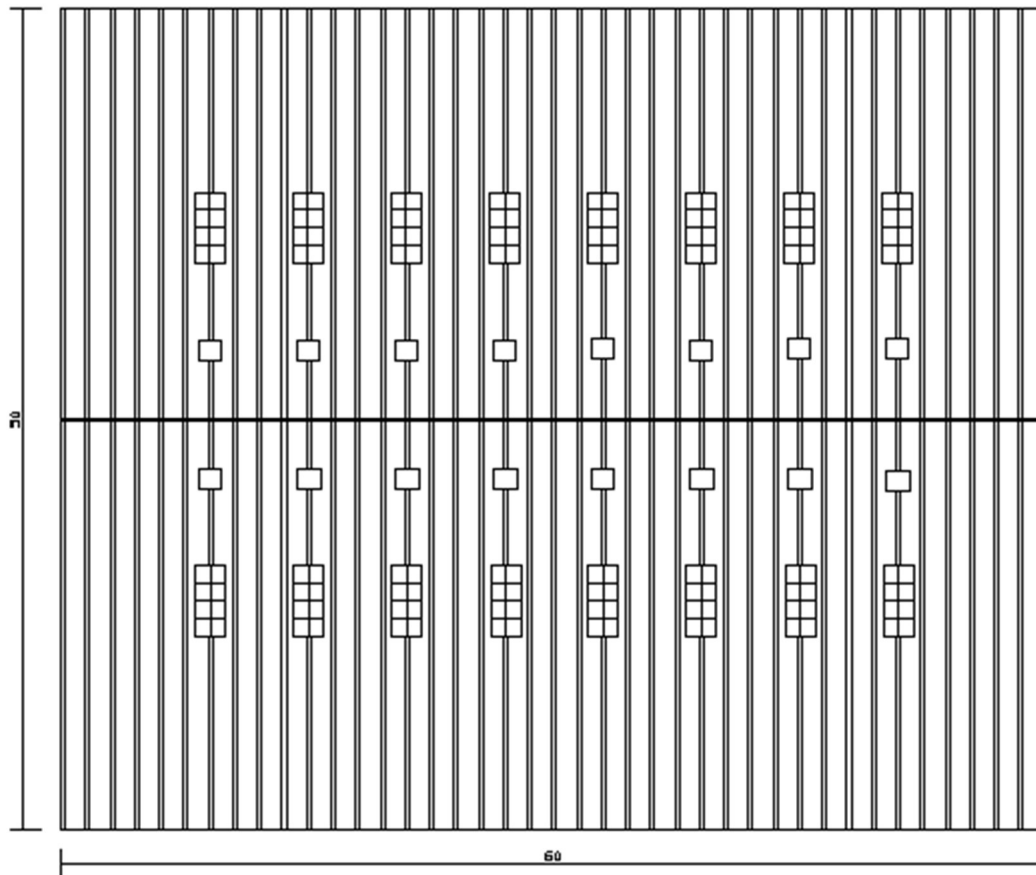


FIGURA 6.27: Plano de cubierta con distribución de lucernarios y sistema de extracción.

7. Resumen del presupuesto

Una vez descrita la solución constructiva adaptada a la nave industrial dedicada a la impresión gran formato, se procede a realizar el cálculo estimado del presupuesto que supone construir el negocio.

7.1 Capítulos del presupuesto

El presupuesto del proyecto se divide en una serie de capítulos que se detallan a continuación:

7.1.1 Acondicionamiento del terreno

Movimiento de tierras	51.164,94 €
Nivelación	74.700,00 €
TOTAL	125.864,94 €

7.1.2 Cimentación

Hormigón de limpieza	2.502,32 €
Zapatas	13.056,78 €
Vigas entre zapatas	7.008,79 €
TOTAL	22.567,89 €

7.1.3 Estructura

Perfil para pilares y jácenas de acero 275JR serie IPE	123.623,65 €
Perfil para tirantes de acero 275JR serie L	1.666,98 €
Perfil para montantes de acero 275JR serie SHS	1.011,40 €
Perfil para montantes de acero 275JR serie hueco cuadrado (#)	2.904,52 €
Placas de anclaje	2.520,55 €
TOTAL	131.727,10 €

7.1.4 Cerramientos

Fachada ligera	34.395,90 €
Fachada pesada	18.064,20 €
Cubierta	129.181,80 €
Correas en cubierta	840,00 €
Correas en laterales	130,80 €
TOTAL	182.612,70 €

7.1.5 Instalaciones de iluminación y ventilación. Carpintería metálica

Lucernarios en fachada	3.996,64 €
Lucernarios en cubierta	1.864,36 €
Ventilación en cubierta. Serie esfera	6.509,60 €
Carpintería metálica	14.183,69 €
TOTAL	26.554,29 €

7.1.6 Instalación de protección contra incendios

Extintores.	913,60 €
Bocas de incendio equipadas.	3.359,36 €
Depósito de agua para protección contra incendios.	2.231,11 €
Luces de emergencia	7.135,80 €
Señalización de emergencia	1.182,63 €
TOTAL	14.979,16 €

7.2 Presupuesto final del proyecto

El presente Presupuesto de Ejecución Material (PEM) asciende a la cantidad de **QUIÑIENTOS CUATRO MIL TRESCIENTOS SEIS EUROS CON OCHO CÉNTIMOS (504.306,08 €)**.

Presupuesto de Ejecución Material (PEM)	504.306,08 €
Gastos generales 13%	65.559,79 €
Beneficio industrial 6%	30.258,37 €
<u>Presupuesto de Ejecución por Contrata (PEC)</u>	<u>600.124,24 €</u>
IVA 21%	126.026,09 €
<u>Presupuesto Base de Licitación (PBL)</u>	<u>726.150,33 €</u>

El presente Presupuesto de Base de Licitación (PBL) asciende a la cantidad de **SETECIENTOS VEINTISEIS MIL CIENTOCINCUENTA EUROS CON TREINTA Y TRES CÉNTIMOS (726.150,33 €)**.

En la siguiente figura se puede observar la representación gráfica de la contribución económica de cada capítulo al presupuesto del proyecto.

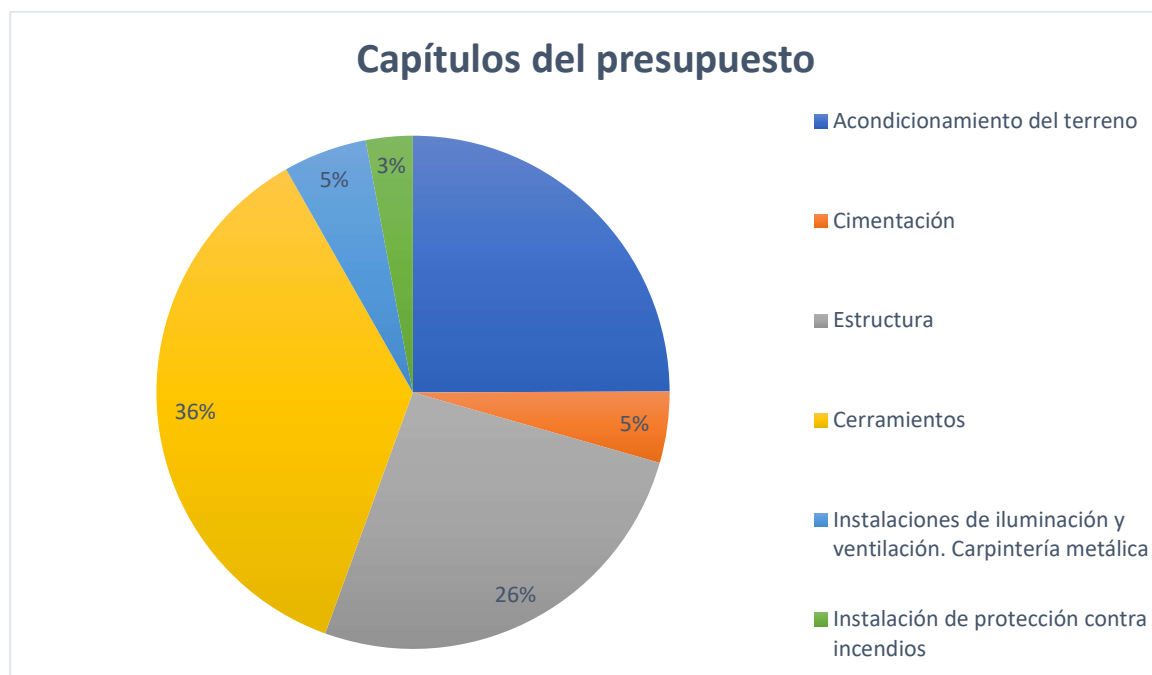


FIGURA 7.1 Contribución al presupuesto de cada capítulo.

Analizando el gráfico observamos visualmente los capítulos con dotes económicos mayores, que básicamente se basa en estructuras, cerramientos y acondicionamiento del terreno. A continuación se detalla la tabla de capítulos del presupuesto con su correspondiente porcentaje adecuado al presupuesto total.

Capítulo	Coste	Peso (%)
Acondicionamiento del terreno	125.864,94€	24,95%
Cimentaciones	22.567,89 €	4,48%
Estructuras	131.727,10 €	26,12%
Cerramientos	182.612,70 €	36,21%
Instalaciones de iluminación y ventilación. Carpintería metálica	26.554,29 €	5,27%
Instalación de protección contra incendios	14.979,16 €	2,97%

TABLA 7.1. Porcentajes de capítulos del presupuesto.

8. Bibliografía

8.1 Bibliografía correspondiente a figuras extraídas por la web:

FIGURA 3.1

TIENDA SOLVENTE. *Vinilo de corte para rotulación. Ritrama RI-Mark Premium.*

<https://tiendasolvente.com/vinilo-de-corte/vinilo-ritrama-premium.html> [Consulta: 15 julio de 2018]

FIGURA 3.2

LONAS Y VINILOS. *¿Qué es una lona publicitaria?* [Consulta: 20 julio de 2018]

<https://www.lonasyvinilos.com/blog/que-es-una-lona-publicitaria>

FIGURA 3.3

KROMATEK. *Impresión directa en plano UV-Led*

<http://kromatek.es/impresion-directa-en-materiales-rigidos/> [Consulta: 15 julio de 2018]

FIGURA 3.4

AVANCE Y TECNOLOGÍA. *Aplicaciones de la impresora UV de cama plana para materiales rígidos Roland® Versa UV® LEJ-640FT*

<<https://www.avanceytec.com.mx/equipos/impresora-uv-de-cama-plana-para-materiales-rigidos-roland-versauv-lej-640ft/>> [Consulta: 15 julio de 2018]

FIGURA 3.5

IMPRENTA ONLINE. *Vinilos ¿Cuál es el más adecuado para cada trabajo?*

<https://blog.imprensaonline24.es/vinilos-mas-adecuado-trabajo/> [Consulta: 15 julio de 2018]

FIGURA 3.6

VINILOS, PLANCHAS Y MÁS. *Vinilos de corte para rotulación*

<http://beta.vinilosplanchasymas.es/portfolio/vinilos-de-corte-para-rotulacion/> [Consulta: 15 julio de 2018]

FIGURA 3.7

CLICKPRINTING. *Productos. Vinilo de corte Oracal 631 mate.* <https://www.clickprinting.es/vinilos-adhesivos-vinilo-de-corte-oracal-631-mate> [Consulta: 15 julio de 2018]

FIGURA 3.8

CONFECCIONES SAYMI S.L. *Categorías productos: Accesorios Fijación Lonas. Metraje lona acrílica color crudo.*

<https://www.confeccionsaymi.es/METRAJE-LONA-ACRILICA-COLOR-CRUDO> [Consulta: 15 julio de 2018]

FIGURA 3.9

SABATÉ BARCELONA. *Cinco cosas que debe saber sobre la señalización textil.*

<https://www.sabatebarcelona.com/blog/cinco-cosas-que-debe-saber-sobre-la-senalizacion-textil-2/> [Consulta: 15 julio de 2018]

FIGURA 3.10

AVANCE Y TECNOLOGÍA. *Aplicaciones de impresora de sublimación de transferencia Texart™ RT-640 de Roland.*

[<https://www.avanceytec.com.mx/equipos/equipos-para-sublimacion/impresora-de-sublimacion-de-tinta-texart-roland-rt-640/>](https://www.avanceytec.com.mx/equipos/equipos-para-sublimacion/impresora-de-sublimacion-de-tinta-texart-roland-rt-640/) [Consulta: 15 julio de 2018]

FIGURA 3.12

LAFAYETTE DIGITEX. *Ventajas de la impresión UV Led.*

[<https://www.lafayettedigitex.com/blogs/impresores/ventajas-de-uv-led/>](https://www.lafayettedigitex.com/blogs/impresores/ventajas-de-uv-led/) [Consulta: 15 julio de 2018]

FIGURA 3.13

ROLAND. *Impresoras digitales de gran formato.*

<https://www.rolanddga.com/es/productos/impresoras> [Consulta: 15 julio de 2018]

FIGURA 3.14

MIMAKI. *Productos CJV150 Series.*

<http://www.mimaki.es/products/cjv-series-es/cjv150-series/> [Consulta: 15 julio de 2018]

FIGURA 3.15

CENTRAL DE MEDIOS. *Impresión en lonas*

<http://nasimpUBLICIDAD.com/lonas.html> [Consulta: 15 julio de 2018]

FIGURA 3.16

M2M TIENDA. *Maquinaria. Impresoras sublimación. Gran formato.*

<https://m2m.es/tienda/maquinaria/impresoras-sublimacion/textart-rt-640/?cn-reloaded=1>

[Consulta: 15 julio de 2018]

FIGURA 3.17

GRÁFICA. *¿Has oído hablar de la tinta látex?*

<https://graffica.info/has-oido-hablar-de-la-tinta-latex/> [Consulta: 15 julio de 2018]

FIGURA 6.26

FUTURVENT. *Ventilación industrial serie esfera.*

<http://www.ventilacion-industrial.com/ventilacion-industrial-sistema-esfera.html> [Consulta: 15 julio de 2018]

8.2 Bibliografía referida al cálculo estructural del proyecto.

DE FUENTES RUIZ, Álvaro (2011). *Manual imprescindible de Arquímedes y generador de precios de CYPE*. Madrid: Anaya

REYES DE RODRÍGUEZ, Manuel (2011). *Manual imprescindible de CYPE 2012: Cálculo de estructuras de hormigón con CYPECAD*. Madrid: Anaya

REYES DE RODRÍGUEZ, Manuel (2014). *CYPECAD 2014: Cálculo de estructuras de hormigón*. Madrid: Anaya

España. Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación (CTE), 17 de marzo de 2006.

España. RD486/1997: REAL DECRETO 486/1997, de 14 de abril, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud en los lugares de trabajo. 14 de abril de 1997. Nº 97 23-04-1997

Proyecto estructural de edificio industrial de 3000 m² ubicado en el Polígono Industrial Aeroport de Manises para impresión en gran formato, con una producción aproximada de 1.612.000 m²/año.



España. Real Decreto 2661/1998, La Instrucción Española del Hormigón Estructural (EHE), 11 de Diciembre de 1998.

ISO (2016). *Estandarización de los procesos de impresión digital*. ISO 15311.

2. ANEXOS

I. ANEXO DE NORMATIVA

1. Normativa urbanística Polígono Industrial Manises

Con el fin de ajustar la nave al emplazamiento escogido, se han tenido en cuenta diversos artículos de normativas urbanas que repercuten en el proyecto a la hora de incluir la nave en la parcela escogida.

Como se ha comentado anteriormente, la nave se encuentra situada en el polígono del Aeropuerto de la ciudad de Manises, Valencia. Se ha dado uso a 5 parcelas colindantes con el fin de cumplir con los requisitos necesarios para poder construir la nave, teniendo en cuenta la siguiente normativa:

- Normas urbanísticas del Polígono Industrial de la Cova, de las del Plan Parcial Mas de l'Oli y de las del sector Campo Arenal del municipio de Manises.

- Como expresa el artículo 40 la ocupación de la parcela debe ser menor del 70%, dato que comprobamos a continuación:

$$\text{Porcentaje ocupación parcela} = \frac{\text{SUP. NAVE}}{\text{SUP. PARCELA}} = \frac{3000 \text{ m}^2}{7183 \text{ m}^2} = 41,7\%$$

ECUACIÓN 1.1: Porcentaje ocupación de la parcela sobre la que se construye la nave industrial

El porcentaje de ocupación de la parcela es del 41,7%, por lo que se cumple la normativa ya que no supera el 70% establecido como el máximo.

- De acuerdo con el artículo 50, las plazas de aparcamiento para una construcción de uso no especificado o no acordado el número de operarios deberá construirse como mínimo 1 plaza de garaje por cada 150m² construidos.

$$\text{Plazas mínimas exigidas} = \frac{\text{Superficie construida}}{150} = 20$$

ECUACIÓN 1.2: Número de plazas mínimas según normativa urbanística del Polígono Industrial en Manises

Como se observa en la fórmula el número de plazas mínimas es 20, y el proyecto alberga un total de 30 plazas de garaje, siendo 4 de ellas adaptadas a minusválidos.

- Según el artículo 70 debe existir entre la construcción y la línea de fachada al menos 5 metros de distancia, que como podemos observar en la siguiente imagen se cumple:

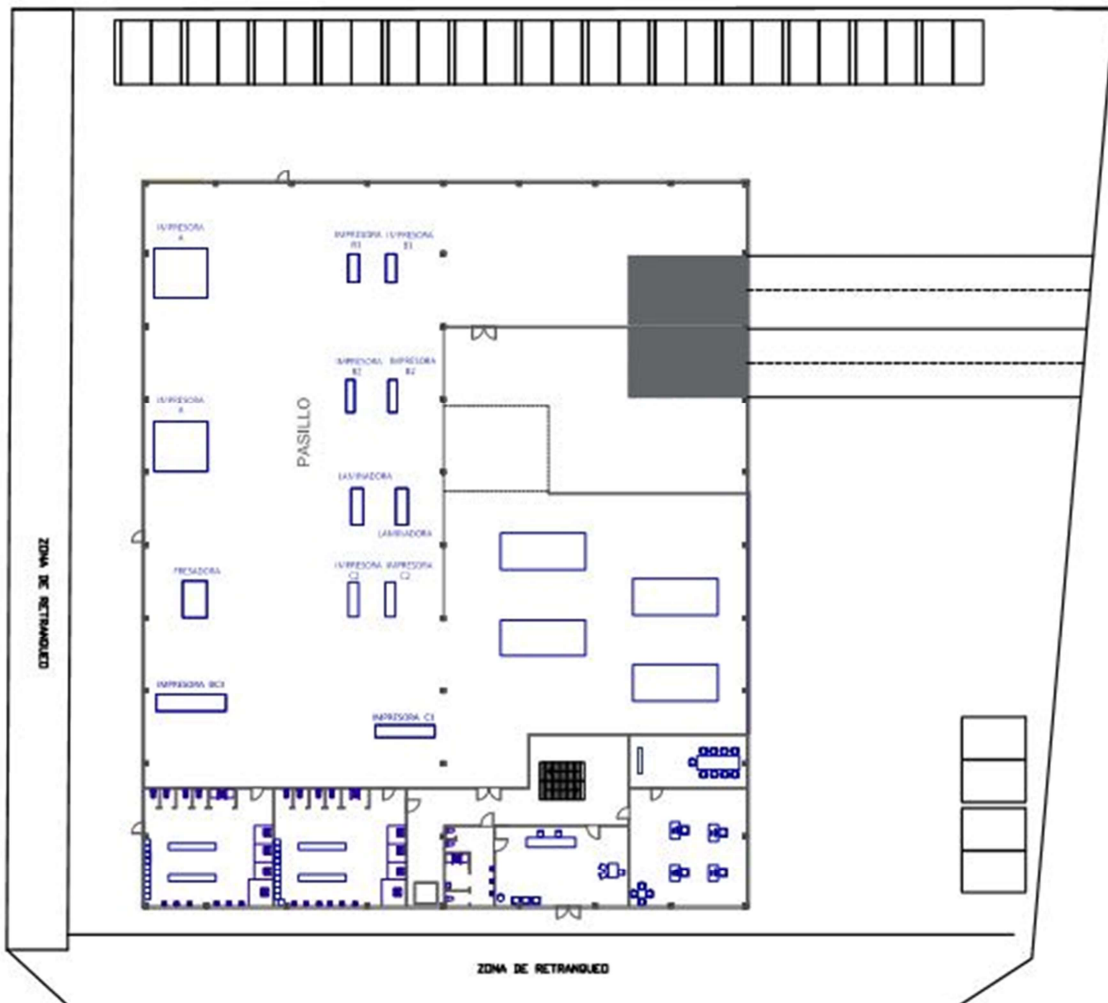


FIGURA 1.1: Plano de parcela con distancia de retranqueo de 5m señalada en las zonas que pueda crear confusión por distancia.

-El artículo 82 alude a las condiciones higiénicas mínimas exigidas para adecuar la fábrica, siendo como mínimo un aseo y dos vestuarios de 1,5m² por cada operario o 6m² como mínimo.

Como se observa en la figura anterior, la nave contiene 4 aseos separados por planta y género, y dos vestuarios separados por género. Cada vestuario ocupa una superficie de 105m².

$$\text{Operarios según superficie aseos} = \frac{\text{Superficie aseos} \times 2}{\text{Superficie exigida por operario}} = 210 / 1,5 = 140$$

ECUACIÓN 1.3: Capacidad de operarios que alberga la nave industrial según normativa del Polígono Industrial de Manises.

Se prevé el cumplimiento de la normativa al tener en cuenta que no se necesitaran más de 30 trabajadores, el cual no supera con el total de 140 trabajadores que albergaría la norma.

II. ANEXO DE CÁLCULO



Contenido

Contenido	1
1. Modelo estructural	2
2. Materiales	2
2.1 Acero	2
2.2 Hormigón	3
3. Acciones sobre el edificio	3
3.1 Acciones permanentes	3
3.2 Acciones variables	4
3.2.1 Sobrecarga de uso	4
3.2.2 Nieve	5
3.2.3 Viento	5
3.3 Acciones accidentales	6
4. Estructura	6
4.1 Pórtico interior	6
4.2 Pórtico de fachada	9
4.3 Sistema de arriostramiento	11
4.3.1 Viga contraviento	11
4.3.2 Arriostramiento lateral	12
4.4 Altillo	13
4.5 Correas	14
4.5.1 Correas de cubierta	14
4.5.2 Correas de laterales	15
4.6 Placas de anclaje	16
5. Cimentaciones	17

1. Modelo estructural

La geometría del modelo estructural ha sido calculada a través del software informático CYPE 2018. Dicho modelo ha sido planteado como dos naves simétricas a un agua, utilizando una idealización de barras y nudos perfectos, sometidos a cargas variables y permanentes.

Cada barra, dependiendo de su utilidad, tiene un perfil diferente, siendo establecidos a través de repetitivas iteraciones de cálculo donde la extensión del programa CYPE 3D expone los errores que contiene la estructura. Toda iteración se basa en un punto de partida cercano, siendo escogidos como perfil de partida el que nos proporciona el cálculo de la longitud de pandeo que puedan provocar. El perfil escogido es el menor que cumple frente a resistencia y pandeo, siguiendo un criterio económico.

Como comienzo para diseñar la estructura, se ha optado por utilizar el programa Generador de Pórticos, otra extensión de CYPE que facilita la inserción de un pórtico interior, de una forma sencilla.

Finalmente, para calcular el presupuesto de todo el material empleado, se ha dado uso a la extensión Arquímedes, que permite importar los materiales empleados en el diseño de la nave y valorar la repercusión económica.

2. Materiales

Los materiales utilizados para crear la nave provienen de dos grandes grupos: Hormigón y acero.

2.1 Acero

El acero empleado es de los siguientes tipos:

-S275: Acero estructural laminado empleado en construcción de naves, edificios, etc. En el caso del proyecto actual se utiliza para perfiles de pilares, jácenas, correas y sistemas de arriostramiento.

Los perfiles nombrados en el apartado 6 que contienen acero S275 se detallan a continuación:

·IPE 120: Empleado para las correas laterales.

·IPE 180: Utilizado como viga perimetral para unir los pórticos interiores a lo largo de la estructura.

·IPE 240: Utilizado como jácena del pórtico de fachada.

·IPE 270: Utilizado como pilares exteriores en pórticos de fachada.

·IPE 300: Utilizado como pilares interiores de pórtico de fachada y en pilares de pórticos interiores.

·IPE 330: Utilizado como pilares en pórticos interiores con carga de altillo.

·IPE 450: Utilizado como pilares de sujeción del altillo.

·IPE 550: Utilizado como jácena en pórticos interiores.

·HC120: Utilizado como montante para viga contraviento en cubierta

·L80x80: Uso como tirante en sistema de arriostramiento de pórticos de fachada, así como en vigas

contraviento en cubierta.

·L100x100: Uso como tirante en Cruz de San Andrés.

·SHS100x3: Utilizado como montante en el sistema de arriostramiento del pórtico de fachada.

·S235: Acero estructural utilizado en correas. En este caso, el único perfil empleado para dicho acero es el de las correas en cubiertas con un perfil CF 180x3

La norma que rige ambos productos laminados en caliente es la norma UNE EN 10025, y los perfiles se aplican bajo el CTE DB-A

2.2 Hormigón

Por otra parte, este material se rige bajo la normativa EHE, y básicamente, se emplea en la estructura para la cimentación. También se da uso como hormigón de limpieza, y como cerramiento de la estructura desde la base hasta una altura de 3m.

Se distinguen tres tipos de hormigón según la función que desempeñan:

- HL-150/P/20 : Hormigón de limpieza empleado en la base de la cimentación, bajo un espesor de 10cm.
- HA-25/B/20/IIb : Hormigón armado, utilizado en vigas de atado, zapatas y solera.
- Hormigón prefabricado: Bloques de hormigón a medida, para colocar en cerramientos de la nave.

Para el hormigón HA-25/B/20/IIb se emplean varillas de acero B500S, que se encuentran reguladas bajo la norma EHE, ya que son de uso exclusivo para el hormigón armado.

3. Acciones sobre el edificio

Para poder estimar cálculos sobre la estructura en función de las situaciones que se puedan prever, se ha estimado una serie de acciones sobre la nave en función de la zona geográfica y el tipo de estructura y actividad. Podemos clasificarla según su frecuencia y gravedad en permanentes, variables y accidentales.

3.1 Acciones permanentes

Son aquellas acciones que siempre se encuentran actuando sobre la estructura sin variar de posición. La magnitud, sin embargo, no tiene por qué ser siempre constante.

En caso de tratarse del peso propio, es decir, peso al que se encuentra sometida la estructura por su mismo material de construcción, la carga será permanente. Si hablamos de cargas reológicas, existen variaciones en la magnitud, pero no en gran cantidad.

PESO PROPIO	MAGNITUD (kN/m ²)
Cerramiento	0,15
Estructura	0,25
TOTAL	0,40

TABLA 3.1 Cargas de peso propio aplicadas a la nave de uso industrial. Fuente: Propia

Peso propio de la estructura = $Luz \div 100 = 25 \div 100 = 0,25$

Como se observa en la figura anterior, para la nave descrita el peso propio que soportará la nave descrita tiene una magnitud de 0,40kN/m².

3.2 Acciones variables

Las acciones consideradas como variables son aquellas que pueden actuar o no sobre la estructura, y en caso de hacerlo, su magnitud varía. Las acciones pueden deberse a sobrecargas de uso o acciones climáticas.

3.2.1 Sobrecarga de uso

La sobrecarga de uso proviene de toda aquella carga que pueda soportar la estructura en su conjunto, según el uso al que se encuentre destinado.

Por ello según la tabla citada en el CTE DB SE-AE y expresada a continuación, la sobrecarga de uso que pueda existir en cubierta de una nave industrial, es decir, ningún uso más que el de conservación es del valor 0,4 kN/m².

Tabla 3.1. Valores característicos de las sobrecargas de uso q_k Q_k

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⁾⁽⁵⁾	2
		G2 Cubiertas ligeras sobre correas (sin forjado) ⁽⁵⁾	0,4 ⁽⁴⁾	1
		G2 Cubiertas con inclinación superior a 40°	0	2

Tabla 3.2: Categoría de uso para la cubierta de la nave industrial. Fuente: Apuntes Tecnología de Construcción

3.2.2 Nieve

Las acciones de la nieve son protagonizadas por el clima de la zona donde se ha escogido la implantación de la estructura. En el caso de la parcela escogida para realizar la nave industrial, las características del clima de la zona son los siguientes:

- Zona climática invernal: 5
- Altitud topográfica: 52m
- Cubierta sin resaltos
- Exposición al viento: normal

Tal y como indica la norma, se deben considerar tres hipótesis de carga de nieve, bajo una carga de 0,2 kN/m² (valor característico de la carga de nieve en la Comunidad Valenciana)

La primera hipótesis se basa en la carga de nieve en un estado inicial, donde cada faldón de la cubierta soporta la misma carga, es decir, el 100%.

La segunda y tercera hipótesis basan las acciones en la redistribución de la nieve, mientras un faldón soporta el 100% de la carga, el otro solo sostiene el 50% de la carga, y viceversa.

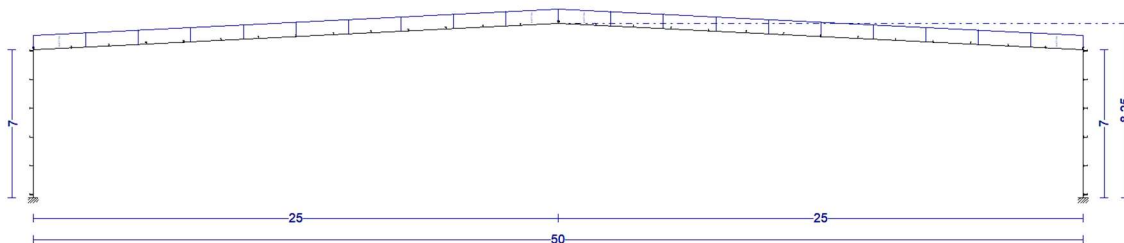


FIGURA 3.1: Carga de nieve para la primera hipótesis, sobre pórtico interior de la nave descrita.

Fuente: CYPE Generación de pórticos.

3.2.3 Viento

La acción del viento es más común en la zona climática escogida, y más compleja, debido a la variedad de orientaciones que tiene y, por lo tanto, las zonas donde puede afectar a la estructura.

Para calcular la carga de la acción es necesario conocer las siguientes características:

- Zona eólica: B
- Grado de aspereza: IV
- Periodo de servicio: 50 años
- Profundidad de la nave industrial: 60m

Existencia de huecos: No

En cuanto a las hipótesis de carga sobre las acciones de viento, han sido consideradas las siguientes:

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

3.3 Acciones accidentales

En el caso de la actividad de la nave y de la zona climática, dada la insignificante probabilidad de ocurrir un suceso accidental y del coste que supondría dotar la estructura a fin de evitar cualquiera de estas acciones, no se consideran en los cálculos las hipótesis sobre acciones accidentales.

4. Estructura

Como se ha mencionado anteriormente, la estructura ha sido diseñada y calculada a través del programa CYPE. A continuación, se expondrán para cada conjunto de la estructura las comprobaciones que se han realizado en el software sobre pilares, jácenas, vigas y sistemas de arriostramiento.

4.1 Pórtico interior

Se dispone de 8 pórticos interiores, de los cuales 6 son simétricos, mientras que los dos que contienen el altillo varían su resistencia, con lo cual el perfil de sus pilares aumenta.

Para comprobar el correcto funcionamiento de la estructura se ha realizado las comprobaciones de los dos tipos de pórticos interiores que contiene la nave.

Para el pórtico interior tipo, como se puede observar en la siguiente imagen, el pilar con un IPE 270 se expresa en los cálculos como la barra dividida en dos por los nudos N36 al N102 y N102 al N37.

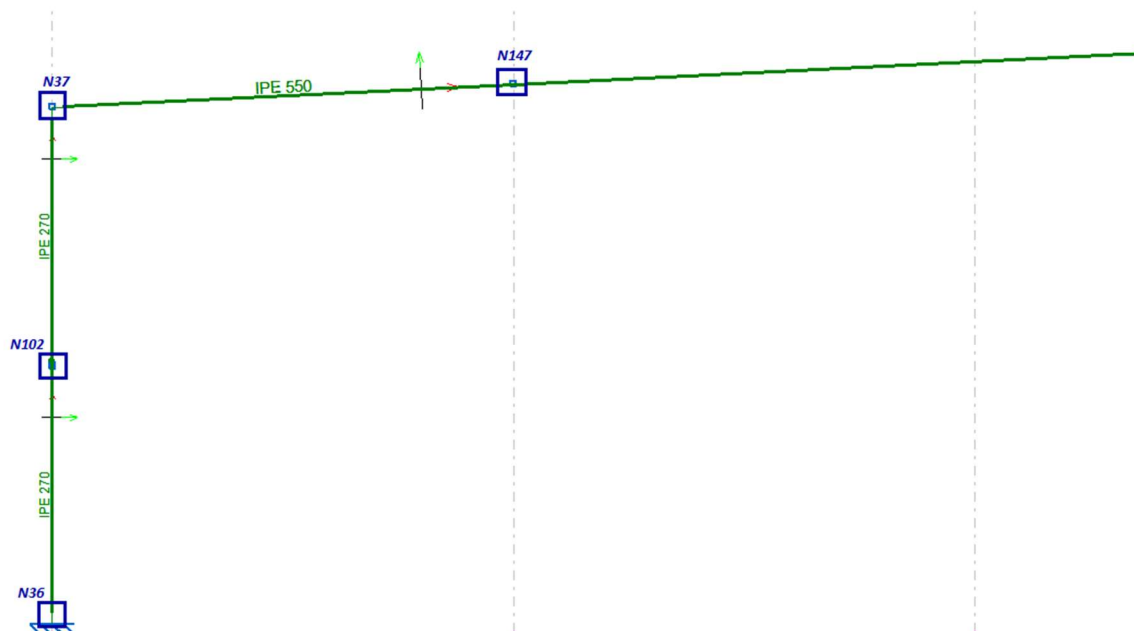


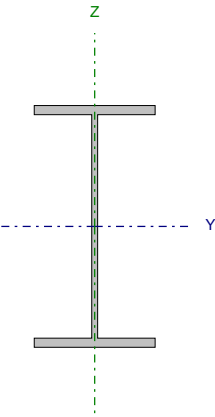
FIGURA 4.1: Pórtico interior con marcas y numeración en los nudos. Fuente: CYPE3D 2018

El resto de los pilares coinciden con el expuesto.

La jácena con un perfil IPE 550, se expresa como ejemplo de cálculo con la barra que sigue desde el nudo N37 al N147.

·Cálculos comprobación E.L.U (Estado Límite Último):

Barra N102/N37

Perfil: IPE 270		Material: Acero (S275)						
		Nudos		Longitud (m)	Características mecánicas			
		Inicial	Final		Área (cm ²)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _z ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)
		N102	N37	3.500	45.90	5790.00	420.00	15.90
Notas: ⁽¹⁾ Inercia respecto al eje indicado ⁽²⁾ Momento de inercia a torsión uniforme								
		Pandeo			Pandeo lateral			
		Plano XY		Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.		
		β	0.70	2.80	0.00	0.00		
		L _k	2.450	9.800	0.000	0.000		
		C _m	1.000	0.900	1.000	1.000		
		C ₁	-			1.000		
Notación: b: Coeficiente de pandeo L _k : Longitud de pandeo (m) C _m : Coeficiente de momentos C ₁ : Factor de modificación para el momento crítico								

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)														Estado	
	$\bar{\lambda}$	λ_w	N _t	N _c	M _y	M _z	V _z	V _y	M _y V _z	M _z V _y	NM,M _z	NM,M _y V _z	M _t	M _t V _z		M _t V _y
N102/N37	$\bar{\lambda} < 2.0$ Cumple	$\lambda_w \leq \lambda_{w,max}$ Cumple	x: 3.5 m $\eta = 1.6$	x: 0 m $\eta = 9.4$	x: 3.5 m $\eta = 61.1$	x: 3.5 m $\eta = 0.8$	x: 3.5 m $\eta = 6.0$	$\eta < 0.1$	$\eta < 0.1$	$\eta < 0.1$	x: 3.5 m $\eta = 66.5$	$\eta < 0.1$	M _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	N.P. ⁽²⁾	N.P. ⁽²⁾	CUMPLE h = 66.5
Notación: 1: Limitación de esbeltez I _w : Abolladura del alma inducida por el ala comprimida N _t : Resistencia a tracción N _c : Resistencia a compresión M _y : Resistencia a flexión eje Y M _z : Resistencia a flexión eje Z V _z : Resistencia a corte Z V _y : Resistencia a corte Y M _y V _z : Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados M _z V _y : Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados NM,M _z : Resistencia a flexión y axil combinados NM,M _y V _z : Resistencia a flexión, axil y cortante combinados M _t : Resistencia a torsión M _t V _z : Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados M _t V _y : Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados x: Distancia al origen de la barra h: Coeficiente de aprovechamiento (%) N.P.: No procede																
Comprobaciones que no proceden (N.P.): ⁽¹⁾ La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor. ⁽²⁾ No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.																

Producido por una versión no profesional de BYPE

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.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$\bar{\lambda} : \underline{1.01}$ ✓

Donde:

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

Clase : 2

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

A : 45.90 cm²

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

f_y : 275.00 MPa

N_{cr} : Axil crítico de pandeo elástico.

N_{cr} : 1249.53 kN

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

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

$N_{cr,y}$: 1249.53 kN

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{ky}^2}$$

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

$N_{cr,z}$: 1450.23 kN

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{kz}^2}$$

c) Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

$N_{cr,T}$: ∞

$$N_{cr,T} = \frac{1}{i_0^2} \cdot \left[G \cdot I_t + \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_w}{L_{kt}^2} \right]$$

Donde:

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

I_y : 5790.00 cm⁴

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

I_z : 420.00 cm⁴

I_t : Momento de inercia a torsión uniforme.

I_t : 15.90 cm⁴

I_w : Constante de alabeo de la sección.

I_w : 70600.00 cm⁶

E: Módulo de elasticidad.

E : 210000 MPa

G: Módulo de elasticidad transversal.

G : 81000 MPa

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

L_{ky} : 9.800 m

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

L_{kz} : 2.450 m

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

L_{kt} : 0.000 m

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

i_0 : 11.63 cm

$$i_0 = (i_y^2 + i_z^2 + y_0^2 + z_0^2)^{0.5}$$

Siendo:

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

i_y : 11.23 cm

i_z : 3.02 cm

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

y_0 : 0.00 mm

z_0 : 0.00 mm

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

Se debe satisfacer:

$$\frac{h_w}{t_w} \leq k \frac{E}{f_{yf}} \sqrt{\frac{A_w}{A_{fc,ef}}}$$

37.82 ≤ 250.57 ✓

Donde:

h_w : Altura del alma.	h_w :	<u>249.60</u>	mm
t_w : Espesor del alma.	t_w :	<u>6.60</u>	mm
A_w : Área del alma.	A_w :	<u>16.47</u>	cm ²
$A_{fc,ef}$: Área reducida del ala comprimida.	$A_{fc,ef}$:	<u>13.77</u>	cm ²
k : Coeficiente que depende de la clase de la sección.	k :	<u>0.30</u>	
E : Módulo de elasticidad.	E :	<u>210000</u>	MPa
f_{yf} : Límite elástico del acero del ala comprimida.	f_{yf} :	<u>275.00</u>	MPa
Siendo:			
$f_{yf} = f_y$			

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

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1$$

η : 0.016 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N37, para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(0°)H2.

$N_{t,Ed}$: Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo. $N_{t,Ed}$: 19.48 kN

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

$N_{t,Rd} = A \cdot f_{yd}$ $N_{t,Rd}$: 1202.14 kN

Donde:

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

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

$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$

Siendo:

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

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

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

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1$$

η : 0.060 ✓

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1$$

η : 0.094 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N102, para la combinación de acciones 1.35·PP+0.9·V(180°)H1+1.5·N(R)2.

$N_{c,Ed}$: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo. $N_{c,Ed}$: 72.16 kN

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

$$N_{c,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

$$N_{c,Rd} : \underline{1202.14} \text{ kN}$$

Donde:

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

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

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

$$A : \underline{45.90} \text{ cm}^2$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

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

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

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

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

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

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

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

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

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot A \cdot f_{yd}$$

$$N_{b,Rd} : \underline{769.34} \text{ kN}$$

Donde:

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

$$A : \underline{45.90} \text{ cm}^2$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

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

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$$

Siendo:

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

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

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

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

χ : Coeficiente de reducción por pandeo.

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - (\bar{\lambda})^2}} \leq 1$$

$$C_y : \underline{0.66}$$

$$C_z : \underline{0.64}$$

Siendo:

$$\Phi = 0.5 \cdot \left[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0.2) + (\bar{\lambda})^2 \right]$$

$$f_y : \underline{1.09}$$

$$f_z : \underline{1.06}$$

α : Coeficiente de imperfección elástica.

$$a_y : \underline{0.21}$$

$$a_z : \underline{0.34}$$

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

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$$\bar{\lambda}_y : \underline{1.01}$$

$$\bar{\lambda}_z : \underline{0.93}$$

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

$$N_{cr} : \underline{1249.53} \text{ kN}$$

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

$$N_{cr,y} : \underline{1249.53} \text{ kN}$$

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

$$N_{cr,z} : \underline{1450.23} \text{ kN}$$

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

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

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

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.611} \quad \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N37, para la combinación de acciones 1.35·PP+0.9·V(180°)H1+1.5·N(R)2.

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

$$M_{Ed}^+ : \underline{77.40} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N37, para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(0°)H2.

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

$$M_{Ed}^- : \underline{6.69} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

$$M_{c,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_{yd}$$

$$M_{c,Rd} : \underline{126.76} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

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

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

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

$$W_{pl,y} : \underline{484.00} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

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

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

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

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

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

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

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

No procede, dado que las longitudes de pandeo lateral son nulas.

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

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.008} \quad \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N37, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.05·Q1(C)+1.5·V(270°)H2+0.75·N(R)2.

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

$$M_{Ed}^+ : \underline{0.19} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N37, para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(90°)H2+0.75·N(R)1.

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

$$M_{Ed}^- : \underline{0.19} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

$$M_{c,Rd} = W_{pl,z} \cdot f_{yd}$$

$$M_{c,Rd} : \underline{25.40} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

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

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

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

$$W_{pl,z} : \underline{97.00} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

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

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

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

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

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

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

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

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.060} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N37, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·V(0°)H1+0.75·N(R)2.

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

$$V_{Ed} : \underline{19.94} \text{ kN}$$

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

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

$$V_{c,Rd} : \underline{334.07} \text{ kN}$$

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

$$A_v : \underline{22.09} \text{ cm}^2$$

$$A_v = h \cdot t_w$$

Siendo:

h: Canto de la sección.

$$h : \underline{270.00} \text{ mm}$$

t_w : Espesor del alma.

$$t_w : \underline{6.60} \text{ mm}$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

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

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

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

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

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

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

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

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

$$\frac{d}{t_w} < 70 \cdot \varepsilon$$

$$33.27 < 64.71 \quad \checkmark$$

Donde:

l_w : Esbeltez del alma.

$$l_w : \underline{33.27}$$

$$\lambda_w = \frac{d}{t_w}$$

l_{\max} : Esbeltez máxima.

$$l_{\max} : \underline{64.71}$$

$$\lambda_{\max} = 70 \cdot \varepsilon$$

e: Factor de reducción.

$$e : \underline{0.92}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{ref}}{f_y}}$$

Siendo:

f_{ref} : Límite elástico de referencia.

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

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

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

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

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

$$h < \underline{0.001} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·V(0°)H2+0.75·N(R)2.

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

$$V_{Ed} : \underline{0.08} \text{ kN}$$

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

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

$$V_{c,Rd} : \underline{444.96} \text{ kN}$$

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

$$A_v : \underline{29.43} \text{ cm}^2$$

$$A_v = A - d \cdot t_w$$

Siendo:

A: Área de la sección bruta.

$$A : \underline{45.90} \text{ cm}^2$$

d: Altura del alma.

$$d : \underline{249.60} \text{ mm}$$

t_w : Espesor del alma.

$$t_w : \underline{6.60} \text{ mm}$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

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

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

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

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

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

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

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

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

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

$$17.78 \text{ kN} \leq 167.04 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 1.35·PP+0.9·V(180°)H1+1.5·N(R)2.

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

$$V_{Ed} : \underline{17.78} \text{ kN}$$

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

$$V_{c,Rd} : \underline{334.07} \text{ kN}$$

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

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

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

$$0.08 \text{ kN} \leq 222.48 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·V(0°)H2+0.75·N(R)2.

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

$$V_{Ed} : \underline{0.08} \text{ kN}$$

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

$$V_{c,Rd} : \underline{444.96} \text{ kN}$$

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

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} \leq 1 \quad h : \underline{0.665} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot A \cdot f_{yd}} + k_y \cdot \frac{C_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + \alpha_z \cdot k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1 \quad h : \underline{0.665} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot A \cdot f_{yd}} + \alpha_y \cdot k_y \cdot \frac{C_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1 \quad h : \underline{0.435} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N37, para la combinación de acciones 1.35·PP+0.9·V(180°)H1+1.5·N(R)2.

Donde:

$N_{c,Ed}$: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo. $N_{c,Ed} : \underline{62.76} \text{ kN}$
 $M_{y,Ed}$, $M_{z,Ed}$: Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente. $M_{y,Ed}^+ : \underline{77.40} \text{ kN}\cdot\text{m}$
 $M_{z,Ed}^- : \underline{0.06} \text{ kN}\cdot\text{m}$

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de sus elementos planos, para axil y flexión simple. Clase : 1

$N_{pl,Rd}$: Resistencia a compresión de la sección bruta. $N_{pl,Rd} : \underline{1202.14} \text{ kN}$

$M_{pl,Rd,y}$, $M_{pl,Rd,z}$: Resistencia a flexión de la sección bruta en condiciones plásticas, respecto a los ejes Y y Z, respectivamente. $M_{pl,Rd,y} : \underline{126.76} \text{ kN}\cdot\text{m}$
 $M_{pl,Rd,z} : \underline{25.40} \text{ kN}\cdot\text{m}$

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

A: Área de la sección bruta. $A : \underline{45.90} \text{ cm}^2$

$W_{pl,y}$, $W_{pl,z}$: Módulos resistentes plásticos correspondientes a la fibra comprimida, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente. $W_{pl,y} : \underline{484.00} \text{ cm}^3$
 $W_{pl,z} : \underline{97.00} \text{ cm}^3$

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

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$$

Siendo:

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

γ_{M1} : Coeficiente parcial de seguridad del material. $\gamma_{M1} : \underline{1.05}$

k_y , k_z : Coeficientes de interacción.

$$k_y = 1 + (\bar{\lambda}_y - 0.2) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot N_{c,Rd}} \quad k_y : \underline{1.06}$$

$$k_z = 1 + (2 \cdot \bar{\lambda}_z - 0.6) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot N_{c,Rd}} \quad k_z : \underline{1.10}$$

$C_{m,y}$, $C_{m,z}$: Factores de momento flector uniforme equivalente. $C_{m,y} : \underline{0.90}$
 $C_{m,z} : \underline{1.00}$

c_y , c_z : Coeficientes de reducción por pandeo, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente. $c_y : \underline{0.66}$
 $c_z : \underline{0.64}$

$\bar{\lambda}_y$, $\bar{\lambda}_z$: Esbelteces reducidas con valores no mayores que 1.00, en relación a los ejes Y y Z, respectivamente. $\bar{\lambda}_y : \underline{1.01}$
 $\bar{\lambda}_z : \underline{0.93}$

a_y , a_z : Factores dependientes de la clase de la sección. $a_y : \underline{0.60}$
 $a_z : \underline{0.60}$

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

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

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 0.9 \cdot V(180^\circ)H1 + 1.5 \cdot N(R)2$.

$$V_{Ed,z} \leq \frac{V_{c,Rd,z}}{2}$$

$$17.78 \text{ kN} \leq 167.04 \text{ kN}$$



Donde:

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

$$V_{Ed,z} : \frac{17.78}{\quad} \text{ kN}$$

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

$$V_{c,Rd,z} : \frac{334.07}{\quad} \text{ kN}$$

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

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

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

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

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

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

Barra N37/N147

Perfil: IPE 550 Material: Acero (S275)							
	Nudos		Longitud (m)	Características mecánicas			
	Inicial	Final		Área (cm ²)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _z ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)
	N37	N147	6.258	134.00	67120.00	2668.00	123.00
	Notas: (¹) Inercia respecto al eje indicado (²) Momento de inercia a torsión uniforme						
				Pandeo		Pandeo lateral	
				Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.
	β	0.00		4.00		0.00	
	L _k	0.000		25.000		0.000	
	C _m	1.000		0.900		1.000	
	C ₁			-		1.000	
Notación: b: Coeficiente de pandeo L _k : Longitud de pandeo (m) C _m : Coeficiente de momentos C ₁ : Factor de modificación para el momento crítico							

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)															Estado
	$\bar{\lambda}$	λ_w	N _t	N _c	M _y	M _z	V _z	V _y	M _y V _z	M _z V _y	NM _y M _z	NM _y M _z V _z	M _t	M _y V _z	M _z V _y	
N37/N147	$\bar{\lambda} < 2.0$ Cumple	$\lambda_w \leq \lambda_{w,max}$ Cumple	x: 6.258 m η = 0.3	x: 0 m η = 1.7	x: 6.258 m η = 27.5	x: 6.258 m η = 0.1	x: 0 m η = 5.8	η < 0.1	η < 0.1	η < 0.1	x: 6.258 m η = 27.9	η < 0.1	η = 0.2	x: 0 m η = 5.8	η < 0.1	CUMPLE h = 27.9
Notación: I.: Limitación de esbeltez I.: Abolladura del alma inducida por el ala comprimida N.: Resistencia a tracción N.: Resistencia a compresión M _y : Resistencia a flexión eje Y M _z : Resistencia a flexión eje Z V _z : Resistencia a corte Z V _y : Resistencia a corte Y M _y V _z : Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados M _z V _y : Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados NM _y M _z : Resistencia a flexión y axil combinados NM _y M _z V _z : Resistencia a flexión, axil y cortante combinados M _t : Resistencia a torsión M _y V _z : Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados M _z V _y : Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados x: Distancia al origen de la barra h: Coeficiente de aprovechamiento (%)																

Producido por una versión no profesional de EYPE

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.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A_{ef} \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$\bar{\lambda} : \underline{\quad 1.22 \quad}$ ✓

Donde:

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

Clase : 4

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

$A_{ef} : \underline{125.98} \text{ cm}^2$

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

$f_y : \underline{265.00} \text{ MPa}$

N_{cr} : Axil crítico de pandeo elástico.

$N_{cr} : \underline{2225.82} \text{ kN}$

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

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

$N_{cr,y} : \underline{2225.82} \text{ kN}$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{ky}^2}$$

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

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

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{kz}^2}$$

c) Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

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

$$N_{cr,T} = \frac{1}{i_0^2} \cdot \left[G \cdot I_t + \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_w}{L_{kt}^2} \right]$$

Donde:

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

$I_y : \underline{67120.00} \text{ cm}^4$

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

$I_z : \underline{2668.00} \text{ cm}^4$

I_t : Momento de inercia a torsión uniforme.

$I_t : \underline{123.00} \text{ cm}^4$

I_w : Constante de alabeo de la sección.

$I_w : \underline{1884000.00} \text{ cm}^6$

E: Módulo de elasticidad.

$E : \underline{210000} \text{ MPa}$

G: Módulo de elasticidad transversal.

$G : \underline{81000} \text{ MPa}$

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

$L_{ky} : \underline{25.000} \text{ m}$

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.

$i_0 : \underline{22.82} \text{ cm}$

$$i_0 = (i_y^2 + i_z^2 + y_0^2 + z_0^2)^{0.5}$$

Siendo:

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

$i_y : \underline{22.38} \text{ cm}$

$i_z : \underline{4.46} \text{ cm}$

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.

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

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

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

Se debe satisfacer:

$$\frac{h_w}{t_w} \leq k \frac{E}{f_{yf}} \sqrt{\frac{A_w}{A_{fc,ef}}}$$

46.45 ≤ 299.25 ✓

Donde:

h_w : Altura del alma.	h_w :	<u>515.60</u>	mm
t_w : Espesor del alma.	t_w :	<u>11.10</u>	mm
A_w : Área del alma.	A_w :	<u>57.23</u>	cm ²
$A_{fc,ef}$: Área reducida del ala comprimida.	$A_{fc,ef}$:	<u>36.12</u>	cm ²
k : Coeficiente que depende de la clase de la sección.	k :	<u>0.30</u>	
E : Módulo de elasticidad.	E :	<u>210000</u>	MPa
f_{yf} : Límite elástico del acero del ala comprimida.	f_{yf} :	<u>265.00</u>	MPa
Siendo:			
$f_{yf} = f_y$			

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

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1$$

η : 0.003 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N147, para la combinación de acciones 0.8·PP+1.05·Q1(C)+1.5·V(270°)H2.

$N_{t,Ed}$: Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo. $N_{t,Ed}$: 8.92 kN

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

$N_{t,Rd} = A \cdot f_{yd}$ $N_{t,Rd}$: 3381.90 kN

Donde:

A : Área bruta de la sección transversal de la barra. A : 134.00 cm²

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

$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$

Siendo:

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

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

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

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1$$

η : 0.008 ✓

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1$$

η : 0.017 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N37, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·V(0°)H1+0.75·N(R)2.

$N_{c,Ed}$: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo. $N_{c,Ed}$: 27.00 kN

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

$$N_{c,Rd} = A_{ef} \cdot f_{yd}$$

$$N_{c,Rd} : \underline{3179.39} \text{ kN}$$

Donde:

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

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

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

$$A_{ef} : \underline{125.98} \text{ cm}^2$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{252.38} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

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

$$f_y : \underline{265.00} \text{ MPa}$$

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

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

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

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

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot A_{ef} \cdot f_{yd}$$

$$N_{b,Rd} : \underline{1636.19} \text{ kN}$$

Donde:

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

$$A_{ef} : \underline{125.98} \text{ cm}^2$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{252.38} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$$

Siendo:

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

$$f_y : \underline{265.00} \text{ MPa}$$

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

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

χ : Coeficiente de reducción por pandeo.

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - (\bar{\lambda})^2}} \leq 1$$

$$C_y : \underline{0.51}$$

Siendo:

$$\Phi = 0.5 \cdot \left[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0.2) + (\bar{\lambda})^2 \right]$$

$$f_y : \underline{1.36}$$

α : Coeficiente de imperfección elástica.

$$a_y : \underline{0.21}$$

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

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A_{ef} \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$$\bar{\lambda}_y : \underline{1.22}$$

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

$$N_{cr} : \underline{2225.82} \text{ kN}$$

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

$$N_{cr,y} : \underline{2225.82} \text{ kN}$$

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

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

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

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

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

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.275} \quad \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N147, para la combinación de acciones 1.35·PP+0.9·V(270°)H1+1.5·N(R)2.

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

$$M_{Ed}^+ : \underline{193.30} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N147, para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(0°)H2.

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

$$M_{Ed}^- : \underline{42.34} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

$$M_{c,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_{yd}$$

$$M_{c,Rd} : \underline{703.39} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

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

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

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

$$W_{pl,y} : \underline{2787.00} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{252.38} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

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

$$f_y : \underline{265.00} \text{ MPa}$$

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

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

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

No procede, dado que las longitudes de pandeo lateral son nulas.

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

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.001} \quad \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N147, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·V(0°)H2+0.75·N(R)2.

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

$$M_{Ed}^+ : \underline{0.05} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N147, para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(180°)H2.

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

$$M_{Ed}^- : \underline{0.02} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

$$M_{c,Rd} = W_{pl,z} \cdot f_{yd}$$

$$M_{c,Rd} : \underline{101.20} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

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

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

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

$$W_{pl,z} : \underline{401.00} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{252.38} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

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

$$f_y : \underline{265.00} \text{ MPa}$$

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

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

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

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.058} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N37, para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 0.9 \cdot V(180^\circ)H1 + 1.5 \cdot N(R)2$.

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

$$V_{Ed} : \underline{60.76} \text{ kN}$$

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

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

$$V_{c,Rd} : \underline{1048.04} \text{ kN}$$

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

$$A_v : \underline{71.93} \text{ cm}^2$$

$$A_v = h \cdot t_w$$

Siendo:

h: Canto de la sección.

$$h : \underline{550.00} \text{ mm}$$

t_w : Espesor del alma.

$$t_w : \underline{11.10} \text{ mm}$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{252.38} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

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

$$f_y : \underline{265.00} \text{ MPa}$$

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

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

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

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

$$\frac{d}{t_w} < 70 \cdot \varepsilon$$

$$42.13 < 65.92 \quad \checkmark$$

Donde:

l_w : Esbeltez del alma.

$$l_w : \underline{42.13}$$

$$\lambda_w = \frac{d}{t_w}$$

l_{\max} : Esbeltez máxima.

$$l_{\max} : \underline{65.92}$$

$$\lambda_{\max} = 70 \cdot \varepsilon$$

e: Factor de reducción.

$$e : \underline{0.94}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{ref}}{f_y}}$$

Siendo:

f_{ref} : Límite elástico de referencia.

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

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

$$f_y : \underline{265.00} \text{ MPa}$$

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

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

$$h < \underline{0.001} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(0°)H1.

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

$$V_{Ed} : \underline{0.00} \text{ kN}$$

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

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

$$V_{c,Rd} : \underline{1118.61} \text{ kN}$$

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

$$A_v : \underline{76.77} \text{ cm}^2$$

$$A_v = A - d \cdot t_w$$

Siendo:

A: Área de la sección bruta.

$$A : \underline{134.00} \text{ cm}^2$$

d: Altura del alma.

$$d : \underline{515.60} \text{ mm}$$

t_w : Espesor del alma.

$$t_w : \underline{11.10} \text{ mm}$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{252.38} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

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

$$f_y : \underline{265.00} \text{ MPa}$$

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

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

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

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

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

$$60.76 \text{ kN} \leq 524.02 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 1.35·PP+0.9·V(180°)H1+1.5·N(R)2.

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

$$V_{Ed} : \underline{60.76} \text{ kN}$$

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

$$V_{c,Rd} : \underline{1048.04} \text{ kN}$$

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

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

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

$$0.00 \text{ kN} \leq 559.30 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(0°)H1.

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

$$V_{Ed} : \underline{0.00} \text{ kN}$$

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

$$V_{c,Rd} : \underline{1118.61} \text{ kN}$$

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

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} \leq 1 \quad h : \underline{0.279} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot A \cdot f_{yd}} + k_y \cdot \frac{C_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + \alpha_z \cdot k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1 \quad h : \underline{0.257} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot A \cdot f_{yd}} + \alpha_y \cdot k_y \cdot \frac{C_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1 \quad h : \underline{0.153} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N147, para la combinación de acciones 1.35·PP+0.9·V(270°)H1+1.5·N(R)2.

Donde:

$N_{c,Ed}$: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo. $N_{c,Ed} : \underline{12.83} \text{ kN}$
 $M_{y,Ed}$, $M_{z,Ed}$: Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente. $M_{y,Ed}^+ : \underline{193.30} \text{ kN}\cdot\text{m}$
 $M_{z,Ed}^- : \underline{0.00} \text{ kN}\cdot\text{m}$

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de sus elementos planos, para axil y flexión simple. Clase : 1

$N_{pl,Rd}$: Resistencia a compresión de la sección bruta. $N_{pl,Rd} : \underline{3381.90} \text{ kN}$

$M_{pl,Rd,y}$, $M_{pl,Rd,z}$: Resistencia a flexión de la sección bruta en condiciones plásticas, respecto a los ejes Y y Z, respectivamente. $M_{pl,Rd,y} : \underline{703.39} \text{ kN}\cdot\text{m}$
 $M_{pl,Rd,z} : \underline{101.20} \text{ kN}\cdot\text{m}$

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

A: Área de la sección bruta. $A : \underline{134.00} \text{ cm}^2$

$W_{pl,y}$, $W_{pl,z}$: Módulos resistentes plásticos correspondientes a la fibra comprimida, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente. $W_{pl,y} : \underline{2787.00} \text{ cm}^3$
 $W_{pl,z} : \underline{401.00} \text{ cm}^3$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero. $f_{yd} : \underline{252.38} \text{ MPa}$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$$

Siendo:

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

γ_{M1} : Coeficiente parcial de seguridad del material. $\gamma_{M1} : \underline{1.05}$

k_y , k_z : Coeficientes de interacción.

$$k_y = 1 + (\bar{\lambda}_y - 0.2) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot N_{c,Rd}} \quad k_y : \underline{1.01}$$

$$k_z = 1 + (2 \cdot \bar{\lambda}_z - 0.6) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot N_{c,Rd}} \quad k_z : \underline{1.00}$$

$C_{m,y}$, $C_{m,z}$: Factores de momento flector uniforme equivalente. $C_{m,y} : \underline{0.90}$
 $C_{m,z} : \underline{1.00}$

c_y , c_z : Coeficientes de reducción por pandeo, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente. $c_y : \underline{0.49}$
 $c_z : \underline{1.00}$

$\bar{\lambda}_y$, $\bar{\lambda}_z$: Esbelteces reducidas con valores no mayores que 1.00, en relación a los ejes Y y Z, respectivamente. $\bar{\lambda}_y : \underline{1.26}$
 $\bar{\lambda}_z : \underline{0.00}$

a_y , a_z : Factores dependientes de la clase de la sección. $a_y : \underline{0.60}$
 $a_z : \underline{0.60}$

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

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

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 0.9 \cdot V(180^\circ)H1 + 1.5 \cdot N(R)2$.

$$V_{Ed,z} \leq \frac{V_{c,Rd,z}}{2}$$

$$60.76 \text{ kN} \leq 523.51 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Donde:

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

$$V_{Ed,z} : \underline{60.76} \text{ kN}$$

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

$$V_{c,Rd,z} : \underline{1047.02} \text{ kN}$$

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

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{T,Ed}}{M_{T,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.002} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 0.9 \cdot V(180^\circ)H1 + 1.5 \cdot N(R)2$.

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

$$M_{T,Ed} : \underline{0.03} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

$$M_{T,Rd} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot W_T \cdot f_{yd}$$

$$M_{T,Rd} : \underline{10.42} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T : \underline{71.51} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{252.38} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

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

$$f_y : \underline{265.00} \text{ MPa}$$

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

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

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

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,T,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.058} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N37, para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 0.9 \cdot V(180^\circ)H1 + 1.5 \cdot N(R)2$.

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

$$V_{Ed} : \underline{60.76} \text{ kN}$$

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

$$M_{T,Ed} : \underline{0.03} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

$$V_{pl,T,Rd} = \sqrt{1 - \frac{\tau_{T,Ed}}{1.25 \cdot f_{yd} / \sqrt{3}}} \cdot V_{pl,Rd}$$

$$V_{pl,T,Rd} : \underline{1047.02} \text{ kN}$$

Donde:

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

$$V_{pl,Rd} : \underline{1048.04} \text{ kN}$$

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

$$t_{T,Ed} : \underline{0.35} \text{ MPa}$$

$$\tau_{T,Ed} = \frac{M_{T,Ed}}{W_t}$$

Siendo:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T : \underline{71.51} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{252.38} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

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

$$f_y : \underline{265.00} \text{ MPa}$$

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

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

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

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,T,Rd}} \leq 1$$

$$h < \underline{0.001} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 0.8·PP + 1.5·V(0°)H1.

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

$$V_{Ed} : \underline{0.00} \text{ kN}$$

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

$$M_{T,Ed} : \underline{0.01} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

$$V_{pl,T,Rd} = \sqrt{1 - \frac{\tau_{T,Ed}}{1.25 \cdot f_{yd} / \sqrt{3}}} \cdot V_{pl,Rd}$$

$$V_{pl,T,Rd} : \underline{1118.38} \text{ kN}$$

Donde:

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

$$V_{pl,Rd} : \underline{1118.61} \text{ kN}$$

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

$$t_{T,Ed} : \underline{0.08} \text{ MPa}$$

$$\tau_{T,Ed} = \frac{M_{T,Ed}}{W_t}$$

Siendo:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T : \underline{71.51} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{252.38} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

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

$$f_y : \underline{265.00} \text{ MPa}$$

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

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

Para el pórtico interior que incluye el atillo, observamos que el pilar aumenta su perfil a un IPE 330, como observamos en la imagen, descrito como la barra del N48 al N49, en los siguientes cálculos se comprueban los cálculos.

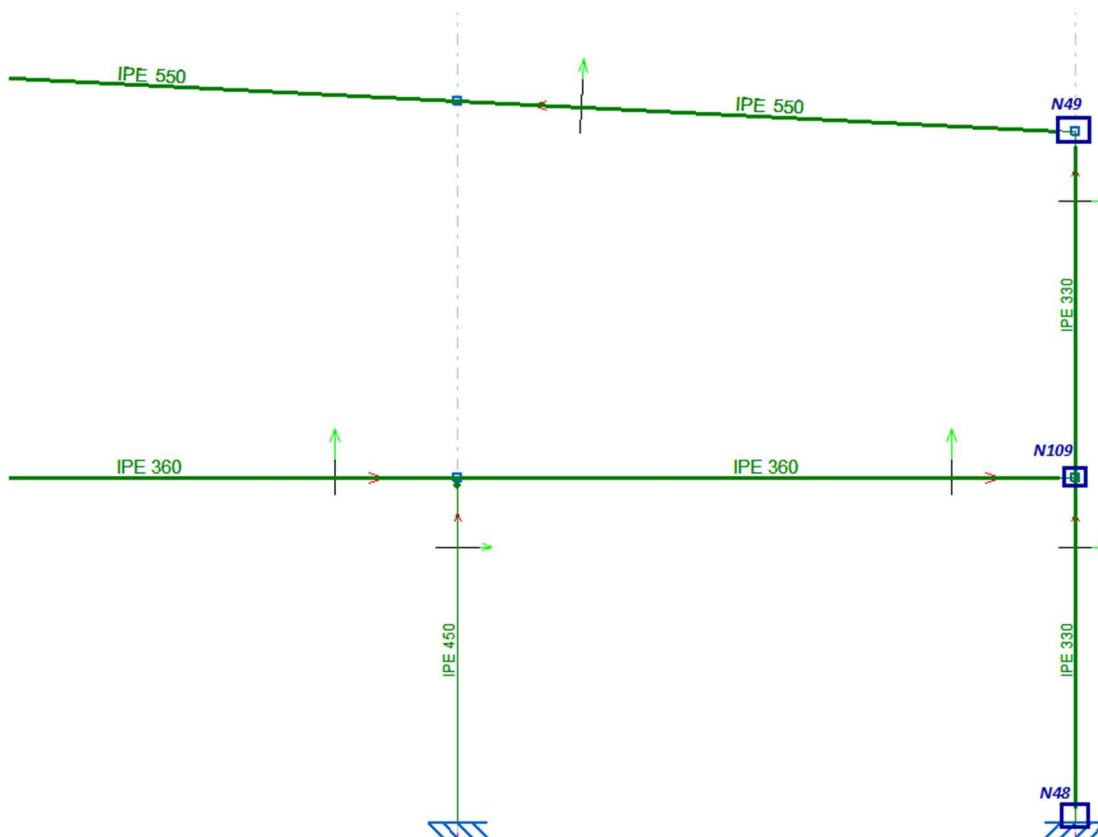


FIGURA 4.2: Pórtico interior con atillo marcando zona nudos del pilar a comprobar en cálculos.

Fuente: CYPE3D 2018

En cuanto a la jácena, no varía de un pórtico interior a otro, al igual que el resto de los pilares.

·Cálculos comprobación E.L.U (Estado Límite Último):

Barra N109/N49

Perfil: IPE 330 Material: Acero (S275)							
	Nudos		Longitud (m)	Características mecánicas			
	Inicial	Final		Área (cm ²)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _z ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)
	N109	N49	3.500	62.60	11770.00	788.00	28.20
	Notas: ⁽¹⁾ Inercia respecto al eje indicado ⁽²⁾ Momento de inercia a torsión uniforme						
				Pandeo		Pandeo lateral	
				Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.
	β	0.70		2.80		0.00	0.00
L _k	2.450		9.800		0.000	0.000	
C _m	1.000		0.900		1.000	1.000	
C ₁			-		1.000		
Notación: b: Coeficiente de pandeo L _k : Longitud de pandeo (m) C _m : Coeficiente de momentos C ₁ : Factor de modificación para el momento crítico							

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)														Estado	
	$\bar{\lambda}$	λ_w	N _t	N _c	M _y	M _z	V _z	V _y	M _y V _z	M _z V _y	NM _y M _z	NM _z M _y V _z	M _t	M _y V _z		M _z V _y
N109/N49	$\bar{\lambda} < 2.0$ Cumple	$\lambda_w \leq \lambda_{w,max}$ Cumple	x: 3.224 m η = 1.3	x: 0.18 m η = 6.4	x: 3.224 m η = 69.8	x: 3.224 m η = 0.7	x: 0.18 m η = 12.8	η < 0.1	η < 0.1	η < 0.1	x: 3.224 m η = 74.3	η < 0.1	η = 0.2	x: 0.18 m η = 12.8	η < 0.1	CUMPLE h = 74.3

Notación:
 λ̄: Limitación de esbeltez
 λ_w: Abolladura del alma inducida por el ala comprimida
 N_t: Resistencia a tracción
 N_c: Resistencia a compresión
 M_y: Resistencia a flexión eje Y
 M_z: Resistencia a flexión eje Z
 V_y: Resistencia a corte Y
 V_z: Resistencia a corte Z
 M_yV_z: Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados
 M_zV_y: Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados
 NM_yM_z: Resistencia a flexión y axil combinados
 NM_zM_yV_z: Resistencia a flexión, axil y cortante combinados
 M_t: Resistencia a torsión
 M_yV_z: Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados
 M_zV_y: Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados
 x: Distancia al origen de la barra
 h: Coeficiente de aprovechamiento (%)

Producido por una versión no profesional de IPE

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.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$$\bar{\lambda} : \underline{\quad 0.82 \quad} \checkmark$$

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.

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

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

$$A : \underline{\quad 62.60 \quad} \text{ cm}^2$$

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

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

N_{cr} : Axil crítico de pandeo elástico.

$$N_{cr} : \underline{\quad 2540.06 \quad} \text{ kN}$$

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

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

$$N_{cr,y} : \underline{\quad 2540.06 \quad} \text{ kN}$$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{ky}^2}$$

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

$$N_{cr,z} : \underline{\quad 2720.90 \quad} \text{ kN}$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{kz}^2}$$

c) Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

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

$$N_{cr,T} = \frac{1}{i_0^2} \cdot \left[G \cdot I_t + \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_w}{L_{kt}^2} \right]$$

Donde:

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

$$I_y : \underline{\quad 11770.00 \quad} \text{ cm}^4$$

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

$$I_z : \underline{\quad 788.00 \quad} \text{ cm}^4$$

I_t : Momento de inercia a torsión uniforme.

$$I_t : \underline{\quad 28.20 \quad} \text{ cm}^4$$

I_w : Constante de alabeo de la sección.

$$I_w : \underline{\quad 199000.00 \quad} \text{ cm}^6$$

E: Módulo de elasticidad.

$$E : \underline{\quad 210000 \quad} \text{ MPa}$$

G: Módulo de elasticidad transversal.

$$G : \underline{\quad 81000 \quad} \text{ MPa}$$

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

$$L_{ky} : \underline{\quad 9.800 \quad} \text{ m}$$

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

$$L_{kz} : \underline{\quad 2.450 \quad} \text{ m}$$

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

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

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

$$i_0 : \underline{\quad 14.16 \quad} \text{ cm}$$

$$i_0 = (i_y^2 + i_z^2 + y_0^2 + z_0^2)^{0.5}$$

Siendo:

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

$$i_y : \underline{\quad 13.71 \quad} \text{ cm}$$

$$i_z : \underline{\quad 3.55 \quad} \text{ cm}$$

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.

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

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

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

Se debe satisfacer:

$$\frac{h_w}{t_w} \leq k \frac{E}{f_{yf}} \sqrt{\frac{A_w}{A_{fc,ef}}}$$

40.93 ≤ 256.27 ✓

Donde:

h_w : Altura del alma.

h_w : 307.00 mm

t_w : Espesor del alma.

t_w : 7.50 mm

A_w : Área del alma.

A_w : 23.03 cm²

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

$A_{fc,ef}$: 18.40 cm²

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

k : 0.30

E: Módulo de elasticidad.

E : 210000 MPa

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

f_{yf} : 275.00 MPa

Siendo:

$$f_{yf} = f_y$$

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

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1$$

h : 0.013 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 3.224 m del nudo N109, para la combinación de acciones C.B+PP+1.05·Q1(C)+1.5·V(180°)H2.

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

$N_{t,Ed}$: 20.74 kN

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

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

$N_{t,Rd}$: 1639.52 kN

Donde:

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

A : 62.60 cm²

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 261.90 MPa

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

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

f_y : 275.00 MPa

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

γ_{M0} : 1.05

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

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1$$

h : 0.047 ✓

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1$$

h : 0.064 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 0.180 m del nudo N109, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.05·Q1(C)+0.9·V(0°)H1+1.5·N(R)1.

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

$N_{c,Ed}$: 76.79 kN

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

$$N_{c,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

$$N_{c,Rd} : \underline{1639.52} \text{ kN}$$

Donde:

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

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

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

$$A : \underline{62.60} \text{ cm}^2$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

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

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

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

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

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

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

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

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

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot A \cdot f_{yd}$$

$$N_{b,Rd} : \underline{1192.39} \text{ kN}$$

Donde:

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

$$A : \underline{62.60} \text{ cm}^2$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

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

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$$

Siendo:

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

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

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

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

χ : Coeficiente de reducción por pandeo.

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - (\bar{\lambda})^2}} \leq 1$$

$$C_y : \underline{0.78}$$

$$C_z : \underline{0.73}$$

Siendo:

$$\Phi = 0.5 \cdot \left[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0.2) + (\bar{\lambda})^2 \right]$$

$$f_y : \underline{0.90}$$

$$f_z : \underline{0.92}$$

α : Coeficiente de imperfección elástica.

$$a_y : \underline{0.21}$$

$$a_z : \underline{0.34}$$

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

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$$\bar{\lambda}_y : \underline{0.82}$$

$$\bar{\lambda}_z : \underline{0.80}$$

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

$$N_{cr} : \underline{2540.06} \text{ kN}$$

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

$$N_{cr,y} : \underline{2540.06} \text{ kN}$$

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

$$N_{cr,z} : \underline{2720.90} \text{ kN}$$

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

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

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

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.698} \quad \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 3.224 m del nudo N109, para la combinación de acciones $0.8 \cdot PP + 1.5 \cdot V(270^\circ)H2$.

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

$$M_{Ed}^+ : \underline{53.51} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 3.224 m del nudo N109, para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 1.05 \cdot Q1(C) + 0.9 \cdot V(0^\circ)H1 + 1.5 \cdot N(R)1$.

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

$$M_{Ed}^- : \underline{147.01} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

$$M_{c,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_{yd}$$

$$M_{c,Rd} : \underline{210.57} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

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

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

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

$$W_{pl,y} : \underline{804.00} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

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

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

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

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

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

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

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

No procede, dado que las longitudes de pandeo lateral son nulas.

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

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.007} \quad \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 3.224 m del nudo N109, para la combinación de acciones $0.8 \cdot PP + 1.05 \cdot Q1(C) + 1.5 \cdot V(270^\circ)H2$.

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

$$M_{Ed}^+ : \underline{0.17} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 3.224 m del nudo N109, para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 1.5 \cdot V(90^\circ)H1 + 0.75 \cdot N(EI)$.

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

$$M_{Ed}^- : \underline{0.28} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

$$M_{c,Rd} = W_{pl,z} \cdot f_{yd}$$

$$M_{c,Rd} : \underline{40.33} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

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

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

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

$$W_{pl,z} : \underline{154.00} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

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

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

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

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

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

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

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

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.128} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 0.180 m del nudo N109, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.05·Q1(C)+0.9·V(0°)H1+1.5·N(R)1.

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

$$V_{Ed} : \underline{59.79} \text{ kN}$$

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

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

$$V_{c,Rd} : \underline{465.77} \text{ kN}$$

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

$$A_v : \underline{30.80} \text{ cm}^2$$

$$A_v = h \cdot t_w$$

Siendo:

h: Canto de la sección.

$$h : \underline{330.00} \text{ mm}$$

t_w : Espesor del alma.

$$t_w : \underline{7.50} \text{ mm}$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

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

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

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

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

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

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

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

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

$$\frac{d}{t_w} < 70 \cdot \varepsilon$$

$$36.13 < 64.71 \quad \checkmark$$

Donde:

l_w : Esbeltez del alma.

$$l_w : \underline{36.13}$$

$$\lambda_w = \frac{d}{t_w}$$

$l_{m\acute{a}x}$: Esbeltez máxima.

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

$$\lambda_{m\acute{a}x} = 70 \cdot \varepsilon$$

e: Factor de reducción.

$$e : \underline{0.92}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{ref}}{f_y}}$$

Siendo:

f_{ref} : Límite elástico de referencia.

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

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

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

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

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

$$h < \underline{0.001} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones $0.8 \cdot PP + 1.5 \cdot V(180^\circ)H2$.

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

$$V_{Ed} : \underline{0.10} \text{ kN}$$

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

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

$$V_{c,Rd} : \underline{598.42} \text{ kN}$$

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

$$A_v : \underline{39.58} \text{ cm}^2$$

$$A_v = A - d \cdot t_w$$

Siendo:

A: Área de la sección bruta.

$$A : \underline{62.60} \text{ cm}^2$$

d: Altura del alma.

$$d : \underline{307.00} \text{ mm}$$

t_w : Espesor del alma.

$$t_w : \underline{7.50} \text{ mm}$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

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

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

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

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

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

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

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

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

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

$$59.79 \text{ kN} \leq 232.88 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 1.05 \cdot Q1(C) + 0.9 \cdot V(0^\circ)H1 + 1.5 \cdot N(R)1$.

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

$$V_{Ed} : \underline{59.79} \text{ kN}$$

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

$$V_{c,Rd} : \underline{465.77} \text{ kN}$$

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

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

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

$$0.10 \text{ kN} \leq 299.21 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones $0.8 \cdot PP + 1.5 \cdot V(180^\circ)H2$.

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

$$V_{Ed} : \underline{0.10} \text{ kN}$$

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

$$V_{c,Rd} : \underline{598.42} \text{ kN}$$

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

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} \leq 1 \quad h : \underline{0.743} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot A \cdot f_{yd}} + k_y \cdot \frac{C_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + \alpha_z \cdot k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1 \quad h : \underline{0.704} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot A \cdot f_{yd}} + \alpha_y \cdot k_y \cdot \frac{C_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1 \quad h : \underline{0.450} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 3.224 m del nudo N109, para la combinación de acciones 1.35·PP+0.9·V(0°)H1+1.5·N(R)1.

Donde:

$N_{c,Ed}$: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.	$N_{c,Ed} : \underline{68.09} \text{ kN}$
$M_{y,Ed}$, $M_{z,Ed}$: Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente.	$M_{y,Ed} : \underline{147.00} \text{ kN}\cdot\text{m}$ $M_{z,Ed} : \underline{0.12} \text{ kN}\cdot\text{m}$
Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de sus elementos planos, para axil y flexión simple.	Clase : <u>1</u>
$N_{pl,Rd}$: Resistencia a compresión de la sección bruta.	$N_{pl,Rd} : \underline{1639.52} \text{ kN}$
$M_{pl,Rd,y}$, $M_{pl,Rd,z}$: Resistencia a flexión de la sección bruta en condiciones plásticas, respecto a los ejes Y y Z, respectivamente.	$M_{pl,Rd,y} : \underline{210.57} \text{ kN}\cdot\text{m}$ $M_{pl,Rd,z} : \underline{40.33} \text{ kN}\cdot\text{m}$

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

A: Área de la sección bruta.	$A : \underline{62.60} \text{ cm}^2$
$W_{pl,y}$, $W_{pl,z}$: Módulos resistentes plásticos correspondientes a la fibra comprimida, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.	$W_{pl,y} : \underline{804.00} \text{ cm}^3$ $W_{pl,z} : \underline{154.00} \text{ cm}^3$
f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.	$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$
$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$	
Siendo:	
f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)	$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$
γ_{M1} : Coeficiente parcial de seguridad del material.	$\gamma_{M1} : \underline{1.05}$

k_y , k_z : Coeficientes de interacción.

$$k_y = 1 + (\bar{\lambda}_y - 0.2) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot N_{c,Rd}} \quad k_y : \underline{1.03}$$

$$k_z = 1 + (2 \cdot \bar{\lambda}_z - 0.6) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot N_{c,Rd}} \quad k_z : \underline{1.06}$$

$C_{m,y}$, $C_{m,z}$: Factores de momento flector uniforme equivalente.	$C_{m,y} : \underline{0.90}$ $C_{m,z} : \underline{1.00}$
---	--

c_y , c_z : Coeficientes de reducción por pandeo, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.	$c_y : \underline{0.78}$ $c_z : \underline{0.73}$
---	--

$\bar{\lambda}_y$, $\bar{\lambda}_z$: Esbelteces reducidas con valores no mayores que 1.00, en relación a los ejes Y y Z, respectivamente.	$\bar{\lambda}_y : \underline{0.82}$ $\bar{\lambda}_z : \underline{0.80}$
--	--

a_y , a_z : Factores dependientes de la clase de la sección.	$a_y : \underline{0.60}$ $a_z : \underline{0.60}$
--	--

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

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

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 1.05 \cdot Q1(C) + 0.9 \cdot V(0^\circ)H1 + 1.5 \cdot N(R)1$.

$$V_{Ed,z} \leq \frac{V_{c,Rd,z}}{2}$$

$$59.79 \text{ kN} \leq 232.81 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Donde:

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

$$V_{Ed,z} : \underline{59.79} \text{ kN}$$

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

$$V_{c,Rd,z} : \underline{465.62} \text{ kN}$$

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

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{T,Ed}}{M_{T,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.002} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones $0.8 \cdot PP + 1.5 \cdot V(180^\circ)H1$.

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

$$M_{T,Ed} : \underline{0.01} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

$$M_{T,Rd} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot W_T \cdot f_{yd}$$

$$M_{T,Rd} : \underline{3.71} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T : \underline{24.52} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

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

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

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

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

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

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

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

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,T,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.128} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 0.180 m del nudo N109, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.05·Q1(C)+0.9·V(0°)H1+1.5·N(R)1.

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

$$V_{Ed} : \underline{59.79} \text{ kN}$$

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

$$M_{T,Ed} : \underline{0.00} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

$$V_{pl,T,Rd} = \sqrt{1 - \frac{\tau_{T,Ed}}{1.25 \cdot f_{yd} / \sqrt{3}}} \cdot V_{pl,Rd}$$

$$V_{pl,T,Rd} : \underline{465.62} \text{ kN}$$

Donde:

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

$$V_{pl,Rd} : \underline{465.77} \text{ kN}$$

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

$$t_{T,Ed} : \underline{0.12} \text{ MPa}$$

$$\tau_{T,Ed} = \frac{M_{T,Ed}}{W_t}$$

Siendo:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T : \underline{24.52} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

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

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

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

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

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

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

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

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,T,Rd}} \leq 1$$

$$h < \underline{0.001} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 0.8·PP + 1.5·V(180°)H2.

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

$$V_{Ed} : \underline{0.10} \text{ kN}$$

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

$$M_{T,Ed} : \underline{0.01} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

$$V_{pl,T,Rd} = \sqrt{1 - \frac{\tau_{T,Ed}}{1.25 \cdot f_{yd} / \sqrt{3}}} \cdot V_{pl,Rd}$$

$$V_{pl,T,Rd} : \underline{598.07} \text{ kN}$$

Donde:

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

$$V_{pl,Rd} : \underline{598.42} \text{ kN}$$

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

$$t_{T,Ed} : \underline{0.22} \text{ MPa}$$

$$\tau_{T,Ed} = \frac{M_{T,Ed}}{W_t}$$

Siendo:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T : \underline{24.52} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

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

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

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

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

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

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

4.2 Pórtico de fachada

El pórtico de fachada, como se observa en la figura, contiene pilares extremos de IPE270 que se comprobarán en la barra del nudo N2 al N89, e interiores de IPE300 que también se comprobarán desde la barra N95 a N76.

Esta estructura se ve reforzada por una serie de tirantes y montantes en los laterales y centro del pórtico. Este sistema está compuesto de tirantes L80x80 que comprobaremos a través de la barra existente desde el nudo N1 al N95. Para los montantes se ha escogido un perfil SHS 100x3.0 cuyo cálculo se ha realizado a través de los nudos N89 y N95 que componen la barra.

Como se observa, contienen una jácena de IPE240 cuyo cálculo se realiza a través de la barra N2-N76.

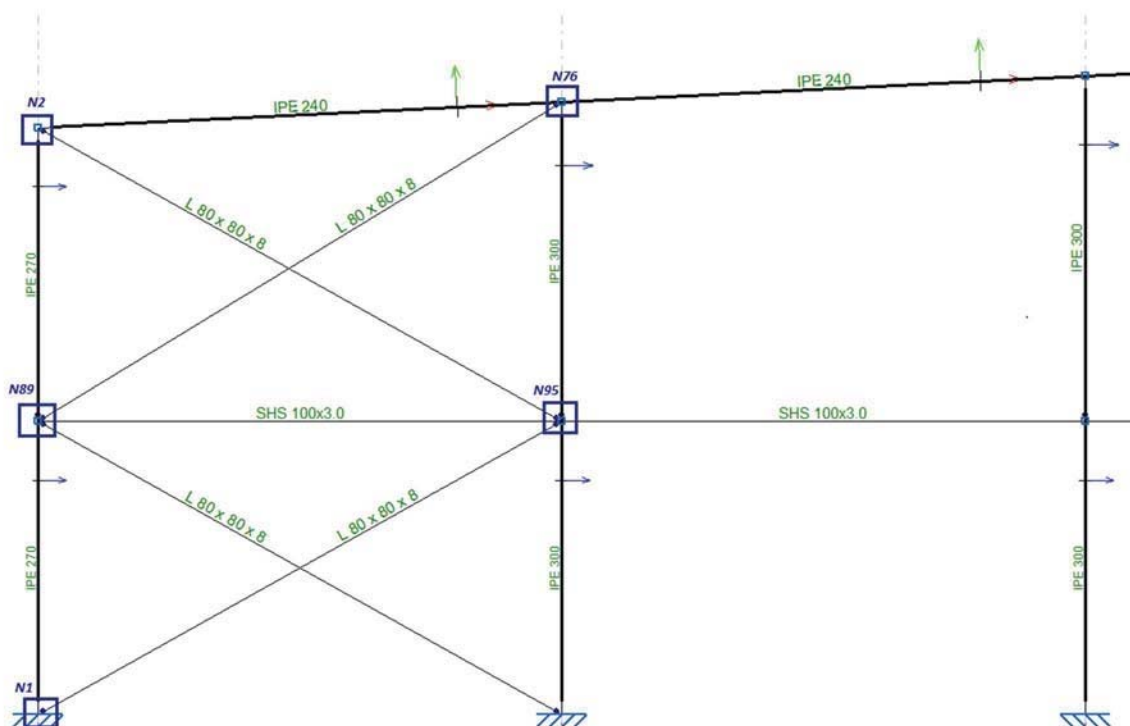


FIGURA 4.3: Pórtico de fachada de nave industrial que no contiene el altillo. Fuente: CYPE3D 2018

·Cálculos comprobación E.L.U (Estado Límite Último):

Barra N95/N76

Perfil: IPE 300 Material: Acero (S275)							
	Nudos		Longitud (m)	Características mecánicas			
	Inicial	Final		Área (cm ²)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _z ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)
	N95	N76	3.813	53.80	8356.00	604.00	20.10
	Notas: (1) Inercia respecto al eje indicado (2) Momento de inercia a torsión uniforme						
				Pandeo		Pandeo lateral	
				Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.
	β	1.00		1.51	0.00	0.00	
	L _k	3.813		5.775	0.000	0.000	
	C _m	1.000		0.550	1.000	1.000	
	C ₁	-			1.000		
Notación: b: Coeficiente de pandeo L _k : Longitud de pandeo (m) C _m : Coeficiente de momentos C ₁ : Factor de modificación para el momento crítico							

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)													Estado		
	$\bar{\lambda}$	λ_{cr}	N _t	N _c	M _y	M _z	V _z	V _y	M _y V _z	M _z V _y	NM _y M _z	NM _y M _z V _z	M _t		M _y V _t	M _z V _t
N95/N76	$\bar{\lambda} < 2.0$ Cumple	$\lambda_{cr} \leq \lambda_{cr,max}$ Cumple	x: 3.813 m η = 1.5	x: 0 m η = 7.8	x: 3.813 m η = 31.8	x: 3.813 m η = 14.4	x: 3.813 m η = 4.7	η = 0.4	η < 0.1	η < 0.1	x: 3.813 m η = 38.3	η < 0.1	M _{t,03} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	N.P. ⁽²⁾	N.P. ⁽²⁾	CUMPLE h = 38.3
Nota: Limitación de esbeltez I.: Abolladura del alma inducida por el ala comprimida N _t : Resistencia a tracción N _c : Resistencia a compresión M _y : Resistencia a flexión eje Y M _z : Resistencia a flexión eje Z V _y : Resistencia a corte Y V _z : Resistencia a corte Z M _y V _z : Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados M _z V _y : Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados NM _y M _z : Resistencia a flexión y axil combinados NM _y M _z V _z : Resistencia a flexión, axil y cortante combinados M _t : Resistencia a torsión M _y V _t : Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados M _z V _t : Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados x: Distancia al origen de la barra h: Coeficiente de aprovechamiento (%) N.P.: No procede																
Comprobaciones que no proceden (N.P.): (1) La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor. (2) No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.																

Producido por una versión no profesional de AutoCAD

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.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$\bar{\lambda} : \underline{\quad 1.31 \quad}$ ✓

Donde:

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

Clase : 2

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

A : 53.80 cm²

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

f_y : 275.00 MPa

N_{cr} : Axil crítico de pandeo elástico.

N_{cr} : 861.26 kN

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

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

$N_{cr,y}$: 5192.94 kN

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{ky}^2}$$

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

$N_{cr,z}$: 861.26 kN

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{kz}^2}$$

c) Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

$N_{cr,T}$: ∞

$$N_{cr,T} = \frac{1}{i_0^2} \cdot \left[G \cdot I_t + \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_w}{L_{kt}^2} \right]$$

Donde:

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

I_y : 8356.00 cm⁴

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

I_z : 604.00 cm⁴

I_t : Momento de inercia a torsión uniforme.

I_t : 20.10 cm⁴

I_w : Constante de alabeo de la sección.

I_w : 126000.00 cm⁶

E: Módulo de elasticidad.

E : 210000 MPa

G: Módulo de elasticidad transversal.

G : 81000 MPa

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

L_{ky} : 5.775 m

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

L_{kz} : 3.813 m

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

L_{kt} : 0.000 m

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

i_0 : 12.91 cm

$$i_0 = (i_y^2 + i_z^2 + y_0^2 + z_0^2)^{0.5}$$

Siendo:

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

i_y : 12.46 cm

i_z : 3.35 cm

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

y_0 : 0.00 mm

z_0 : 0.00 mm

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

Se debe satisfacer:

$$\frac{h_w}{t_w} \leq k \frac{E}{f_{yf}} \sqrt{\frac{A_w}{A_{fc,ef}}}$$

39.24 ≤ 254.33 ✓

Donde:

h_w : Altura del alma.	h_w : <u>278.60</u> mm
t_w : Espesor del alma.	t_w : <u>7.10</u> mm
A_w : Área del alma.	A_w : <u>19.78</u> cm ²
$A_{fc,ef}$: Área reducida del ala comprimida.	$A_{fc,ef}$: <u>16.05</u> cm ²
k : Coeficiente que depende de la clase de la sección.	k : <u>0.30</u>
E : Módulo de elasticidad.	E : <u>210000</u> MPa
f_{yf} : Límite elástico del acero del ala comprimida.	f_{yf} : <u>275.00</u> MPa
Siendo:	
$f_{yf} = f_y$	

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

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1$$

η : 0.015 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N76, para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(90°)H1.

$N_{t,Ed}$: Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo. $N_{t,Ed}$: 20.91 kN

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

$N_{t,Rd} = A \cdot f_{yd}$ $N_{t,Rd}$: 1409.05 kN

Donde:

A : Área bruta de la sección transversal de la barra. A : 53.80 cm²

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

$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$

Siendo:

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

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

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

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1$$

η : 0.033 ✓

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1$$

η : 0.078 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N95, para la combinación de acciones 1.35·PP+0.9·V(270°)H1+1.5·N(R)2.

$N_{c,Ed}$: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo. $N_{c,Ed}$: 46.54 kN

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

$$N_{c,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

$$N_{c,Rd} : \underline{1409.05} \text{ kN}$$

Donde:

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

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

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

$$A : \underline{53.80} \text{ cm}^2$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

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

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

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

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

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

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

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

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

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot A \cdot f_{yd}$$

$$N_{b,Rd} : \underline{594.31} \text{ kN}$$

Donde:

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

$$A : \underline{53.80} \text{ cm}^2$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

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

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$$

Siendo:

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

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

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

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

χ : Coeficiente de reducción por pandeo.

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - (\bar{\lambda})^2}} \leq 1$$

$$C_y : \underline{0.91}$$

$$C_z : \underline{0.42}$$

Siendo:

$$\Phi = 0.5 \cdot \left[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0.2) + (\bar{\lambda})^2 \right]$$

$$f_y : \underline{0.68}$$

$$f_z : \underline{1.55}$$

α : Coeficiente de imperfección elástica.

$$a_y : \underline{0.21}$$

$$a_z : \underline{0.34}$$

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

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$$\bar{\lambda}_y : \underline{0.53}$$

$$\bar{\lambda}_z : \underline{1.31}$$

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

$$N_{cr} : \underline{861.26} \text{ kN}$$

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

$$N_{cr,y} : \underline{5192.94} \text{ kN}$$

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

$$N_{cr,z} : \underline{861.26} \text{ kN}$$

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

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

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

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.318} \quad \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N76, para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(0°)H2.

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

$$M_{Ed}^+ : \underline{17.17} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N76, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.05·Q1(C)+0.9·V(270°)H1+1.5·N(R)2.

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

$$M_{Ed}^- : \underline{52.34} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

$$M_{c,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_{yd}$$

$$M_{c,Rd} : \underline{164.48} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

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

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

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

$$W_{pl,y} : \underline{628.00} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

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

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

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

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

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

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

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

No procede, dado que las longitudes de pandeo lateral son nulas.

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

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.144} \quad \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N76, para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(180°)H2+0.75·N(R)1.

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

$$M_{Ed}^+ : \underline{4.73} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N76, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·V(0°)H2+0.75·N(R)2.

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

$$M_{Ed}^- : \underline{4.09} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

$$M_{c,Rd} = W_{pl,z} \cdot f_{yd}$$

$$M_{c,Rd} : \underline{32.74} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

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

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

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

$$W_{pl,z} : \underline{125.00} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

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

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

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

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

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

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

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

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.047} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N76, para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(0°)H2.

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

$$V_{Ed} : \underline{18.38} \text{ kN}$$

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

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

$$V_{c,Rd} : \underline{388.15} \text{ kN}$$

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

$$A_v : \underline{25.67} \text{ cm}^2$$

$$A_v = h \cdot t_w$$

Siendo:

h: Canto de la sección.

$$h : \underline{300.00} \text{ mm}$$

t_w : Espesor del alma.

$$t_w : \underline{7.10} \text{ mm}$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

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

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

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

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

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

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

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

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

$$\frac{d}{t_w} < 70 \cdot \varepsilon$$

$$35.01 < 64.71 \quad \checkmark$$

Donde:

l_w : Esbeltez del alma.

$$l_w : \underline{35.01}$$

$$\lambda_w = \frac{d}{t_w}$$

l_{\max} : Esbeltez máxima.

$$l_{\max} : \underline{64.71}$$

$$\lambda_{\max} = 70 \cdot \varepsilon$$

e: Factor de reducción.

$$e : \underline{0.92}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{ref}}{f_y}}$$

Siendo:

f_{ref} : Límite elástico de referencia.

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

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

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

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

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.004} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones $0.8 \cdot PP + 1.5 \cdot V(180^\circ)H2 + 0.75 \cdot N(R)1$.

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

$$V_{Ed} : \underline{2.11} \text{ kN}$$

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

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

$$V_{c,Rd} : \underline{514.41} \text{ kN}$$

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

$$A_v : \underline{34.02} \text{ cm}^2$$

$$A_v = A - d \cdot t_w$$

Siendo:

A: Área de la sección bruta.

$$A : \underline{53.80} \text{ cm}^2$$

d: Altura del alma.

$$d : \underline{278.60} \text{ mm}$$

t_w : Espesor del alma.

$$t_w : \underline{7.10} \text{ mm}$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

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

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

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

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

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

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

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

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

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

$$12.46 \text{ kN} \leq 194.08 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones

$1.35 \cdot PP + 1.05 \cdot Q1(C) + 1.5 \cdot V(180^\circ)H1 + 0.75 \cdot N(R)2$.

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

$$V_{Ed} : \underline{12.46} \text{ kN}$$

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

$$V_{c,Rd} : \underline{388.15} \text{ kN}$$

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

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

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

$$2.11 \text{ kN} \leq 257.21 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones $0.8 \cdot PP + 1.5 \cdot V(180^\circ)H2 + 0.75 \cdot N(R)1$.

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

$$V_{Ed} : \underline{2.11} \text{ kN}$$

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

$$V_{c,Rd} : \underline{514.41} \text{ kN}$$

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

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} \leq 1 \quad h : \underline{0.383} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot A \cdot f_{yd}} + k_y \cdot \frac{C_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + \alpha_z \cdot k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1 \quad h : \underline{0.233} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot A \cdot f_{yd}} + \alpha_y \cdot k_y \cdot \frac{C_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1 \quad h : \underline{0.244} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N76, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.05·Q1(C)+1.5·V(180°)H1+0.75·N(R)2.

Donde:

$N_{c,Ed}$: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.	$N_{c,Ed} : \underline{32.13} \text{ kN}$
$M_{y,Ed}, M_{z,Ed}$: Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente.	$M_{y,Ed} : \underline{43.81} \text{ kN}\cdot\text{m}$ $M_{z,Ed} : \underline{3.08} \text{ kN}\cdot\text{m}$
Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de sus elementos planos, para axil y flexión simple.	Clase : <u>1</u>
$N_{pl,Rd}$: Resistencia a compresión de la sección bruta.	$N_{pl,Rd} : \underline{1409.05} \text{ kN}$
$M_{pl,Rd,y}, M_{pl,Rd,z}$: Resistencia a flexión de la sección bruta en condiciones plásticas, respecto a los ejes Y y Z, respectivamente.	$M_{pl,Rd,y} : \underline{164.48} \text{ kN}\cdot\text{m}$ $M_{pl,Rd,z} : \underline{32.74} \text{ kN}\cdot\text{m}$

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

A: Área de la sección bruta.	$A : \underline{53.80} \text{ cm}^2$
$W_{pl,y}, W_{pl,z}$: Módulos resistentes plásticos correspondientes a la fibra comprimida, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.	$W_{pl,y} : \underline{628.00} \text{ cm}^3$ $W_{pl,z} : \underline{125.00} \text{ cm}^3$
f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.	$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$
$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$	
Siendo:	
f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)	$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$
γ_{M1} : Coeficiente parcial de seguridad del material.	$\gamma_{M1} : \underline{1.05}$

k_y, k_z : Coeficientes de interacción.

$$k_y = 1 + (\bar{\lambda}_y - 0.2) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot N_{c,Rd}} \quad k_y : \underline{1.01}$$

$$k_z = 1 + (2 \cdot \bar{\lambda}_z - 0.6) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot N_{c,Rd}} \quad k_z : \underline{1.08}$$

$C_{m,y}, C_{m,z}$: Factores de momento flector uniforme equivalente.	$C_{m,y} : \underline{0.55}$ $C_{m,z} : \underline{1.00}$
--	--

c_y, c_z : Coeficientes de reducción por pandeo, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.	$c_y : \underline{0.91}$ $c_z : \underline{0.42}$
--	--

$\bar{\lambda}_y, \bar{\lambda}_z$: Esbelteces reducidas con valores no mayores que 1.00, en relación a los ejes Y y Z, respectivamente.	$\bar{\lambda}_y : \underline{0.53}$ $\bar{\lambda}_z : \underline{1.31}$
---	--

a_y, a_z : Factores dependientes de la clase de la sección.	$a_y : \underline{0.60}$ $a_z : \underline{0.60}$
---	--

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

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

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones

$$1.35 \cdot PP + 1.05 \cdot Q1(C) + 1.5 \cdot V(180^\circ)H1 + 0.75 \cdot N(R)2.$$

$$V_{Ed,z} \leq \frac{V_{c,Rd,z}}{2}$$

$$12.46 \text{ kN} \leq 194.08 \text{ kN}$$



Donde:

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

$$V_{Ed,z} : \frac{12.46}{\quad} \text{ kN}$$

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

$$V_{c,Rd,z} : \frac{388.15}{\quad} \text{ kN}$$

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

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

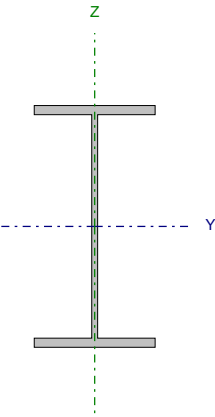
Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

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

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

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

Barra N89/N2

Perfil: IPE 270		Material: Acero (S275)						
		Nudos		Longitud (m)	Características mecánicas			
		Inicial	Final		Área (cm ²)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _z ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)
		N89	N2	3.500	45.90	5790.00	420.00	15.90
Notas: (1) Inercia respecto al eje indicado (2) Momento de inercia a torsión uniforme								
		Pandeo			Pandeo lateral			
		Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.			
		β	1.00	1.00	1.00	0.43		
		L _k	3.500	3.500	3.500	1.500		
		C _m	1.000	0.950	1.000	1.000		
		C ₁	-			1.000		
Notación: b: Coeficiente de pandeo L _k : Longitud de pandeo (m) C _m : Coeficiente de momentos C ₁ : Factor de modificación para el momento crítico								

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)														Estado	
	$\bar{\lambda}$	λ_w	N _t	N _c	M _y	M _z	V _z	V _y	M _y V _z	M _z V _y	NM _y M _z	NM _y M _z V _y V _z	M _t	M _y V _z		M _z V _y
N89/N2	$\bar{\lambda} < 2.0$ Cumple	$\lambda_w \leq \lambda_{w,max}$ Cumple	x: 3.5 m η = 0.7	x: 0 m η = 5.1	x: 0 m η = 4.5	x: 0 m η = 20.6	x: 0 m η = 2.3	x: 3.5 m η = 1.5	η < 0.1	η < 0.1	x: 0 m η = 25.9	η < 0.1	M _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	N.P. ⁽²⁾	N.P. ⁽²⁾	CUMPLE h = 25.9
Notación: λ̄: Limitación de esbeltez λ _w : Abolladura del alma inducida por el ala comprimida N: Resistencia a tracción N _c : Resistencia a compresión M _y : Resistencia a flexión eje Y M _z : Resistencia a flexión eje Z V _z : Resistencia a corte Z V _y : Resistencia a corte Y M _y V _z : Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados M _z V _y : Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados NM _y M _z : Resistencia a flexión y axil combinados NM _y M _z V _y V _z : Resistencia a flexión, axil y cortante combinados M _t : Resistencia a torsión M _y V _z : Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados M _z V _y : Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados x: Distancia al origen de la barra η: Coeficiente de aprovechamiento (%) N.P.: No procede																
Comprobaciones que no proceden (N.P.): (1) La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor. (2) No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.																

Producido por una versión no profesional de AYPE

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.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$\bar{\lambda} : \underline{\quad 1.33 \quad}$ ✓

Donde:

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

Clase : 2

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

A : 45.90 cm²

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

f_y : 275.00 MPa

N_{cr} : Axil crítico de pandeo elástico.

N_{cr} : 710.61 kN

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

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

$N_{cr,y}$: 9796.29 kN

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{ky}^2}$$

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

$N_{cr,z}$: 710.61 kN

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{kz}^2}$$

c) Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

$N_{cr,T}$: 1834.82 kN

$$N_{cr,T} = \frac{1}{i_0^2} \cdot \left[G \cdot I_t + \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_w}{L_{kt}^2} \right]$$

Donde:

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

I_y : 5790.00 cm⁴

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

I_z : 420.00 cm⁴

I_t : Momento de inercia a torsión uniforme.

I_t : 15.90 cm⁴

I_w : Constante de alabeo de la sección.

I_w : 70600.00 cm⁶

E: Módulo de elasticidad.

E : 210000 MPa

G: Módulo de elasticidad transversal.

G : 81000 MPa

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

L_{ky} : 3.500 m

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

L_{kz} : 3.500 m

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

L_{kt} : 3.500 m

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

i_0 : 11.63 cm

$$i_0 = (i_y^2 + i_z^2 + y_0^2 + z_0^2)^{0.5}$$

Siendo:

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

i_y : 11.23 cm

i_z : 3.02 cm

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

y_0 : 0.00 mm

z_0 : 0.00 mm

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

Se debe satisfacer:

$$\frac{h_w}{t_w} \leq k \frac{E}{f_{yf}} \sqrt{\frac{A_w}{A_{fc,ef}}}$$

37.82 ≤ 250.57 ✓

Donde:

h_w : Altura del alma.

h_w : 249.60 mm

t_w : Espesor del alma.

t_w : 6.60 mm

A_w : Área del alma.

A_w : 16.47 cm²

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

$A_{fc,ef}$: 13.77 cm²

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

k : 0.30

E : Módulo de elasticidad.

E : 210000 MPa

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

f_{yf} : 275.00 MPa

Siendo:

$$f_{yf} = f_y$$

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

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1$$

η : 0.007 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N2, para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(90°)H1.

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

$N_{t,Ed}$: 8.58 kN

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

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

$N_{t,Rd}$: 1202.14 kN

Donde:

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

A : 45.90 cm²

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 261.90 MPa

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

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

f_y : 275.00 MPa

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

γ_{M0} : 1.05

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

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1$$

η : 0.021 ✓

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1$$

η : 0.051 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N89, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.05·Q1(C)+1.5·V(270°)H1+0.75·N(EI).

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

$N_{c,Ed}$: 25.35 kN

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

$$N_{c,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

$$N_{c,Rd} : \underline{1202.14} \text{ kN}$$

Donde:

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

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

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

$$A : \underline{45.90} \text{ cm}^2$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

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

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

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

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

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

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

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

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

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot A \cdot f_{yd}$$

$$N_{b,Rd} : \underline{494.58} \text{ kN}$$

Donde:

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

$$A : \underline{45.90} \text{ cm}^2$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

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

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$$

Siendo:

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

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

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

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

χ : Coeficiente de reducción por pandeo.

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - (\bar{\lambda})^2}} \leq 1$$

$$C_y : \underline{0.96}$$

$$C_z : \underline{0.41}$$

$$C_T : \underline{0.71}$$

Siendo:

$$\Phi = 0.5 \cdot \left[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0.2) + (\bar{\lambda})^2 \right]$$

$$f_y : \underline{0.58}$$

$$f_z : \underline{1.58}$$

$$f_T : \underline{0.95}$$

α : Coeficiente de imperfección elástica.

$$a_y : \underline{0.21}$$

$$a_z : \underline{0.34}$$

$$a_T : \underline{0.34}$$

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

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$$\bar{\lambda}_y : \underline{0.36}$$

$$\bar{\lambda}_z : \underline{1.33}$$

$$\bar{\lambda}_T : \underline{0.83}$$

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

$$N_{cr} : \underline{710.61} \text{ kN}$$

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

$$N_{cr,y} : \underline{9796.29} \text{ kN}$$

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

$$N_{cr,z} : \underline{710.61} \text{ kN}$$

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

$$N_{cr,T} : \underline{1834.82} \text{ kN}$$

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

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.030} \checkmark$$

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{b,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.045} \quad \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N89, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·V(0°)H2.

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

$$M_{Ed}^+ : \underline{3.79} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N89, para la combinación de acciones 0.8·PP+1.05·Q1(C)+1.5·V(90°)H1+0.75·N(R)2.

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

$$M_{Ed}^- : \underline{1.72} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

$$M_{c,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_{yd}$$

$$M_{c,Rd} : \underline{126.76} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

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

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

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

$$W_{pl,y} : \underline{484.00} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

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

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

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

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

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

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

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

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

$$M_{b,Rd}^+ = \chi_{LT} \cdot W_{pl,y}^+ \cdot f_{yd}$$

$$M_{b,Rd}^+ : \underline{84.23} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{b,Rd}^- = \chi_{LT} \cdot W_{pl,y}^- \cdot f_{yd}$$

$$M_{b,Rd}^- : \underline{117.44} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

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

$$W_{pl,y} : \underline{484.00} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

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

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$$

Siendo:

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

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

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

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

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

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}} \leq 1$$

$$c_{LT}^+ : \underline{0.66}$$

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

Siendo:

$$\Phi_{LT} = 0.5 \cdot \left[1 + \alpha_{LT} \cdot (\bar{\lambda}_{LT} - 0.2) + \bar{\lambda}_{LT}^2 \right]$$

$$f_{LT}^+ : \underline{1.09}$$

$$f_{LT}^- : \underline{0.65}$$

α_{LT} : Coeficiente de imperfección elástica.

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

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

$$\bar{\lambda}_{LT}^+ = \sqrt{\frac{W_{pl,y}^+ \cdot f_y}{M_{cr}}}$$

$$\bar{\lambda}_{LT}^+ : \underline{1.00}$$

$$\bar{\lambda}_{LT}^- = \sqrt{\frac{W_{pl,y}^- \cdot f_y}{M_{cr}}}$$

$$\bar{\lambda}_{LT}^- : \underline{0.49}$$

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

$$M_{cr}^+ : \underline{132.68} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{cr}^- : \underline{548.03} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

$$M_{cr} = \sqrt{M_{LTV}^2 + M_{LTw}^2}$$

Siendo:

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

$$M_{LTV} = C_1 \cdot \frac{\pi}{L_c} \cdot \sqrt{G \cdot I_t \cdot E \cdot I_z}$$

$$M_{LTV}^+ : \underline{95.67} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{LTV}^- : \underline{223.22} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

$$M_{LTW} = W_{el,y} \cdot \frac{\pi^2 \cdot E}{L_c^2} \cdot C_1 \cdot i_{f,z}^2$$

$$M_{LTW}^+ : \underline{91.93} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{LTW}^- : \underline{500.51} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Siendo:

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

$$W_{el,y} : \underline{428.89} \text{ cm}^3$$

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

$$I_z : \underline{420.00} \text{ cm}^4$$

I_t : Momento de inercia a torsión uniforme.

$$I_t : \underline{15.90} \text{ cm}^4$$

E: Módulo de elasticidad.

$$E : \underline{210000} \text{ MPa}$$

G: Módulo de elasticidad transversal.

$$G : \underline{81000} \text{ MPa}$$

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

$$L_c^+ : \underline{3.500} \text{ m}$$

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

$$L_c^- : \underline{1.500} \text{ m}$$

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

$$C_1 : \underline{1.00}$$

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

$$i_{f,z}^+ : \underline{3.56} \text{ cm}$$

$$i_{f,z}^- : \underline{3.56} \text{ cm}$$

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

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.206} \quad \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N89, para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(0°)H2+0.75·N(R)2.

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

$$M_{Ed}^+ : \underline{5.23} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N89, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·V(180°)H2+0.75·N(R)1.

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

$$M_{Ed}^- : \underline{3.69} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

$$M_{c,Rd} = W_{pl,z} \cdot f_{yd}$$

$$M_{c,Rd} : \underline{25.40} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

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

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

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

$$W_{pl,z} : \underline{97.00} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

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

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

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

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

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

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

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

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.023} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N89, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·V(0°)H2.

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

$$V_{Ed} : \underline{7.65} \text{ kN}$$

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

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

$$V_{c,Rd} : \underline{334.07} \text{ kN}$$

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

$$A_v : \underline{22.09} \text{ cm}^2$$

$$A_v = h \cdot t_w$$

Siendo:

h: Canto de la sección.

$$h : \underline{270.00} \text{ mm}$$

t_w : Espesor del alma.

$$t_w : \underline{6.60} \text{ mm}$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

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

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

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

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

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

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

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

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

$$\frac{d}{t_w} < 70 \cdot \varepsilon$$

$$33.27 < 64.71 \quad \checkmark$$

Donde:

l_w : Esbeltez del alma.

$$l_w : \underline{33.27}$$

$$\lambda_w = \frac{d}{t_w}$$

l_{\max} : Esbeltez máxima.

$$l_{\max} : \underline{64.71}$$

$$\lambda_{\max} = 70 \cdot \varepsilon$$

e: Factor de reducción.

$$e : \underline{0.92}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{ref}}{f_y}}$$

Siendo:

f_{ref} : Límite elástico de referencia.

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

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

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

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

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.015} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N2, para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(90°)H1.

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

$$V_{Ed} : \underline{6.74} \text{ kN}$$

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

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

$$V_{c,Rd} : \underline{444.96} \text{ kN}$$

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

$$A_v : \underline{29.43} \text{ cm}^2$$

$$A_v = A - d \cdot t_w$$

Siendo:

A: Área de la sección bruta.

$$A : \underline{45.90} \text{ cm}^2$$

d: Altura del alma.

$$d : \underline{249.60} \text{ mm}$$

t_w : Espesor del alma.

$$t_w : \underline{6.60} \text{ mm}$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

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

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

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

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

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

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

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

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

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

$$7.65 \text{ kN} \leq 167.04 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·V(0°)H2.

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

$$V_{Ed} : \underline{7.65} \text{ kN}$$

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

$$V_{c,Rd} : \underline{334.07} \text{ kN}$$

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

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

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

$$6.20 \text{ kN} \leq 222.48 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(0°)H2.

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

$$V_{Ed} : \underline{6.20} \text{ kN}$$

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

$$V_{c,Rd} : \underline{444.96} \text{ kN}$$

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

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} \leq 1 \quad h : \underline{0.237} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot A \cdot f_{yd}} + k_y \cdot \frac{C_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + \alpha_z \cdot k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1 \quad h : \underline{0.170} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot A \cdot f_{yd}} + k_{y,LT} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1 \quad h : \underline{0.259} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N89, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.05·Q1(C)+1.5·V(0°)H2+0.75·N(R)2.

Donde:

$N_{c,Ed}$: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.	$N_{c,Ed} : \underline{4.18} \text{ kN}$
$M_{y,Ed}, M_{z,Ed}$: Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente.	$M_{y,Ed}^+ : \underline{3.76} \text{ kN}\cdot\text{m}$ $M_{z,Ed}^+ : \underline{5.17} \text{ kN}\cdot\text{m}$
Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de sus elementos planos, para axil y flexión simple.	Clase : <u>1</u>
$N_{pl,Rd}$: Resistencia a compresión de la sección bruta.	$N_{pl,Rd} : \underline{1202.14} \text{ kN}$
$M_{pl,Rd,y}, M_{pl,Rd,z}$: Resistencia a flexión de la sección bruta en condiciones plásticas, respecto a los ejes Y y Z, respectivamente.	$M_{pl,Rd,y} : \underline{126.76} \text{ kN}\cdot\text{m}$ $M_{pl,Rd,z} : \underline{25.40} \text{ kN}\cdot\text{m}$

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

A: Área de la sección bruta.	$A : \underline{45.90} \text{ cm}^2$
$W_{pl,y}, W_{pl,z}$: Módulos resistentes plásticos correspondientes a la fibra comprimida, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.	$W_{pl,y} : \underline{484.00} \text{ cm}^3$ $W_{pl,z} : \underline{97.00} \text{ cm}^3$
f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.	$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$
$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$	
Siendo:	
f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)	$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$
γ_{M1} : Coeficiente parcial de seguridad del material.	$\gamma_{M1} : \underline{1.05}$

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

$$k_y = 1 + (\bar{\lambda}_y - 0.2) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot N_{c,Rd}} \quad k_y : \underline{1.00}$$

$$k_z = 1 + (2 \cdot \bar{\lambda}_z - 0.6) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot N_{c,Rd}} \quad k_z : \underline{1.01}$$

$$k_{y,LT} = 1 - \frac{0.1 \cdot \bar{\lambda}_{z}}{C_{m,LT} - 0.25} \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot N_{c,Rd}} \quad k_{y,LT} : \underline{1.00}$$

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

$C_{m,y} : \underline{0.95}$
$C_{m,z} : \underline{1.00}$
$C_{m,LT} : \underline{1.00}$

c_y, c_z : Coeficientes de reducción por pandeo, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.

$c_y : \underline{0.96}$
$c_z : \underline{0.41}$

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

$C_{LT} : \underline{0.66}$

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

$\bar{\lambda}_y : \underline{0.36}$
$\bar{\lambda}_z : \underline{1.33}$

a_y, a_z : Factores dependientes de la clase de la sección.

$a_y : \underline{0.60}$
$a_z : \underline{0.60}$

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

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

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 1.5 \cdot V(0^\circ)H2$.

$$V_{Ed,z} \leq \frac{V_{c,Rd,z}}{2}$$

$$7.65 \text{ kN} \leq 167.04 \text{ kN}$$



Donde:

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

$$V_{Ed,z} : \frac{7.65}{\quad} \text{ kN}$$

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

$$V_{c,Rd,z} : \frac{334.07}{\quad} \text{ kN}$$

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

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

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

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

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

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

Barra N2/N76

Perfil: IPE 240 Material: Acero (S275)							
	Nudos		Longitud (m)	Características mecánicas			
	Inicial	Final		Área (cm ²)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _z ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)
	N2	N76	6.258	39.10	3892.00	284.00	12.90
	Notas: ⁽¹⁾ Inercia respecto al eje indicado ⁽²⁾ Momento de inercia a torsión uniforme						
				Pandeo		Pandeo lateral	
				Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.
	β	0.07		1.05	0.28	1.00	
L _k	0.438		6.587	1.750	6.258		
C _m	1.000		1.000	1.000	1.000		
C ₁	-			1.000			
Notación: b: Coeficiente de pandeo L _k : Longitud de pandeo (m) C _m : Coeficiente de momentos C ₁ : Factor de modificación para el momento crítico							

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)															Estado
	$\bar{\lambda}$	λ_w	N _t	N _c	M _y	M _z	V _z	V _y	M-V _z	M-V _y	NM,M _z	NM,M _y V _z	M _t	MV _z	MV _y	
N76	$\bar{\lambda} < 2.0$ Cumple	$\lambda_w \leq \lambda_{w,max}$ Cumple	x: 6.258 m η = 0.4	x: 0 m η = 1.6	x: 6.258 m η = 31.7	x: 6.258 m η = 1.6	x: 6.258 m η = 3.4	x: 0 m η = 0.1	η < 0.1	η < 0.1	x: 6.258 m η = 31.7	η < 0.1	η = 0.5	x: 6.258 m η = 3.4	x: 0 m η = 0.1	CUMPLE h = 31.7

Notación:
 l.: Limitación de esbeltez
 l.: Abolladura del alma inducida por el ala comprimida
 N: Resistencia a tracción
 N: Resistencia a compresión
 M_y: Resistencia a flexión eje Y
 M_z: Resistencia a flexión eje Z
 V_z: Resistencia a corte Z
 V_y: Resistencia a corte Y
 M-V_z: Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados
 M-V_y: Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados
 NM,M_z: Resistencia a flexión y axil combinados
 NM,M_yV_z: Resistencia a flexión, axil y cortante combinados
 M_t: Resistencia a torsión
 MV_z: Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados
 MV_y: Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados
 x: Distancia al origen de la barra
 h: Coeficiente de aprovechamiento (%)

Producido por una versión no profesional de EYPE

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.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$\bar{\lambda}$: 0.96 ✓

Donde:

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

Clase : 2

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

A : 39.10 cm²

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

f_y : 275.00 MPa

N_{cr} : Axil crítico de pandeo elástico.

N_{cr} : 1163.68 kN

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

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

$N_{cr,y}$: 1859.17 kN

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{ky}^2}$$

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

$N_{cr,z}$: 30752.53 kN

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{kz}^2}$$

c) Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

$N_{cr,T}$: 1163.68 kN

$$N_{cr,T} = \frac{1}{i_0^2} \cdot \left[G \cdot I_t + \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_w}{L_{kt}^2} \right]$$

Donde:

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

I_y : 3892.00 cm⁴

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

I_z : 284.00 cm⁴

I_t : Momento de inercia a torsión uniforme.

I_t : 12.90 cm⁴

I_w : Constante de alabeo de la sección.

I_w : 37400.00 cm⁶

E: Módulo de elasticidad.

E : 210000 MPa

G: Módulo de elasticidad transversal.

G : 81000 MPa

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

L_{ky} : 6.587 m

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

L_{kz} : 0.438 m

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

L_{kt} : 6.258 m

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

i_0 : 10.33 cm

$$i_0 = (i_y^2 + i_z^2 + y_0^2 + z_0^2)^{0.5}$$

Siendo:

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

i_y : 9.98 cm

i_z : 2.70 cm

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

y_0 : 0.00 mm

z_0 : 0.00 mm

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

Se debe satisfacer:

$$\frac{h_w}{t_w} \leq k \frac{E}{f_{yf}} \sqrt{\frac{A_w}{A_{fc,ef}}}$$

35.55 ≤ 246.95 ✓

Donde:

h_w : Altura del alma.

h_w : 220.40 mm

t_w : Espesor del alma.

t_w : 6.20 mm

A_w : Área del alma.

A_w : 13.66 cm²

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

$A_{fc,ef}$: 11.76 cm²

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

k : 0.30

E : Módulo de elasticidad.

E : 210000 MPa

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

f_{yf} : 275.00 MPa

Siendo:

$$f_{yf} = f_y$$

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

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1$$

η : 0.004 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N76, para la combinación de acciones 0.8·PP+1.05·Q1(C)+1.5·V(90°)H2+0.75·N(R)1.

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

$N_{t,Ed}$: 3.64 kN

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

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

$N_{t,Rd}$: 1024.05 kN

Donde:

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

A : 39.10 cm²

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 261.90 MPa

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

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

f_y : 275.00 MPa

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

γ_{M0} : 1.05

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

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1$$

η : 0.010 ✓

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1$$

η : 0.016 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N2, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·V(0°)H2+0.75·N(R)2.

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

$N_{c,Ed}$: 10.38 kN

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

$$N_{c,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

$$N_{c,Rd} : \underline{1024.05} \text{ kN}$$

Donde:

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

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

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

$$A : \underline{39.10} \text{ cm}^2$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

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

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

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

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

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

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

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

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

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot A \cdot f_{yd}$$

$$N_{b,Rd} : \underline{636.72} \text{ kN}$$

Donde:

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

$$A : \underline{39.10} \text{ cm}^2$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

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

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$$

Siendo:

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

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

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

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

c: Coeficiente de reducción por pandeo.

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - (\bar{\lambda})^2}} \leq 1$$

$$c_y : \underline{0.82}$$

$$c_z : \underline{1.00}$$

$$c_T : \underline{0.62}$$

Siendo:

$$\Phi = 0.5 \cdot \left[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0.2) + (\bar{\lambda})^2 \right]$$

$$f_y : \underline{0.85}$$

$$f_z : \underline{0.52}$$

$$f_T : \underline{1.09}$$

a: Coeficiente de imperfección elástica.

$$a_y : \underline{0.21}$$

$$a_z : \underline{0.34}$$

$$a_T : \underline{0.34}$$

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

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$$\bar{\lambda}_y : \underline{0.76}$$

$$\bar{\lambda}_z : \underline{0.19}$$

$$\bar{\lambda}_T : \underline{0.96}$$

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

$$N_{cr} : \underline{1163.68} \text{ kN}$$

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

$$N_{cr,y} : \underline{1859.17} \text{ kN}$$

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

$$N_{cr,z} : \underline{30752.53} \text{ kN}$$

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

$$N_{cr,T} : \underline{1163.68} \text{ kN}$$

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

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.115} \checkmark$$

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{b,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.317} \quad \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N76, para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(90°)H2.

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

$$M_{Ed}^+ : \underline{9.57} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N76, para la combinación de acciones 1.35·PP+0.9·V(270°)H1+1.5·N(R)2.

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

$$M_{Ed}^- : \underline{11.01} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

$$M_{c,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_{yd}$$

$$M_{c,Rd} : \underline{96.12} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

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

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

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

$$W_{pl,y} : \underline{367.00} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

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

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

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

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

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

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

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

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

$$M_{b,Rd}^+ = \chi_{LT} \cdot W_{pl,y}^+ \cdot f_{yd}$$

$$M_{b,Rd}^+ : \underline{84.79} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{b,Rd}^- = \chi_{LT} \cdot W_{pl,y}^- \cdot f_{yd}$$

$$M_{b,Rd}^- : \underline{34.69} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

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

$$W_{pl,y} : \underline{367.00} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

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

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$$

Siendo:

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

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

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

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

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

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}} \leq 1$$

$$c_{LT}^+ : \underline{0.88}$$

$$c_{LT}^- : \underline{0.36}$$

Siendo:

$$\Phi_{LT} = 0.5 \cdot \left[1 + \alpha_{LT} \cdot (\bar{\lambda}_{LT} - 0.2) + \bar{\lambda}_{LT}^2 \right]$$

$$f_{LT}^+ : \underline{0.74}$$

$$f_{LT}^- : \underline{1.81}$$

α_{LT} : Coeficiente de imperfección elástica.

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

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

$$\bar{\lambda}_{LT}^+ = \sqrt{\frac{W_{pl,y}^+ \cdot f_y}{M_{cr}}}$$

$$\bar{\lambda}_{LT}^+ : \underline{0.62}$$

$$\bar{\lambda}_{LT}^- = \sqrt{\frac{W_{pl,y}^- \cdot f_y}{M_{cr}}}$$

$$\bar{\lambda}_{LT}^- : \underline{1.53}$$

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

$$M_{cr}^+ : \underline{262.35} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{cr}^- : \underline{43.23} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

$$M_{cr} = \sqrt{M_{LTV}^2 + M_{LTw}^2}$$

Siendo:

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

$$M_{LTV} = C_1 \cdot \frac{\pi}{L_c} \cdot \sqrt{G \cdot I_t \cdot E \cdot I_z}$$

$$M_{LTV}^+ : \underline{141.72} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{LTV}^- : \underline{39.63} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

$$M_{LTW} = W_{el,y} \cdot \frac{\pi^2 \cdot E}{L_c^2} \cdot C_1 \cdot i_{f,z}^2$$

$$M_{LTW}^+ : \underline{220.78} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{LTW}^- : \underline{17.27} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Siendo:

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

$$W_{el,y} : \underline{324.33} \text{ cm}^3$$

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

$$I_z : \underline{284.00} \text{ cm}^4$$

I_t : Momento de inercia a torsión uniforme.

$$I_t : \underline{12.90} \text{ cm}^4$$

E: Módulo de elasticidad.

$$E : \underline{210000} \text{ MPa}$$

G: Módulo de elasticidad transversal.

$$G : \underline{81000} \text{ MPa}$$

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

$$L_c^+ : \underline{1.750} \text{ m}$$

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

$$L_c^- : \underline{6.258} \text{ m}$$

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

$$C_1 : \underline{1.00}$$

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

$$i_{f,z}^+ : \underline{3.17} \text{ cm}$$

$$i_{f,z}^- : \underline{3.17} \text{ cm}$$

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

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

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

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N76, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·V(0°)H1+0.75·N(R)2.

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

$$M_{Ed}^+ : \underline{0.32} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N76, para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(90°)H2.

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

$$M_{Ed}^- : \underline{0.18} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

$$M_{c,Rd} = W_{pl,z} \cdot f_{yd}$$

$$M_{c,Rd} : \underline{19.35} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

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

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

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

$$W_{pl,z} : \underline{73.90} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

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

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

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

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

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

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

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

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.034} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N76, para la combinación de acciones 1.35·PP+0.9·V(270°)H1+1.5·N(R)2.

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

$$V_{Ed} : \underline{9.84} \text{ kN}$$

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

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

$$V_{c,Rd} : \underline{289.23} \text{ kN}$$

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

$$A_v : \underline{19.13} \text{ cm}^2$$

$$A_v = h \cdot t_w$$

Siendo:

h: Canto de la sección.

$$h : \underline{240.00} \text{ mm}$$

t_w : Espesor del alma.

$$t_w : \underline{6.20} \text{ mm}$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

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

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

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

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

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

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

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

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

$$\frac{d}{t_w} < 70 \cdot \varepsilon$$

$$30.71 < 64.71 \quad \checkmark$$

Donde:

l_w : Esbeltez del alma.

$$l_w : \underline{30.71}$$

$$\lambda_w = \frac{d}{t_w}$$

l_{\max} : Esbeltez máxima.

$$l_{\max} : \underline{64.71}$$

$$\lambda_{\max} = 70 \cdot \varepsilon$$

e: Factor de reducción.

$$e : \underline{0.92}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{ref}}{f_y}}$$

Siendo:

f_{ref} : Límite elástico de referencia.

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

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

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

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

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.001} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N2, para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(0°)H2.

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

$$V_{Ed} : \underline{0.31} \quad \text{kN}$$

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

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

$$V_{c,Rd} : \underline{384.61} \quad \text{kN}$$

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

$$A_v : \underline{25.44} \quad \text{cm}^2$$

$$A_v = A - d \cdot t_w$$

Siendo:

A: Área de la sección bruta.

$$A : \underline{39.10} \quad \text{cm}^2$$

d: Altura del alma.

$$d : \underline{220.40} \quad \text{mm}$$

t_w : Espesor del alma.

$$t_w : \underline{6.20} \quad \text{mm}$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

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

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

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

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

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

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

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

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

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

$$9.21 \text{ kN} \leq 144.61 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(0°)H2.

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

$$V_{Ed} : \underline{9.21} \quad \text{kN}$$

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

$$V_{c,Rd} : \underline{289.23} \quad \text{kN}$$

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

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

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

$$0.31 \text{ kN} \leq 192.30 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(0°)H2.

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

$$V_{Ed} : \underline{0.31} \quad \text{kN}$$

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

$$V_{c,Rd} : \underline{384.61} \quad \text{kN}$$

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

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} \leq 1$$

$$h : \frac{0.120}{1} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{M_{ef,Ed}}{M_{b,Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} \leq 1$$

$$h : \frac{0.317}{1} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo p^{ésimos} se producen en el nudo N76, para la combinaci3n de acciones 1.35·PP+1.05·Q1(C)+0.9·V(270°)H1+1.5·N(R)2.

Donde:

$N_{t,Ed}$: Axil de tracci3n solicitante de c3lculo p^{ésimo}.

$$N_{t,Ed} : \frac{1.63}{1} \text{ kN}$$

$M_{y,Ed}$, $M_{z,Ed}$: Momentos flectores solicitantes de c3lculo p^{ésimos}, seg^{un} los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{y,Ed}^- : \frac{11.01}{1} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{z,Ed}^+ : \frac{0.07}{1} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Clase: Clase de la secci3n, seg^{un} la capacidad de deformaci3n y de desarrollo de la resistencia pl3stica de sus elementos planos, para axil y flexi3n simple.

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

$N_{pl,Rd}$: Resistencia a tracci3n.

$$N_{pl,Rd} : \frac{1024.05}{1} \text{ kN}$$

$M_{pl,Rd,y}$, $M_{pl,Rd,z}$: Resistencia a flexi3n de la secci3n bruta en condiciones pl3sticas, respecto a los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{pl,Rd,y} : \frac{96.12}{1} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{pl,Rd,z} : \frac{19.35}{1} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Art3culo 6.3.4.1)

$M_{ef,Ed}$: Momento flector solicitante de c3lculo p^{ésimo}.

$$M_{ef,Ed} : \frac{-10.89}{1} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{ef,Ed} = W_{y,com} \cdot \sigma_{com,Ed}$$

Siendo:

$\sigma_{com,Ed}$: Tensi3n combinada en la fibra extrema comprimida.

$$\sigma_{com,Ed} : \frac{29.66}{1} \text{ MPa}$$

$$\sigma_{com,Ed} = \frac{M_{y,Ed}}{W_{y,com}} - 0.8 \cdot \frac{N_{t,Ed}}{A}$$

$W_{y,com}$: M3dulo resistente de la secci3n referido a la fibra extrema comprimida, alrededor del eje Y.

$$W_{y,com} : \frac{367.00}{1} \text{ cm}^3$$

A: 3rea de la secci3n bruta.

$$A : \frac{39.10}{1} \text{ cm}^2$$

$M_{b,Rd,y}$: Momento flector resistente de c3lculo.

$$M_{b,Rd,y} : \frac{34.69}{1} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Resistencia a flexi3n, axil y cortante combinados (CTE DB SE-A, Art3culo 6.2.8)

No es necesario reducir las resistencias de c3lculo a flexi3n y a axil, ya que se puede ignorar el efecto de abolladura por esfuerzo cortante y, adem3s, el esfuerzo cortante solicitante de c3lculo p^{ésimo} V_{Ed} es menor o igual que el 50% del esfuerzo cortante resistente de c3lculo $V_{c,Rd}$.

Los esfuerzos solicitantes de c3lculo p^{ésimos} se producen para la combinaci3n de acciones 0.8·PP+1.5·V(0°)H2.

$$V_{Ed,z} \leq \frac{V_{c,Rd,z}}{2}$$

$$9.21 \text{ kN} \leq 144.60 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Donde:

$V_{Ed,z}$: Esfuerzo cortante solicitante de c3lculo p^{ésimo}.

$$V_{Ed,z} : \frac{9.21}{1} \text{ kN}$$

$V_{c,Rd,z}$: Esfuerzo cortante resistente de c3lculo.

$$V_{c,Rd,z} : \frac{289.19}{1} \text{ kN}$$

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

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{T,Ed}}{M_{T,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.005} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 1.35·PP+0.9·V(180°)H1+1.5·N(R)2.

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

$$M_{T,Ed} : \underline{0.01} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

$$M_{T,Rd} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot W_T \cdot f_{yd}$$

$$M_{T,Rd} : \underline{1.99} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T : \underline{13.16} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

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

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

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

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

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

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

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

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,T,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.034} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N76, para la combinación de acciones 1.35·PP+0.9·V(270°)H1+1.5·N(R)2.

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

$$V_{Ed} : \underline{9.84} \text{ kN}$$

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

$$M_{T,Ed} : \underline{0.01} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

$$V_{pl,T,Rd} = \sqrt{1 - \frac{\tau_{T,Ed}}{1.25 \cdot f_{yd} / \sqrt{3}}} \cdot V_{pl,Rd}$$

$$V_{pl,T,Rd} : \underline{288.66} \text{ kN}$$

Donde:

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

$$V_{pl,Rd} : \underline{289.23} \text{ kN}$$

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

$$\tau_{T,Ed} : \underline{0.74} \text{ MPa}$$

$$\tau_{T,Ed} = \frac{M_{T,Ed}}{W_t}$$

Siendo:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T : \underline{13.16} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

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

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

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

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

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

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

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

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,T,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.001} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N2, para la combinación de acciones $0.8 \cdot PP + 1.5 \cdot V(0^\circ)H2$.

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

$$V_{Ed} : \underline{0.31} \text{ kN}$$

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

$$M_{T,Ed} : \underline{0.00} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

$$V_{pl,T,Rd} = \sqrt{1 - \frac{\tau_{T,Ed}}{1.25 \cdot f_{yd} / \sqrt{3}}} \cdot V_{pl,Rd}$$

$$V_{pl,T,Rd} : \underline{384.56} \text{ kN}$$

Donde:

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

$$V_{pl,Rd} : \underline{384.61} \text{ kN}$$

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

$$t_{T,Ed} : \underline{0.05} \text{ MPa}$$

$$\tau_{T,Ed} = \frac{M_{T,Ed}}{W_t}$$

Siendo:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T : \underline{13.16} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

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

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

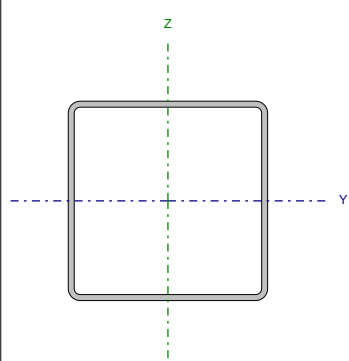
f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

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

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

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

Barra N89/N95

Perfil: SHS 100x3.0 Material: Acero (S275)						
	Nudos		Longitud (m)	Características mecánicas		
	Inicial	Final		Área (cm ²)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _z ⁽¹⁾ (cm ⁴)
	N89	N95	6.250	11.40	176.77	176.77
Notas: ⁽¹⁾ Inercia respecto al eje indicado ⁽²⁾ Momento de inercia a torsión uniforme						
		Pandeo		Pandeo lateral		
		Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.	
β	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	
L _k	6.250	6.250	0.000	0.000	0.000	
C _m	1.000	0.950	1.000	1.000	1.000	
C ₁	-			1.000		
Notación: b: Coeficiente de pandeo L _k : Longitud de pandeo (m) C _m : Coeficiente de momentos C ₁ : Factor de modificación para el momento crítico						

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)														Estado	
	$\bar{\lambda}$	λ_w	N _t	N _c	M _y	M _z	V _z	V _y	M _y V _z	M _z V _y	NM _z	NM _y V _z	M _t	M _y V _t		M _z V _t
N89/N95	$\bar{\lambda} < 2.0$ Cumple	x: 0.391 m $\lambda_w \leq \lambda_{w,max}$ Cumple	$\eta = 1.1$	$\eta = 16.4$	x: 6.25 m $\eta = 4.5$	x: 6.25 m $\eta = 0.6$	x: 6.25 m $\eta = 0.5$	$\eta < 0.1$	x: 0.391 m $\eta < 0.1$	x: 0.391 m $\eta < 0.1$	x: 6.25 m $\eta = 21.5$	x: 0.391 m $\eta < 0.1$	M _{t3} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	N.P. ⁽²⁾	N.P. ⁽²⁾	CUMPLE h = 21.5
Definición: I.: Limitación de esbeltez I.: Abolladura del alma inducida por el ala comprimida N.: Resistencia a tracción N.: Resistencia a compresión M _y : Resistencia a flexión eje Y M _z : Resistencia a flexión eje Z V _y : Resistencia a corte Y V _z : Resistencia a corte Z M _y V _z : Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados M _z V _y : Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados NM _z : Resistencia a flexión y axil combinados NM _y V _z : Resistencia a flexión, axil y cortante combinados M _t : Resistencia a torsión M _y V _t : Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados M _z V _t : Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados x: Distancia al origen de la barra h: Coeficiente de aprovechamiento (%) N.P.: No procede																
Comprobaciones que no proceden (N.P.): (1) La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor. (2) No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.																

Producido por una versión no profesional de XYPE

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.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$$\bar{\lambda} : \underline{1.83} \quad \checkmark$$

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.

$$A : \underline{11.40} \text{ cm}^2$$

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

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

N_{cr} : Axil crítico de pandeo elástico.

$$N_{cr} : \underline{93.79} \text{ kN}$$

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

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

$$N_{cr,y} : \underline{93.79} \text{ kN}$$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{ky}^2}$$

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

$$N_{cr,z} : \underline{93.79} \text{ kN}$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{kz}^2}$$

c) Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

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

$$N_{cr,T} = \frac{1}{i_0^2} \cdot \left[G \cdot I_t + \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_w}{L_{kt}^2} \right]$$

Donde:

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

$$I_y : \underline{176.77} \text{ cm}^4$$

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

$$I_z : \underline{176.77} \text{ cm}^4$$

I_t : Momento de inercia a torsión uniforme.

$$I_t : \underline{278.63} \text{ cm}^4$$

I_w : Constante de alabeo de la sección.

$$I_w : \underline{0.00} \text{ cm}^6$$

E: Módulo de elasticidad.

$$E : \underline{210000} \text{ MPa}$$

G: Módulo de elasticidad transversal.

$$G : \underline{81000} \text{ MPa}$$

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

$$L_{ky} : \underline{6.250} \text{ m}$$

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

$$L_{kz} : \underline{6.250} \text{ m}$$

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.

$$i_0 : \underline{5.57} \text{ cm}$$

$$i_0 = (i_y^2 + i_z^2 + y_0^2 + z_0^2)^{0.5}$$

Siendo:

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

$$i_y : \underline{3.94} \text{ cm}$$

$$i_z : \underline{3.94} \text{ cm}$$

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.

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

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

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

Se debe satisfacer:

$$\frac{h_w}{t_w} \leq k \frac{E}{f_{yf}} \sqrt{\frac{A_w}{A_{fc,ef}}}$$

31.33 ≤ 418.82 ✓

Donde:

h_w : Altura del alma.

h_w : 94.00 mm

t_w : Espesor del alma.

t_w : 3.00 mm

A_w : Área del alma.

A_w : 5.64 cm²

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

$A_{fc,ef}$: 3.00 cm²

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

k : 0.40

E : Módulo de elasticidad.

E : 210000 MPa

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

f_{yf} : 275.00 MPa

Siendo:

$$f_{yf} = f_y$$

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

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1$$

η : 0.011 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(90°)H1+0.75·N(R)2.

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

$N_{t,Ed}$: 3.40 kN

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

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

$N_{t,Rd}$: 298.64 kN

Donde:

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

A : 11.40 cm²

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 261.90 MPa

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 275.00 MPa

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Resistencia a compresión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.5)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1$$

η : 0.038 ✓

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1$$

η : 0.164 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(0°)H2+0.75·N(R)2.

$N_{c,Ed}$: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.

$N_{c,Ed}$: 11.21 kN

La resistencia de cálculo a compresión $N_{c,Rd}$ viene dada por:

$$N_{c,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

$$N_{c,Rd} : \underline{298.64} \text{ kN}$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

$$\text{Clase} : \underline{2}$$

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

$$A : \underline{11.40} \text{ cm}^2$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.2)

La resistencia de cálculo a pandeo $N_{b,Rd}$ en una barra comprimida viene dada por:

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot A \cdot f_{yd}$$

$$N_{b,Rd} : \underline{68.22} \text{ kN}$$

Donde:

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

$$A : \underline{11.40} \text{ cm}^2$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

γ_{M1} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M1} : \underline{1.05}$$

c: Coeficiente de reducción por pandeo.

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - (\bar{\lambda})^2}} \leq 1$$

$$C_y : \underline{0.23}$$

$$C_z : \underline{0.23}$$

Siendo:

$$\Phi = 0.5 \cdot \left[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0.2) + (\bar{\lambda})^2 \right]$$

$$f_y : \underline{2.57}$$

$$f_z : \underline{2.57}$$

α : Coeficiente de imperfección elástica.

$$a_y : \underline{0.49}$$

$$a_z : \underline{0.49}$$

$\bar{\lambda}$: Esbeltez reducida.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$$\bar{\lambda}_y : \underline{1.83}$$

$$\bar{\lambda}_z : \underline{1.83}$$

N_{cr} : Axil crítico elástico de pandeo, obtenido como el menor de los siguientes valores:

$$N_{cr} : \underline{93.79} \text{ kN}$$

$N_{cr,y}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

$$N_{cr,y} : \underline{93.79} \text{ kN}$$

$N_{cr,z}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

$$N_{cr,z} : \underline{93.79} \text{ kN}$$

$N_{cr,T}$: Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

$$N_{cr,T} : \underline{\infty}$$

Resistencia a flexión eje Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.045} \quad \checkmark$$

Para flexión positiva:

M_{Ed}^+ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^+ : \underline{0.00} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N95, para la combinación de acciones 1.35·PP.

M_{Ed}^- : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^- : \underline{0.49} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

El momento flector resistente de cálculo $M_{c,Rd}$ viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_{yd}$$

$$M_{c,Rd} : \underline{10.78} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

$$\text{Clase} : \underline{2}$$

$W_{pl,y}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$$W_{pl,y} : \underline{41.17} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a flexión eje Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.006} \quad \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N95, para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(90°)H1.

M_{Ed}^+ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^+ : \underline{0.06} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N95, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·V(0°)H1+0.75·N(R)2.

M_{Ed}^- : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^- : \underline{0.07} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

El momento flector resistente de cálculo $M_{c,Rd}$ viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,z} \cdot f_{yd}$$

$$M_{c,Rd} : \underline{10.78} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

$$\text{Clase} : \underline{2}$$

$W_{pl,z}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$$W_{pl,z} : \underline{41.17} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a corte Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.005} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N95, para la combinación de acciones 1.35·PP.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.45} \text{ kN}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$ viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

$$V_{c,Rd} : \underline{85.28} \text{ kN}$$

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

$$A_v : \underline{5.64} \text{ cm}^2$$

$$A_v = 2 \cdot d \cdot t_w$$

Siendo:

d: Altura del alma.

$$d : \underline{94.00} \text{ mm}$$

t_w : Espesor del alma.

$$t_w : \underline{3.00} \text{ mm}$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Abolladura por cortante del alma: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.4)

Aunque no se han dispuesto rigidizadores transversales, no es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:

$$\frac{d}{t_w} < 70 \cdot \varepsilon$$

$$31.33 < 64.71 \quad \checkmark$$

Donde:

l_w : Esbeltez del alma.

$$l_w : \underline{31.33}$$

$$\lambda_w = \frac{d}{t_w}$$

l_{\max} : Esbeltez máxima.

$$l_{\max} : \underline{64.71}$$

$$\lambda_{\max} = 70 \cdot \varepsilon$$

e: Factor de reducción.

$$e : \underline{0.92}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{ref}}{f_y}}$$

Siendo:

f_{ref} : Límite elástico de referencia.

$$f_{ref} : \underline{235.00} \text{ MPa}$$

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

Resistencia a corte Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

$$h < \underline{0.001} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones $0.8 \cdot PP + 1.5 \cdot V(90^\circ)H1$.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.01} \text{ kN}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$ viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

$$V_{c,Rd} : \underline{87.14} \text{ kN}$$

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

$$A_v : \underline{5.76} \text{ cm}^2$$

$$A_v = A - 2 \cdot d \cdot t_w$$

Siendo:

A: Área de la sección bruta.

$$A : \underline{11.40} \text{ cm}^2$$

d: Altura del alma.

$$d : \underline{94.00} \text{ mm}$$

t_w : Espesor del alma.

$$t_w : \underline{3.00} \text{ mm}$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Abolladura por cortante del alma: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.4)

Aunque no se han dispuesto rigidizadores transversales, no es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:

$$\frac{b}{t_f} < 70 \cdot \varepsilon$$

$$33.33 < \underline{64.71} \quad \checkmark$$

Donde:

l_w : Esbeltez del alma.

$$l_w : \underline{33.33}$$

$$\lambda_w = \frac{b}{t_f}$$

l_{\max} : Esbeltez máxima.

$$l_{\max} : \underline{64.71}$$

$$\lambda_{\max} = 70 \cdot \varepsilon$$

e: Factor de reducción.

$$e : \underline{0.92}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{ref}}{f_y}}$$

Siendo:

f_{ref} : Límite elástico de referencia.

$$f_{ref} : \underline{235.00} \text{ MPa}$$

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante $V_{c,Rd}$.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

$$0.25 \text{ kN} \leq 42.64 \text{ kN}$$



Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 0.391 m del nudo N89, para la combinación de acciones 1.35·PP.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.25} \text{ kN}$$

$V_{c,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd} : \underline{85.28} \text{ kN}$$

Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante $V_{c,Rd}$.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

$$0.01 \text{ kN} \leq 43.57 \text{ kN}$$



Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 0.391 m del nudo N89, para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(90°)H1.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.01} \text{ kN}$$

$V_{c,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd} : \underline{87.14} \text{ kN}$$

Resistencia a flexión y axil combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} \leq 1 \quad h : \underline{0.088} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot A \cdot f_{yd}} + k_y \cdot \frac{C_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + \alpha_z \cdot k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1 \quad h : \underline{0.215} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot A \cdot f_{yd}} + \alpha_y \cdot k_y \cdot \frac{C_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1 \quad h : \underline{0.198} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N95, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·V(0°)H2+0.75·N(R)2.

Donde:

$N_{c,Ed}$: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.

$$N_{c,Ed} : \underline{11.09} \text{ kN}$$

$M_{y,Ed}$, $M_{z,Ed}$: Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{y,Ed} : \underline{0.49} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{z,Ed} : \underline{0.06} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de sus elementos planos, para axil y flexión simple.

$$\text{Clase} : \underline{2}$$

$N_{pl,Rd}$: Resistencia a compresión de la sección bruta.

$$N_{pl,Rd} : \underline{298.64} \text{ kN}$$

$M_{pl,Rd,y}$, $M_{pl,Rd,z}$: Resistencia a flexión de la sección bruta en condiciones plásticas, respecto a los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{pl,Rd,y} : \underline{10.78} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{pl,Rd,z} : \underline{10.78} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.4.2)

A: Área de la sección bruta.

$$A : \underline{11.40} \text{ cm}^2$$

$W_{pl,y}$, $W_{pl,z}$: Módulos resistentes plásticos correspondientes a la fibra comprimida, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.

$$W_{pl,y} : \underline{41.17} \text{ cm}^3$$

$$W_{pl,z} : \underline{41.17} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

γ_{M1} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M1} : \underline{1.05}$$

k_y , k_z : Coeficientes de interacción.

$$k_y = 1 + (\bar{\lambda}_y - 0.2) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot N_{c,Rd}}$$

$$k_y : \underline{1.13}$$

$$k_z = 1 + (\bar{\lambda}_z - 0.2) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot N_{c,Rd}}$$

$$k_z : \underline{1.13}$$

$C_{m,y}$, $C_{m,z}$: Factores de momento flector uniforme equivalente.

$$C_{m,y} : \underline{0.95}$$

$$C_{m,z} : \underline{1.00}$$

c_y , c_z : Coeficientes de reducción por pandeo, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.

$$c_y : \underline{0.23}$$

$$c_z : \underline{0.23}$$

$\bar{\lambda}_y$, $\bar{\lambda}_z$: Esbelteces reducidas con valores no mayores que 1.00, en relación a los ejes Y y Z, respectivamente.

$$\bar{\lambda}_y : \underline{1.83}$$

$$\bar{\lambda}_z : \underline{1.83}$$

a_y , a_z : Factores dependientes de la clase de la sección.

$$a_y : \underline{0.60}$$

$$a_z : \underline{0.60}$$

Resistencia a flexión, axil y cortante combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir las resistencias de cálculo a flexión y a axil, ya que se puede ignorar el efecto de abolladura por esfuerzo cortante y, además, el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} es menor o igual que el 50% del esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$.

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 0.391 m del nudo N89, para la combinación de acciones 1.35·PP.

$$V_{Ed,z} \leq \frac{V_{c,Rd,z}}{2}$$

$$0.25 \text{ kN} \leq 42.64 \text{ kN}$$



Donde:

$V_{Ed,z}$: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed,z} : \underline{0.25} \text{ kN}$$

$V_{c,Rd,z}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd,z} : \underline{85.28} \text{ kN}$$

Resistencia a torsión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.7)

La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor.

Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

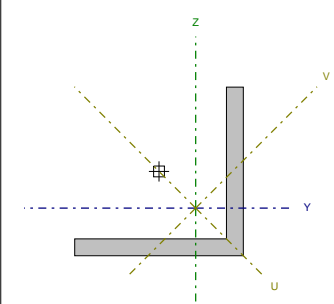
No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Barra N1/N95

Perfil: L 80 x 80 x 8 Material: Acero (S275)										
Nudos	Longitud (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)
N1	N95	7.163	12.30	72.25	72.25	42.53	2.59	17.40	-17.40	-45.0
Notas: ⁽¹⁾ Inercia respecto al eje indicado ⁽²⁾ Momento de inercia a torsión uniforme ⁽³⁾ Coordenadas del centro de gravedad ⁽⁴⁾ Producto de inercia ⁽⁵⁾ Es el ángulo que forma el eje principal de inercia U respecto al eje Y, positivo en sentido antihorario.										
			Pandeo				Pandeo lateral			
			Plano XY	Plano XZ		Ala sup.	Ala inf.			
β			0.00	0.00		0.00	0.00			
L _K			0.000	0.000		0.000	0.000			
C _m			1.000	1.000		1.000	1.000			
C ₁			-			1.000				
Notación: b: Coeficiente de pandeo L _K : Longitud de pandeo (m) C _m : Coeficiente de momentos C ₁ : Factor de modificación para el momento crítico										



Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)														Estado
	λ̄	N _t	N _c	M _y	M _z	V _z	V _y	M _y V _z	M _z V _y	NM _y M _z	NM _y M _z V _y V _z	M _t	M _y V _t	M _z V _t	
N1/N95	λ̄ ≤ 4.0 Cumple	η = 4.9	N _{Ed} = 0,00 N.P. ⁽¹⁾	M _{Ed} = 0,00 N.P. ⁽²⁾	M _{Ed} = 0,00 N.P. ⁽²⁾	V _{Ed} = 0,00 N.P. ⁽³⁾	V _{Ed} = 0,00 N.P. ⁽³⁾	N.P. ⁽⁴⁾	N.P. ⁽⁴⁾	N.P. ⁽⁵⁾	N.P. ⁽⁶⁾	M _{Ed} = 0,00 N.P. ⁽⁷⁾	N.P. ⁽⁸⁾	N.P. ⁽⁸⁾	CUMPLE h = 4.9
Notación: λ̄: Limitación de esbeltez N: Resistencia a tracción N: Resistencia a compresión M _y : Resistencia a flexión eje Y M _z : Resistencia a flexión eje Z V _y : Resistencia a corte Y V _z : Resistencia a corte Z M _y V _z : Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados M _z V _y : Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados NM _y M _z : Resistencia a flexión y axil combinados NM _y M _z V _y V _z : Resistencia a flexión, axil y cortante combinados M _t : Resistencia a torsión M _y V _t : Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados M _z V _t : Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados x: Distancia al origen de la barra h: 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. ⁽²⁾ La comprobación no procede, ya que no hay momento flector. ⁽³⁾ La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante. ⁽⁴⁾ No hay interacción entre momento flector y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede. ⁽⁵⁾ No hay interacción entre axil y momento flector ni entre momentos flectores en ambas direcciones para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede. ⁽⁶⁾ No hay interacción entre momento flector, axil y cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede. ⁽⁷⁾ La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor. ⁽⁸⁾ No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.															

Limitación de esbeltez (CTE DB SE-A, Artículos 6.3.1 y 6.3.2.1 - Tabla 6.3)

La esbeltez reducida λ̄ de las barras de arriostramiento traccionadas no debe superar el valor 4.0.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$$\bar{\lambda} < 0.01 \quad \checkmark$$

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.

- A : 12.30 cm²
- f_y : 275.00 MPa
- N_{cr} : ∞

Procedido por una versión no profesional de WPF

Resistencia a tracción (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.3)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.049} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones $0.8 \cdot PP + 1.5 \cdot V(0^\circ)H2 + 0.75 \cdot N(R)2$.

$N_{t,Ed}$: Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.

$$N_{t,Ed} : \underline{15.92} \text{ kN}$$

La resistencia de cálculo a tracción $N_{t,Rd}$ viene dada por:

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

$$N_{t,Rd} : \underline{322.14} \text{ kN}$$

Donde:

A: Área bruta de la sección transversal de la barra.

$$A : \underline{12.30} \text{ cm}^2$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a compresión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.5)

La comprobación no procede, ya que no hay axil de compresión.

Resistencia a flexión eje Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

La comprobación no procede, ya que no hay momento flector.

Resistencia a flexión eje Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

La comprobación no procede, ya que no hay momento flector.

Resistencia a corte Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante.

Resistencia a corte Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante.

Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento flector y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento flector y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a flexión y axil combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre axil y momento flector ni entre momentos flectores en ambas direcciones para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a flexión, axil y cortante combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento flector, axil y cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a torsión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.7)

La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor.

Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

En cuanto al pórtico de fachada que contiene el altillo, el montante de perfil SHS100x3.0 se sustituye por una viga de IPE360, debido a la existencia del altillo. Como se observa en la figura, se realizará el cálculo de la barra N71-N98.

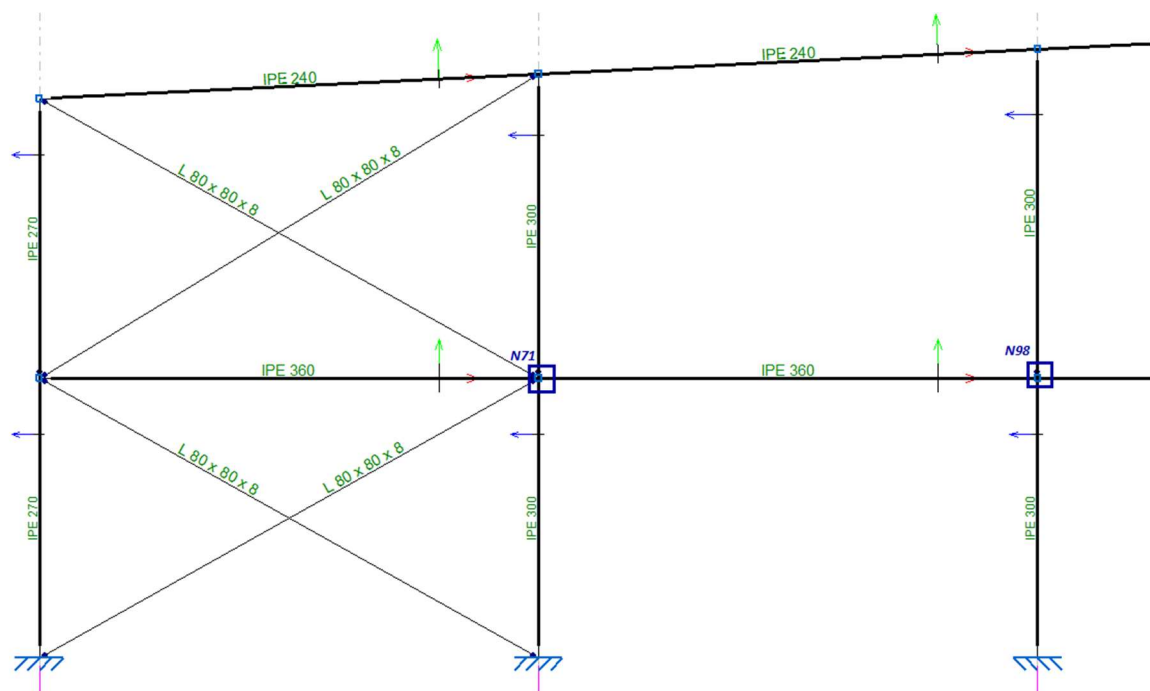


FIGURA 4.4: Pórtico de fachada señalando la viga perimetral que sustenta el altillo. Fuente: CYPE3D 2018

·Cálculos comprobación E.L.U (Estado Límite Último):

Barra N98/N71

Perfil: IPE 360 Material: Acero (S275)							
	Nudos		Longitud (m)	Características mecánicas			
	Inicial	Final		Área (cm ²)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _z ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)
	N98	N71	6.250	72.70	16270.00	1043.00	37.30
	Notas: (¹) Inercia respecto al eje indicado (²) Momento de inercia a torsión uniforme						
				Pandeo		Pandeo lateral	
				Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.
	β	1.00		1.00	0.00	0.00	
	L _k	6.250		6.250	0.000	0.000	
	C _m	1.000		0.950	1.000	1.000	
	C ₁	-			1.000		
Notación: b: Coeficiente de pandeo L _k : Longitud de pandeo (m) C _m : Coeficiente de momentos C ₁ : Factor de modificación para el momento crítico							

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)													Estado		
	$\bar{\lambda}$	λ_{w}	N _t	N _c	M _x	M _z	V _z	V _x	M _x V _z	M _z V _x	NM _x M _z	NM _x M _z V _z	M _t		M _x V _x	M _x V _z
N98/N71	$\bar{\lambda} < 2.0$ Cumple	$\lambda_w \leq \lambda_{w,max}$ Cumple	η = 0.4	η = 1.0	x: 6.25 m η = 1.2	x: 6.25 m η = 0.7	x: 6.25 m η = 0.5	η < 0.1	η < 0.1	η < 0.1	x: 6.25 m η = 2.4	η < 0.1	M _{ed} = 0.00 N.P. ⁽³⁾	N.P. ⁽²⁾	N.P. ⁽²⁾	CUMPLE h = 2.4
Notación: 1: Limitación de esbeltez 1 _z : Abolladura del alma inducida por el ala comprimida N _t : Resistencia a tracción N _c : Resistencia a compresión M _x : Resistencia a flexión eje Y M _z : Resistencia a flexión eje Z V _z : Resistencia a corte Z V _x : Resistencia a corte Y M _x V _z : Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados M _z V _x : Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados NM _x M _z : Resistencia a flexión y axil combinados NM _x M _z V _z : Resistencia a flexión, axil y cortante combinados M _t : Resistencia a torsión M _x V _x : Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados M _x V _z : Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados x: Distancia al origen de la barra h: Coeficiente de aprovechamiento (%) N.P.: No procede																
Comprobaciones que no proceden (N.P.): (1) La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor. (2) No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.																

Producido por una versión no profesional de TYPE

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.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$\bar{\lambda} : \underline{\quad 1.90 \quad}$ ✓

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

Clase : 3

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

A : 72.70 cm²

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 275.00 MPa

N_{cr} : Axil crítico de pandeo elástico.

N_{cr} : 553.41 kN

El axil crítico de pandeo elástico N_{cr} es el menor de los valores obtenidos en a), b) y c):

a) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

$N_{cr,y}$: 8632.70 kN

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{ky}^2}$$

b) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

$N_{cr,z}$: 553.41 kN

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{kz}^2}$$

c) Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

$N_{cr,T}$: ∞

$$N_{cr,T} = \frac{1}{i_0^2} \cdot \left[G \cdot I_t + \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_w}{L_{kt}^2} \right]$$

Donde:

I_y : Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y.

I_y : 16270.00 cm⁴

I_z : Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z.

I_z : 1043.00 cm⁴

I_t : Momento de inercia a torsión uniforme.

I_t : 37.30 cm⁴

I_w : Constante de alabeo de la sección.

I_w : 314000.00 cm⁶

E: Módulo de elasticidad.

E : 210000 MPa

G: Módulo de elasticidad transversal.

G : 81000 MPa

L_{ky} : Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Y.

L_{ky} : 6.250 m

L_{kz} : Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Z.

L_{kz} : 6.250 m

L_{kt} : Longitud efectiva de pandeo por torsión.

L_{kt} : 0.000 m

i_0 : Radio de giro polar de la sección bruta, respecto al centro de torsión.

i_0 : 15.43 cm

$$i_0 = (i_y^2 + i_z^2 + y_0^2 + z_0^2)^{0.5}$$

Siendo:

i_y, i_z : Radios de giro de la sección bruta, respecto a los ejes principales de inercia Y y Z.

i_y : 14.96 cm

i_z : 3.79 cm

y_0, z_0 : Coordenadas del centro de torsión en la dirección de los ejes principales Y y Z, respectivamente, relativas al centro de gravedad de la sección.

y_0 : 0.00 mm

z_0 : 0.00 mm

Abolladura del alma inducida por el ala comprimida (Criterio de CYPE Ingenieros, basado en: Eurocódigo 3 EN 1993-1-5: 2006, Artículo 8)

Se debe satisfacer:

$$\frac{h_w}{t_w} \leq k \frac{E}{f_{yf}} \sqrt{\frac{A_w}{A_{fc,ef}}}$$

41.83 ≤ 255.09 ✓

Donde:

h_w : Altura del alma.

h_w : 334.60 mm

t_w : Espesor del alma.

t_w : 8.00 mm

A_w : Área del alma.

A_w : 26.77 cm²

$A_{fc,ef}$: Área reducida del ala comprimida.

$A_{fc,ef}$: 21.59 cm²

k: Coeficiente que depende de la clase de la sección.

k : 0.30

E: Módulo de elasticidad.

E : 210000 MPa

f_{yf} : Límite elástico del acero del ala comprimida.

f_{yf} : 275.00 MPa

Siendo:

$$f_{yf} = f_y$$

Resistencia a tracción (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.3)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1$$

h : 0.004 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(270°)H1+0.75·N(R)1.

$N_{t,Ed}$: Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.

$N_{t,Ed}$: 8.26 kN

La resistencia de cálculo a tracción $N_{t,Rd}$ viene dada por:

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

$N_{t,Rd}$: 1904.05 kN

Donde:

A: Área bruta de la sección transversal de la barra.

A : 72.70 cm²

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 261.90 MPa

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 275.00 MPa

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Resistencia a compresión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.5)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1$$

h : 0.002 ✓

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1$$

h : 0.010 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 1.35·PP+1.05·Q1(C)+1.5·V(180°)H2.

$N_{c,Ed}$: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.

$N_{c,Ed}$: 4.20 kN

La resistencia de cálculo a compresión $N_{c,Rd}$ viene dada por:

$$N_{c,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

$$N_{c,Rd} : \underline{1904.05} \text{ kN}$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

$$\text{Clase} : \underline{3}$$

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

$$A : \underline{72.70} \text{ cm}^2$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.2)

La resistencia de cálculo a pandeo $N_{b,Rd}$ en una barra comprimida viene dada por:

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot A \cdot f_{yd}$$

$$N_{b,Rd} : \underline{436.43} \text{ kN}$$

Donde:

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

$$A : \underline{72.70} \text{ cm}^2$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

γ_{M1} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M1} : \underline{1.05}$$

χ : Coeficiente de reducción por pandeo.

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - (\bar{\lambda})^2}} \leq 1$$

$$C_y : \underline{0.93}$$

$$C_z : \underline{0.23}$$

Siendo:

$$\Phi = 0.5 \cdot \left[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0.2) + (\bar{\lambda})^2 \right]$$

$$f_y : \underline{0.65}$$

$$f_z : \underline{2.60}$$

α : Coeficiente de imperfección elástica.

$$a_y : \underline{0.21}$$

$$a_z : \underline{0.34}$$

$\bar{\lambda}$: Esbeltez reducida.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$$\bar{\lambda}_y : \underline{0.48}$$

$$\bar{\lambda}_z : \underline{1.90}$$

N_{cr} : Axil crítico elástico de pandeo, obtenido como el menor de los siguientes valores:

$$N_{cr} : \underline{553.41} \text{ kN}$$

$N_{cr,y}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

$$N_{cr,y} : \underline{8632.70} \text{ kN}$$

$N_{cr,z}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

$$N_{cr,z} : \underline{553.41} \text{ kN}$$

$N_{cr,T}$: Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

$$N_{cr,T} : \underline{\infty}$$

Resistencia a flexión eje Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.012} \quad \checkmark$$

Para flexión positiva:

M_{Ed}^+ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^+ : \underline{0.00} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N71, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·V(90°)H2.

M_{Ed}^- : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^- : \underline{3.14} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

El momento flector resistente de cálculo $M_{c,Rd}$ viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_{yd}$$

$$M_{c,Rd} : \underline{266.88} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

$W_{pl,y}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$$W_{pl,y} : \underline{1019.00} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a pandeo lateral: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.2)

No procede, dado que las longitudes de pandeo lateral son nulas.

Resistencia a flexión eje Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.007} \quad \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N71, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·V(180°)H1+0.75·N(R)1.

M_{Ed}^+ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^+ : \underline{0.36} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N71, para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(270°)H1.

M_{Ed}^- : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^- : \underline{0.26} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

El momento flector resistente de cálculo $M_{c,Rd}$ viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,z} \cdot f_{yd}$$

$$M_{c,Rd} : \underline{50.02} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

$W_{pl,z}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$$W_{pl,z} : \underline{191.00} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a corte Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.005} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N71, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·V(180°)H1.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{2.51} \text{ kN}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$ viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

$$V_{c,Rd} : \underline{530.87} \text{ kN}$$

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

$$A_v : \underline{35.11} \text{ cm}^2$$

$$A_v = h \cdot t_w$$

Siendo:

h: Canto de la sección.

$$h : \underline{360.00} \text{ mm}$$

t_w : Espesor del alma.

$$t_w : \underline{8.00} \text{ mm}$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Abolladura por cortante del alma: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.4)

Aunque no se han dispuesto rigidizadores transversales, no es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:

$$\frac{d}{t_w} < 70 \cdot \varepsilon$$

$$37.32 < 64.71 \quad \checkmark$$

Donde:

l_w : Esbeltez del alma.

$$l_w : \underline{37.32}$$

$$\lambda_w = \frac{d}{t_w}$$

l_{\max} : Esbeltez máxima.

$$l_{\max} : \underline{64.71}$$

$$\lambda_{\max} = 70 \cdot \varepsilon$$

e: Factor de reducción.

$$e : \underline{0.92}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{ref}}{f_y}}$$

Siendo:

f_{ref} : Límite elástico de referencia.

$$f_{ref} : \underline{235.00} \text{ MPa}$$

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

Resistencia a corte Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

$$h < \underline{0.001} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(270°)H1.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.07} \text{ kN}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$ viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

$$V_{c,Rd} : \underline{694.54} \text{ kN}$$

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

$$A_v : \underline{45.93} \text{ cm}^2$$

$$A_v = A - d \cdot t_w$$

Siendo:

A: Área de la sección bruta.

$$A : \underline{72.70} \text{ cm}^2$$

d: Altura del alma.

$$d : \underline{334.60} \text{ mm}$$

t_w : Espesor del alma.

$$t_w : \underline{8.00} \text{ mm}$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante $V_{c,Rd}$.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

$$2.26 \text{ kN} \leq 265.44 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones

1.35·PP+1.05·Q1(C)+1.5·V(270°)H2+0.75·N(R)1.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{2.26} \text{ kN}$$

$V_{c,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd} : \underline{530.87} \text{ kN}$$

Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante $V_{c,Rd}$.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

$$0.07 \text{ kN} \leq 347.27 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(270°)H1.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.07} \text{ kN}$$

$V_{c,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd} : \underline{694.54} \text{ kN}$$

Resistencia a flexión y axil combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} \leq 1 \quad h : \underline{0.021} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot A \cdot f_{yd}} + k_y \cdot \frac{C_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + \alpha_z \cdot k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1 \quad h : \underline{0.018} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot A \cdot f_{yd}} + \alpha_y \cdot k_y \cdot \frac{C_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1 \quad h : \underline{0.024} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N71, para la combinación de acciones

$$1.35 \cdot PP + 1.05 \cdot Q1(C) + 1.5 \cdot V(180^\circ)H1 + 0.75 \cdot N(R)1.$$

Donde:

$N_{c,Ed}$: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.

$$N_{c,Ed} : \underline{4.17} \text{ kN}$$

$M_{y,Ed}$, $M_{z,Ed}$: Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{y,Ed} : \underline{3.11} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{z,Ed} : \underline{0.36} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de sus elementos planos, para axil y flexión simple.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

$N_{pl,Rd}$: Resistencia a compresión de la sección bruta.

$$N_{pl,Rd} : \underline{1904.05} \text{ kN}$$

$M_{pl,Rd,y}$, $M_{pl,Rd,z}$: Resistencia a flexión de la sección bruta en condiciones plásticas, respecto a los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{pl,Rd,y} : \underline{266.88} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{pl,Rd,z} : \underline{50.02} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.4.2)

A: Área de la sección bruta.

$$A : \underline{72.70} \text{ cm}^2$$

$W_{pl,y}$, $W_{pl,z}$: Módulos resistentes plásticos correspondientes a la fibra comprimida, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.

$$W_{pl,y} : \underline{1019.00} \text{ cm}^3$$

$$W_{pl,z} : \underline{191.00} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

γ_{M1} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M1} : \underline{1.05}$$

k_y , k_z : Coeficientes de interacción.

$$k_y = 1 + (\bar{\lambda}_y - 0.2) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot N_{c,Rd}}$$

$$k_y : \underline{1.00}$$

$$k_z = 1 + (2 \cdot \bar{\lambda}_z - 0.6) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot N_{c,Rd}}$$

$$k_z : \underline{1.01}$$

$C_{m,y}$, $C_{m,z}$: Factores de momento flector uniforme equivalente.

$$C_{m,y} : \underline{0.95}$$

$$C_{m,z} : \underline{1.00}$$

c_y , c_z : Coeficientes de reducción por pandeo, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.

$$c_y : \underline{0.93}$$

$$c_z : \underline{0.23}$$

$\bar{\lambda}_y$, $\bar{\lambda}_z$: Esbelteces reducidas con valores no mayores que 1.00, en relación a los ejes Y y Z, respectivamente.

$$\bar{\lambda}_y : \underline{0.48}$$

$$\bar{\lambda}_z : \underline{1.90}$$

a_y , a_z : Factores dependientes de la clase de la sección.

$$a_y : \underline{0.60}$$

$$a_z : \underline{0.60}$$

Resistencia a flexión, axil y cortante combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir las resistencias de cálculo a flexión y a axil, ya que se puede ignorar el efecto de abolladura por esfuerzo cortante y, además, el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} es menor o igual que el 50% del esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$.

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones

$$1.35 \cdot PP + 1.05 \cdot Q1(C) + 1.5 \cdot V(270^\circ)H2 + 0.75 \cdot N(R)1.$$

$$V_{Ed,z} \leq \frac{V_{c,Rd,z}}{2}$$

$$2.26 \text{ kN} \leq 265.44 \text{ kN}$$



Donde:

$V_{Ed,z}$: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed,z} : \frac{2.26}{\quad} \text{ kN}$$

$V_{c,Rd,z}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd,z} : \frac{530.87}{\quad} \text{ kN}$$

Resistencia a torsión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.7)

La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor.

Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

4.3 Sistema de arriostramiento

A continuación, se comprueban los cálculos realizados para verificar el cumplimiento de ELU en los sistemas de arriostramiento que contiene la nave: Viga contraviento y arriostramiento lateral.

4.3.1 Viga contraviento

Las vigas contraviento se encuentran colocadas en la cubierta, tratándose de un sistema de tirantes L80x6 que se comprobarán sus cálculos a través de la barra compuesta por el N9 y N81.

Para los montantes, que siguen una configuración de hueco cuadrado #120x4, se ha escogido la barra N81-N166 para realizar las comprobaciones, ya que todas son iguales, al igual que los tirantes.

Las barras se observan en la siguiente imagen:

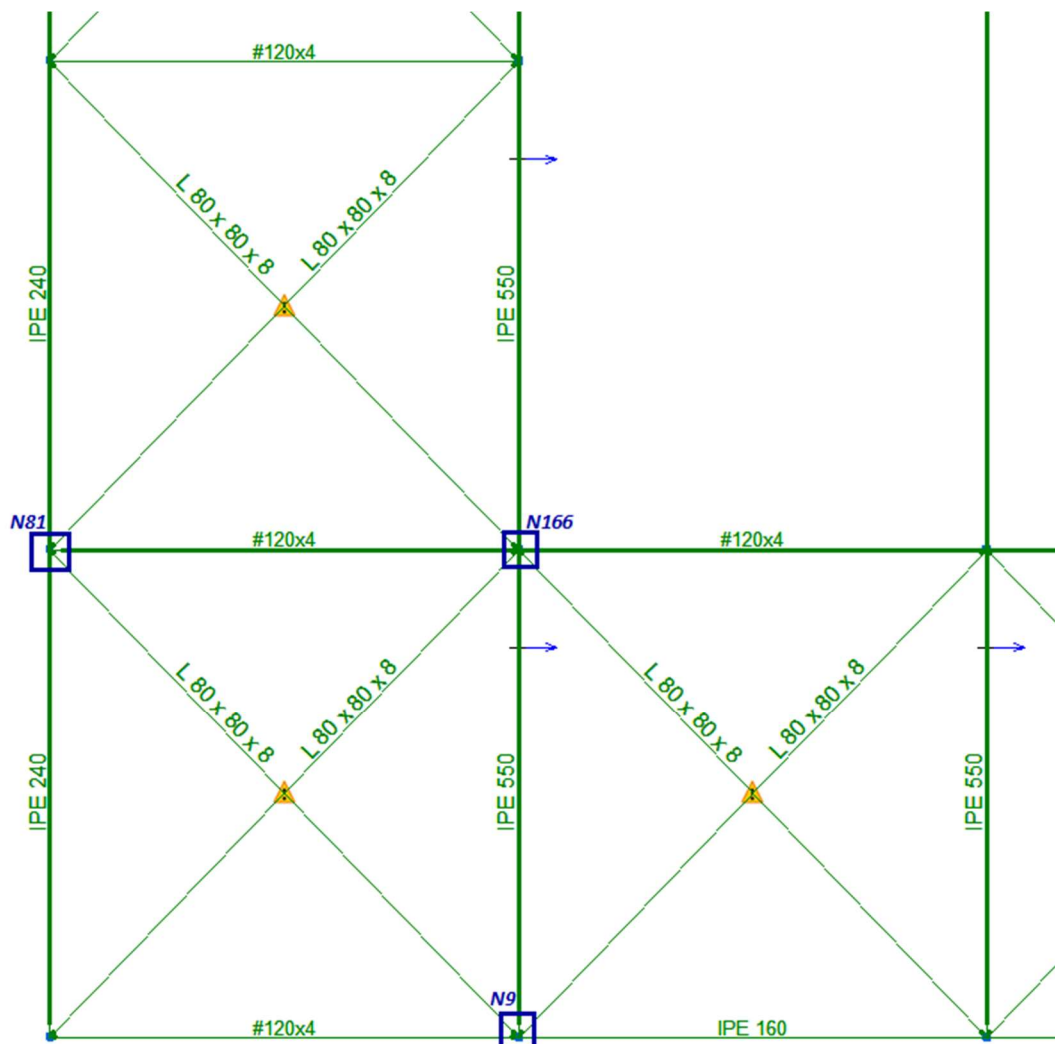


FIGURA 4.5: Sistema contraviento en cubierta seleccionando nudos. Fuente: CYPE3D 2018

·Cálculos comprobación E.L.U (Estado Límite Último):

Barra N81/N166

Perfil: #120x4 Material: Acero (S235)							
	Nodos		Longitud (m)	Características mecánicas			
	Inicial	Final		Área (cm ²)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _z ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)
	N81	N166	6.000	18.00	396.40	396.40	638.85
	Notas: (1) Inercia respecto al eje indicado (2) Momento de inercia a torsión uniforme						
			Pandeo		Pandeo lateral		
			Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.	
	β	1.00	1.00	0.00	0.00		
	L _k	6.000	6.000	0.000	0.000		
	C _m	1.000	0.950	1.000	1.000		
	C ₁	-		1.000			
Notación: b: Coeficiente de pandeo L _k : Longitud de pandeo (m) C _m : Coeficiente de momentos C ₁ : Factor de modificación para el momento crítico							

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)															Estado
	$\bar{\lambda}$	λ_{ov}	N _t	N _c	M _y	M _z	V _z	V _y	M _y V _z	M _z V _y	NM-M _z	NM-M _y V _z	M _t	M _y V _z	M _z V _y	
N81/N166	$\bar{\lambda} < 2.0$ Cumple	$\lambda_{ov} \leq \lambda_{ov,max}$ Cumple	$\eta = 3.6$	$\eta = 18.1$	x: 0.15 m $\eta = 36.0$	x: 0.15 m $\eta = 0.9$	x: 0.15 m $\eta = 1.9$	$\eta < 0.1$	$\eta < 0.1$	$\eta < 0.1$	x: 0.15 m $\eta = 37.0$	$\eta < 0.1$	$\eta = 5.1$	x: 0.15 m $\eta = 2.0$	$\eta < 0.1$	CUMPLE h = 37.0
Nota: <ul style="list-style-type: none"> L: Limitación de esbeltez I.: Abolladura del alma inducida por el ala comprimida N: Resistencia a tracción N_c: Resistencia a compresión M_y: Resistencia a flexión eje Y M_z: Resistencia a flexión eje Z V_z: Resistencia a corte Z V_y: Resistencia a corte Y M_yV_z: Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados M_zV_y: Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados NM,M_z: Resistencia a flexión y axil combinados NM,M_yV_z: Resistencia a flexión, axil y cortante combinados M_t: Resistencia a torsión M_yV_z: Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados M_zV_y: Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados x: Distancia al origen de la barra h: Coeficiente de aprovechamiento (%) 																

Producido por una versión no profesional de SYEP

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.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$\bar{\lambda} : \underline{1.36}$ ✓

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

Clase : 1

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

A : 18.00 cm²

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 235.00 MPa

N_{cr} : Axil crítico de pandeo elástico.

N_{cr} : 228.22 kN

El axil crítico de pandeo elástico N_{cr} es el menor de los valores obtenidos en a), b) y c):

a) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

$N_{cr,y}$: 228.22 kN

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{ky}^2}$$

b) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

$N_{cr,z}$: 228.22 kN

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{kz}^2}$$

c) Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

$N_{cr,T}$: ∞

$$N_{cr,T} = \frac{1}{i_0^2} \cdot \left[G \cdot I_t + \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_w}{L_{kt}^2} \right]$$

Donde:

I_y : Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y.

I_y : 396.40 cm⁴

I_z : Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z.

I_z : 396.40 cm⁴

I_t : Momento de inercia a torsión uniforme.

I_t : 638.85 cm⁴

I_w : Constante de alabeo de la sección.

I_w : 3.73 cm⁶

E: Módulo de elasticidad.

E : 210000 MPa

G: Módulo de elasticidad transversal.

G : 81000 MPa

L_{ky} : Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Y.

L_{ky} : 6.000 m

L_{kz} : Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Z.

L_{kz} : 6.000 m

L_{kt} : Longitud efectiva de pandeo por torsión.

L_{kt} : 0.000 m

i_0 : Radio de giro polar de la sección bruta, respecto al centro de torsión.

i_0 : 6.64 cm

$$i_0 = (i_y^2 + i_z^2 + y_0^2 + z_0^2)^{0.5}$$

Siendo:

i_y, i_z : Radios de giro de la sección bruta, respecto a los ejes principales de inercia Y y Z.

i_y : 4.69 cm

i_z : 4.69 cm

y_0, z_0 : Coordenadas del centro de torsión en la dirección de los ejes principales Y y Z, respectivamente, relativas al centro de gravedad de la sección.

y_0 : 0.00 mm

z_0 : 0.00 mm

Abolladura del alma inducida por el ala comprimida (Criterio de CYPE Ingenieros, basado en: Eurocódigo 3 EN 1993-1-5: 2006, Artículo 8)

Se debe satisfacer:

$$\frac{h_w}{t_w} \leq k \frac{E}{f_{yf}} \sqrt{\frac{A_w}{A_{fc,ef}}}$$

28.00 ≤ 366.27 ✓

Donde:

h_w : Altura del alma.

h_w : 112.00 mm

t_w : Espesor del alma.

t_w : 4.00 mm

A_w : Área del alma.

A_w : 8.96 cm²

$A_{fc,ef}$: Área reducida del ala comprimida.

$A_{fc,ef}$: 4.80 cm²

k: Coeficiente que depende de la clase de la sección.

k : 0.30

E: Módulo de elasticidad.

E : 210000 MPa

f_{yf} : Límite elástico del acero del ala comprimida.

f_{yf} : 235.00 MPa

Siendo:

$$f_{yf} = f_y$$

Resistencia a tracción (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.3)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1$$

h : 0.036 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(180°)H2.

$N_{t,Ed}$: Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.

$N_{t,Ed}$: 14.44 kN

La resistencia de cálculo a tracción $N_{t,Rd}$ viene dada por:

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

$N_{t,Rd}$: 402.81 kN

Donde:

A: Área bruta de la sección transversal de la barra.

A : 18.00 cm²

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 223.81 MPa

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 235.00 MPa

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Resistencia a compresión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.5)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1$$

h : 0.066 ✓

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1$$

h : 0.181 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 1.35·PP+1.05·Q1(C)+1.5·V(90°)H1+0.75·N(R)1.

$N_{c,Ed}$: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.

$N_{c,Ed}$: 26.48 kN

La resistencia de cálculo a compresión $N_{c,Rd}$ viene dada por:

$$N_{c,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

$$N_{c,Rd} : \underline{402.81} \text{ kN}$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

$$A : \underline{18.00} \text{ cm}^2$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{223.81} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{235.00} \text{ MPa}$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.2)

La resistencia de cálculo a pandeo $N_{b,Rd}$ en una barra comprimida viene dada por:

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot A \cdot f_{yd}$$

$$N_{b,Rd} : \underline{146.59} \text{ kN}$$

Donde:

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

$$A : \underline{18.00} \text{ cm}^2$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{223.81} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{235.00} \text{ MPa}$$

γ_{M1} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M1} : \underline{1.05}$$

c: Coeficiente de reducción por pandeo.

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - (\bar{\lambda})^2}} \leq 1$$

$$c_y : \underline{0.36}$$

$$c_z : \underline{0.36}$$

Siendo:

$$\Phi = 0.5 \cdot \left[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0.2) + (\bar{\lambda})^2 \right]$$

$$f_y : \underline{1.71}$$

$$f_z : \underline{1.71}$$

α : Coeficiente de imperfección elástica.

$$a_y : \underline{0.49}$$

$$a_z : \underline{0.49}$$

$\bar{\lambda}$: Esbeltez reducida.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$$\bar{\lambda}_y : \underline{1.36}$$

$$\bar{\lambda}_z : \underline{1.36}$$

N_{cr} : Axil crítico elástico de pandeo, obtenido como el menor de los siguientes valores:

$$N_{cr} : \underline{228.22} \text{ kN}$$

$N_{cr,y}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

$$N_{cr,y} : \underline{228.22} \text{ kN}$$

$N_{cr,z}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

$$N_{cr,z} : \underline{228.22} \text{ kN}$$

$N_{cr,T}$: Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

$$N_{cr,T} : \underline{\infty}$$

Resistencia a flexión eje Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.360} \quad \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 0.150 m del nudo N81, para la combinación de acciones $0.8 \cdot PP + 1.5 \cdot V(180^\circ)H2$.

M_{Ed}^+ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^+ : \underline{1.72} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 0.150 m del nudo N81, para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 0.9 \cdot V(270^\circ)H1 + 1.5 \cdot N(R)1$.

M_{Ed}^- : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^- : \underline{6.50} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

El momento flector resistente de cálculo $M_{c,Rd}$ viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_{yd}$$

$$M_{c,Rd} : \underline{18.08} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

$W_{pl,y}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$$W_{pl,y} : \underline{80.77} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{223.81} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{235.00} \text{ MPa}$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a flexión eje Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.009} \quad \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 0.150 m del nudo N81, para la combinación de acciones $0.8 \cdot PP + 1.5 \cdot V(180^\circ)H2$.

M_{Ed}^+ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^+ : \underline{0.07} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 0.150 m del nudo N81, para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 1.5 \cdot N(R)1$.

M_{Ed}^- : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^- : \underline{0.17} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

El momento flector resistente de cálculo $M_{c,Rd}$ viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,z} \cdot f_{yd}$$

$$M_{c,Rd} : \underline{18.08} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

$W_{pl,z}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$$W_{pl,z} : \underline{80.77} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{223.81} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{235.00} \text{ MPa}$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a corte Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.019} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 0.150 m del nudo N81, para la combinación de acciones 1.35·PP+0.9·V(270°)H1+1.5·N(R)1.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{2.22} \text{ kN}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$ viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

$$V_{c,Rd} : \underline{115.78} \text{ kN}$$

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

$$A_v : \underline{8.96} \text{ cm}^2$$

$$A_v = 2 \cdot d \cdot t_w$$

Siendo:

d: Altura del alma.

$$d : \underline{112.00} \text{ mm}$$

t_w : Espesor del alma.

$$t_w : \underline{4.00} \text{ mm}$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{223.81} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{235.00} \text{ MPa}$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Abolladura por cortante del alma: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.4)

Aunque no se han dispuesto rigidizadores transversales, no es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:

$$\frac{d}{t_w} < 70 \cdot \varepsilon$$

$$28.00 < 70.00 \quad \checkmark$$

Donde:

l_w : Esbeltez del alma.

$$l_w : \underline{28.00}$$

$$\lambda_w = \frac{d}{t_w}$$

$l_{m\acute{a}x}$: Esbeltez máxima.

$$l_{m\acute{a}x} : \underline{70.00}$$

$$\lambda_{m\acute{a}x} = 70 \cdot \varepsilon$$

e: Factor de reducción.

$$e : \underline{1.00}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{ref}}{f_y}}$$

Siendo:

f_{ref} : Límite elástico de referencia.

$$f_{ref} : \underline{235.00} \text{ MPa}$$

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{235.00} \text{ MPa}$$

Resistencia a corte Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

$$h < \underline{0.001} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·N(R)1.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.05} \text{ kN}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$ viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

$$V_{c,Rd} : \underline{116.78} \text{ kN}$$

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

$$A_v : \underline{9.04} \text{ cm}^2$$

$$A_v = A - 2 \cdot d \cdot t_w$$

Siendo:

A: Área de la sección bruta.

$$A : \underline{18.00} \text{ cm}^2$$

d: Altura del alma.

$$d : \underline{112.00} \text{ mm}$$

t_w : Espesor del alma.

$$t_w : \underline{4.00} \text{ mm}$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{223.81} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{235.00} \text{ MPa}$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Abolladura por cortante del alma: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.4)

Aunque no se han dispuesto rigidizadores transversales, no es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:

$$\frac{b}{t_f} < 70 \cdot \varepsilon$$

$$30.00 < \underline{70.00} \quad \checkmark$$

Donde:

l_w : Esbeltez del alma.

$$l_w : \underline{30.00}$$

$$\lambda_w = \frac{b}{t_f}$$

$l_{m\acute{a}x}$: Esbeltez máxima.

$$l_{m\acute{a}x} : \underline{70.00}$$

$$\lambda_{m\acute{a}x} = 70 \cdot \varepsilon$$

e: Factor de reducción.

$$e : \underline{1.00}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{ref}}{f_y}}$$

Siendo:

f_{ref} : Límite elástico de referencia.

$$f_{ref} : \underline{235.00} \text{ MPa}$$

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{235.00} \text{ MPa}$$

Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante $V_{c,Rd}$.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

$$2.22 \text{ kN} \leq 57.89 \text{ kN}$$



Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 0.9 \cdot V(270^\circ)H1 + 1.5 \cdot N(R)1$.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{2.22} \text{ kN}$$

$V_{c,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd} : \underline{115.78} \text{ kN}$$

Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante $V_{c,Rd}$.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

$$0.05 \text{ kN} \leq 58.39 \text{ kN}$$



Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 1.5 \cdot N(R)1$.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.05} \text{ kN}$$

$V_{c,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd} : \underline{116.78} \text{ kN}$$

Resistencia a flexión y axil combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.370} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot A \cdot f_{yd}} + k_y \cdot \frac{C_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + \alpha_z \cdot k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.353} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot A \cdot f_{yd}} + \alpha_y \cdot k_y \cdot \frac{C_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.219} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 0.150 m del nudo N81, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.05·Q1(C)+0.9·V(270°)H1+1.5·N(R)1.

Donde:

$N_{c,Ed}$: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.

$$N_{c,Ed} : \underline{0.66} \text{ kN}$$

$M_{y,Ed}$, $M_{z,Ed}$: Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{y,Ed} : \underline{6.50} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{z,Ed} : \underline{0.17} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de sus elementos planos, para axil y flexión simple.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

$N_{pl,Rd}$: Resistencia a compresión de la sección bruta.

$$N_{pl,Rd} : \underline{402.81} \text{ kN}$$

$M_{pl,Rd,y}$, $M_{pl,Rd,z}$: Resistencia a flexión de la sección bruta en condiciones plásticas, respecto a los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{pl,Rd,y} : \underline{18.08} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{pl,Rd,z} : \underline{18.08} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.4.2)

A: Área de la sección bruta.

$$A : \underline{18.00} \text{ cm}^2$$

$W_{pl,y}$, $W_{pl,z}$: Módulos resistentes plásticos correspondientes a la fibra comprimida, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.

$$W_{pl,y} : \underline{80.77} \text{ cm}^3$$

$$W_{pl,z} : \underline{80.77} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{223.81} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{235.00} \text{ MPa}$$

γ_{M1} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M1} : \underline{1.05}$$

k_y , k_z : Coeficientes de interacción.

$$k_y = 1 + (\bar{\lambda}_y - 0.2) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot N_{c,Rd}}$$

$$k_y : \underline{1.00}$$

$$k_z = 1 + (\bar{\lambda}_z - 0.2) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot N_{c,Rd}}$$

$$k_z : \underline{1.00}$$

$C_{m,y}$, $C_{m,z}$: Factores de momento flector uniforme equivalente.

$$C_{m,y} : \underline{0.95}$$

$$C_{m,z} : \underline{1.00}$$

c_y , c_z : Coeficientes de reducción por pandeo, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.

$$c_y : \underline{0.36}$$

$$c_z : \underline{0.36}$$

$\bar{\lambda}_y$, $\bar{\lambda}_z$: Esbelteces reducidas con valores no mayores que 1.00, en relación a los ejes Y y Z, respectivamente.

$$\bar{\lambda}_y : \underline{1.36}$$

$$\bar{\lambda}_z : \underline{1.36}$$

a_y , a_z : Factores dependientes de la clase de la sección.

$$a_y : \underline{0.60}$$

$$a_z : \underline{0.60}$$

Resistencia a flexión, axil y cortante combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir las resistencias de cálculo a flexión y a axil, ya que se puede ignorar el efecto de abolladura por esfuerzo cortante y, además, el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} es menor o igual que el 50% del esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$.

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 0.9 \cdot V(270^\circ)H1 + 1.5 \cdot N(R)1$.

$$V_{Ed,z} \leq \frac{V_{c,Rd,z}}{2}$$

$$2.22 \text{ kN} \leq 55.10 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Donde:

$V_{Ed,z}$: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed,z} : \underline{2.22} \text{ kN}$$

$V_{c,Rd,z}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd,z} : \underline{110.20} \text{ kN}$$

Resistencia a torsión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.7)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{T,Ed}}{M_{T,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.051} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 0.9 \cdot V(0^\circ)H1 + 1.5 \cdot N(R)1$.

$M_{T,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{T,Ed} : \underline{0.71} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

El momento torsor resistente de cálculo $M_{T,Rd}$ viene dado por:

$$M_{T,Rd} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot W_T \cdot f_{yd}$$

$$M_{T,Rd} : \underline{13.91} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T : \underline{107.65} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{223.81} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{235.00} \text{ MPa}$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,T,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.020} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 0.150 m del nudo N81, para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 0.9 \cdot V(270^\circ)H1 + 1.5 \cdot N(R)1$.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{2.22} \text{ kN}$$

$M_{T,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{T,Ed} : \underline{0.67} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo reducido $V_{pl,T,Rd}$ viene dado por:

$$V_{pl,T,Rd} = \left[1 - \frac{\tau_{T,Ed}}{f_{yd}/\sqrt{3}} \right] \cdot V_{pl,Rd}$$

$$V_{pl,T,Rd} : \underline{110.20} \text{ kN}$$

Donde:

$V_{pl,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{pl,Rd} : \underline{115.78} \text{ kN}$$

$t_{T,Ed}$: Tensiones tangenciales por torsión.

$$t_{T,Ed} : \underline{6.23} \text{ MPa}$$

$$\tau_{T,Ed} = \frac{M_{T,Ed}}{W_t}$$

Siendo:

W_t : Módulo de resistencia a torsión.

$$W_t : \underline{107.65} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{223.81} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{235.00} \text{ MPa}$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,T,Rd}} \leq 1$$

$$h < \underline{0.001} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 0.9 \cdot V(270^\circ)H1 + 1.5 \cdot N(R)1$.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.05} \text{ kN}$$

$M_{T,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{T,Ed} : \underline{0.67} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo reducido $V_{pl,T,Rd}$ viene dado por:

$$V_{pl,T,Rd} = \left[1 - \frac{\tau_{T,Ed}}{f_{yd}/\sqrt{3}} \right] \cdot V_{pl,Rd}$$

$$V_{pl,T,Rd} : \underline{111.16} \text{ kN}$$

Donde:

$V_{pl,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{pl,Rd} : \underline{116.78} \text{ kN}$$

$t_{T,Ed}$: Tensiones tangenciales por torsión.

$$t_{T,Ed} : \underline{6.23} \text{ MPa}$$

$$\tau_{T,Ed} = \frac{M_{T,Ed}}{W_t}$$

Siendo:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T : \underline{107.65} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{223.81} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{235.00} \text{ MPa}$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Barra N9/N81

Perfil: L 80 x 80 x 8 Material: Acero (S275)											
	Nudos		Longitud (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)
	N9	N81	8.669	12.30	72.25	72.25	42.53	2.59	17.40	-17.40	-45.0
	Notas: (1) Inercia respecto al eje indicado (2) Momento de inercia a torsión uniforme (3) Coordenadas del centro de gravedad (4) Producto de inercia (5) Es el ángulo que forma el eje principal de inercia U respecto al eje Y, positivo en sentido antihorario.										
					Pandeo			Pandeo lateral			
					Plano XY		Plano XZ	Ala sup.		Ala inf.	
	β				0.00		0.00	0.00		0.00	
	L _k				0.000		0.000	0.000		0.000	
	C _m				1.000		1.000	1.000		1.000	
	C ₁				-			1.000			
Notación: b: Coeficiente de pandeo L _k : Longitud de pandeo (m) C _m : Coeficiente de momentos C ₁ : Factor de modificación para el momento crítico											

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)														Estado
	$\bar{\lambda}$	N _t	N _c	M _y	M _z	V _z	V _y	M _y V _z	M _z V _y	NM _y M _z	NM _y M _z V _z	M _t	M _t V _z	M _t V _y	
N9/N81	$\bar{\lambda} \leq 4.0$ Cumple	$\eta = 2.8$	N _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	M _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	M _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	V _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽³⁾	V _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽³⁾	N.P. ⁽⁴⁾	N.P. ⁽⁴⁾	N.P. ⁽⁵⁾	N.P. ⁽⁶⁾	M _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽⁷⁾	N.P. ⁽⁸⁾	N.P. ⁽⁸⁾	CUMPLE h = 2.8

Notación:
 (1): Limitación de esbeltez
 N: Resistencia a tracción
 N: Resistencia a compresión
 M_y: Resistencia a flexión eje Y
 M_z: Resistencia a flexión eje Z
 V_z: Resistencia a corte Z
 V_y: Resistencia a corte Y
 M_yV_z: Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados
 M_zV_y: Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados
 NM_yM_z: Resistencia a flexión y axil combinados
 NM_yM_zV_z: Resistencia a flexión, axil y cortante combinados
 M_t: Resistencia a torsión
 M_tV_z: Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados
 M_tV_y: Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados
 x: Distancia al origen de la barra
 h: Coeficiente de aprovechamiento (%)
 N.P.: No procede

Comprobaciones que no proceden (N.P.):
 (1) La comprobación no procede, ya que no hay axil de compresión.
 (2) La comprobación no procede, ya que no hay momento flector.
 (3) La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante.
 (4) No hay interacción entre momento flector y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.
 (5) No hay interacción entre axil y momento flector ni entre momentos flectores en ambas direcciones para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.
 (6) No hay interacción entre momento flector, axil y cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.
 (7) La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor.
 (8) No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

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.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$$\bar{\lambda} < 4.0 \quad \checkmark$$

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.

- A : 12.30 cm²
- f_y : 275.00 MPa
- N_{cr} : ∞

Resistencia a tracción (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.3)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.028} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 1.05 \cdot Q1(C) + 1.5 \cdot V(0^\circ)H2 + 0.75 \cdot N(R)2$.

$N_{t,Ed}$: Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.

$$N_{t,Ed} : \underline{9.14} \text{ kN}$$

La resistencia de cálculo a tracción $N_{t,Rd}$ viene dada por:

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

$$N_{t,Rd} : \underline{322.14} \text{ kN}$$

Donde:

A: Área bruta de la sección transversal de la barra.

$$A : \underline{12.30} \text{ cm}^2$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a compresión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.5)

La comprobación no procede, ya que no hay axil de compresión.

Resistencia a flexión eje Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

La comprobación no procede, ya que no hay momento flector.

Resistencia a flexión eje Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

La comprobación no procede, ya que no hay momento flector.

Resistencia a corte Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante.

Resistencia a corte Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante.

Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento flector y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento flector y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a flexión y axil combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre axil y momento flector ni entre momentos flectores en ambas direcciones para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a flexión, axil y cortante combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento flector, axil y cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a torsión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.7)

La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor.

Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

4.3.2 Arriostramiento lateral

El arriostramiento lateral viene configurado a través de las cruces de San Andrés colocadas en los laterales de la nave industrial. Debido a la configuración del altillo que exige una viga a 3,5m de altura, se ha optado por colocar dos cruces que cortan en dicha distancia.

Para dimensionar los tirantes de ha escogido un perfil L100x8 que se comprobará la resistencia a través de la barra N2-N108.

Para el montante se ha seleccionado la misma dimensión que en el sistema contraviento, y se expresará su cumplimiento a través de la barra compuesta por los nudos N2-N7.

Por último, la viga perimetral se compone de un perfil IPE160 que veremos a continuación en la siguiente imagen, donde se observa la barra N7-N12 como ejemplo para el posterior cálculo.

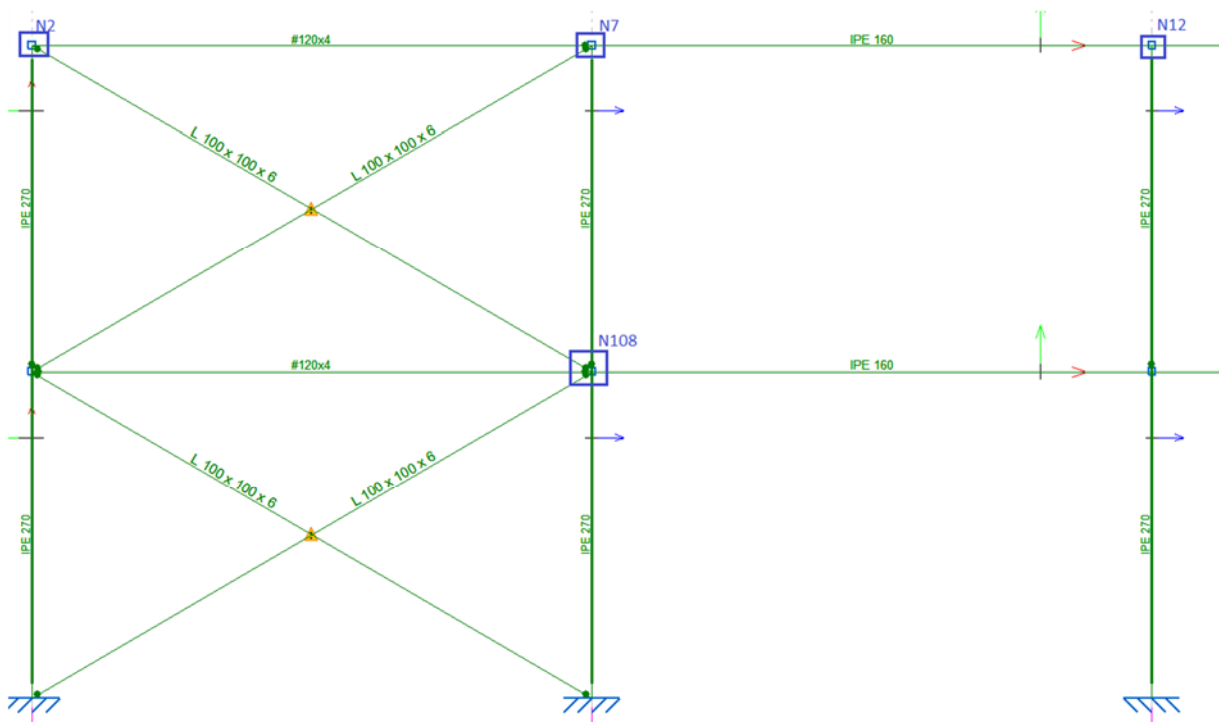


FIGURA 4.6: Sistema de arriostramiento lateral compuesto por cruces de San Andrés y vigas perimetrales.

Fuente: CYPE3D 2018

·Cálculos comprobación E.L.U (Estado Límite Último):

Barra N2/N7

Perfil: #120x4							
Material: Acero (S235)							
	Nudos		Longitud (m)	Características mecánicas			
	Inicial	Final		Área (cm ²)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _z ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)
	N2	N7	6.000	18.00	396.40	396.40	638.85
	Notas:						
	⁽¹⁾ Inercia respecto al eje indicado						
	⁽²⁾ Momento de inercia a torsión uniforme						
			Pandeo		Pandeo lateral		
			Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.	
	β	1.00	1.00	0.00	0.00		
	L _k	6.000	6.000	0.000	0.000		
C _m	1.000	0.950	1.000	1.000			
C ₁	-		1.000				
Notación:							
b: Coeficiente de pandeo							
L _k : Longitud de pandeo (m)							
C _m : Coeficiente de momentos							
C ₁ : Factor de modificación para el momento crítico							

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)															Estado
	$\bar{\lambda}$	λ_{w}	N _t	N _c	M _y	M _z	V _z	V _y	M _y V _z	M _z V _y	NM _y M _z	NM _y M _z V _y V _z	M _t	M _t V _z	M _t V _y	
N2/N7	$\bar{\lambda} < 2.0$ Cumple	x: 0 m $\lambda_{w} \leq \lambda_{w,max}$ Cumple	η = 0.2	η = 11.4	x: 0 m η = 4.6	x: 0 m η = 1.1	x: 0 m η = 0.6	η < 0.1	x: 0 m η < 0.1	x: 0 m η < 0.1	x: 0 m η = 16.4	x: 0 m η < 0.1	M _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	N.P. ⁽²⁾	N.P. ⁽²⁾	CUMPLE h = 16.4
Notación: I _w : Limitación de esbeltez I _w : Abolladura del alma inducida por el ala comprimida N _t : Resistencia a tracción N _c : Resistencia a compresión M _y : Resistencia a flexión eje Y M _z : Resistencia a flexión eje Z V _z : Resistencia a corte Z V _y : Resistencia a corte Y M _y V _z : Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados M _z V _y : Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados NM _y M _z : Resistencia a flexión y axil combinados NM _y M _z V _y V _z : Resistencia a flexión, axil y cortante combinados M _t : Resistencia a torsión M _t V _z : Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados M _t V _y : Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados x: Distancia al origen de la barra h: Coeficiente de aprovechamiento (%) N.P.: No procede																
Comprobaciones que no proceden (N.P.): ⁽¹⁾ La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor. ⁽²⁾ No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.																

Producido por una versión no profesional de dgcCyD

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.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$\bar{\lambda} : \underline{1.36}$ ✓

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

Clase : 1

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

A : 18.00 cm²

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 235.00 MPa

N_{cr} : Axil crítico de pandeo elástico.

N_{cr} : 228.22 kN

El axil crítico de pandeo elástico N_{cr} es el menor de los valores obtenidos en a), b) y c):

a) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

$N_{cr,y}$: 228.22 kN

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{ky}^2}$$

b) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

$N_{cr,z}$: 228.22 kN

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{kz}^2}$$

c) Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

$N_{cr,T}$: ∞

$$N_{cr,T} = \frac{1}{i_0^2} \cdot \left[G \cdot I_t + \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_w}{L_{kt}^2} \right]$$

Donde:

I_y : Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y.

I_y : 396.40 cm⁴

I_z : Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z.

I_z : 396.40 cm⁴

I_t : Momento de inercia a torsión uniforme.

I_t : 638.85 cm⁴

I_w : Constante de alabeo de la sección.

I_w : 3.73 cm⁶

E: Módulo de elasticidad.

E : 210000 MPa

G: Módulo de elasticidad transversal.

G : 81000 MPa

L_{ky} : Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Y.

L_{ky} : 6.000 m

L_{kz} : Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Z.

L_{kz} : 6.000 m

L_{kt} : Longitud efectiva de pandeo por torsión.

L_{kt} : 0.000 m

i_0 : Radio de giro polar de la sección bruta, respecto al centro de torsión.

i_0 : 6.64 cm

$$i_0 = (i_y^2 + i_z^2 + y_0^2 + z_0^2)^{0.5}$$

Siendo:

i_y , i_z : Radios de giro de la sección bruta, respecto a los ejes principales de inercia Y y Z.

i_y : 4.69 cm

i_z : 4.69 cm

y_0 , z_0 : Coordenadas del centro de torsión en la dirección de los ejes principales Y y Z, respectivamente, relativas al centro de gravedad de la sección.

y_0 : 0.00 mm

z_0 : 0.00 mm

Abolladura del alma inducida por el ala comprimida (Criterio de CYPE Ingenieros, basado en: Eurocódigo 3 EN 1993-1-5: 2006, Artículo 8)

Se debe satisfacer:

$$\frac{h_w}{t_w} \leq k \frac{E}{f_{yf}} \sqrt{\frac{A_w}{A_{fc,ef}}}$$

28.00 ≤ 366.27 ✓

Donde:

h_w : Altura del alma.

h_w : 112.00 mm

t_w : Espesor del alma.

t_w : 4.00 mm

A_w : Área del alma.

A_w : 8.96 cm²

$A_{fc,ef}$: Área reducida del ala comprimida.

$A_{fc,ef}$: 4.80 cm²

k: Coeficiente que depende de la clase de la sección.

k : 0.30

E: Módulo de elasticidad.

E : 210000 MPa

f_{yf} : Límite elástico del acero del ala comprimida.

f_{yf} : 235.00 MPa

Siendo:

$$f_{yf} = f_y$$

Resistencia a tracción (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.3)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1$$

h : 0.002 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(0°)H2.

$N_{t,Ed}$: Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.

$N_{t,Ed}$: 0.87 kN

La resistencia de cálculo a tracción $N_{t,Rd}$ viene dada por:

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

$N_{t,Rd}$: 402.81 kN

Donde:

A: Área bruta de la sección transversal de la barra.

A : 18.00 cm²

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 223.81 MPa

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 235.00 MPa

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Resistencia a compresión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.5)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1$$

h : 0.042 ✓

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1$$

h : 0.114 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 1.35·PP+1.05·Q1(C)+1.5·V(270°)H2+0.75·N(EI).

$N_{c,Ed}$: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.

$N_{c,Ed}$: 16.72 kN

La resistencia de cálculo a compresión $N_{c,Rd}$ viene dada por:

$$N_{c,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

$$N_{c,Rd} : \underline{402.81} \text{ kN}$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

$$A : \underline{18.00} \text{ cm}^2$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{223.81} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{235.00} \text{ MPa}$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.2)

La resistencia de cálculo a pandeo $N_{b,Rd}$ en una barra comprimida viene dada por:

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot A \cdot f_{yd}$$

$$N_{b,Rd} : \underline{146.59} \text{ kN}$$

Donde:

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

$$A : \underline{18.00} \text{ cm}^2$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{223.81} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{235.00} \text{ MPa}$$

γ_{M1} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M1} : \underline{1.05}$$

c: Coeficiente de reducción por pandeo.

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - (\bar{\lambda})^2}} \leq 1$$

$$C_y : \underline{0.36}$$

$$C_z : \underline{0.36}$$

Siendo:

$$\Phi = 0.5 \cdot \left[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0.2) + (\bar{\lambda})^2 \right]$$

$$f_y : \underline{1.71}$$

$$f_z : \underline{1.71}$$

α : Coeficiente de imperfección elástica.

$$a_y : \underline{0.49}$$

$$a_z : \underline{0.49}$$

$\bar{\lambda}$: Esbeltez reducida.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$$\bar{\lambda}_y : \underline{1.36}$$

$$\bar{\lambda}_z : \underline{1.36}$$

N_{cr} : Axil crítico elástico de pandeo, obtenido como el menor de los siguientes valores:

$$N_{cr} : \underline{228.22} \text{ kN}$$

$N_{cr,y}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

$$N_{cr,y} : \underline{228.22} \text{ kN}$$

$N_{cr,z}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

$$N_{cr,z} : \underline{228.22} \text{ kN}$$

$N_{cr,T}$: Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

$$N_{cr,T} : \underline{\infty}$$

Resistencia a flexión eje Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.046} \quad \checkmark$$

Para flexión positiva:

M_{Ed}^+ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^+ : \underline{0.00} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N2, para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 1.5 \cdot V(90^\circ)H1 + 0.75 \cdot N(EI)$.

M_{Ed}^- : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^- : \underline{0.84} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

El momento flector resistente de cálculo $M_{c,Rd}$ viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_{yd}$$

$$M_{c,Rd} : \underline{18.08} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

$W_{pl,y}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$$W_{pl,y} : \underline{80.77} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{223.81} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{235.00} \text{ MPa}$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a flexión eje Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.011} \quad \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N2, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·V(90°)H1+0.75·N(R)2.

M_{Ed}^+ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^+ : \underline{0.14} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N2, para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(0°)H2.

M_{Ed}^- : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^- : \underline{0.19} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

El momento flector resistente de cálculo $M_{c,Rd}$ viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,z} \cdot f_{yd}$$

$$M_{c,Rd} : \underline{18.08} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

$W_{pl,z}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$$W_{pl,z} : \underline{80.77} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{223.81} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{235.00} \text{ MPa}$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a corte Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.006} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N2, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·V(90°)H1.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.70} \text{ kN}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$ viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

$$V_{c,Rd} : \underline{115.78} \text{ kN}$$

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

$$A_v : \underline{8.96} \text{ cm}^2$$

$$A_v = 2 \cdot d \cdot t_w$$

Siendo:

d: Altura del alma.

$$d : \underline{112.00} \text{ mm}$$

t_w : Espesor del alma.

$$t_w : \underline{4.00} \text{ mm}$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{223.81} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{235.00} \text{ MPa}$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Abolladura por cortante del alma: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.4)

Aunque no se han dispuesto rigidizadores transversales, no es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:

$$\frac{d}{t_w} < 70 \cdot \varepsilon$$

$$28.00 < 70.00 \quad \checkmark$$

Donde:

l_w : Esbeltez del alma.

$$l_w : \underline{28.00}$$

$$\lambda_w = \frac{d}{t_w}$$

l_{\max} : Esbeltez máxima.

$$l_{\max} : \underline{70.00}$$

$$\lambda_{\max} = 70 \cdot \varepsilon$$

e: Factor de reducción.

$$e : \underline{1.00}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{ref}}{f_y}}$$

Siendo:

f_{ref} : Límite elástico de referencia.

$$f_{ref} : \underline{235.00} \text{ MPa}$$

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{235.00} \text{ MPa}$$

Resistencia a corte Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

$$h < \underline{0.001} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones $0.8 \cdot PP + 1.5 \cdot V(0^\circ)H2$.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.03} \text{ kN}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$ viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

$$V_{c,Rd} : \underline{116.78} \text{ kN}$$

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

$$A_v : \underline{9.04} \text{ cm}^2$$

$$A_v = A - 2 \cdot d \cdot t_w$$

Siendo:

A: Área de la sección bruta.

$$A : \underline{18.00} \text{ cm}^2$$

d: Altura del alma.

$$d : \underline{112.00} \text{ mm}$$

t_w : Espesor del alma.

$$t_w : \underline{4.00} \text{ mm}$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{223.81} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{235.00} \text{ MPa}$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Abolladura por cortante del alma: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.4)

Aunque no se han dispuesto rigidizadores transversales, no es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:

$$\frac{b}{t_f} < 70 \cdot \varepsilon$$

$$30.00 < 70.00 \quad \checkmark$$

Donde:

l_w : Esbeltez del alma.

$$l_w : \underline{30.00}$$

$$\lambda_w = \frac{b}{t_f}$$

l_{\max} : Esbeltez máxima.

$$l_{\max} : \underline{70.00}$$

$$\lambda_{\max} = 70 \cdot \varepsilon$$

e: Factor de reducción.

$$e : \underline{1.00}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{ref}}{f_y}}$$

Siendo:

f_{ref} : Límite elástico de referencia.

$$f_{ref} : \underline{235.00} \text{ MPa}$$

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{235.00} \text{ MPa}$$

Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante $V_{c,Rd}$.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

$$0.70 \text{ kN} \leq 57.89 \text{ kN}$$



Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N2, para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 1.5 \cdot V(90^\circ)H1$.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.70} \text{ kN}$$

$V_{c,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd} : \underline{115.78} \text{ kN}$$

Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante $V_{c,Rd}$.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

$$0.03 \text{ kN} \leq 58.39 \text{ kN}$$



Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N2, para la combinación de acciones $0.8 \cdot PP + 1.5 \cdot V(0^\circ)H2$.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.03} \text{ kN}$$

$V_{c,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd} : \underline{116.78} \text{ kN}$$

Resistencia a flexión y axil combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} \leq 1 \quad h : \underline{0.091} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot A \cdot f_{yd}} + k_y \cdot \frac{C_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + \alpha_z \cdot k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1 \quad h : \underline{0.164} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot A \cdot f_{yd}} + \alpha_y \cdot k_y \cdot \frac{C_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1 \quad h : \underline{0.146} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N2, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.05·Q1(C)+1.5·V(270°)H2+0.75·N(R)1.

Donde:

$N_{c,Ed}$: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.

$$N_{c,Ed} : \underline{16.71} \text{ kN}$$

$M_{y,Ed}$, $M_{z,Ed}$: Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{y,Ed} : \underline{0.83} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{z,Ed} : \underline{0.06} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de sus elementos planos, para axil y flexión simple.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

$N_{pl,Rd}$: Resistencia a compresión de la sección bruta.

$$N_{pl,Rd} : \underline{402.81} \text{ kN}$$

$M_{pl,Rd,y}$, $M_{pl,Rd,z}$: Resistencia a flexión de la sección bruta en condiciones plásticas, respecto a los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{pl,Rd,y} : \underline{18.08} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{pl,Rd,z} : \underline{18.08} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.4.2)

A: Área de la sección bruta.

$$A : \underline{18.00} \text{ cm}^2$$

$W_{pl,y}$, $W_{pl,z}$: Módulos resistentes plásticos correspondientes a la fibra comprimida, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.

$$W_{pl,y} : \underline{80.77} \text{ cm}^3$$

$$W_{pl,z} : \underline{80.77} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{223.81} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{235.00} \text{ MPa}$$

γ_{M1} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M1} : \underline{1.05}$$

k_y , k_z : Coeficientes de interacción.

$$k_y = 1 + (\bar{\lambda}_y - 0.2) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot N_{c,Rd}}$$

$$k_y : \underline{1.09}$$

$$k_z = 1 + (\bar{\lambda}_z - 0.2) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot N_{c,Rd}}$$

$$k_z : \underline{1.09}$$

$C_{m,y}$, $C_{m,z}$: Factores de momento flector uniforme equivalente.

$$C_{m,y} : \underline{0.95}$$

$$C_{m,z} : \underline{1.00}$$

c_y , c_z : Coeficientes de reducción por pandeo, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.

$$c_y : \underline{0.36}$$

$$c_z : \underline{0.36}$$

$\bar{\lambda}_y$, $\bar{\lambda}_z$: Esbelteces reducidas con valores no mayores que 1.00, en relación a los ejes Y y Z, respectivamente.

$$\bar{\lambda}_y : \underline{1.36}$$

$$\bar{\lambda}_z : \underline{1.36}$$

a_y , a_z : Factores dependientes de la clase de la sección.

$$a_y : \underline{0.60}$$

$$a_z : \underline{0.60}$$

Resistencia a flexión, axil y cortante combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir las resistencias de cálculo a flexión y a axil, ya que se puede ignorar el efecto de abolladura por esfuerzo cortante y, además, el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} es menor o igual que el 50% del esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$.

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N2, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·V(90°)H1.

$$V_{Ed,z} \leq \frac{V_{c,Rd,z}}{2}$$

$$0.70 \text{ kN} \leq 57.89 \text{ kN}$$



Donde:

$V_{Ed,z}$: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed,z} : \frac{0.70}{\quad} \text{ kN}$$

$V_{c,Rd,z}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd,z} : \frac{115.78}{\quad} \text{ kN}$$

Resistencia a torsión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.7)

La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor.

Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

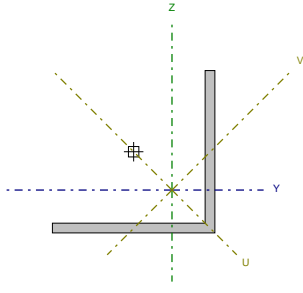
No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Barra N108/N2

Perfil: L 100 x 100 x 6 Material: Acero (S275)											
Nodos		Longitud (m)	Características mecánicas								
Inicial	Final		Área (cm ²)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _z ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _{yz} ⁽⁴⁾ (cm ⁴)	I ₁ ⁽²⁾ (cm ⁴)	y _g ⁽³⁾ (mm)	z _g ⁽³⁾ (mm)	α ⁽⁵⁾ (grados)	
N108	N2	6.946	11.80	111.10	111.10	65.30	1.40	23.60	-23.60	-45.0	
Notas: (1) Inercia respecto al eje indicado (2) Momento de inercia a torsión uniforme (3) Coordenadas del centro de gravedad (4) Producto de inercia (5) Es el ángulo que forma el eje principal de inercia U respecto al eje Y, positivo en sentido antihorario.											
		Pandeo				Pandeo lateral					
		Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.						
β		0.00	0.00	0.00	0.00						
L _K		0.000	0.000	0.000	0.000						
C _m		1.000	1.000	1.000	1.000						
C ₁		-				1.000					
Notación: b: Coeficiente de pandeo L _K : Longitud de pandeo (m) C _m : Coeficiente de momentos C ₁ : Factor de modificación para el momento crítico											



Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)															Estado	
	$\bar{\lambda}$	N _t	N _c	M _y	M _z	V _z	V _y	M _y V _z	M _z V _y	NM _y	NM _z	NM _y V _z	NM _z V _y	M _t	M _y V _t		M _z V _t
N108/N2	$\bar{\lambda} \leq 4.0$ Cumple	$\eta = 6.8$	N _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	M _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	M _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	V _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽³⁾	V _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽³⁾	N.P. ⁽⁴⁾	N.P. ⁽⁴⁾	N.P. ⁽⁵⁾	N.P. ⁽⁶⁾	N.P. ⁽⁶⁾	N.P. ⁽⁶⁾	M _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽⁷⁾	N.P. ⁽⁸⁾	N.P. ⁽⁸⁾	CUMPLE h = 6.8
Notación: λ ¹ : Limitación de esbeltez N: Resistencia a tracción N: Resistencia a compresión M _y : Resistencia a flexión eje Y M _z : Resistencia a flexión eje Z V _y : Resistencia a corte Z V _z : Resistencia a corte Y M _y V _z : Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados M _z V _y : Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados NM _y : Resistencia a flexión y axil combinados NM _z : Resistencia a flexión, axil y cortante combinados M _t : Resistencia a torsión M _y V _t : Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados M _z V _t : Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados x: Distancia al origen de la barra h: 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. (2) La comprobación no procede, ya que no hay momento flector. (3) La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante. (4) No hay interacción entre momento flector y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede. (5) No hay interacción entre momento flector, axil y cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede. (6) No hay interacción entre momento flector, axil y cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede. (7) La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor. (8) No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.																	

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.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$$\bar{\lambda} < 4.0 \quad \checkmark$$

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.

- A : 11.80 cm²
- f_y : 275.00 MPa
- N_{cr} : ∞

Calculado por una versión no profesional de CYPE

Resistencia a tracción (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.3)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.068} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 1.05 \cdot Q1(C) + 1.5 \cdot V(270^\circ)H2 + 0.75 \cdot N(EI)$.

$N_{t,Ed}$: Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.

$$N_{t,Ed} : \underline{21.04} \text{ kN}$$

La resistencia de cálculo a tracción $N_{t,Rd}$ viene dada por:

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

$$N_{t,Rd} : \underline{309.05} \text{ kN}$$

Donde:

A: Área bruta de la sección transversal de la barra.

$$A : \underline{11.80} \text{ cm}^2$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a compresión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.5)

La comprobación no procede, ya que no hay axil de compresión.

Resistencia a flexión eje Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

La comprobación no procede, ya que no hay momento flector.

Resistencia a flexión eje Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

La comprobación no procede, ya que no hay momento flector.

Resistencia a corte Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante.

Resistencia a corte Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante.

Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento flector y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento flector y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a flexión y axil combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre axil y momento flector ni entre momentos flectores en ambas direcciones para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a flexión, axil y cortante combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento flector, axil y cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a torsión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.7)

La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor.

Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Barra N7/N12

Perfil: IPE 160 Material: Acero (S275)							
	Nudos		Longitud (m)	Características mecánicas			
	Inicial	Final		Área (cm ²)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _z ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)
	N7	N12	6.000	20.10	869.00	68.30	3.60
	Notas: (1) Inercia respecto al eje indicado (2) Momento de inercia a torsión uniforme						
				Pandeo		Pandeo lateral	
				Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.
	β	0.00		0.00		0.00	0.00
	L _k	0.000		0.000		0.000	0.000
	C _m	1.000		1.000		1.000	1.000
	C ₁	-			1.000		
Notación: b: Coeficiente de pandeo L _k : Longitud de pandeo (m) C _m : Coeficiente de momentos C ₁ : Factor de modificación para el momento crítico							

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)														Estado	
	$\bar{\lambda}$	λ_w	N _t	N _c	M _y	M _z	V _z	V _y	M _y V _z	M _z V _y	NM _y M _z	NM _z M _y V _z	M _t	M _y V _z		M _z V _y
N7/N12	$\bar{\lambda} < 2.0$ Cumple	$\lambda_w \leq \lambda_{w,max}$ Cumple	η = 0.9	η = 2.6	x: 6 m η = 2.7	x: 6 m η = 0.2	x: 6 m η = 0.5	η < 0.1	η < 0.1	x: 0 m η < 0.1	x: 6 m η = 4.7	η < 0.1	η = 0.5	x: 6 m η = 0.5	η < 0.1	CUMPLE h = 4.7

I: Limitación de esbeltez
 I_w: Abolladura del alma inducida por el ala comprimida
 N: Resistencia a tracción
 N: Resistencia a compresión
 M_y: Resistencia a flexión eje Y
 M_z: Resistencia a flexión eje Z
 V_z: Resistencia a corte Z
 V_y: Resistencia a corte Y
 M_yV_z: Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados
 M_zV_y: Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados
 NM_yM_z: Resistencia a flexión y axil combinados
 NM_zM_yV_z: Resistencia a flexión, axil y cortante combinados
 M_t: Resistencia a torsión
 M_yV_z: Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados
 M_zV_y: Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados
 x: Distancia al origen de la barra
 h: Coeficiente de aprovechamiento (%)

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.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$$\bar{\lambda} < 2.0 \quad \checkmark$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

Clase : 1

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

A : 20.10 cm²

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 275.00 MPa

N_{cr}: Axil crítico elástico de pandeo mínimo, teniendo en cuenta que las longitudes de pandeo son nulas.

N_{cr} : ∞

Producido por una versión no profesional de CYPE

Abolladura del alma inducida por el ala comprimida (Criterio de CYPE Ingenieros, basado en: Eurocódigo 3 EN 1993-1-5: 2006, Artículo 8)

Se debe satisfacer:

$$\frac{h_w}{t_w} \leq k \frac{E}{f_{yf}} \sqrt{\frac{A_w}{A_{fc,ef}}}$$

29.04 ≤ 250.58 ✓

Donde:

h_w : Altura del alma.

h_w : 145.20 mm

t_w : Espesor del alma.

t_w : 5.00 mm

A_w : Área del alma.

A_w : 7.26 cm²

$A_{fc,ef}$: Área reducida del ala comprimida.

$A_{fc,ef}$: 6.07 cm²

k : Coeficiente que depende de la clase de la sección.

k : 0.30

E : Módulo de elasticidad.

E : 210000 MPa

f_{yf} : Límite elástico del acero del ala comprimida.

f_{yf} : 275.00 MPa

Siendo:

$$f_{yf} = f_y$$

Resistencia a tracción (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.3)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1$$

η : 0.009 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(180°)H2.

$N_{t,Ed}$: Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.

$N_{t,Ed}$: 4.68 kN

La resistencia de cálculo a tracción $N_{t,Rd}$ viene dada por:

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

$N_{t,Rd}$: 526.43 kN

Donde:

A : Área bruta de la sección transversal de la barra.

A : 20.10 cm²

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 261.90 MPa

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 275.00 MPa

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Resistencia a compresión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.5)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.026} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 1.35·PP+1.05·Q1(C)+1.5·V(270°)H1+0.75·N(R)2.

$N_{c,Ed}$: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.

$$N_{c,Ed} : \underline{13.67} \text{ kN}$$

La resistencia de cálculo a compresión $N_{c,Rd}$ viene dada por:

$$N_{c,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

$$N_{c,Rd} : \underline{526.43} \text{ kN}$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

$$A : \underline{20.10} \text{ cm}^2$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.2)

No procede, dado que las longitudes de pandeo son nulas.

Resistencia a flexión eje Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.027} \quad \checkmark$$

Para flexión positiva:

M_{Ed}^+ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^+ : \underline{0.00} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N12, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·V(90°)H2+0.75·N(R)2.

M_{Ed}^- : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^- : \underline{0.86} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

El momento flector resistente de cálculo $M_{c,Rd}$ viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_{yd}$$

$$M_{c,Rd} : \underline{32.48} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

$W_{pl,y}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$$W_{pl,y} : \underline{124.00} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a pandeo lateral: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.2)

No procede, dado que las longitudes de pandeo lateral son nulas.

Resistencia a flexión eje Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.002} \quad \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N12, para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(180°)H2.

M_{Ed}^+ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^+ : \underline{0.01} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N12, para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(90°)H1.

M_{Ed}^- : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^- : \underline{0.01} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

El momento flector resistente de cálculo $M_{c,Rd}$ viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,z} \cdot f_{yd}$$

$$M_{c,Rd} : \underline{6.84} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

$W_{pl,z}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$$W_{pl,z} : \underline{26.10} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a corte Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.005} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N12, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·V(90°)H1+0.75·N(R)2.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.75} \text{ kN}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$ viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

$$V_{c,Rd} : \underline{146.16} \text{ kN}$$

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

$$A_v : \underline{9.67} \text{ cm}^2$$

$$A_v = h \cdot t_w$$

Siendo:

h: Canto de la sección.

$$h : \underline{160.00} \text{ mm}$$

t_w : Espesor del alma.

$$t_w : \underline{5.00} \text{ mm}$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Abolladura por cortante del alma: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.4)

Aunque no se han dispuesto rigidizadores transversales, no es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:

$$\frac{d}{t_w} < 70 \cdot \varepsilon$$

$$25.44 < 64.71 \quad \checkmark$$

Donde:

l_w : Esbeltez del alma.

$$l_w : \underline{25.44}$$

$$\lambda_w = \frac{d}{t_w}$$

l_{\max} : Esbeltez máxima.

$$l_{\max} : \underline{64.71}$$

$$\lambda_{\max} = 70 \cdot \varepsilon$$

e: Factor de reducción.

$$e : \underline{0.92}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{ref}}{f_y}}$$

Siendo:

f_{ref} : Límite elástico de referencia.

$$f_{ref} : \underline{235.00} \text{ MPa}$$

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

Resistencia a corte Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

$$h < \underline{0.001} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(180°)H2.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.00} \text{ kN}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$ viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

$$V_{c,Rd} : \underline{194.15} \text{ kN}$$

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

$$A_v : \underline{12.84} \text{ cm}^2$$

$$A_v = A - d \cdot t_w$$

Siendo:

A: Área de la sección bruta.

$$A : \underline{20.10} \text{ cm}^2$$

d: Altura del alma.

$$d : \underline{145.20} \text{ mm}$$

t_w : Espesor del alma.

$$t_w : \underline{5.00} \text{ mm}$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante $V_{c,Rd}$.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

$$0.58 \text{ kN} \leq 73.08 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·V(270°)H2.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.58} \text{ kN}$$

$V_{c,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd} : \underline{146.16} \text{ kN}$$

Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante $V_{c,Rd}$.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

$$0.00 \text{ kN} \leq 97.08 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N7, para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(180°)H2.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.00} \text{ kN}$$

$V_{c,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd} : \underline{194.15} \text{ kN}$$

Resistencia a flexión y axil combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.047} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N12, para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 1.05 \cdot Q1(C) + 1.5 \cdot V(270^\circ)H1 + 0.75 \cdot N(R)2$.

Donde:

$N_{c,Ed}$: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.

$$N_{c,Ed} : \underline{13.67} \text{ kN}$$

$M_{y,Ed}$, $M_{z,Ed}$: Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{y,Ed} : \underline{0.67} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{z,Ed} : \underline{0.01} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de sus elementos planos, para axil y flexión simple.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

$N_{pl,Rd}$: Resistencia a compresión de la sección bruta.

$$N_{pl,Rd} : \underline{526.43} \text{ kN}$$

$M_{pl,Rd,y}$, $M_{pl,Rd,z}$: Resistencia a flexión de la sección bruta en condiciones plásticas, respecto a los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{pl,Rd,y} : \underline{32.48} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{pl,Rd,z} : \underline{6.84} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.4.2)

No procede, dado que tanto las longitudes de pandeo como las longitudes de pandeo lateral son nulas.

Resistencia a flexión, axil y cortante combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir las resistencias de cálculo a flexión y a axil, ya que se puede ignorar el efecto de abolladura por esfuerzo cortante y, además, el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} es menor o igual que el 50% del esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$.

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 1.5 \cdot V(270^\circ)H2$.

$$V_{Ed,z} \leq \frac{V_{c,Rd,z}}{2}$$

$$0.58 \text{ kN} \leq 73.08 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Donde:

$V_{Ed,z}$: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed,z} : \underline{0.58} \text{ kN}$$

$V_{c,Rd,z}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd,z} : \underline{146.16} \text{ kN}$$

Resistencia a torsión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.7)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{T,Ed}}{M_{T,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.005} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(90°)H1.

$M_{T,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{T,Ed} : \underline{0.00} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

El momento torsor resistente de cálculo $M_{T,Rd}$ viene dado por:

$$M_{T,Rd} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot W_T \cdot f_{yd}$$

$$M_{T,Rd} : \underline{0.74} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T : \underline{4.86} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,T,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.005} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N12, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·V(90°)H1+0.75·N(R)2.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.75} \text{ kN}$$

$M_{T,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{T,Ed} : \underline{0.00} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo reducido $V_{pl,T,Rd}$ viene dado por:

$$V_{pl,T,Rd} = \sqrt{1 - \frac{\tau_{T,Ed}}{1.25 \cdot f_{yd} / \sqrt{3}}} \cdot V_{pl,Rd}$$

$$V_{pl,T,Rd} : \underline{145.89} \text{ kN}$$

Donde:

$V_{pl,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{pl,Rd} : \underline{146.16} \text{ kN}$$

$t_{T,Ed}$: Tensiones tangenciales por torsión.

$$t_{T,Ed} : \underline{0.69} \text{ MPa}$$

$$\tau_{T,Ed} = \frac{M_{T,Ed}}{W_t}$$

Siendo:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T : \underline{4.86} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,T,Rd}} \leq 1$$

$$h < \underline{0.001} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 0.8·PP + 1.5·V(90°)H1.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.00} \text{ kN}$$

$M_{T,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{T,Ed} : \underline{0.00} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo reducido $V_{pl,T,Rd}$ viene dado por:

$$V_{pl,T,Rd} = \sqrt{1 - \frac{\tau_{T,Ed}}{1.25 \cdot f_{yd} / \sqrt{3}}} \cdot V_{pl,Rd}$$

$$V_{pl,T,Rd} : \underline{193.80} \text{ kN}$$

Donde:

$V_{pl,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{pl,Rd} : \underline{194.15} \text{ kN}$$

$t_{T,Ed}$: Tensiones tangenciales por torsión.

$$t_{T,Ed} : \underline{0.69} \text{ MPa}$$

$$\tau_{T,Ed} = \frac{M_{T,Ed}}{W_t}$$

Siendo:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T : \underline{4.86} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

4.4 Attilo

El attillo se compone de pilares de altura 3,5m y vigas apoyadas en sus extremos. Dichas vigas tienen dos tipos de dimensiones, dependiendo de si se encuentran en los extremos laterales, donde ha sido colocado un perfil IPE330 o en interior con un perfil IPE360.

Para comprobar los cálculos en el attillo de resistencia, se ha escogido como ejemplo la barra N69-N100 con un perfil IPE 330 y la barra N100-N140 con un perfil IPE360. Los nudos y barras pueden observarse en la siguiente imagen:

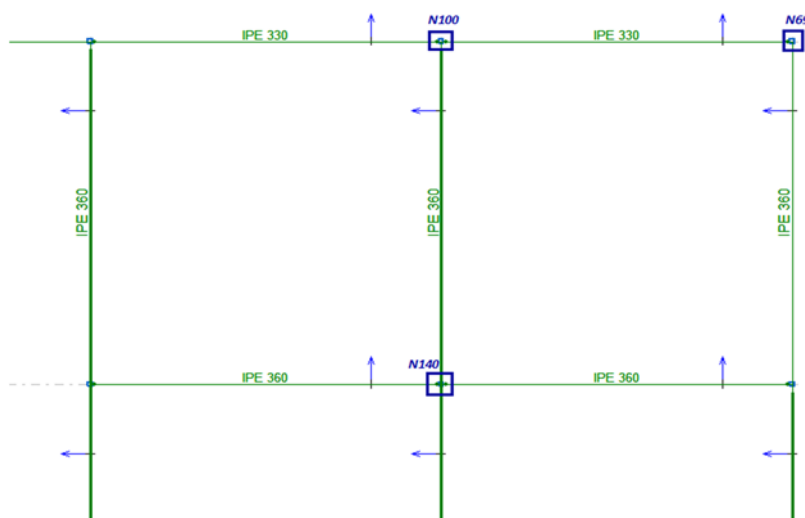


FIGURA 4.7: ampliación de vista del attillo desde la planta. Fuente: CYPE3D 2018

Para el pilar se ha elegido un perfil IPE450 que se observa en la imagen como la barra N140-N168:

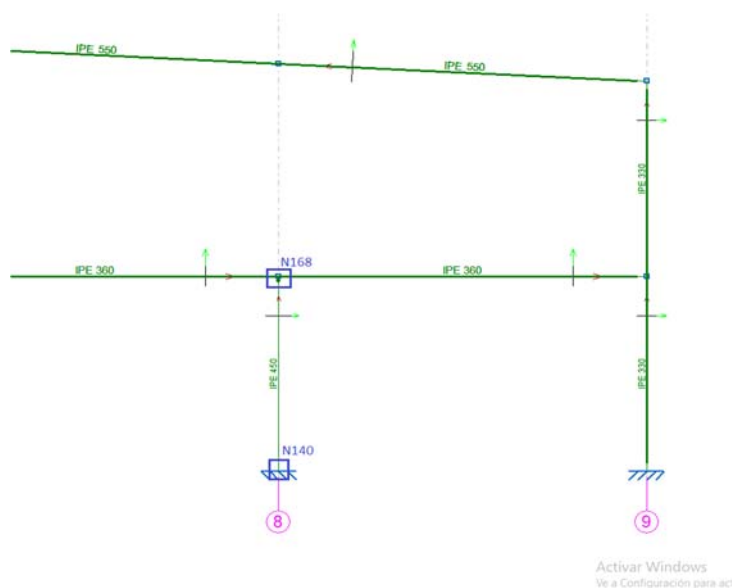


FIGURA 4.8: Vista del attillo desde la fachada (alzado). Fuente: CYPE3D 2018

·Cálculos comprobación E.L.U (Estado Límite Último):

Barra N168/N140

Perfil: IPE 450 Material: Acero (S275)							
	Nudos		Longitud (m)	Características mecánicas			
	Inicial	Final		Área (cm ²)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _z ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)
	N168	N140	3.500	98.80	33740.00	1676.00	66.90
	Notas: ⁽¹⁾ Inercia respecto al eje indicado ⁽²⁾ Momento de inercia a torsión uniforme						
				Pandeo		Pandeo lateral	
				Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.
	β			2.00	1.20	0.00	0.00
	L _k			7.000	4.192	0.000	0.000
	C _m			0.900	0.900	1.000	1.000
	C ₁			-		1.000	
Notación: b: Coeficiente de pandeo L _k : Longitud de pandeo (m) C _m : Coeficiente de momentos C ₁ : Factor de modificación para el momento crítico							

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)															Estado
	$\bar{\lambda}$	λ_{wv}	N _t	N _c	M _y	M _z	V _z	V _y	M _y V _z	M _z V _y	NM _y M _z	NM _z V _y V _z	M _t	M _y V _z	M _z V _y	
N168/N140	$\bar{\lambda} < 2.0$ Cumple	x: 0 m $\lambda_{wv} \leq \lambda_{wv,max}$ Cumple	N _{ed} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	x: 0 m $\eta = 10.1$	x: 0 m $\eta = 6.2$	x: 0 m $\eta = 0.4$	$\eta = 1.1$	$\eta < 0.1$	x: 0 m $\eta < 0.1$	x: 0 m $\eta < 0.1$	x: 0 m $\eta = 12.8$	x: 0 m $\eta < 0.1$	M _{ed} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	N.P. ⁽³⁾	N.P. ⁽³⁾	CUMPLE h = 12.8
Notación: 1: Limitación de esbeltez 1 _w : Abolladura del alma inducida por el ala comprimida N: Resistencia a tracción N _c : Resistencia a compresión M _y : Resistencia a flexión eje Y M _z : Resistencia a flexión eje Z V _z : Resistencia a corte Z V _y : Resistencia a corte Y M _y V _z : Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados M _z V _y : Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados NM _y M _z : Resistencia a flexión y axil combinados NM _z V _y V _z : Resistencia a flexión, axil y cortante combinados M _t : Resistencia a torsión M _y V _z : Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados M _z V _y : Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados x: Distancia al origen de la barra h: Coeficiente de aprovechamiento (%) N.P.: No procede																
Comprobaciones que no proceden (N.P.): ⁽¹⁾ La comprobación no procede, ya que no hay axil de tracción. ⁽²⁾ La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor. ⁽³⁾ No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.																

Producido por una versión no profesional de CYPE

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.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A_{ef} \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$$\bar{\lambda} : \underline{\quad 1.91 \quad} \checkmark$$

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.

$$\text{Clase} : \underline{\quad 4 \quad}$$

A_{ef} : Área de la sección eficaz para las secciones de clase 4.

$$A_{ef} : \underline{\quad 93.67 \quad} \text{ cm}^2$$

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{\quad 275.00 \quad} \text{ MPa}$$

N_{cr} : Axil crítico de pandeo elástico.

$$N_{cr} : \underline{\quad 708.92 \quad} \text{ kN}$$

El axil crítico de pandeo elástico N_{cr} es el menor de los valores obtenidos en a), b) y c):

a) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

$$N_{cr,y} : \underline{\quad 39802.24 \quad} \text{ kN}$$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{ky}^2}$$

b) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

$$N_{cr,z} : \underline{\quad 708.92 \quad} \text{ kN}$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{kz}^2}$$

c) Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

$$N_{cr,T} : \underline{\quad \infty \quad}$$

$$N_{cr,T} = \frac{1}{i_0^2} \cdot \left[G \cdot I_t + \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_w}{L_{kt}^2} \right]$$

Donde:

I_y : Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y.

$$I_y : \underline{\quad 33740.00 \quad} \text{ cm}^4$$

I_z : Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z.

$$I_z : \underline{\quad 1676.00 \quad} \text{ cm}^4$$

I_t : Momento de inercia a torsión uniforme.

$$I_t : \underline{\quad 66.90 \quad} \text{ cm}^4$$

I_w : Constante de alabeo de la sección.

$$I_w : \underline{\quad 791000.00 \quad} \text{ cm}^6$$

E: Módulo de elasticidad.

$$E : \underline{\quad 210000 \quad} \text{ MPa}$$

G: Módulo de elasticidad transversal.

$$G : \underline{\quad 81000 \quad} \text{ MPa}$$

L_{ky} : Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Y.

$$L_{ky} : \underline{\quad 4.192 \quad} \text{ m}$$

L_{kz} : Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Z.

$$L_{kz} : \underline{\quad 7.000 \quad} \text{ m}$$

L_{kt} : Longitud efectiva de pandeo por torsión.

$$L_{kt} : \underline{\quad 0.000 \quad} \text{ m}$$

i_0 : Radio de giro polar de la sección bruta, respecto al centro de torsión.

$$i_0 : \underline{\quad 18.93 \quad} \text{ cm}$$

$$i_0 = (i_y^2 + i_z^2 + y_0^2 + z_0^2)^{0.5}$$

Siendo:

i_y, i_z : Radios de giro de la sección bruta, respecto a los ejes principales de inercia Y y Z.

$$i_y : \underline{\quad 18.48 \quad} \text{ cm}$$

$$i_z : \underline{\quad 4.12 \quad} \text{ cm}$$

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.

$$y_0 : \underline{\quad 0.00 \quad} \text{ mm}$$

$$z_0 : \underline{\quad 0.00 \quad} \text{ mm}$$

Abolladura del alma inducida por el ala comprimida (Criterio de CYPE Ingenieros, basado en: Eurocódigo 3 EN 1993-1-5: 2006, Artículo 8)

Se debe satisfacer:

$$\frac{h_w}{t_w} \leq k \frac{E}{f_{yf}} \sqrt{\frac{A_w}{A_{fc,ef}}}$$

44.77 ≤ 273.56 ✓

Donde:

h_w : Altura del alma.	h_w :	<u>420.80</u>	mm
t_w : Espesor del alma.	t_w :	<u>9.40</u>	mm
A_w : Área del alma.	A_w :	<u>39.56</u>	cm ²
$A_{fc,ef}$: Área reducida del ala comprimida.	$A_{fc,ef}$:	<u>27.74</u>	cm ²
k : Coeficiente que depende de la clase de la sección.	k :	<u>0.30</u>	
E : Módulo de elasticidad.	E :	<u>210000</u>	MPa
f_{yf} : Límite elástico del acero del ala comprimida.	f_{yf} :	<u>275.00</u>	MPa

Siendo:

$$f_{yf} = f_y$$

Resistencia a tracción (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.3)

La comprobación no procede, ya que no hay axil de tracción.

Resistencia a compresión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.5)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1$$

η : 0.023 ✓

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1$$

η : 0.101 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N168, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·Q1(C)+0.9·V(180°)H1+0.75·N(EI).

$N_{c,Ed}$: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo. $N_{c,Ed}$: 56.48 kN

La resistencia de cálculo a compresión $N_{c,Rd}$ viene dada por:

$N_{c,Rd} = A_{ef} \cdot f_{yd}$ $N_{c,Rd}$: 2453.21 kN

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección. Clase : 4

A_{ef} : Área de la sección eficaz para las secciones de clase 4. A_{ef} : 93.67 cm²

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero. f_{yd} : 261.90 MPa

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) f_y : 275.00 MPa

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material. γ_{M0} : 1.05

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.2)

La resistencia de cálculo a pandeo $N_{b,Rd}$ en una barra comprimida viene dada por:

$N_{b,Rd} = \chi \cdot A_{ef} \cdot f_{yd}$ $N_{b,Rd}$: 559.46 kN

Donde:

A_{ef} : Área de la sección eficaz para las secciones de clase 4. A_{ef} : 93.67 cm²

Producción por una versión no profesional de CYPE

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{\underline{261.90}} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{\underline{275.00}} \text{ MPa}$$

γ_{M1} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M1} : \underline{\underline{1.05}}$$

c: Coeficiente de reducción por pandeo.

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - (\bar{\lambda})^2}} \leq 1$$

$$C_y : \underline{\underline{0.99}}$$

$$C_z : \underline{\underline{0.23}}$$

Siendo:

$$\Phi = 0.5 \cdot \left[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0.2) + (\bar{\lambda})^2 \right]$$

$$f_{y} : \underline{\underline{0.54}}$$

$$f_{z} : \underline{\underline{2.61}}$$

a: Coeficiente de imperfección elástica.

$$a_y : \underline{\underline{0.21}}$$

$$a_z : \underline{\underline{0.34}}$$

$\bar{\lambda}$: Esbeltez reducida.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A_{ef} \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$$\bar{\lambda}_y : \underline{\underline{0.25}}$$

$$\bar{\lambda}_z : \underline{\underline{1.91}}$$

N_{cr} : Axil crítico elástico de pandeo, obtenido como el menor de los siguientes valores:

$$N_{cr} : \underline{\underline{708.92}} \text{ kN}$$

$N_{cr,y}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

$$N_{cr,y} : \underline{\underline{39802.24}} \text{ kN}$$

$N_{cr,z}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

$$N_{cr,z} : \underline{\underline{708.92}} \text{ kN}$$

$N_{cr,T}$: Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

$$N_{cr,T} : \underline{\underline{\infty}}$$

Resistencia a flexión eje Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.062} \quad \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N168, para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(0°)H2.

M_{Ed}^+ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^+ : \underline{20.76} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N168, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.05·Q1(C)+1.5·V(180°)H1+0.75·N(EI).

M_{Ed}^- : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^- : \underline{27.53} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

El momento flector resistente de cálculo $M_{c,Rd}$ viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_{yd}$$

$$M_{c,Rd} : \underline{445.76} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

$W_{pl,y}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$$W_{pl,y} : \underline{1702.00} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a pandeo lateral: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.2)

No procede, dado que las longitudes de pandeo lateral son nulas.

Resistencia a flexión eje Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.004} \quad \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N168, para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(270°)H2+0.75·N(R)2.

M_{Ed}^+ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^+ : \underline{0.26} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N168, para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(180°)H2.

M_{Ed}^- : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^- : \underline{0.24} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

El momento flector resistente de cálculo $M_{c,Rd}$ viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,z} \cdot f_{yd}$$

$$M_{c,Rd} : \underline{72.29} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

$W_{pl,z}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$$W_{pl,z} : \underline{276.00} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a corte Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.011} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 1.5 \cdot V(180^\circ)H1 + 0.75 \cdot N(EI)$.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{8.29} \text{ kN}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$ viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

$$V_{c,Rd} : \underline{768.52} \text{ kN}$$

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

$$A_v : \underline{50.82} \text{ cm}^2$$

$$A_v = h \cdot t_w$$

Siendo:

h: Canto de la sección.

$$h : \underline{450.00} \text{ mm}$$

t_w : Espesor del alma.

$$t_w : \underline{9.40} \text{ mm}$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Abolladura por cortante del alma: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.4)

Aunque no se han dispuesto rigidizadores transversales, no es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:

$$\frac{d}{t_w} < 70 \cdot \varepsilon$$

$$40.30 < 64.71 \quad \checkmark$$

Donde:

l_w : Esbeltez del alma.

$$l_w : \underline{40.30}$$

$$\lambda_w = \frac{d}{t_w}$$

l_{\max} : Esbeltez máxima.

$$l_{\max} : \underline{64.71}$$

$$\lambda_{\max} = 70 \cdot \varepsilon$$

e: Factor de reducción.

$$e : \underline{0.92}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{ref}}{f_y}}$$

Siendo:

f_{ref} : Límite elástico de referencia.

$$f_{ref} : \underline{235.00} \text{ MPa}$$

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

Resistencia a corte Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

$$h < \underline{0.001} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones $0.8 \cdot PP + 1.5 \cdot V(270^\circ)H2 + 0.75 \cdot N(R)2$.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.08} \text{ kN}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$ viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

$$V_{c,Rd} : \underline{895.85} \text{ kN}$$

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

$$A_v : \underline{59.24} \text{ cm}^2$$

$$A_v = A - d \cdot t_w$$

Siendo:

A: Área de la sección bruta.

$$A : \underline{98.80} \text{ cm}^2$$

d: Altura del alma.

$$d : \underline{420.80} \text{ mm}$$

t_w : Espesor del alma.

$$t_w : \underline{9.40} \text{ mm}$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante $V_{c,Rd}$.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

$$8.29 \text{ kN} \leq 384.26 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N168, para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 1.5 \cdot V(180^\circ)H1 + 0.75 \cdot N(EI)$.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{8.29} \text{ kN}$$

$V_{c,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd} : \underline{768.52} \text{ kN}$$

Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante $V_{c,Rd}$.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

$$0.08 \text{ kN} \leq 447.92 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N168, para la combinación de acciones $0.8 \cdot PP + 1.5 \cdot V(270^\circ)H2 + 0.75 \cdot N(R)2$.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.08} \text{ kN}$$

$V_{c,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd} : \underline{895.85} \text{ kN}$$

Resistencia a flexión y axil combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} \leq 1$$

h : 0.071 ✓

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot A \cdot f_{yd}} + k_y \cdot \frac{C_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + \alpha_z \cdot k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1$$

h : 0.066 ✓

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot A \cdot f_{yd}} + \alpha_y \cdot k_y \cdot \frac{C_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1$$

h : 0.128 ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N168, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·Q1(C)+0.9·V(180°)H1+0.75·N(EI).

Donde:

$N_{c,Ed}$: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.	$N_{c,Ed}$: <u>56.48</u> kN
$M_{y,Ed}$, $M_{z,Ed}$: Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente.	$M_{y,Ed}$: <u>20.90</u> kN·m
	$M_{z,Ed}$: <u>0.14</u> kN·m
Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de sus elementos planos, para axil y flexión simple.	Clase : <u>1</u>
$N_{pl,Rd}$: Resistencia a compresión de la sección bruta.	$N_{pl,Rd}$: <u>2587.62</u> kN
$M_{pl,Rd,y}$, $M_{pl,Rd,z}$: Resistencia a flexión de la sección bruta en condiciones plásticas, respecto a los ejes Y y Z, respectivamente.	$M_{pl,Rd,y}$: <u>445.76</u> kN·m
	$M_{pl,Rd,z}$: <u>72.29</u> kN·m

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.4.2)

A: Área de la sección bruta.	A : <u>98.80</u> cm ²
$W_{pl,y}$, $W_{pl,z}$: Módulos resistentes plásticos correspondientes a la fibra comprimida, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.	$W_{pl,y}$: <u>1702.00</u> cm ³
	$W_{pl,z}$: <u>276.00</u> cm ³
f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.	f_{yd} : <u>261.90</u> MPa
$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$	
Siendo:	
f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)	f_y : <u>275.00</u> MPa
γ_{M1} : Coeficiente parcial de seguridad del material.	γ_{M1} : <u>1.05</u>

k_y , k_z : Coeficientes de interacción.

$$k_y = 1 + (\bar{\lambda}_y - 0.2) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot N_{c,Rd}}$$

k_y : 1.00

$$k_z = 1 + (2 \cdot \bar{\lambda}_z - 0.6) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot N_{c,Rd}}$$

k_z : 1.14

$C_{m,y}$, $C_{m,z}$: Factores de momento flector uniforme equivalente.	$C_{m,y}$: <u>0.90</u>
	$C_{m,z}$: <u>0.90</u>

c_y , c_z : Coeficientes de reducción por pandeo, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.	c_y : <u>0.99</u>
	c_z : <u>0.22</u>

$\bar{\lambda}_y$, $\bar{\lambda}_z$: Esbelteces reducidas con valores no mayores que 1.00, en relación a los ejes Y y Z, respectivamente.	$\bar{\lambda}_y$: <u>0.26</u>
	$\bar{\lambda}_z$: <u>1.96</u>

a_y , a_z : Factores dependientes de la clase de la sección.	a_y : <u>0.60</u>
	a_z : <u>0.60</u>

Resistencia a flexión, axil y cortante combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir las resistencias de cálculo a flexión y a axil, ya que se puede ignorar el efecto de abolladura por esfuerzo cortante y, además, el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} es menor o igual que el 50% del esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$.

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N168, para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 1.5 \cdot V(180^\circ)H1 + 0.75 \cdot N(EI)$.

$$V_{Ed,z} \leq \frac{V_{c,Rd,z}}{2}$$

$$8.29 \text{ kN} \leq 384.26 \text{ kN}$$



Donde:

$V_{Ed,z}$: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed,z} : \frac{8.29}{\quad} \text{ kN}$$

$V_{c,Rd,z}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd,z} : \frac{768.52}{\quad} \text{ kN}$$

Resistencia a torsión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.7)

La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor.

Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Barra N100/N140

Perfil: IPE 360 Material: Acero (S275)							
	Nudos		Longitud (m)	Características mecánicas			
	Inicial	Final		Área (cm ²)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _z ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I ₁ ⁽²⁾ (cm ⁴)
	N100	N140	6.250	72.70	16270.00	1043.00	37.30
	Notas: (1) Inercia respecto al eje indicado (2) Momento de inercia a torsión uniforme						
				Pandeo		Pandeo lateral	
				Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.
	β	1.00		1.00	0.00	0.00	
	L _k	6.250		6.250	0.000	0.000	
	C _m	1.000		1.000	1.000	1.000	
	C ₁	-			1.000		
Notación: b: Coeficiente de pandeo L _k : Longitud de pandeo (m) C _m : Coeficiente de momentos C ₁ : Factor de modificación para el momento crítico							

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)														Estado	
	$\bar{\lambda}$	λ_w	N _t	N _c	M _y	M _z	V _z	V _y	M _y V _z	M _z V _y	NM _y M _z	NM _z V _y V _z	M _t	M _y V _t		M _z V _t
DO/N140	$\bar{\lambda} < 2.0$ Cumple	$\lambda_w \leq \lambda_{w,max}$ Cumple	$\eta = 3.7$	$\eta = 5.9$	x: 6.25 m $\eta = 1.3$	x: 6.25 m $\eta = 0.8$	x: 6.25 m $\eta = 0.6$	$\eta < 0.1$	$\eta < 0.1$	$\eta < 0.1$	x: 6.25 m $\eta = 7.8$	$\eta < 0.1$	M _{ed} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	N.P. ⁽²⁾	N.P. ⁽²⁾	CUMPLE h = 7.8
Notación: 1: Limitación de esbeltez λ _w : Abolladura del alma inducida por el ala comprimida N: Resistencia a tracción N _c : Resistencia a compresión M _y : Resistencia a flexión eje Y M _z : Resistencia a flexión eje Z V _z : Resistencia a corte Z V _y : Resistencia a corte Y M _y V _z : Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados M _z V _y : Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados NM _y M _z : Resistencia a flexión y axil combinados NM _z V _y V _z : Resistencia a flexión, axil y cortante combinados M _t : Resistencia a torsión M _y V _t : Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados M _z V _t : Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados x: Distancia al origen de la barra h: Coeficiente de aprovechamiento (%) N.P.: No procede																
Comprobaciones que no proceden (N.P.): (1) La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor. (2) No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.																

Producido por una versión no profesional de SYPE

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.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$\bar{\lambda} : \underline{\quad 1.90 \quad}$ ✓

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

Clase : 3

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

A : 72.70 cm²

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 275.00 MPa

N_{cr} : Axil crítico de pandeo elástico.

N_{cr} : 553.41 kN

El axil crítico de pandeo elástico N_{cr} es el menor de los valores obtenidos en a), b) y c):

a) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

$N_{cr,y}$: 8632.70 kN

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{ky}^2}$$

b) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

$N_{cr,z}$: 553.41 kN

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{kz}^2}$$

c) Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

$N_{cr,T}$: ∞

$$N_{cr,T} = \frac{1}{i_0^2} \cdot \left[G \cdot I_t + \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_w}{L_{kt}^2} \right]$$

Donde:

I_y : Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y.

I_y : 16270.00 cm⁴

I_z : Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z.

I_z : 1043.00 cm⁴

I_t : Momento de inercia a torsión uniforme.

I_t : 37.30 cm⁴

I_w : Constante de alabeo de la sección.

I_w : 314000.00 cm⁶

E: Módulo de elasticidad.

E : 210000 MPa

G: Módulo de elasticidad transversal.

G : 81000 MPa

L_{ky} : Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Y.

L_{ky} : 6.250 m

L_{kz} : Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Z.

L_{kz} : 6.250 m

L_{kt} : Longitud efectiva de pandeo por torsión.

L_{kt} : 0.000 m

i_0 : Radio de giro polar de la sección bruta, respecto al centro de torsión.

i_0 : 15.43 cm

$$i_0 = (i_y^2 + i_z^2 + y_0^2 + z_0^2)^{0.5}$$

Siendo:

i_y, i_z : Radios de giro de la sección bruta, respecto a los ejes principales de inercia Y y Z.

i_y : 14.96 cm

i_z : 3.79 cm

y_0, z_0 : Coordenadas del centro de torsión en la dirección de los ejes principales Y y Z, respectivamente, relativas al centro de gravedad de la sección.

y_0 : 0.00 mm

z_0 : 0.00 mm

Abolladura del alma inducida por el ala comprimida (Criterio de CYPE Ingenieros, basado en: Eurocódigo 3 EN 1993-1-5: 2006, Artículo 8)

Se debe satisfacer:

$$\frac{h_w}{t_w} \leq k \frac{E}{f_{yf}} \sqrt{\frac{A_w}{A_{fc,ef}}}$$

41.83 ≤ 255.09 ✓

Donde:

h_w : Altura del alma.

h_w : 334.60 mm

t_w : Espesor del alma.

t_w : 8.00 mm

A_w : Área del alma.

A_w : 26.77 cm²

$A_{fc,ef}$: Área reducida del ala comprimida.

$A_{fc,ef}$: 21.59 cm²

k: Coeficiente que depende de la clase de la sección.

k : 0.30

E: Módulo de elasticidad.

E : 210000 MPa

f_{yf} : Límite elástico del acero del ala comprimida.

f_{yf} : 275.00 MPa

Siendo:

$$f_{yf} = f_y$$

Resistencia a tracción (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.3)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1$$

h : 0.037 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 1.35·PP+1.05·Q1(C)+0.9·V(90°)H1+1.5·N(EI).

$N_{t,Ed}$: Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.

$N_{t,Ed}$: 69.73 kN

La resistencia de cálculo a tracción $N_{t,Rd}$ viene dada por:

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

$N_{t,Rd}$: 1904.05 kN

Donde:

A: Área bruta de la sección transversal de la barra.

A : 72.70 cm²

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 261.90 MPa

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 275.00 MPa

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Resistencia a compresión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.5)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1$$

h : 0.013 ✓

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1$$

h : 0.059 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(0°)H2.

$N_{c,Ed}$: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.

$N_{c,Ed}$: 25.70 kN

La resistencia de cálculo a compresión $N_{c,Rd}$ viene dada por:

$$N_{c,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

$$N_{c,Rd} : \underline{1904.05} \text{ kN}$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

$$\text{Clase} : \underline{3}$$

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

$$A : \underline{72.70} \text{ cm}^2$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.2)

La resistencia de cálculo a pandeo $N_{b,Rd}$ en una barra comprimida viene dada por:

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot A \cdot f_{yd}$$

$$N_{b,Rd} : \underline{436.43} \text{ kN}$$

Donde:

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

$$A : \underline{72.70} \text{ cm}^2$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

γ_{M1} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M1} : \underline{1.05}$$

χ : Coeficiente de reducción por pandeo.

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - (\bar{\lambda})^2}} \leq 1$$

$$C_y : \underline{0.93}$$

$$C_z : \underline{0.23}$$

Siendo:

$$\Phi = 0.5 \cdot \left[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0.2) + (\bar{\lambda})^2 \right]$$

$$f_y : \underline{0.65}$$

$$f_z : \underline{2.60}$$

α : Coeficiente de imperfección elástica.

$$a_y : \underline{0.21}$$

$$a_z : \underline{0.34}$$

$\bar{\lambda}$: Esbeltez reducida.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$$\bar{\lambda}_y : \underline{0.48}$$

$$\bar{\lambda}_z : \underline{1.90}$$

N_{cr} : Axil crítico elástico de pandeo, obtenido como el menor de los siguientes valores:

$$N_{cr} : \underline{553.41} \text{ kN}$$

$N_{cr,y}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

$$N_{cr,y} : \underline{8632.70} \text{ kN}$$

$N_{cr,z}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

$$N_{cr,z} : \underline{553.41} \text{ kN}$$

$N_{cr,T}$: Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

$$N_{cr,T} : \underline{\infty}$$

Resistencia a flexión eje Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.013} \quad \checkmark$$

Para flexión positiva:

M_{Ed}^+ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^+ : \underline{0.00} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N140, para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 1.5 \cdot V(0^\circ)H2 + 0.75 \cdot N(R)2$.

M_{Ed}^- : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^- : \underline{3.50} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

El momento flector resistente de cálculo $M_{c,Rd}$ viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_{yd}$$

$$M_{c,Rd} : \underline{266.88} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

$W_{pl,y}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$$W_{pl,y} : \underline{1019.00} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a pandeo lateral: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.2)

No procede, dado que las longitudes de pandeo lateral son nulas.

Resistencia a flexión eje Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.008} \quad \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N140, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·V(0°)H1+0.75·N(R)2.

M_{Ed}^+ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^+ : \underline{0.39} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N140, para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(270°)H1.

M_{Ed}^- : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^- : \underline{0.28} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

El momento flector resistente de cálculo $M_{c,Rd}$ viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,z} \cdot f_{yd}$$

$$M_{c,Rd} : \underline{50.02} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

$W_{pl,z}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$$W_{pl,z} : \underline{191.00} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a corte Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.006} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N140, para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 1.5 \cdot V(0^\circ)H2 + 0.75 \cdot N(R)2$.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{2.92} \text{ kN}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$ viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

$$V_{c,Rd} : \underline{530.87} \text{ kN}$$

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

$$A_v : \underline{35.11} \text{ cm}^2$$

$$A_v = h \cdot t_w$$

Siendo:

h: Canto de la sección.

$$h : \underline{360.00} \text{ mm}$$

t_w : Espesor del alma.

$$t_w : \underline{8.00} \text{ mm}$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Abolladura por cortante del alma: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.4)

Aunque no se han dispuesto rigidizadores transversales, no es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:

$$\frac{d}{t_w} < 70 \cdot \varepsilon$$

$$37.32 < 64.71 \quad \checkmark$$

Donde:

l_w : Esbeltez del alma.

$$l_w : \underline{37.32}$$

$$\lambda_w = \frac{d}{t_w}$$

$l_{m\acute{a}x}$: Esbeltez máxima.

$$l_{m\acute{a}x} : \underline{64.71}$$

$$\lambda_{m\acute{a}x} = 70 \cdot \varepsilon$$

e: Factor de reducción.

$$e : \underline{0.92}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{ref}}{f_y}}$$

Siendo:

f_{ref} : Límite elástico de referencia.

$$f_{ref} : \underline{235.00} \text{ MPa}$$

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

Resistencia a corte Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

$$h < \underline{0.001} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·V(0°)H1+0.75·N(R)2.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.06} \text{ kN}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$ viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

$$V_{c,Rd} : \underline{694.54} \text{ kN}$$

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

$$A_v : \underline{45.93} \text{ cm}^2$$

$$A_v = A - d \cdot t_w$$

Siendo:

A: Área de la sección bruta.

$$A : \underline{72.70} \text{ cm}^2$$

d: Altura del alma.

$$d : \underline{334.60} \text{ mm}$$

t_w : Espesor del alma.

$$t_w : \underline{8.00} \text{ mm}$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante $V_{c,Rd}$.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

$$1.81 \text{ kN} \leq 265.44 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·V(180°)H2+0.75·N(R)1.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{1.81} \text{ kN}$$

$V_{c,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd} : \underline{530.87} \text{ kN}$$

Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante $V_{c,Rd}$.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

$$0.06 \text{ kN} \leq 347.27 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·V(0°)H1+0.75·N(R)2.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.06} \text{ kN}$$

$V_{c,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd} : \underline{694.54} \text{ kN}$$

Resistencia a flexión y axil combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{el,Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{el,Rd,z}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.034} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot A \cdot f_{yd}} + k_y \cdot \frac{C_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{el,y} \cdot f_{yd}} + \alpha_z \cdot k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{el,z} \cdot f_{yd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.036} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot A \cdot f_{yd}} + \alpha_y \cdot k_y \cdot \frac{C_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{W_{el,y} \cdot f_{yd}} + k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{el,z} \cdot f_{yd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.078} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N140, para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(0°)H2.

Donde:

$N_{c,Ed}$: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.

$$N_{c,Ed} : \underline{25.70} \text{ kN}$$

$M_{y,Ed}$, $M_{z,Ed}$: Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{y,Ed} : \underline{2.20} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{z,Ed} : \underline{0.37} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de sus elementos planos, para axil y flexión simple.

$$\text{Clase} : \underline{3}$$

$N_{pl,Rd}$: Resistencia a compresión de la sección bruta.

$$N_{pl,Rd} : \underline{1904.05} \text{ kN}$$

$M_{el,Rd,y}$, $M_{el,Rd,z}$: Resistencia a flexión de la sección bruta en condiciones elásticas, respecto a los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{el,Rd,y} : \underline{236.73} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{el,Rd,z} : \underline{32.14} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.4.2)

A: Área de la sección bruta.

$$A : \underline{72.70} \text{ cm}^2$$

$W_{el,y}$, $W_{el,z}$: Módulos resistentes elásticos correspondientes a la fibra comprimida, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.

$$W_{el,y} : \underline{903.89} \text{ cm}^3$$

$$W_{el,z} : \underline{122.71} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

γ_{M1} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M1} : \underline{1.05}$$

k_y , k_z : Coeficientes de interacción.

$$k_y = 1 + 0.6 \cdot \bar{\lambda}_y \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot N_{c,Rd}}$$

$$k_y : \underline{1.00}$$

$$k_z = 1 + 0.6 \cdot \bar{\lambda}_z \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot N_{c,Rd}}$$

$$k_z : \underline{1.04}$$

$C_{m,y}$, $C_{m,z}$: Factores de momento flector uniforme equivalente.

$$C_{m,y} : \underline{1.00}$$

$$C_{m,z} : \underline{1.00}$$

c_y , c_z : Coeficientes de reducción por pandeo, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.

$$c_y : \underline{0.93}$$

$$c_z : \underline{0.23}$$

$\bar{\lambda}_y$, $\bar{\lambda}_z$: Esbelteces reducidas con valores no mayores que 1.00, en relación a los ejes Y y Z, respectivamente.

$$\bar{\lambda}_y : \underline{0.48}$$

$$\bar{\lambda}_z : \underline{1.90}$$

a_y , a_z : Factores dependientes de la clase de la sección.

$$a_y : \underline{0.80}$$

$$a_z : \underline{1.00}$$

Resistencia a flexión, axil y cortante combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir las resistencias de cálculo a flexión y a axil, ya que se puede ignorar el efecto de abolladura por esfuerzo cortante y, además, el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} es menor o igual que el 50% del esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$.

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 1.5 \cdot V(180^\circ)H2 + 0.75 \cdot N(R)1$.

$$V_{Ed,z} \leq \frac{V_{c,Rd,z}}{2}$$

$$1.81 \text{ kN} \leq 265.44 \text{ kN}$$



Donde:

$V_{Ed,z}$: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed,z} : \frac{1.81}{\quad} \text{ kN}$$

$V_{c,Rd,z}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd,z} : \frac{530.87}{\quad} \text{ kN}$$

Resistencia a torsión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.7)

La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor.

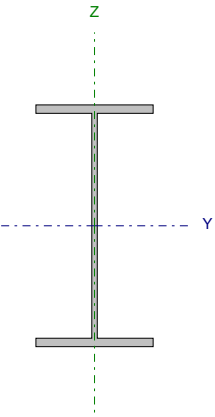
Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Barra N100/N69

Perfil: IPE 330		Material: Acero (S275)					
	Nudos		Longitud (m)	Características mecánicas			
	Inicial	Final		Área (cm ²)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _z ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)
	N100	N69	6.000	62.60	11770.00	788.00	28.20
Notas: (1) Inercia respecto al eje indicado (2) Momento de inercia a torsión uniforme							
		Pandeo		Pandeo lateral			
		Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.		
β	1.00	1.00	0.00	0.00			
L _K	6.000	6.000	0.000	0.000			
C _m	1.000	0.950	1.000	1.000			
C ₁	-		1.000				
Notación: b: Coeficiente de pandeo L _K : Longitud de pandeo (m) C _m : Coeficiente de momentos C ₁ : Factor de modificación para el momento crítico							

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)														Estado	
	$\bar{\lambda}$	λ_w	N _t	N _c	M _y	M _z	V _z	V _y	M _y V _z	M _z V _y	NM _z	NM _y V _z	M _t	M _{V_z}		M _{V_y}
N100/N69	$\bar{\lambda} < 2.0$ Cumple	x: 0.375 m $\lambda_w \leq \lambda_{w,max}$ Cumple	$\eta = 0.3$	$\eta = 8.0$	x: 3 m $\eta = 9.0$	M _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	x: 0 m $\eta = 2.7$	V _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	x: 0.375 m $\eta < 0.1$	N.P. ⁽³⁾	x: 3 m $\eta = 12.4$	x: 0.375 m $\eta < 0.1$	M _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽⁴⁾	N.P. ⁽⁵⁾	N.P. ⁽⁵⁾	CUMPLE h = 12.4
Notación: 1: Limitación de esbeltez 2: Abolladura del alma inducida por el ala comprimida N: Resistencia a tracción N: Resistencia a compresión M _y : Resistencia a flexión eje Y M _z : Resistencia a flexión eje Z V _z : Resistencia a corte Z V _y : Resistencia a corte Y M _y V _z : Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados M _z V _y : Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados NM _z : Resistencia a flexión y axil combinados NM _y V _z : Resistencia a flexión, axil y cortante combinados M _t : Resistencia a torsión M _{V_z} : Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados M _{V_y} : Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados x: Distancia al origen de la barra h: Coeficiente de aprovechamiento (%) N.P.: No procede																
Comprobaciones que no proceden (N.P.): (1) La comprobación no procede, ya que no hay momento flector. (2) La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante. (3) No hay interacción entre momento flector y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede. (4) La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor. (5) No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.																

Producido por una versión no profesional de XYPE

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.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$\bar{\lambda} : \underline{\quad 1.95 \quad}$ ✓

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

Clase : 3

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

A : 62.60 cm²

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 275.00 MPa

N_{cr} : Axil crítico de pandeo elástico.

N_{cr} : 453.67 kN

El axil crítico de pandeo elástico N_{cr} es el menor de los valores obtenidos en a), b) y c):

a) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

$N_{cr,y}$: 6776.31 kN

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{ky}^2}$$

b) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

$N_{cr,z}$: 453.67 kN

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{kz}^2}$$

c) Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

$N_{cr,T}$: ∞

$$N_{cr,T} = \frac{1}{i_0^2} \cdot \left[G \cdot I_t + \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_w}{L_{kt}^2} \right]$$

Donde:

I_y : Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y.

I_y : 11770.00 cm⁴

I_z : Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z.

I_z : 788.00 cm⁴

I_t : Momento de inercia a torsión uniforme.

I_t : 28.20 cm⁴

I_w : Constante de alabeo de la sección.

I_w : 199000.00 cm⁶

E: Módulo de elasticidad.

E : 210000 MPa

G: Módulo de elasticidad transversal.

G : 81000 MPa

L_{ky} : Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Y.

L_{ky} : 6.000 m

L_{kz} : Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Z.

L_{kz} : 6.000 m

L_{kt} : Longitud efectiva de pandeo por torsión.

L_{kt} : 0.000 m

i_0 : Radio de giro polar de la sección bruta, respecto al centro de torsión.

i_0 : 14.16 cm

$$i_0 = (i_y^2 + i_z^2 + y_0^2 + z_0^2)^{0.5}$$

Siendo:

i_y, i_z : Radios de giro de la sección bruta, respecto a los ejes principales de inercia Y y Z.

i_y : 13.71 cm

i_z : 3.55 cm

y_0, z_0 : Coordenadas del centro de torsión en la dirección de los ejes principales Y y Z, respectivamente, relativas al centro de gravedad de la sección.

y_0 : 0.00 mm

z_0 : 0.00 mm

Abolladura del alma inducida por el ala comprimida (Criterio de CYPE Ingenieros, basado en: Eurocódigo 3 EN 1993-1-5: 2006, Artículo 8)

Se debe satisfacer:

$$\frac{h_w}{t_w} \leq k \frac{E}{f_{yf}} \sqrt{\frac{A_w}{A_{fc,ef}}}$$

40.93 ≤ 256.27 ✓

Donde:

h_w : Altura del alma.

h_w : 307.00 mm

t_w : Espesor del alma.

t_w : 7.50 mm

A_w : Área del alma.

A_w : 23.03 cm²

$A_{fc,ef}$: Área reducida del ala comprimida.

$A_{fc,ef}$: 18.40 cm²

k : Coeficiente que depende de la clase de la sección.

k : 0.30

E : Módulo de elasticidad.

E : 210000 MPa

f_{yf} : Límite elástico del acero del ala comprimida.

f_{yf} : 275.00 MPa

Siendo:

$$f_{yf} = f_y$$

Resistencia a tracción (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.3)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1$$

η : 0.003 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·V(0°)H2+0.75·N(R)2.

$N_{t,Ed}$: Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.

$N_{t,Ed}$: 4.92 kN

La resistencia de cálculo a tracción $N_{t,Rd}$ viene dada por:

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

$N_{t,Rd}$: 1639.52 kN

Donde:

A : Área bruta de la sección transversal de la barra.

A : 62.60 cm²

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 261.90 MPa

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 275.00 MPa

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Resistencia a compresión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.5)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1$$

η : 0.018 ✓

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1$$

η : 0.080 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(270°)H2+0.75·N(R)2.

$N_{c,Ed}$: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.

$N_{c,Ed}$: 28.69 kN

La resistencia de cálculo a compresión $N_{c,Rd}$ viene dada por:

$$N_{c,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

$$N_{c,Rd} : \underline{1639.52} \text{ kN}$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

$$\text{Clase} : \underline{3}$$

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

$$A : \underline{62.60} \text{ cm}^2$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.2)

La resistencia de cálculo a pandeo $N_{b,Rd}$ en una barra comprimida viene dada por:

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot A \cdot f_{yd}$$

$$N_{b,Rd} : \underline{359.86} \text{ kN}$$

Donde:

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

$$A : \underline{62.60} \text{ cm}^2$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

γ_{M1} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M1} : \underline{1.05}$$

χ : Coeficiente de reducción por pandeo.

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - (\bar{\lambda})^2}} \leq 1$$

$$C_y : \underline{0.92}$$

$$C_z : \underline{0.22}$$

Siendo:

$$\Phi = 0.5 \cdot \left[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0.2) + (\bar{\lambda})^2 \right]$$

$$f_y : \underline{0.66}$$

$$f_z : \underline{2.69}$$

α : Coeficiente de imperfección elástica.

$$a_y : \underline{0.21}$$

$$a_z : \underline{0.34}$$

$\bar{\lambda}$: Esbeltez reducida.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$$\bar{\lambda}_y : \underline{0.50}$$

$$\bar{\lambda}_z : \underline{1.95}$$

N_{cr} : Axil crítico elástico de pandeo, obtenido como el menor de los siguientes valores:

$$N_{cr} : \underline{453.67} \text{ kN}$$

$N_{cr,y}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

$$N_{cr,y} : \underline{6776.31} \text{ kN}$$

$N_{cr,z}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

$$N_{cr,z} : \underline{453.67} \text{ kN}$$

$N_{cr,T}$: Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

$$N_{cr,T} : \underline{\infty}$$

Resistencia a flexión eje Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

h : 0.090 ✓

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 3.000 m del nudo N100, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·Q1(C).

M_{Ed}^+ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

M_{Ed}^+ : 18.96 kN·m

Para flexión negativa:

M_{Ed}^- : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

M_{Ed}^- : 0.00 kN·m

El momento flector resistente de cálculo $M_{c,Rd}$ viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_{yd}$$

$M_{c,Rd}$: 210.57 kN·m

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

Clase : 1

$W_{pl,y}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$W_{pl,y}$: 804.00 cm³

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 261.90 MPa

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 275.00 MPa

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Resistencia a pandeo lateral: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.2)

No procede, dado que las longitudes de pandeo lateral son nulas.

Resistencia a flexión eje Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

La comprobación no procede, ya que no hay momento flector.

Resistencia a corte Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.027} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N100, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·Q1(C).

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{12.64} \text{ kN}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$ viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

$$V_{c,Rd} : \underline{465.77} \text{ kN}$$

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

$$A_v : \underline{30.80} \text{ cm}^2$$

$$A_v = h \cdot t_w$$

Siendo:

h: Canto de la sección.

$$h : \underline{330.00} \text{ mm}$$

t_w : Espesor del alma.

$$t_w : \underline{7.50} \text{ mm}$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Abolladura por cortante del alma: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.4)

Aunque no se han dispuesto rigidizadores transversales, no es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:

$$\frac{d}{t_w} < 70 \cdot \varepsilon$$

$$36.13 < 64.71 \quad \checkmark$$

Donde:

l_w : Esbeltez del alma.

$$l_w : \underline{36.13}$$

$$\lambda_w = \frac{d}{t_w}$$

$l_{m\acute{a}x}$: Esbeltez máxima.

$$l_{m\acute{a}x} : \underline{64.71}$$

$$\lambda_{m\acute{a}x} = 70 \cdot \varepsilon$$

e: Factor de reducción.

$$e : \underline{0.92}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{ref}}{f_y}}$$

Siendo:

f_{ref} : Límite elástico de referencia.

$$f_{ref} : \underline{235.00} \text{ MPa}$$

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

Resistencia a corte Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante.

Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante $V_{c,Rd}$.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

$$11.06 \text{ kN} \leq 232.88 \text{ kN}$$



Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 0.375 m del nudo N100, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·Q1(C).

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{11.06} \text{ kN}$$

$V_{c,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd} : \underline{465.77} \text{ kN}$$

Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento flector y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a flexión y axil combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.095} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot A \cdot f_{yd}} + k_y \cdot \frac{C_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + \alpha_z \cdot k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.093} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot A \cdot f_{yd}} + \alpha_y \cdot k_y \cdot \frac{C_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.124} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 3.000 m del nudo N100, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.05·Q1(C)+1.5·V(270°)H2+0.75·N(R)2.

Donde:

$N_{c,Ed}$: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.

$$N_{c,Ed} : \underline{28.47} \text{ kN}$$

$M_{y,Ed}$, $M_{z,Ed}$: Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{y,Ed}^+ : \underline{16.43} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{z,Ed}^+ : \underline{0.00} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de sus elementos planos, para axil y flexión simple.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

$N_{pl,Rd}$: Resistencia a compresión de la sección bruta.

$$N_{pl,Rd} : \underline{1639.52} \text{ kN}$$

$M_{pl,Rd,y}$, $M_{pl,Rd,z}$: Resistencia a flexión de la sección bruta en condiciones plásticas, respecto a los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{pl,Rd,y} : \underline{210.57} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{pl,Rd,z} : \underline{40.33} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.4.2)

A: Área de la sección bruta.

$$A : \underline{62.60} \text{ cm}^2$$

$W_{pl,y}$, $W_{pl,z}$: Módulos resistentes plásticos correspondientes a la fibra comprimida, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.

$$W_{pl,y} : \underline{804.00} \text{ cm}^3$$

$$W_{pl,z} : \underline{154.00} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

γ_{M1} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M1} : \underline{1.05}$$

k_y , k_z : Coeficientes de interacción.

$$k_y = 1 + (\bar{\lambda}_y - 0.2) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot N_{c,Rd}}$$

$$k_y : \underline{1.01}$$

$$k_z = 1 + (2 \cdot \bar{\lambda}_z - 0.6) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot N_{c,Rd}}$$

$$k_z : \underline{1.11}$$

$C_{m,y}$, $C_{m,z}$: Factores de momento flector uniforme equivalente.

$$C_{m,y} : \underline{0.95}$$

$$C_{m,z} : \underline{1.00}$$

c_y , c_z : Coeficientes de reducción por pandeo, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.

$$c_y : \underline{0.92}$$

$$c_z : \underline{0.22}$$

$\bar{\lambda}_y$, $\bar{\lambda}_z$: Esbelteces reducidas con valores no mayores que 1.00, en relación a los ejes Y y Z, respectivamente.

$$\bar{\lambda}_y : \underline{0.50}$$

$$\bar{\lambda}_z : \underline{1.95}$$

a_y , a_z : Factores dependientes de la clase de la sección.

$$a_y : \underline{0.60}$$

$$a_z : \underline{0.60}$$

Resistencia a flexión, axil y cortante combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir las resistencias de cálculo a flexión y a axil, ya que se puede ignorar el efecto de abolladura por esfuerzo cortante y, además, el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} es menor o igual que el 50% del esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$.

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 0.375 m del nudo N100, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·Q1(C).

$$V_{Ed,z} \leq \frac{V_{c,Rd,z}}{2}$$

$$11.06 \text{ kN} \leq 232.88 \text{ kN}$$



Donde:

$V_{Ed,z}$: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed,z} : \frac{11.06}{\quad} \text{ kN}$$

$V_{c,Rd,z}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd,z} : \frac{465.77}{\quad} \text{ kN}$$

Resistencia a torsión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.7)

La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor.

Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

4.5 Correas

Las correas se han dimensionado a través del programa generados de pórticos, mediante la estructura expresada, así como las cargas de viento, nieve y de uso que han sido añadidas para verificar su funcionamiento bajo cualquier acción.

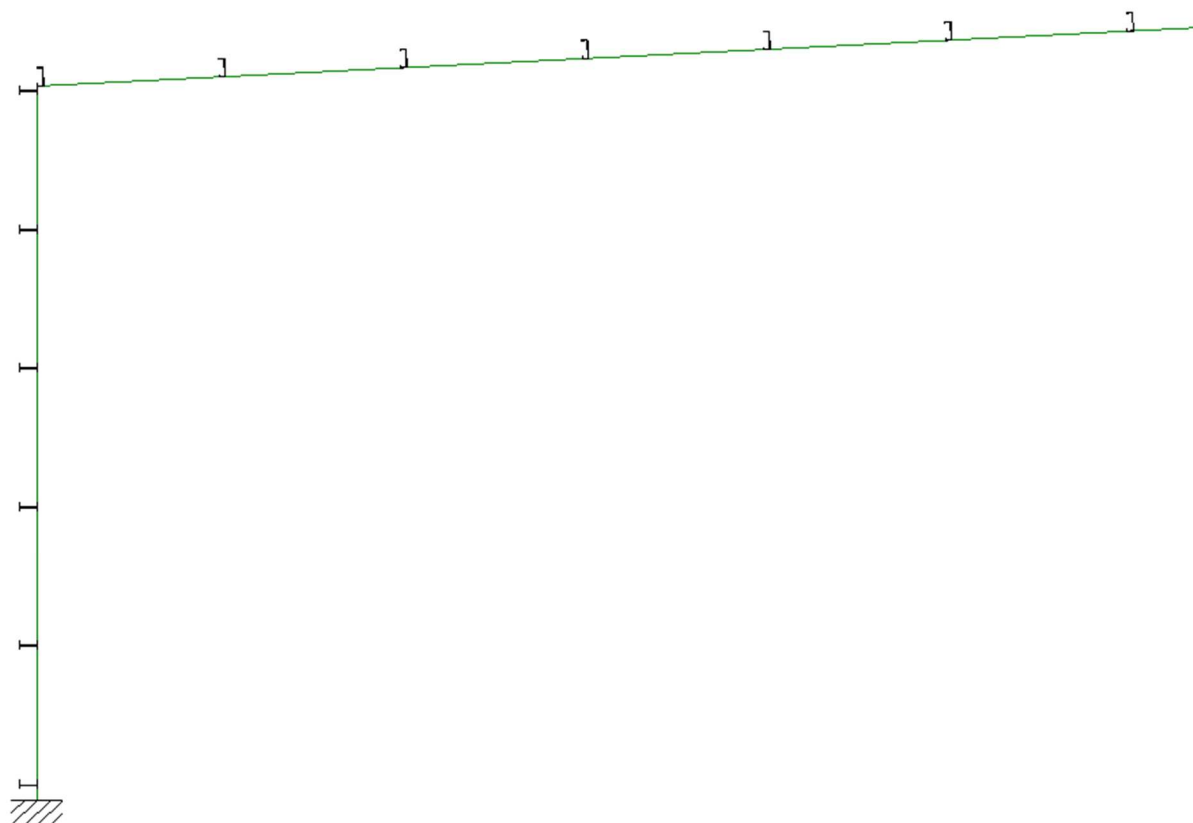


FIGURA 4.9: Detalle pórtico interior con cerramientos. Fuente: CYPE3D 2018

Las correas pueden ser de dos tipos según dimensiones y zona de colocación: correas de cubierta o correas de laterales.

4.5.1 Correas de cubierta

Las correas de cubierta soportan la carga desde la cubierta y la transmiten a los pilares, con lo cual siguiendo los pasos del software para calcular la estructura es la primera comprobación que ha de cumplirse para poder completar la estructura.

Se ha fijado como rígida, con un perfil de acero S235 conformado en frío CF 180x3.0 y una separación de 1,75m entre correas de cubierta.

Resultados del cálculo:

Comprobación de resistencia

Comprobación de resistencia
El perfil seleccionado cumple todas las comprobaciones.
Aprovechamiento: 74.13 %

Barra pésima en cubierta

Perfil: CF 178x12 Material: S235									
	Nudos		Longitud (m)	Características mecánicas					
	Inicial	Final		Área (cm ²)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _z ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)	y _g ⁽³⁾ (mm)	z _g ⁽³⁾ (mm)
	0.874, 6.000, 7.044	0.874, 0.000, 7.044	6.000	8.96	432.71	57.29	0.21	-13.70	0.00
	Notas: ⁽¹⁾ Inercia respecto al eje indicado ⁽²⁾ Momento de inercia a torsión uniforme ⁽³⁾ Coordenadas del centro de gravedad								
		Pandeo			Pandeo lateral				
		Plano XY	Plano XZ	Ala sup.		Ala inf.			
β	0.00	1.00	0.00		0.00				
L _k	0.000	6.000	0.000		0.000				
C ₁	-			1.000					
Notación: β: Coeficiente de pandeo L _k : Longitud de pandeo (m) C ₁ : Factor de modificación para el momento crítico									

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)														Estado
	b / t	$\bar{\lambda}$	N _t	N _c	M _y	M _z	M _x M _z	V _y	V _z	N _t M _x M _z	N _t M _y M _z	N _t M _x M _y V _z	M _x N _t M _y M _z V _z		
Barra pésima en cubierta	b / t ≤ (b / t) _{M5A} Cumple	N.P. ⁽¹⁾	N.P. ⁽²⁾	N.P. ⁽³⁾	x: 0 m η = 74.1	N.P. ⁽⁴⁾	N.P. ⁽⁵⁾	N.P. ⁽⁶⁾	x: 0 m η = 13.6	N.P. ⁽⁷⁾	N.P. ⁽⁸⁾	N.P. ⁽⁹⁾	N.P. ⁽¹⁰⁾	CUMPLE η = 74.1	
Notación: b / t: Relación anchura / espesor λ̄: 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 _x M _z : Resistencia a flexión biaxial V _y : Resistencia a corte Y V _z : Resistencia a corte Z N _t M _x M _z : Resistencia a tracción y flexión N _t M _y M _z : Resistencia a compresión y flexión N _t M _x M _y V _z : Resistencia a cortante, axil y flexión M _x N _t M _y M _z 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.															

Producido por una versión educativa de EYPE

Relación anchura / espesor (CTE DB SE-A, Tabla 5.5 y Eurocódigo 3 EN 1993-1-3: 2006, Artículo 5.2)

Se debe satisfacer:

$$h/t \leq 250$$

$$h / t : \underline{61.2} \quad \checkmark$$

$$b/t \leq 90$$

$$b / t : \underline{20.7} \quad \checkmark$$

$$c/t \leq 30$$

$$c / t : \underline{4.8} \quad \checkmark$$

Los rigidizadores proporcionan suficiente rigidez, ya que se cumple:

$$0.2 \leq c/b \leq 0.6$$

$$c / b : \underline{0.234}$$

Donde:

h: Altura del alma.

$$h : \underline{162.88} \text{ mm}$$

b: Ancho de las alas.

$$b : \underline{54.98} \text{ mm}$$

c: Altura de los rigidizadores.

$$c : \underline{12.84} \text{ mm}$$

t: Espesor.

$$t : \underline{2.66} \text{ mm}$$

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:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.741} \quad \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo 0.874, 6.000, 7.044, para la combinación de acciones 0.80*G1 + 0.80*G2 + 1.50*V(0°) H1.

M_{y,Ed}: Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{y,Ed}^+ : \underline{8.08} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

M_{y,Ed}: Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{y,Ed}^- : \underline{0.00} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

La resistencia de cálculo a flexión **M_{c,Rd}** viene dada por:

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{el} \cdot f_{yb}}{\gamma_{Mo}}$$

$$M_{c,Rd} : \underline{10.89} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

W_{el}: Módulo resistente elástico correspondiente a la fibra de mayor tensión.

$$W_{el} : \underline{48.67} \text{ cm}^3$$

f_{yb}: Límite elástico del material base. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_{yb} : \underline{235.00} \text{ MPa}$$

γ_{Mo}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{Mo} : \underline{1.05}$$

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:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{b,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.136} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo 0.874, 6.000, 7.044, para la combinación de acciones 0.80*G1 + 0.80*G2 + 1.50*V(0°)

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{8.05} \text{ kN}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{b,Rd}$ viene dado por:

$$V_{b,Rd} = \frac{\frac{h_w}{\sin \phi} \cdot t \cdot f_{bv}}{\gamma_{M0}}$$

$$V_{b,Rd} : \underline{59.23} \text{ kN}$$

Donde:

h_w : Altura del alma.

$$h_w : \underline{171.55} \text{ mm}$$

t : Espesor.

$$t : \underline{2.66} \text{ mm}$$

ϕ : Ángulo que forma el alma con la horizontal.

$$\phi : \underline{90.0} \text{ grados}$$

f_{bv} : Resistencia a cortante, teniendo en cuenta el pandeo.

$$\bar{\lambda}_w \leq 0.83 \rightarrow f_{bv} = 0.58 \cdot f_{yb}$$

$$f_{bv} : \underline{136.30} \text{ MPa}$$

Siendo:

$\bar{\lambda}_w$: Esbeltez relativa del alma.

$$\bar{\lambda}_w = 0.346 \cdot \frac{h_w}{t} \cdot \sqrt{\frac{f_{yb}}{E}}$$

$$\bar{\lambda}_w : \underline{0.75}$$

Donde:

f_{yb} : Límite elástico del material base. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_{yb} : \underline{235.00} \text{ MPa}$$

E : Módulo de elasticidad.

$$E : \underline{210000.00} \text{ MPa}$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

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
El perfil seleccionado cumple todas las comprobaciones. Porcentajes de aprovechamiento: - Flecha: 82.01 %

Coordenadas del nudo inicial: 0.874, 60.000, 7.044

Coordenadas del nudo final: 0.874, 54.000, 7.044

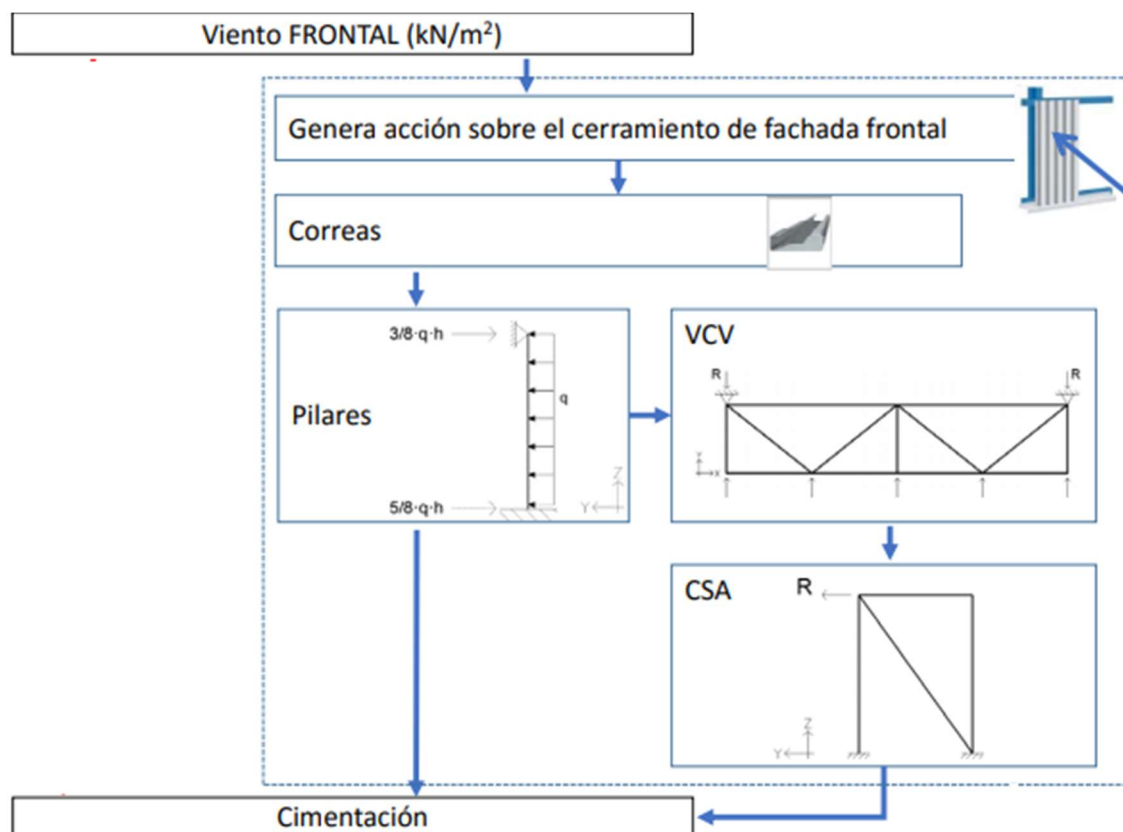
El aprovechamiento pésimo se produce para la combinación de hipótesis $1.00 \cdot G1 + 1.00 \cdot G2 + 1.00 \cdot V(0^\circ)$

H1 a una distancia 3.000 m del origen en el primer vano de la correa.

($I_y = 433 \text{ cm}^4$) ($I_z = 57 \text{ cm}^4$)

4.5.2 Correas de laterales

Las correas colocadas en los laterales reciben la carga del cerramiento de fachada frontal cuando se generan acciones sobre él, como el viento, y la transmiten a los pilares. En el siguiente esquema se observa la transmisión de cargas



Esquema 1: Ejemplo de transmisión de cargas de viento frontal. Fuente: Apuntes de Tecnología de construcción.

Se han fijado con un perfil IPE120 y una separación de 1,5 de distancia entre correas.

Resultados del cálculo:

Comprobación de resistencia

Comprobación de resistencia
El perfil seleccionado cumple todas las comprobaciones.
Aprovechamiento: 33.57 %

Barra pésima en lateral

Perfil: IPE120							
Material: S275							
	Nudos		Longitud (m)	Características mecánicas			
	Inicial	Final		Área (cm ²)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _z ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)
	0.000, 12.000, 0.750	0.000, 6.000, 0.750	6.000	13.21	318.75	27.38	1.74
	Notas: ⁽¹⁾ Inercia respecto al eje indicado ⁽²⁾ Momento de inercia a torsión uniforme						
		Pandeo		Pandeo lateral			
		Plano XY	Plano XZ	Ala sup.		Ala inf.	
	β	0.00	1.00	0.00		0.00	
	L _K	0.000	6.000	0.000		0.000	
	C _m	1.000	1.000	1.000		1.000	
	C ₁	-		1.000			
Notación: β: Coeficiente de pandeo L _K : Longitud de pandeo (m) C _m : Coeficiente de momentos C ₁ : Factor de modificación para el momento crítico							

Producción por una versión educativa de CYPE

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)														Estado	
	λ̄	λ _w	N _t	N _c	M _r	M _z	V _z	V _r	M ₁ V _z	M ₂ V _r	NM _z	NM ₁ V _z	M _t	M ₁ V _z		M ₂ V _r
Pésima en lateral	N.P. ⁽¹⁾	λ _w ≤ λ _{w,max} Cumple	N _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	N _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽³⁾	x: 6 m η = 33.6	M _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽⁴⁾	x: 6 m η = 4.2	V _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽⁵⁾	η < 0.1	N.P. ⁽⁶⁾	N.P. ⁽⁷⁾	N.P. ⁽⁸⁾	M _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽⁹⁾	N.P. ⁽¹⁰⁾	N.P. ⁽¹⁰⁾	CUMPLE η = 33.6
Notación: λ̄: Limitación de esbeltez λ _w : Abolladura del alma inducida por el ala comprimida N _t : Resistencia a tracción N _c : Resistencia a compresión M _r : Resistencia a flexión eje Y M _z : Resistencia a flexión eje Z V _r : Resistencia a corte Z V _t : Resistencia a corte Y M ₁ V _z : Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados M ₂ V _r : Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados NM _z : Resistencia a flexión y axil combinados NM ₁ V _z : Resistencia a flexión, axil y cortante combinados M _t : Resistencia a torsión M ₁ V _z : Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados M ₂ V _r : Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados x: Distancia al origen de la barra η: Coeficiente de aprovechamiento (%) N.P.: No procede																
Comprobaciones que no proceden (N.P.): ⁽¹⁾ La comprobación no procede, ya que no hay axil de compresión ni de tracción. ⁽²⁾ La comprobación no procede, ya que no hay axil de tracción. ⁽³⁾ La comprobación no procede, ya que no hay axil de compresión. ⁽⁴⁾ La comprobación no procede, ya que no hay momento flector. ⁽⁵⁾ La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante. ⁽⁶⁾ No hay interacción entre momento flector y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede. ⁽⁷⁾ No hay interacción entre axil y momento flector ni entre momentos flectores en ambas direcciones para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede. ⁽⁸⁾ No hay interacción entre momento flector, axil y cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede. ⁽⁹⁾ La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor. ⁽¹⁰⁾ No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.																

Limitación de esbeltez (CTE DB SE-A, Artículos 6.3.1 y 6.3.2.1 - Tabla 6.3)

La comprobación no procede, ya que no hay axil de compresión ni de tracción.

Abolladura del alma inducida por el ala comprimida (Criterio de CYPE Ingenieros, basado en: Eurocódigo 3 EN 1993-1-5: 2006, Artículo 8)

Se debe satisfacer:

$$\frac{h_w}{t_w} \leq k \frac{E}{f_{yf}} \sqrt{\frac{A_w}{A_{fc,ef}}}$$

$$24.41 \leq 248.01 \quad \checkmark$$

Donde:

h_w : Altura del alma.

$$h_w : \underline{107.40} \text{ mm}$$

t_w : Espesor del alma.

$$t_w : \underline{4.40} \text{ mm}$$

A_w : Área del alma.

$$A_w : \underline{4.73} \text{ cm}^2$$

$A_{fc,ef}$: Área reducida del ala comprimida.

$$A_{fc,ef} : \underline{4.03} \text{ cm}^2$$

k : Coeficiente que depende de la clase de la sección.

$$k : \underline{0.30}$$

E : Módulo de elasticidad.

$$E : \underline{210000} \text{ MPa}$$

f_{yf} : Límite elástico del acero del ala comprimida.

$$f_{yf} : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

Siendo:

$$f_{yf} = f_y$$

Resistencia a tracción (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.3)

comprobación no procede, ya que no hay axil de tracción.

Resistencia a compresión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.5)

comprobación no procede, ya que no hay axil de compresión.

Resistencia a flexión eje Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.336} \quad \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo 0.000, 6.000, 0.750, para la combinación de acciones 0.80*G1 + 0.80*G2 + 1.50*V(270°)

M_{Ed}^+ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^+ : \underline{5.34} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

M_{Ed}^- : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^- : \underline{0.00} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

El momento flector resistente de cálculo $M_{c,Rd}$ viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_{yd}$$

$$M_{c,Rd} : \underline{15.90} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

$W_{pl,y}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$$W_{pl,y} : \underline{60.73} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a pandeo lateral: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.2)

No procede, dado que las longitudes de pandeo lateral son nulas.

Resistencia a flexión eje Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

La comprobación no procede, ya que no hay momento flector.

Resistencia a corte Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.042} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo 0.000, 6.000, 0.750, para la combinación de acciones 0.80*G1 + 0.80*G2 + 1.50*V(270°) H1.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{3.96} \text{ kN}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$ viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

$$V_{c,Rd} : \underline{95.34} \text{ kN}$$

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

$$A_v : \underline{6.31} \text{ cm}^2$$

$$A_v = h \cdot t_w$$

Siendo:

h : Canto de la sección.

$$h : \underline{120.00} \text{ mm}$$

t_w : Espesor del alma.

$$t_w : \underline{4.40} \text{ mm}$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{Mo}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

γ_{Mo} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{Mo} : \underline{1.05}$$

Abolladura por cortante del alma: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.4)

Aunque no se han dispuesto rigidizadores transversales, no es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:

$$\frac{d}{t_w} < 70 \cdot \varepsilon$$

$$21.23 < 64.71 \quad \checkmark$$

Donde:

λ_w : Esbeltez del alma.

$$\lambda_w : \underline{21.23}$$

$$\lambda_w = \frac{d}{t_w}$$

$\lambda_{m\acute{a}x}$: Esbeltez máxima.

$$\lambda_{m\acute{a}x} : \underline{64.71}$$

$$\lambda_{m\acute{a}x} = 70 \cdot \varepsilon$$

ε : Factor de reducción.

$$\varepsilon : \underline{0.92}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{ref}}{f_y}}$$

Siendo:

f_{ref} : Límite elástico de referencia.

$$f_{ref} : \underline{235.00} \text{ MPa}$$

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

Resistencia a corte Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante.

Comprobación de flecha
El perfil seleccionado cumple todas las comprobaciones. Porcentajes de aprovechamiento: - Flecha: 76.55 %

Coordenadas del nudo inicial: 0.000, 6.000, 0.750

Coordenadas del nudo final: 0.000, 0.000, 0.750

El aprovechamiento pésimo se produce para la combinación de hipótesis $1.00 \cdot G1 + 1.00 \cdot G2 + 1.00 \cdot V(270^\circ)$ H2 a una distancia 3.000 m del origen en el tercer vano de la correa.

($I_y = 319 \text{ cm}^4$) ($I_z = 27 \text{ cm}^4$)

4.6 Placas de anclaje

El dimensionado de las placas de anclaje ha sido realizado a través del cálculo del programa CYPE, obteniendo 5 tipos de placas con unas características similares, que se observan en la siguiente figura.

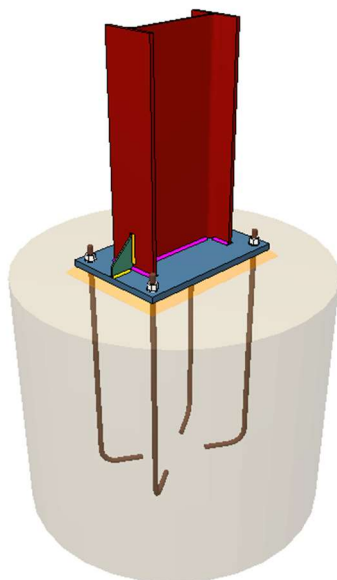
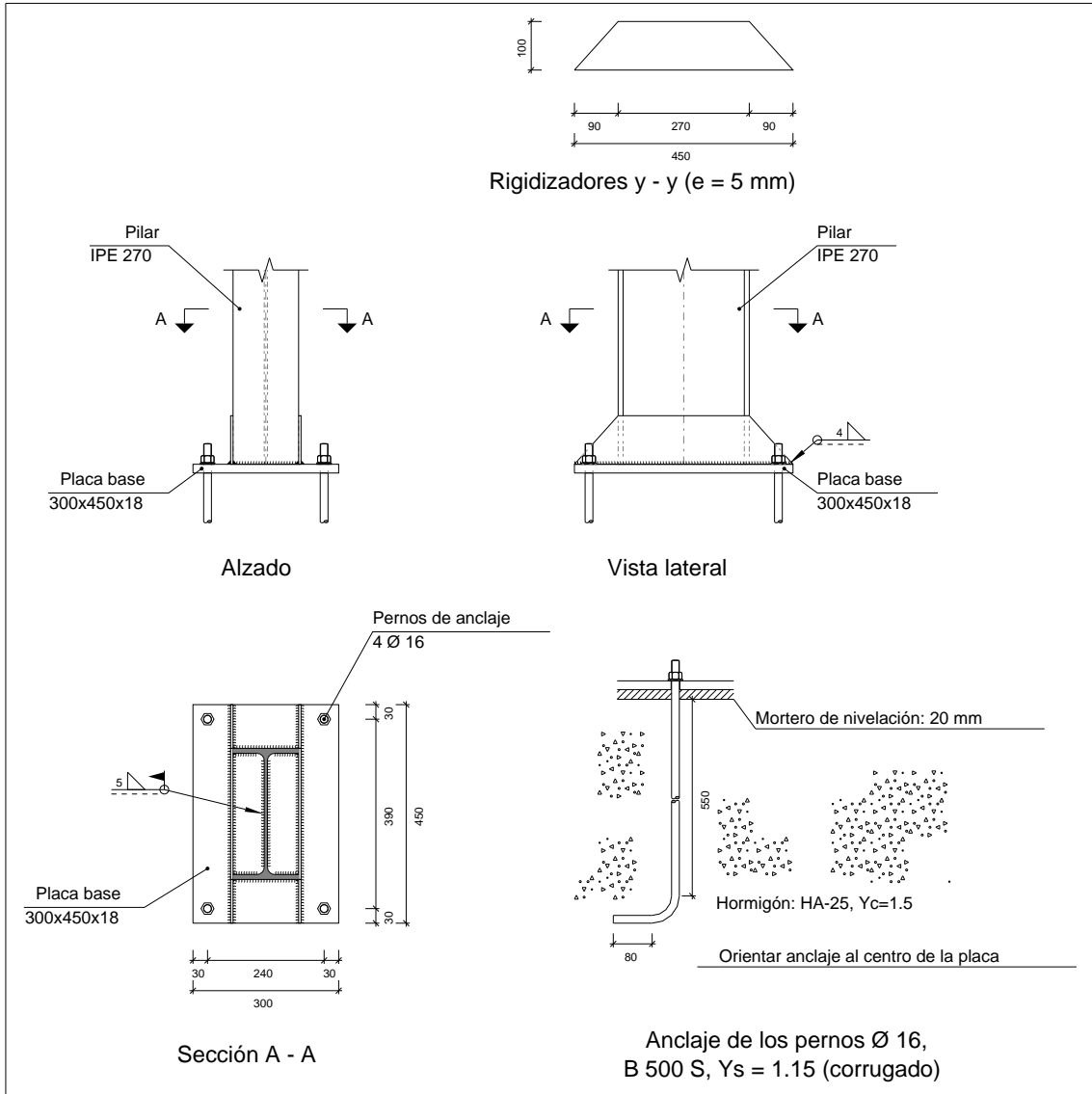


FIGURA 4.10: Ejemplo placa de anclaje con patillas dispuestas a 90 grados. Fuente: CYPE3D 2018

La tipología de placas de anclaje varía en el diámetro de los pernos, longitud y distancia al borde de pernos.

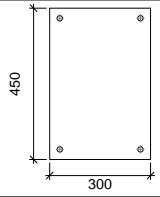
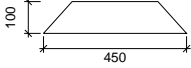
A continuación, se detalla la comprobación de una de las placas de anclaje.

a) Detalle



Producido por una versión no profesional de CYPE

b) Descripción de los componentes de la unión

Elementos complementarios									
Pieza	Geometría				Taladros		Acero		
	Esquema	Ancho (mm)	Canto (mm)	Espesor (mm)	Cantidad	Diámetro (mm)	Tipo	f_y (MPa)	f_u (MPa)
Placa base		300	450	18	4	16	S275	275.0	410.0
Rigidizador		450	100	5	-	-	S275	275.0	410.0

c) Comprobación

1) Pilar IPE 270

Cordones de soldadura

Comprobaciones geométricas					
Ref.	Tipo	a (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)
Soldadura perimetral a la placa	En ángulo	5	906	6.6	90.00

a: Espesor garganta
l: Longitud efectiva
t: Espesor de piezas

Comprobación de resistencia									
Ref.	Tensión de Von Mises					Tensión normal		f_u (N/mm ²)	β_w
	σ_{\perp} (N/mm ²)	τ_{\perp} (N/mm ²)	τ_{\parallel} (N/mm ²)	Valor (N/mm ²)	Aprov. (%)	σ_{\perp} (N/mm ²)	Aprov. (%)		
Soldadura perimetral a la placa	La comprobación no procede.							410.0	0.85

2) Placa de anclaje

Referencia:		
Comprobación	Valores	Estado
Separación mínima entre pernos: 3 diámetros	Mínimo: 48 mm Calculado: 241 mm	Cumple
Separación mínima pernos-perfil: 1.5 diámetros	Mínimo: 24 mm Calculado: 48 mm	Cumple
Separación mínima pernos-borde: 1.5 diámetros	Mínimo: 24 mm Calculado: 30 mm	Cumple
Esbeltez de rigidizadores: - Paralelos a Y:	Máximo: 50 Calculado: 46.6	Cumple
Longitud mínima del perno: Se calcula la longitud de anclaje necesaria por adherencia.	Mínimo: 17 cm Calculado: 55 cm	Cumple
Anclaje perno en hormigón: - Tracción: - Cortante: - Tracción + Cortante:	Máximo: 97.79 kN Calculado: 60.21 kN Máximo: 68.45 kN Calculado: 8.81 kN Máximo: 97.79 kN Calculado: 72.79 kN	Cumple Cumple Cumple
Tracción en vástago de pernos:	Máximo: 63.92 kN Calculado: 60.21 kN	Cumple
Tensión de Von Mises en vástago de pernos:	Máximo: 476.19 MPa Calculado: 306.562 MPa	Cumple
Aplastamiento perno en placa: Límite del cortante en un perno actuando contra la placa	Máximo: 150.86 kN Calculado: 8.81 kN	Cumple
Tensión de Von Mises en secciones globales: - Derecha: - Izquierda: - Arriba: - Abajo:	Máximo: 261.905 MPa Calculado: 93.6167 MPa Calculado: 92.6593 MPa Calculado: 232.942 MPa Calculado: 230.711 MPa	Cumple Cumple Cumple Cumple
Flecha global equivalente: Limitación de la deformabilidad de los vuelos - Derecha: - Izquierda: - Arriba: - Abajo:	Mínimo: 250 Calculado: 1758.31 Calculado: 1758.31 Calculado: 4438.13 Calculado: 4480.19	Cumple Cumple Cumple Cumple
Tensión de Von Mises local: Tensión por tracción de pernos sobre placas en voladizo	Máximo: 261.905 MPa Calculado: 0 MPa	Cumple
Se cumplen todas las comprobaciones		

Cordones de soldadura

Comprobaciones geométricas						
Ref.	Tipo	a (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)	
Rigidizador y-y (x = -70): Soldadura a la placa base	En ángulo	4	450	5.0	90.00	
Rigidizador y-y (x = 70): Soldadura a la placa base	En ángulo	4	450	5.0	90.00	
a: Espesor garganta l: Longitud efectiva t: Espesor de piezas						

Comprobación de resistencia									
Ref.	Tensión de Von Mises					Tensión normal		f_u (N/mm ²)	β_w
	σ_{\perp} (N/mm ²)	τ_{\perp} (N/mm ²)	τ_{\parallel} (N/mm ²)	Valor (N/mm ²)	Aprov. (%)	σ_{\perp} (N/mm ²)	Aprov. (%)		
Rigidizador y-y (x = -70): Soldadura a la placa base	La comprobación no procede.							410.0	0.85
Rigidizador y-y (x = 70): Soldadura a la placa base	La comprobación no procede.							410.0	0.85

d) Medición

Soldaduras				
f_u (MPa)	Ejecución	Tipo	Espesor de garganta (mm)	Longitud de cordones (mm)
410.0	En taller	En ángulo	4	1759
	En el lugar de montaje	En ángulo	5	906

Elementos de tornillería			
Tipo	Material	Cantidad	Descripción
Tuercas	Clase 6	4	ISO 4032-M16
Arandelas	Dureza 200 HV	4	ISO 7089-16

Placas de anclaje				
Material	Elementos	Cantidad	Dimensiones (mm)	Peso (kg)
S275	Placa base	1	300x450x18	19.08
	Rigidizadores pasantes	2	450/270x100/0x5	2.83
	Total			21.90
B 500 S, Ys = 1.15 (corrugado)	Pernos de anclaje	4	Ø 16 - L = 604 + 155	4.79
	Total			4.79

5. Cimentaciones

Para dimensionar las cimentaciones, como se ha comentado anteriormente, se ha escogido una configuración de zapatas aisladas unidas mediante vigas de atado.

Debido a las 3 tipologías de zapatas que han sido dimensionadas, se expresan los cálculos de las diferentes tipologías marcadas en la siguiente figura.

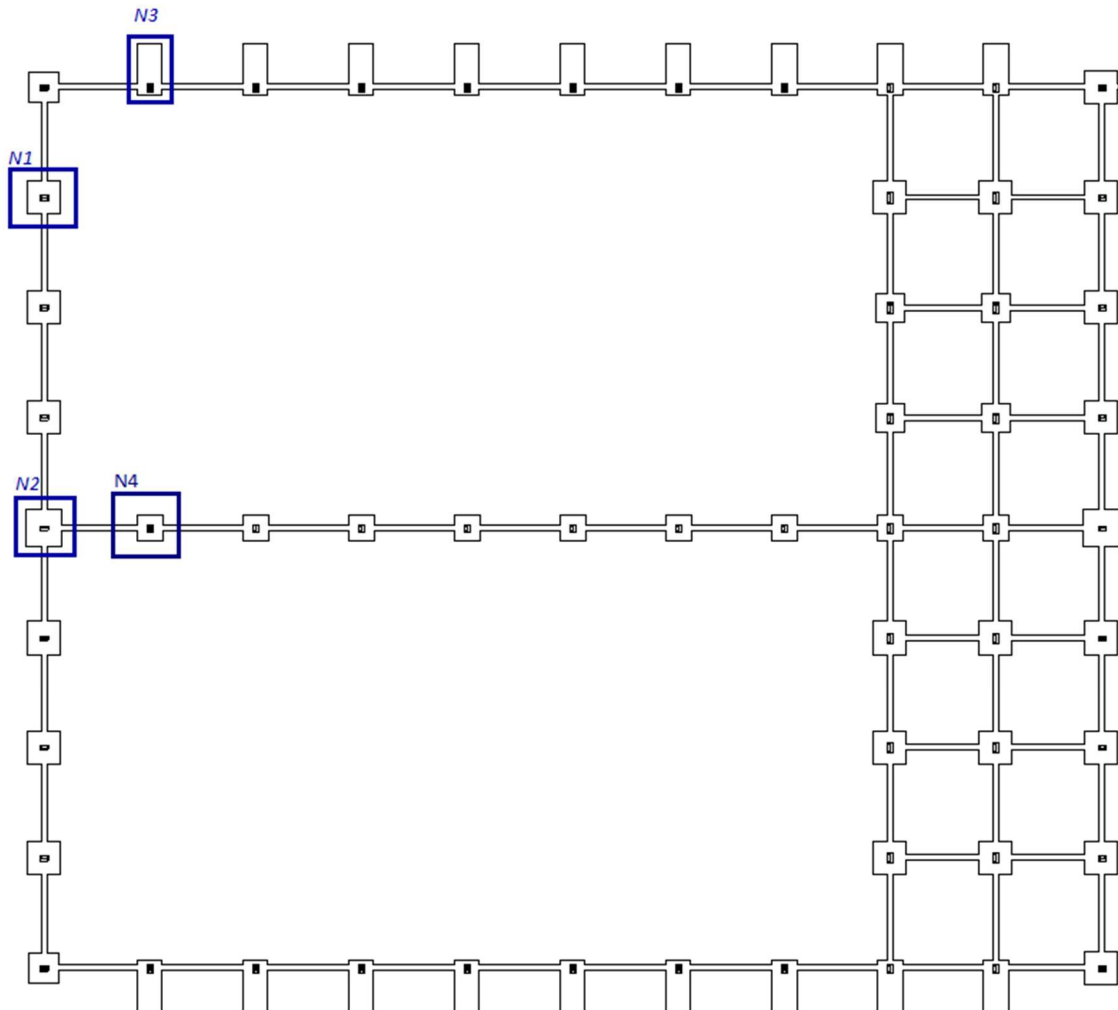


FIGURA 5.1: Cimentación detallando diferentes tipologías comprobados. Fuente: CYPE3D 2018

·Resultados de los cálculos:

Referencia: N121		
Dimensiones: 155 x 155 x 65		
Armados: Xi: Ø12c/19 Yi: Ø12c/19 Xs: Ø12c/19 Ys: Ø12c/19		
Comprobación	Valores	Estado
Tensiones sobre el terreno: Criterio de CYPE Ingenieros		
- Tensión media en situaciones persistentes:	Máximo: 0.2 MPa Calculado: 0.061803 MPa	Cumple
- Tensión máxima en situaciones persistentes sin viento:	Máximo: 0.249959 MPa Calculado: 0.0655308 MPa	Cumple
- Tensión máxima en situaciones persistentes con viento:	Máximo: 0.249959 MPa Calculado: 0.0893691 MPa	Cumple
Vuelco de la zapata: Si el % de reserva de seguridad es mayor que cero, quiere decir que los coeficientes de seguridad al vuelco son mayores que los valores estrictos exigidos para todas las combinaciones de equilibrio.		
- En dirección X:	Reserva seguridad: 48.0 %	Cumple
- En dirección Y:	Reserva seguridad: 243.5 %	Cumple
Flexión en la zapata:		
- En dirección X:	Momento: 26.83 kN·m	Cumple
- En dirección Y:	Momento: 19.41 kN·m	Cumple
Cortante en la zapata:		
- En dirección X:	Cortante: 10.20 kN	Cumple
- En dirección Y:	Cortante: 0.00 kN	Cumple
Compresión oblicua en la zapata:		
- Situaciones persistentes: Criterio de CYPE Ingenieros	Máximo: 5000 kN/m ² Calculado: 198.1 kN/m ²	Cumple
Canto mínimo: Artículo 58.8.1 de la norma EHE-08	Mínimo: 25 cm Calculado: 65 cm	Cumple
Espacio para anclar arranques en cimentación: - N121:	Mínimo: 44 cm Calculado: 58 cm	Cumple
Cantidad geométrica mínima: Artículo 42.3.5 de la norma EHE-08	Mínimo: 0.0009	
- Armado inferior dirección X:	Calculado: 0.0009	Cumple
- Armado superior dirección X:	Calculado: 0.0009	Cumple
- Armado inferior dirección Y:	Calculado: 0.0009	Cumple
- Armado superior dirección Y:	Calculado: 0.0009	Cumple
Cantidad mínima necesaria por flexión: Artículo 42.3.2 de la norma EHE-08	Calculado: 0.001	
- Armado inferior dirección X:	Mínimo: 0.0002	Cumple
- Armado inferior dirección Y:	Mínimo: 0.0002	Cumple
- Armado superior dirección X:	Mínimo: 0.0001	Cumple
- Armado superior dirección Y:	Mínimo: 0.0001	Cumple
Díámetro mínimo de las barras: Recomendación del Artículo 58.8.2 (norma EHE-08)	Mínimo: 12 mm	
- Parrilla inferior:	Calculado: 12 mm	Cumple
- Parrilla superior:	Calculado: 12 mm	Cumple
Separación máxima entre barras: Artículo 58.8.2 de la norma EHE-08	Máximo: 30 cm	
- Armado inferior dirección X:	Calculado: 19 cm	Cumple
- Armado inferior dirección Y:	Calculado: 19 cm	Cumple
- Armado superior dirección X:	Calculado: 19 cm	Cumple
- Armado superior dirección Y:	Calculado: 19 cm	Cumple
Separación mínima entre barras: Criterio de CYPE Ingenieros, basado en: J. Calavera. "Cálculo de Estructuras de Cimentación". Capítulo 3.16	Mínimo: 10 cm	
- Armado inferior dirección X:	Calculado: 19 cm	Cumple
- Armado inferior dirección Y:	Calculado: 19 cm	Cumple
- Armado superior dirección X:	Calculado: 19 cm	Cumple

Elaborado por un profesional de CYPE

Referencia: N121		
Dimensiones: 155 x 155 x 65		
Armados: Xi: Ø12c/19 Yi: Ø12c/19 Xs: Ø12c/19 Ys: Ø12c/19		
Comprobación	Valores	Estado
- Armado superior dirección Y:	Calculado: 19 cm	Cumple
Longitud de anclaje: Criterio del libro "Cálculo de estructuras de cimentación", J. Calavera. Ed. INTEMAC, 1991		
- Armado inf. dirección X hacia der:	Mínimo: 17 cm Calculado: 18 cm	Cumple
- Armado inf. dirección X hacia izq:	Mínimo: 17 cm Calculado: 18 cm	Cumple
- Armado inf. dirección Y hacia arriba:	Mínimo: 15 cm Calculado: 15 cm	Cumple
- Armado inf. dirección Y hacia abajo:	Mínimo: 15 cm Calculado: 15 cm	Cumple
- Armado sup. dirección X hacia der:	Mínimo: 17 cm Calculado: 18 cm	Cumple
- Armado sup. dirección X hacia izq:	Mínimo: 17 cm Calculado: 18 cm	Cumple
- Armado sup. dirección Y hacia arriba:	Mínimo: 15 cm Calculado: 15 cm	Cumple
- Armado sup. dirección Y hacia abajo:	Mínimo: 15 cm Calculado: 15 cm	Cumple
Longitud mínima de las patillas:		
- Armado inf. dirección X hacia der:	Calculado: 12 cm	Cumple
- Armado inf. dirección X hacia izq:	Calculado: 12 cm	Cumple
- Armado inf. dirección Y hacia arriba:	Calculado: 15 cm	Cumple
- Armado inf. dirección Y hacia abajo:	Calculado: 15 cm	Cumple
- Armado sup. dirección X hacia der:	Calculado: 12 cm	Cumple
- Armado sup. dirección X hacia izq:	Calculado: 12 cm	Cumple
- Armado sup. dirección Y hacia arriba:	Calculado: 15 cm	Cumple
- Armado sup. dirección Y hacia abajo:	Calculado: 15 cm	Cumple
Se cumplen todas las comprobaciones		
Información adicional:		
Zapata de tipo rígido (Artículo 58.2 de la norma EHE-08)		
Relación rotura pésima (En dirección X): 0.15		
Relación rotura pésima (En dirección Y): 0.11		
- Cortante de agotamiento (En dirección X): 453.91 kN		
- Cortante de agotamiento (En dirección Y): 0.00 kN		

Producción por una versión no profesional de CYPE

Referencia: N68		
Dimensiones: 175 x 175 x 65		
Armados: Xi: Ø12c/19 Yi: Ø12c/19 Xs: Ø12c/19 Ys: Ø12c/19		
Comprobación	Valores	Estado
Tensiones sobre el terreno: Criterio de CYPE Ingenieros <ul style="list-style-type: none"> - Tensión media en situaciones persistentes: - Tensión máxima en situaciones persistentes sin viento: - Tensión máxima en situaciones persistentes con viento: 	Máximo: 0.2 MPa Calculado: 0.0384552 MPa Máximo: 0.249959 MPa Calculado: 0.0348255 MPa Máximo: 0.249959 MPa Calculado: 0.0790686 MPa	Cumple Cumple Cumple
Vuelco de la zapata: Si el % de reserva de seguridad es mayor que cero, quiere decir que los coeficientes de seguridad al vuelco son mayores que los valores estrictos exigidos para todas las combinaciones de equilibrio. <ul style="list-style-type: none"> - En dirección X: - En dirección Y: 	Reserva seguridad: 3159.0 % Reserva seguridad: 13.8 %	Cumple Cumple
Flexión en la zapata: <ul style="list-style-type: none"> - En dirección X: - En dirección Y: 	Momento: 11.11 kN·m Momento: 35.22 kN·m	Cumple Cumple
Cortante en la zapata: <ul style="list-style-type: none"> - En dirección X: - En dirección Y: 	Cortante: 6.77 kN Cortante: 35.12 kN	Cumple Cumple
Compresión oblicua en la zapata: <ul style="list-style-type: none"> - Situaciones persistentes: Criterio de CYPE Ingenieros	Máximo: 5000 kN/m ² Calculado: 86.7 kN/m ²	Cumple
Alto mínimo: Artículo 58.8.1 de la norma EHE-08	Mínimo: 25 cm Calculado: 65 cm	Cumple
Espacio para anclar arranques en cimentación: <ul style="list-style-type: none"> - N68: 	Mínimo: 54 cm Calculado: 58 cm	Cumple
Cantidad geométrica mínima: Artículo 42.3.5 de la norma EHE-08 <ul style="list-style-type: none"> - Armado inferior dirección X: - Armado superior dirección X: - Armado inferior dirección Y: - Armado superior dirección Y: 	Mínimo: 0.0009 Calculado: 0.0009 Calculado: 0.0009 Calculado: 0.0009 Calculado: 0.0009	Cumple Cumple Cumple Cumple
Cantidad mínima necesaria por flexión: Artículo 42.3.2 de la norma EHE-08 <ul style="list-style-type: none"> - Armado inferior dirección X: - Armado inferior dirección Y: - Armado superior dirección Y: 	Calculado: 0.001 Mínimo: 0.0001 Mínimo: 0.0003 Mínimo: 0.0001	Cumple Cumple Cumple
Diámetro mínimo de las barras: Recomendación del Artículo 58.8.2 (norma EHE-08) <ul style="list-style-type: none"> - Parrilla inferior: - Parrilla superior: 	Mínimo: 12 mm Calculado: 12 mm Calculado: 12 mm	Cumple Cumple
Separación máxima entre barras: Artículo 58.8.2 de la norma EHE-08 <ul style="list-style-type: none"> - Armado inferior dirección X: - Armado inferior dirección Y: - Armado superior dirección X: - Armado superior dirección Y: 	Máximo: 30 cm Calculado: 19 cm Calculado: 19 cm Calculado: 19 cm Calculado: 19 cm	Cumple Cumple Cumple Cumple
Separación mínima entre barras: Criterio de CYPE Ingenieros, basado en: J. Calavera. "Cálculo de Estructuras de Cimentación". Capítulo 3.16 <ul style="list-style-type: none"> - Armado inferior dirección X: - Armado inferior dirección Y: - Armado superior dirección X: - Armado superior dirección Y: 	Mínimo: 10 cm Calculado: 19 cm Calculado: 19 cm Calculado: 19 cm Calculado: 19 cm	Cumple Cumple Cumple Cumple

Reducido por una versión profesional de CYPE

Referencia: N68		
Dimensiones: 175 x 175 x 65		
Armados: Xi:Ø12c/19 Yi:Ø12c/19 Xs:Ø12c/19 Ys:Ø12c/19		
Comprobación	Valores	Estado
<p>Longitud de anclaje: Criterio del libro "Cálculo de estructuras de cimentación", J. Calavera. Ed. INTEMAC, 1991</p> <ul style="list-style-type: none"> - Armado inf. dirección X hacia der: - Armado inf. dirección X hacia izq: - Armado inf. dirección Y hacia arriba: - Armado inf. dirección Y hacia abajo: - Armado sup. dirección X hacia der: - Armado sup. dirección X hacia izq: - Armado sup. dirección Y hacia arriba: - Armado sup. dirección Y hacia abajo: 	<p>Mínimo: 15 cm Calculado: 15 cm</p> <p>Mínimo: 15 cm Calculado: 15 cm</p> <p>Mínimo: 20 cm Calculado: 20 cm</p> <p>Mínimo: 20 cm Calculado: 20 cm</p> <p>Mínimo: 15 cm Calculado: 15 cm</p> <p>Mínimo: 15 cm Calculado: 15 cm</p> <p>Mínimo: 20 cm Calculado: 20 cm</p> <p>Mínimo: 20 cm Calculado: 20 cm</p>	<p>Cumple</p> <p>Cumple</p> <p>Cumple</p> <p>Cumple</p> <p>Cumple</p> <p>Cumple</p> <p>Cumple</p> <p>Cumple</p>
<p>Longitud mínima de las patillas:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Armado inf. dirección Y hacia arriba: - Armado inf. dirección Y hacia abajo: - Armado sup. dirección Y hacia arriba: - Armado sup. dirección Y hacia abajo: 	<p>Mínimo: 12 cm</p> <p>Calculado: 12 cm</p> <p>Calculado: 12 cm</p> <p>Calculado: 12 cm</p> <p>Calculado: 12 cm</p>	<p>Cumple</p> <p>Cumple</p> <p>Cumple</p> <p>Cumple</p>
Se cumplen todas las comprobaciones		

[Producido por una versión no profesional de CYPE](#)

Referencia: N88		
Dimensiones: 195 x 195 x 65		
Armados: Xi: Ø12c/19 Yi: Ø12c/19 Xs: Ø12c/19 Ys: Ø12c/19		
Comprobación	Valores	Estado
Tensiones sobre el terreno: Criterio de CYPE Ingenieros		
- Tensión media en situaciones persistentes:	Máximo: 0.2 MPa Calculado: 0.0296262 MPa	Cumple
- Tensión máxima en situaciones persistentes sin viento:	Máximo: 0.249959 MPa Calculado: 0.0257022 MPa	Cumple
- Tensión máxima en situaciones persistentes con viento:	Máximo: 0.249959 MPa Calculado: 0.0612144 MPa	Cumple
Vuelco de la zapata: Si el % de reserva de seguridad es mayor que cero, quiere decir que los coeficientes de seguridad al vuelco son mayores que los valores estrictos exigidos para todas las combinaciones de equilibrio.		
- En dirección X:	Reserva seguridad: 1410.1 %	Cumple
- En dirección Y:	Reserva seguridad: 21.8 %	Cumple
Flexión en la zapata:		
- En dirección X:	Momento: 8.22 kN·m	Cumple
- En dirección Y:	Momento: 35.34 kN·m	Cumple
Cortante en la zapata:		
- En dirección X:	Cortante: 6.18 kN	Cumple
- En dirección Y:	Cortante: 36.69 kN	Cumple
Compresión oblicua en la zapata:		
- Situaciones persistentes: Criterio de CYPE Ingenieros	Máximo: 5000 kN/m ² Calculado: 53.5 kN/m ²	Cumple
Alto mínimo: Artículo 58.8.1 de la norma EHE-08	Mínimo: 25 cm Calculado: 65 cm	Cumple
Espacio para anclar arranques en cimentación: - N88:	Mínimo: 54 cm Calculado: 58 cm	Cumple
Cantidad geométrica mínima: Artículo 42.3.5 de la norma EHE-08	Mínimo: 0.0009	
- Armado inferior dirección X:	Calculado: 0.0009	Cumple
- Armado superior dirección X:	Calculado: 0.0009	Cumple
- Armado inferior dirección Y:	Calculado: 0.0009	Cumple
- Armado superior dirección Y:	Calculado: 0.0009	Cumple
Cantidad mínima necesaria por flexión: Artículo 42.3.2 de la norma EHE-08	Calculado: 0.001	
- Armado inferior dirección X:	Mínimo: 0.0001	Cumple
- Armado inferior dirección Y:	Mínimo: 0.0002	Cumple
- Armado superior dirección X:	Mínimo: 0.0001	Cumple
- Armado superior dirección Y:	Mínimo: 0.0001	Cumple
Díámetro mínimo de las barras: Recomendación del Artículo 58.8.2 (norma EHE-08)	Mínimo: 12 mm	
- Parrilla inferior:	Calculado: 12 mm	Cumple
- Parrilla superior:	Calculado: 12 mm	Cumple
Separación máxima entre barras: Artículo 58.8.2 de la norma EHE-08	Máximo: 30 cm	
- Armado inferior dirección X:	Calculado: 19 cm	Cumple
- Armado inferior dirección Y:	Calculado: 19 cm	Cumple
- Armado superior dirección X:	Calculado: 19 cm	Cumple
- Armado superior dirección Y:	Calculado: 19 cm	Cumple
Separación mínima entre barras: Criterio de CYPE Ingenieros, basado en: J. Calavera. "Cálculo de Estructuras de Cimentación". Capítulo 3.16	Mínimo: 10 cm	
- Armado inferior dirección X:	Calculado: 19 cm	Cumple
- Armado inferior dirección Y:	Calculado: 19 cm	Cumple
- Armado superior dirección X:	Calculado: 19 cm	Cumple

Referencia: N88		
Dimensiones: 195 x 195 x 65		
Armados: Xi: Ø12c/19 Yi: Ø12c/19 Xs: Ø12c/19 Ys: Ø12c/19		
Comprobación	Valores	Estado
- Armado superior dirección Y:	Calculado: 19 cm	Cumple
Longitud de anclaje: Criterio del libro "Cálculo de estructuras de cimentación", J. Calavera. Ed. INTEMAC, 1991	Mínimo: 15 cm	
- Armado inf. dirección X hacia der:	Calculado: 25 cm	Cumple
- Armado inf. dirección X hacia izq:	Calculado: 25 cm	Cumple
- Armado inf. dirección Y hacia arriba:	Calculado: 18 cm	Cumple
- Armado inf. dirección Y hacia abajo:	Calculado: 18 cm	Cumple
- Armado sup. dirección X hacia der:	Calculado: 25 cm	Cumple
- Armado sup. dirección X hacia izq:	Calculado: 25 cm	Cumple
- Armado sup. dirección Y hacia arriba:	Calculado: 18 cm	Cumple
- Armado sup. dirección Y hacia abajo:	Calculado: 18 cm	Cumple
Se cumplen todas las comprobaciones		

3. PLANOS



TRABAJO FINAL DE GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS INDUSTRIALES VALENCIA

Proyecto: **Proyecto estructural de edificio industrial de 3000 m² ubicado en el Polígono Industrial Aeroport de Manises para impresión en gran formato, con una producción aproximada de 1.612.000 m²/año.**

Plano: **Emplazamiento y situación de la parcela**

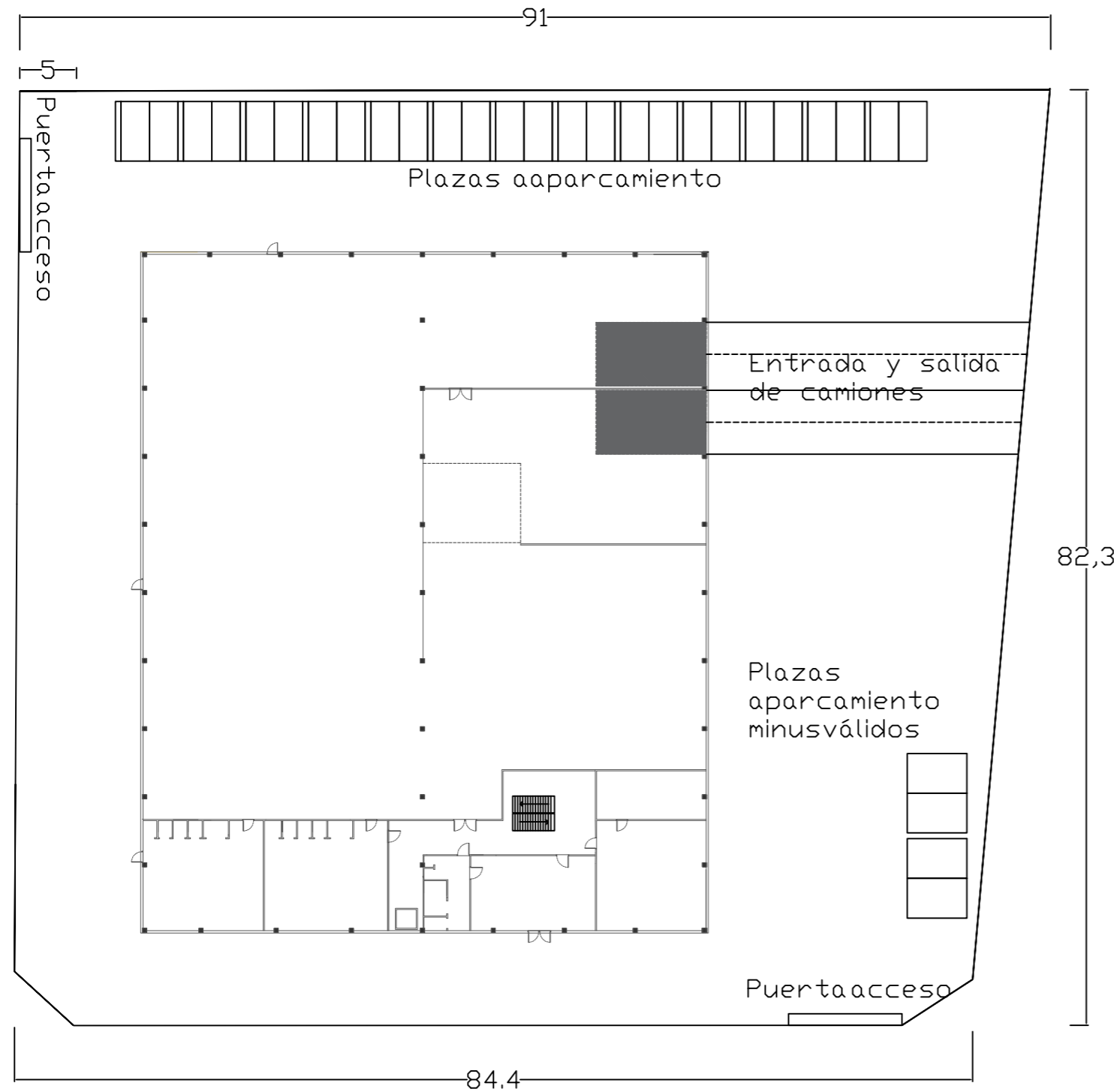
Autor: **Verónica Larrieux Lima**

Fecha: **Septiembre 2018**

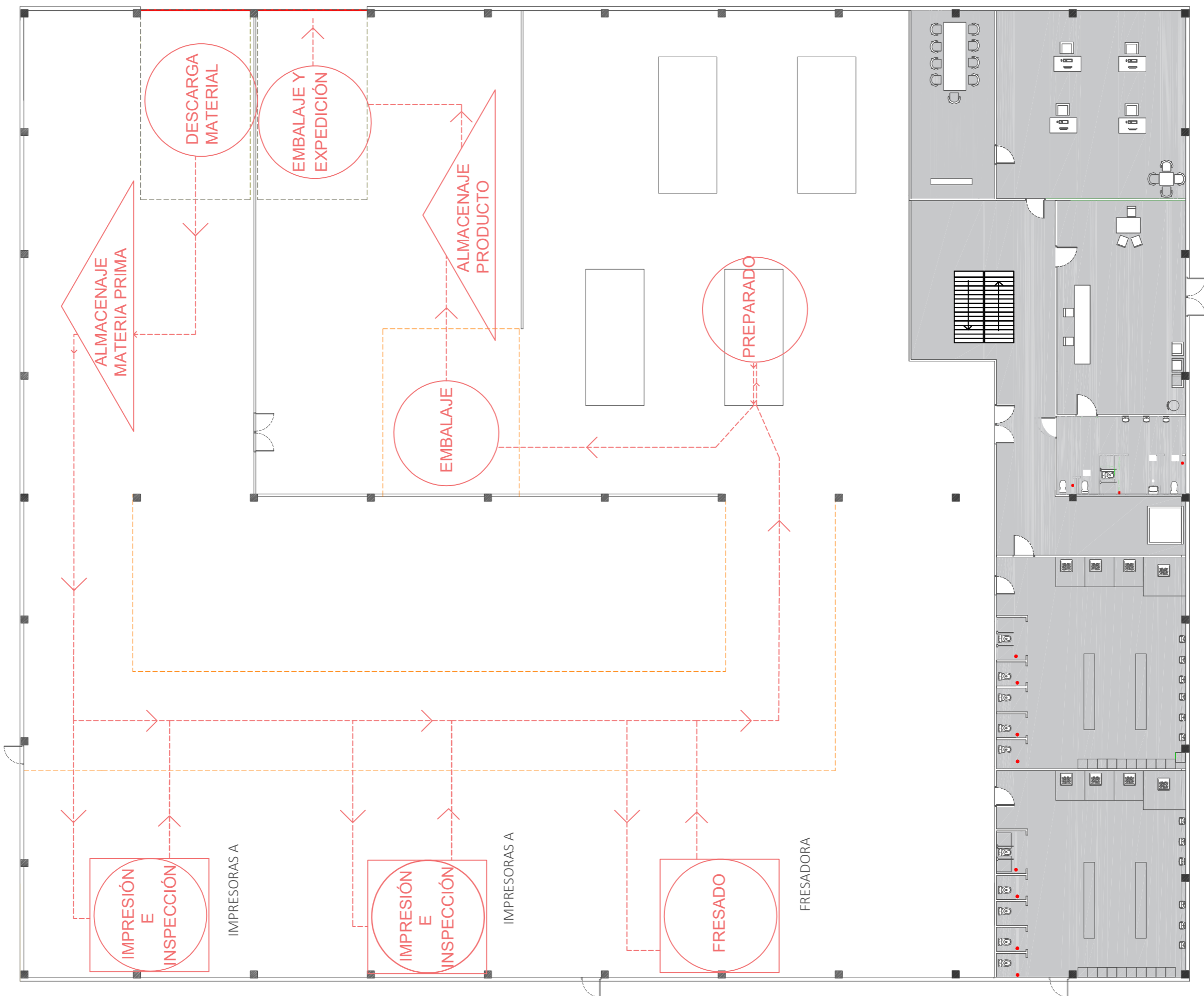
Escala: **S.E.**

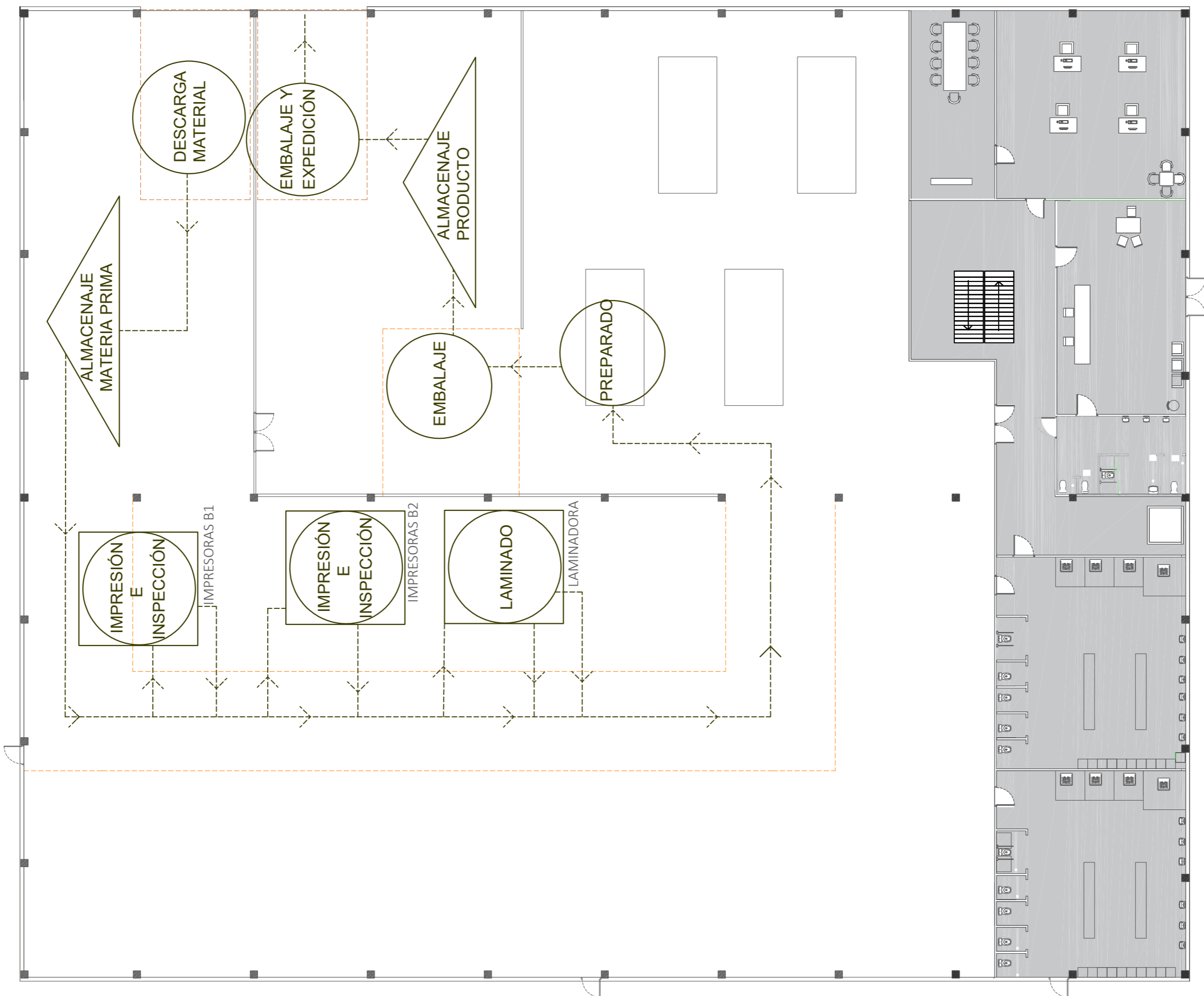
Nº Plano:

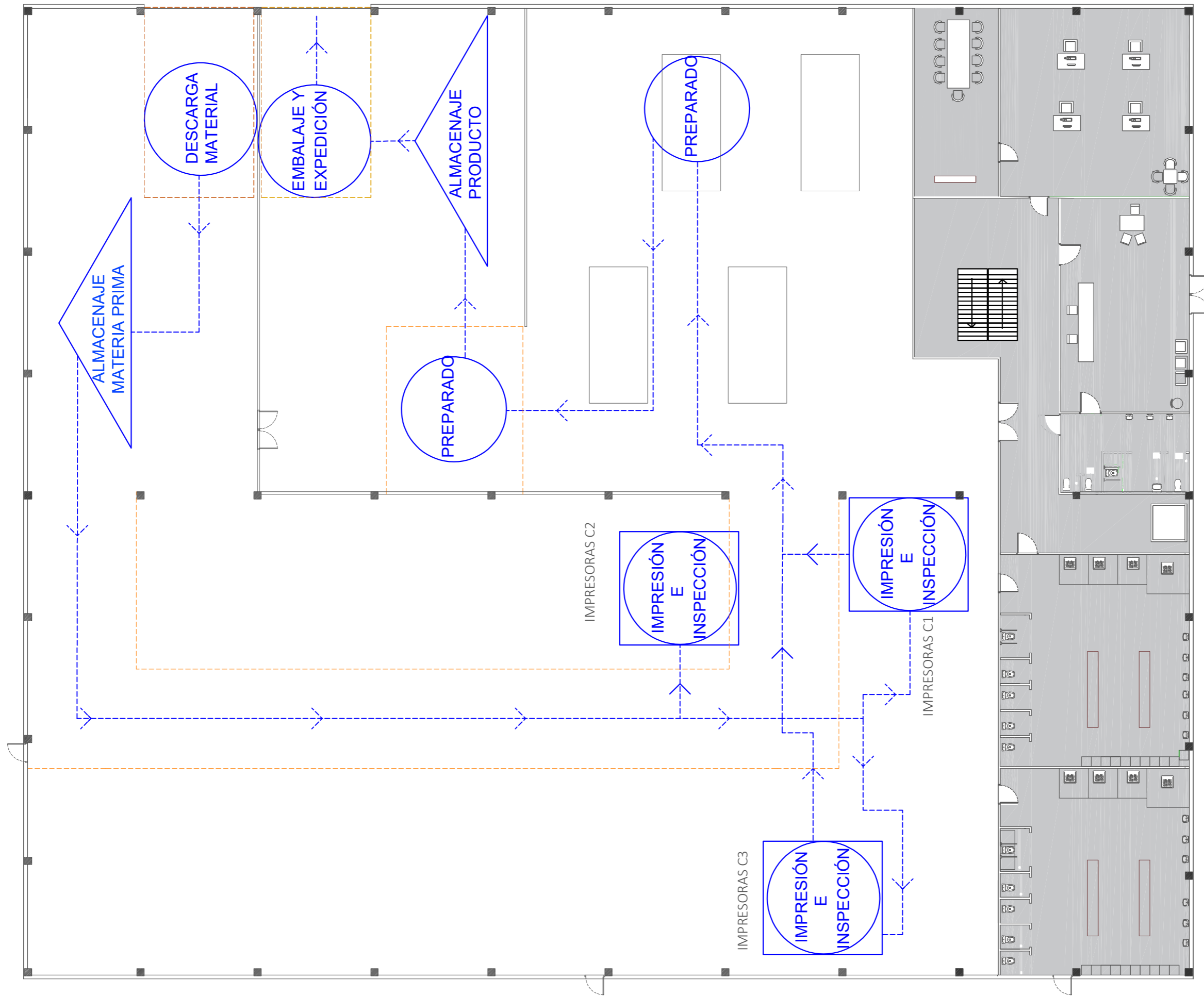
1

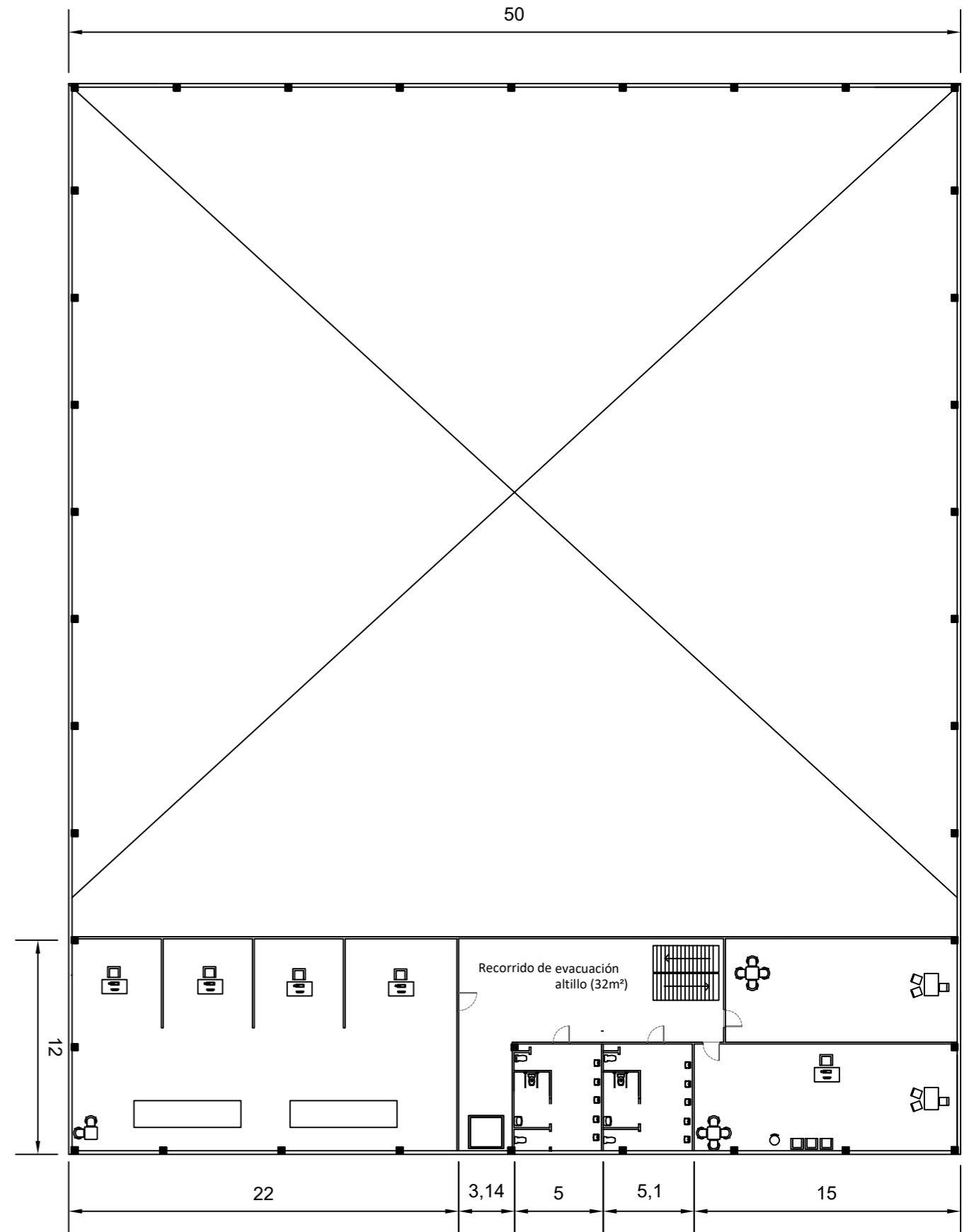
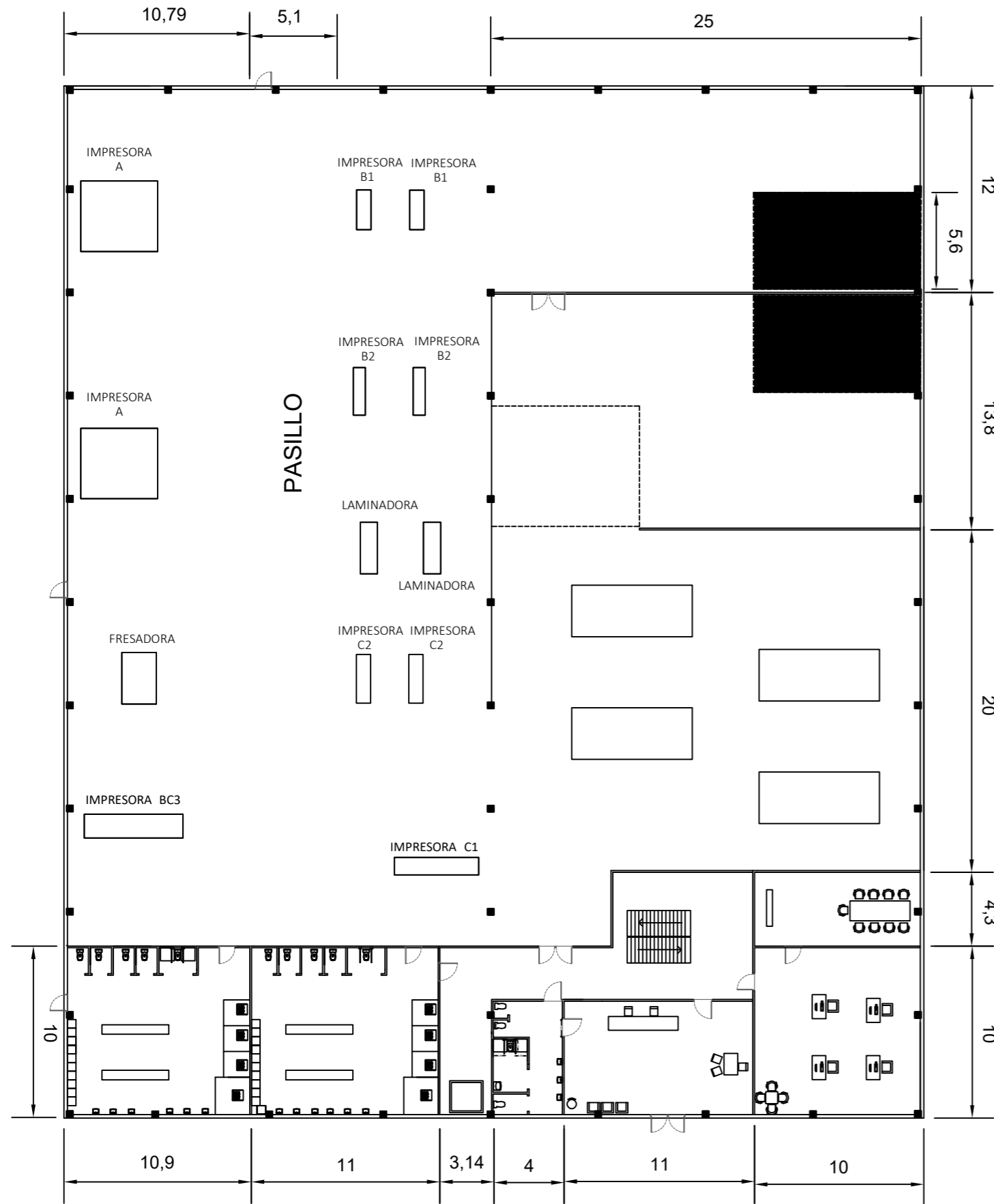


Normativa aplicada a la parcela		
Disposición	Valor norma	Valor parcela
Retranqueo	>5m	8m (distancia mínima)
Porcentaje ocupación parcela	<70%	41,70%
Plazas aparcamiento	>20	30









TRABAJO FINAL DE GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES



ESCUELA
TÉCNICA
SUPERIOR
INGENIEROS
INDUSTRIALES
VALENCIA

Proyecto:
Proyecto estructural de edificio industrial de 3000 m² ubicado en el Polígono Industrial Airport de Manises para impresión en gran formato, con una producción aproximada de 1.612.000 m²/año.

Plano: Dimensiones de la planta

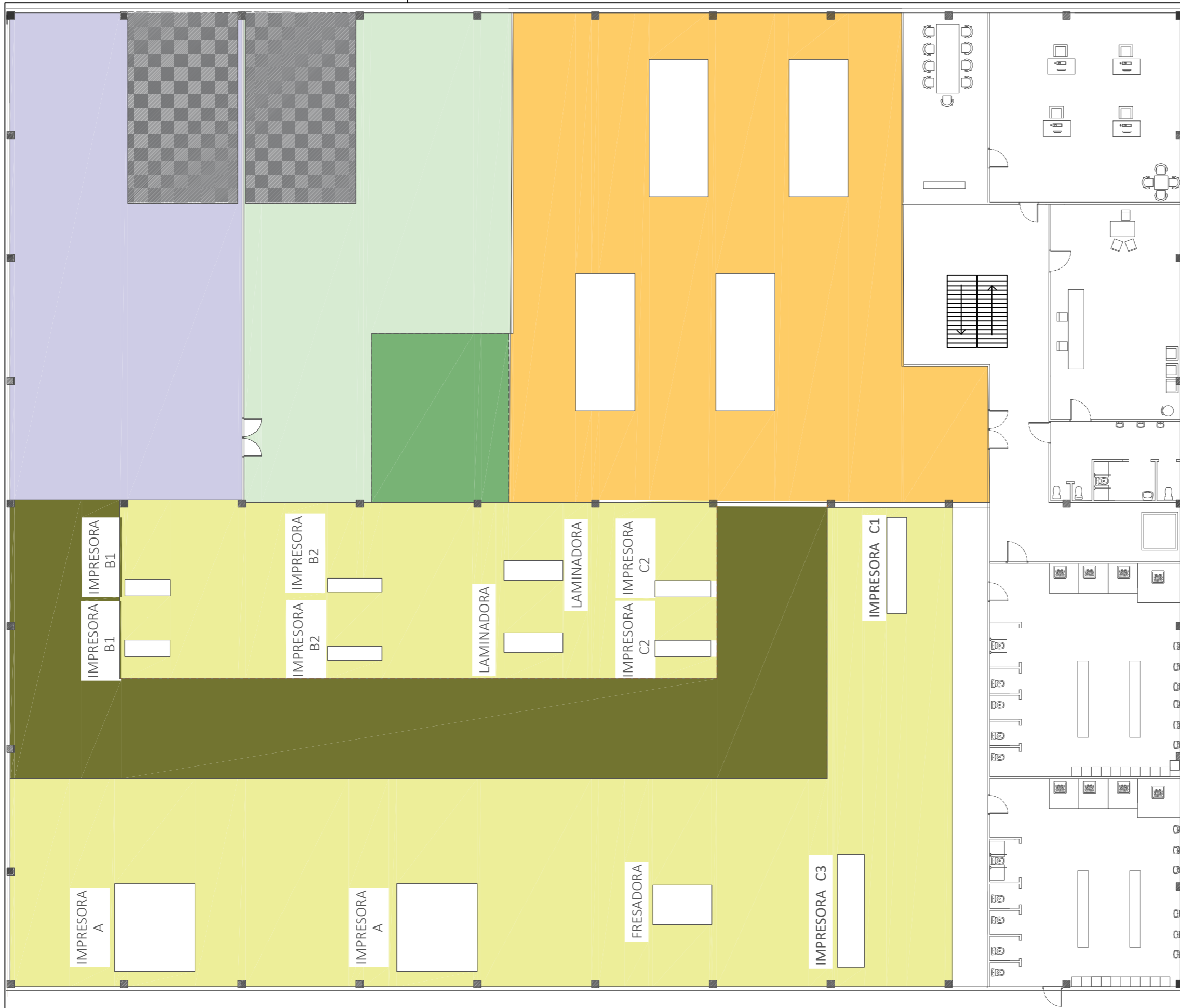
Autor:
Verónica Larrieux Lima

Fecha: Septiembre 2018

Escala: 1:300

Nº Plano:

6



DISTRIBUCIÓN PROCESO PRODUCTIVO		ÁREA(m ²)
ZONA		
Pasillo		311
Preparación y acabados		494
Embalaje		60
Almacén de materia prima		237
Almacén de expedición de productos		220
Carga y descarga de camiones		55
Fabricación (maquinarias)		1235

TRABAJO FINAL DE GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES



ESCUELA
TÉCNICA
SUPERIOR
INGENIEROS
INDUSTRIALES
VALENCIA

Proyecto:

Proyecto estructural de edificio industrial de 3000 m² ubicado en el Polígono Industrial Aeroport de Manises para impresión en gran formato, con una producción aproximada de 1.612.000 m²/año.

Plano:

Distribución zona de procesos según áreas

Autor:

Verónica Larrieux Lima

Fecha:

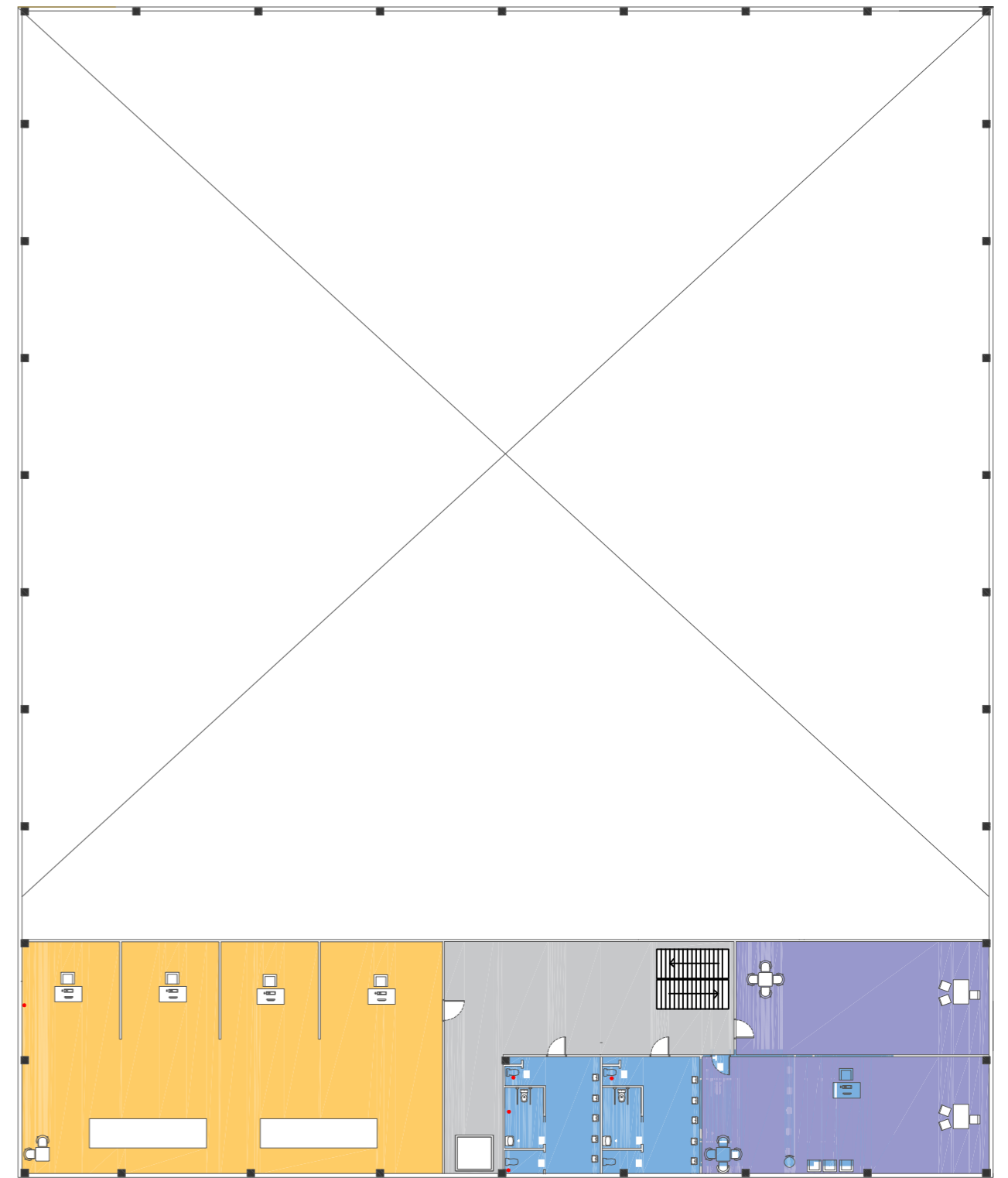
Septiembre
2018

Escala:

1:200

Nº Plano:

7



DISTRIBUCIÓN PROCESO PRODUCTIVO					
	ZONA	ÁREA(m²)		ZONA	ÁREA(m²)
	Vestuarios	105		Diseño	257
	Pasillo oficinas	112		Pasillo altillo	105
	Aseos P.B.	27		Aseos	30
	Administración	78		Despacho 1	76,0000
	Captación	94		Despacho 2	88
	Sala de reuniones	42			

TRABAJO FINAL DE GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR INGENIEROS INDUSTRIALES VALENCIA

Proyecto: **Proyecto estructural de edificio industrial de 3000 m² ubicado en el Polígono Industrial Aeroport de Manises para impresión en gran formato, con una producción aproximada de 1.612.000 m²/año.**

Plano: **Distribución zona de oficinas según áreas**

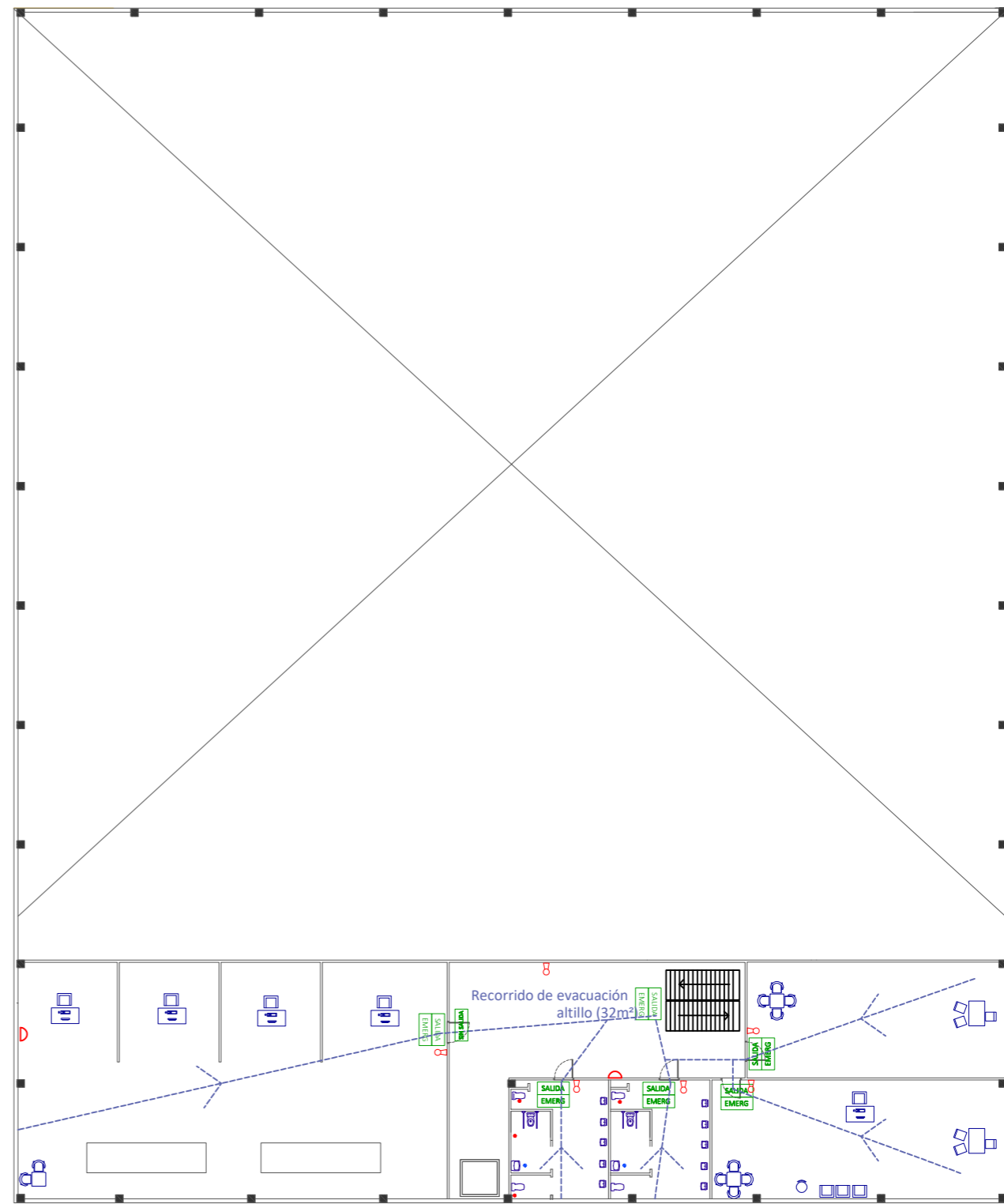
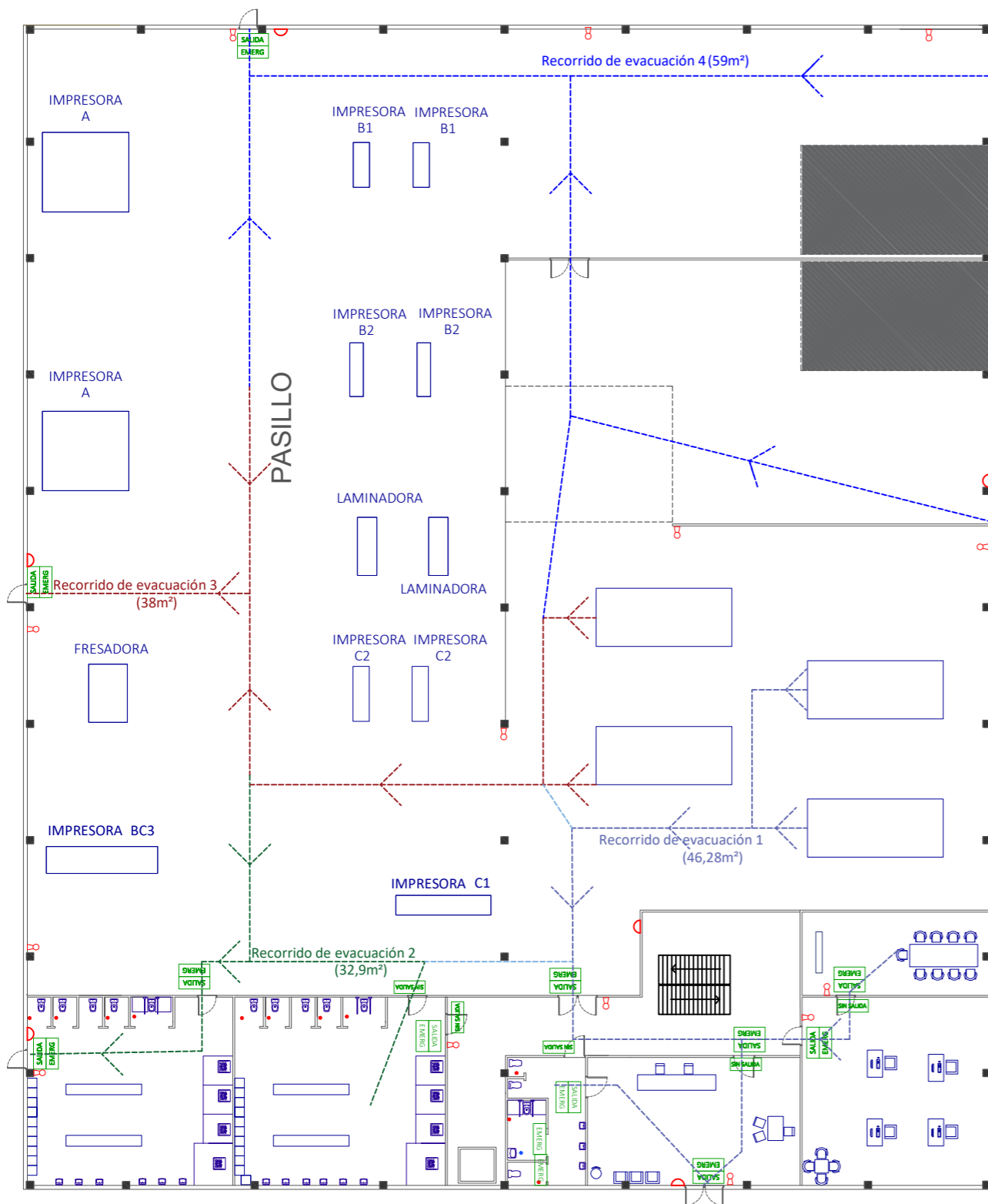
Autor: **Verónica Larrieux Lima**

Fecha: **Septiembre 2018**

Escala: **1:300**

Nº Plano:

8



Símbolos	
	Extintor
	BIE (Boca de incendio equipada)
	Cartel señalización salida
	Luz emergencia
	Cartel señalización sin salida
	Recorrido de evacuación

TRABAJO FINAL DE GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES



ESCUELA
TÉCNICA
SUPERIOR
INGENIEROS
INDUSTRIALES
VALENCIA

Proyecto:
Proyecto estructural de edificio industrial de 3000 m² ubicado en el Polígono Industrial Airport de Manises para impresión en gran formato, con una producción aproximada de 1.612.000 m²/año.

Plano: **Recorridos de evacuación y sistemas de emergencias**

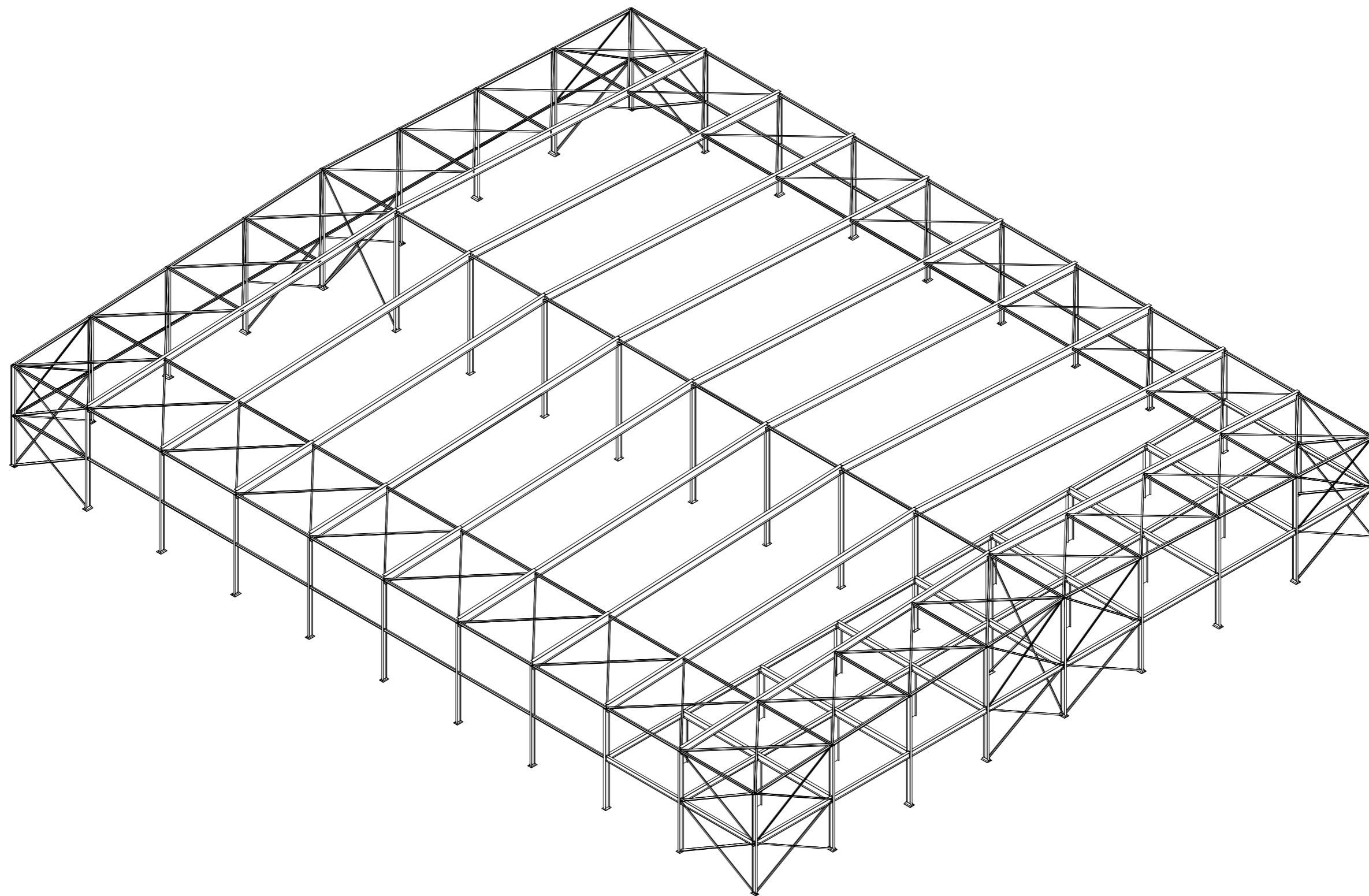
Autor:
Verónica Larrieux Lima

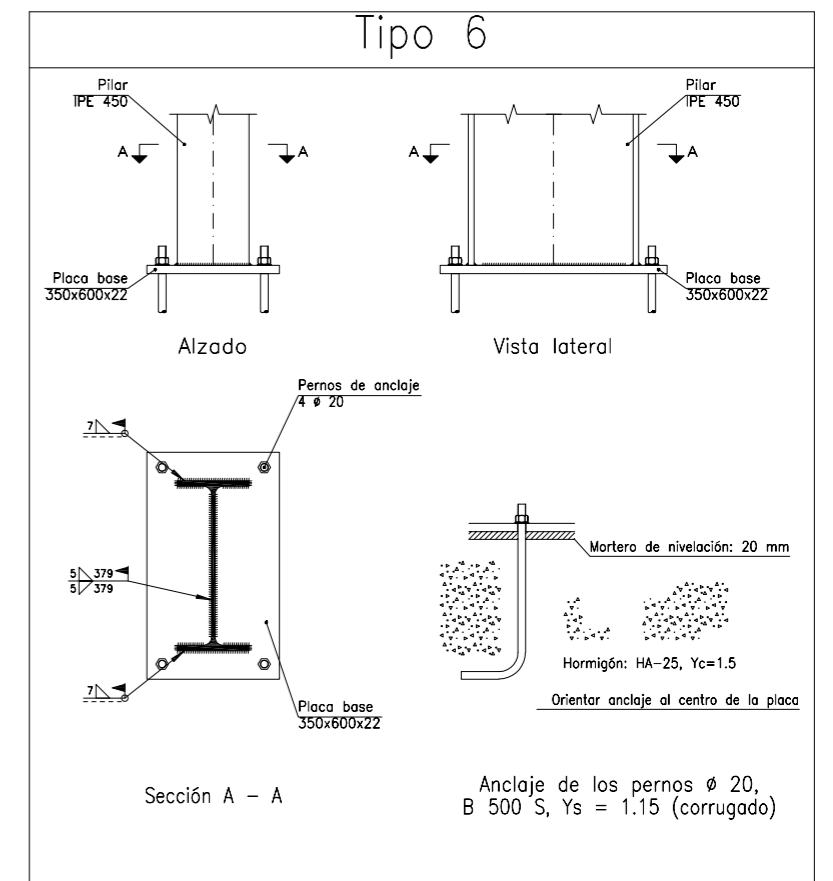
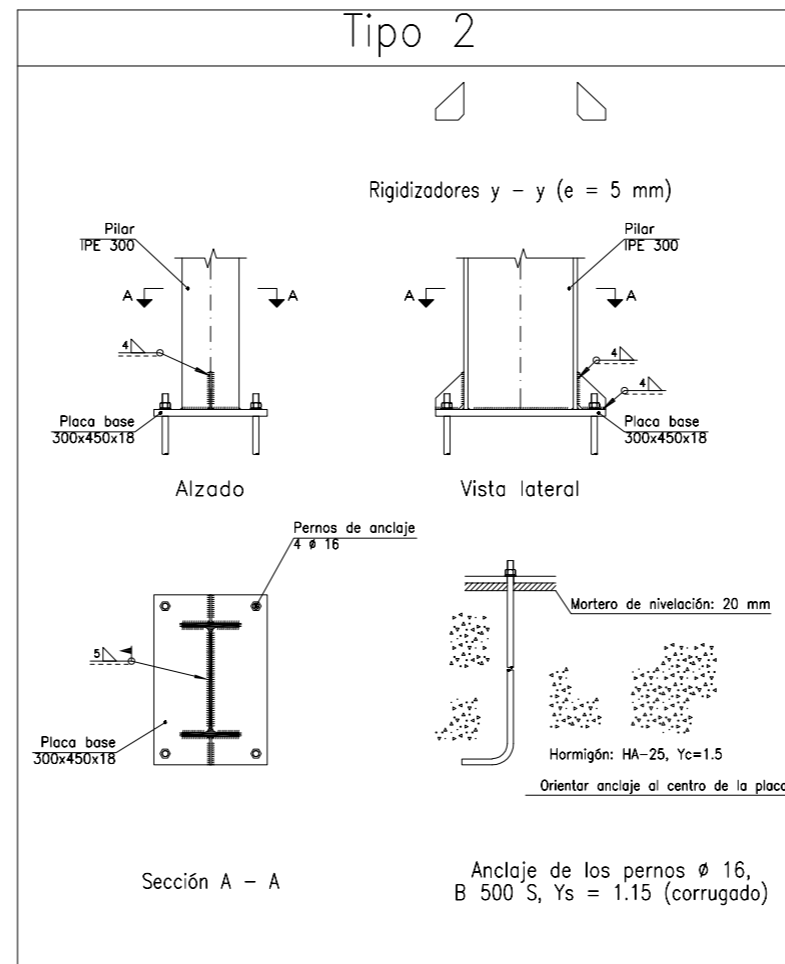
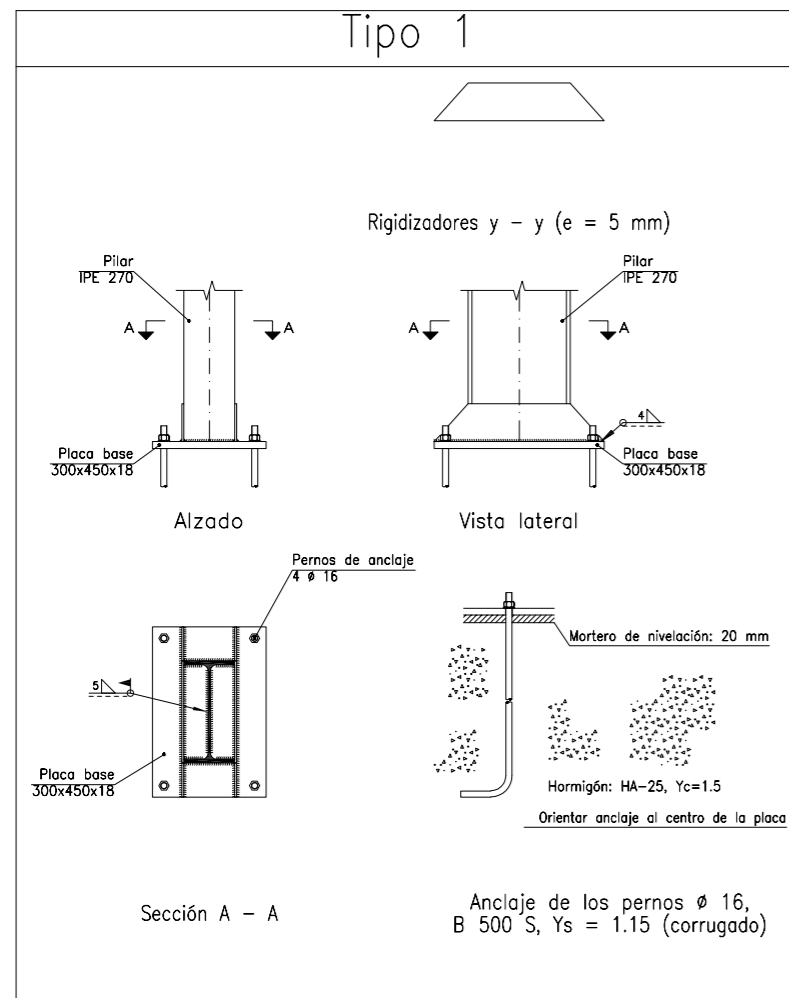
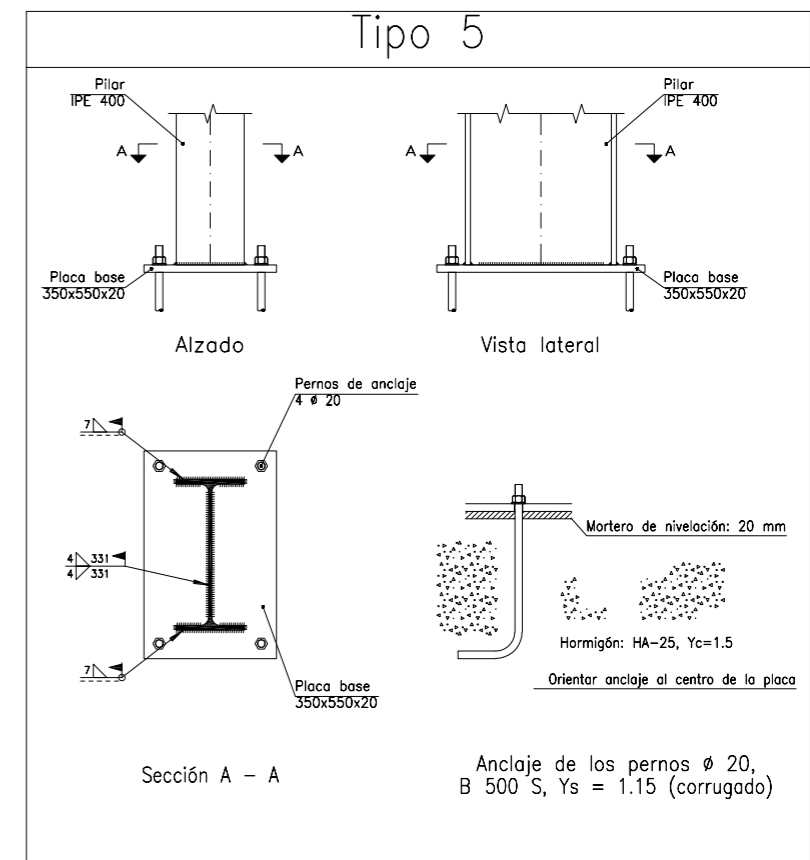
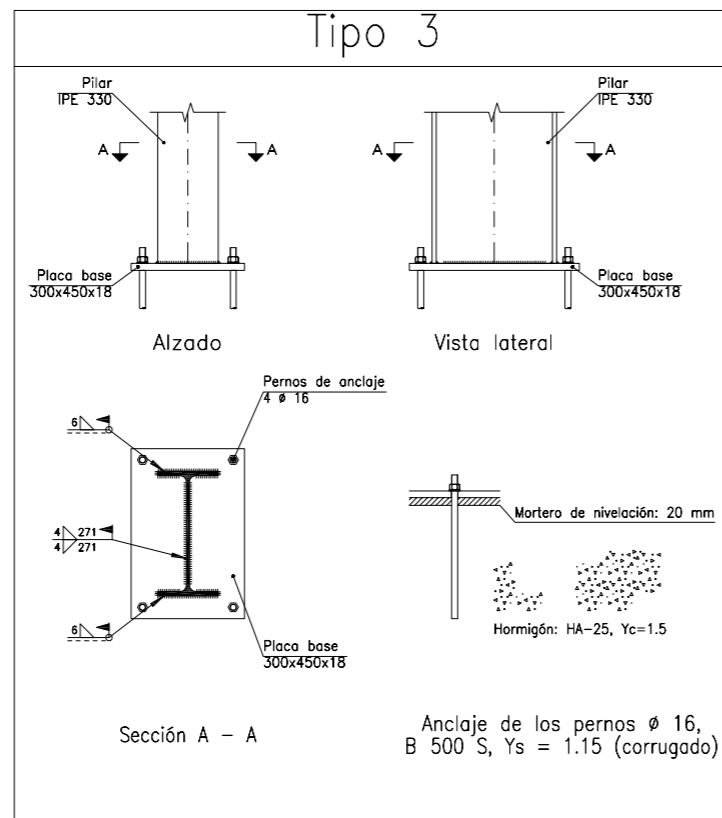
Fecha: **Septiembre 2018**

Escala: **1:300**

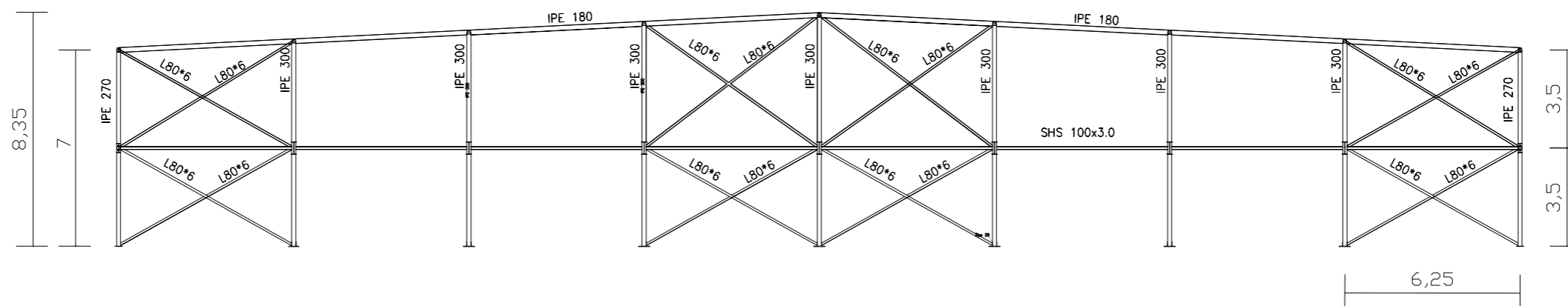
Nº Plano:

9

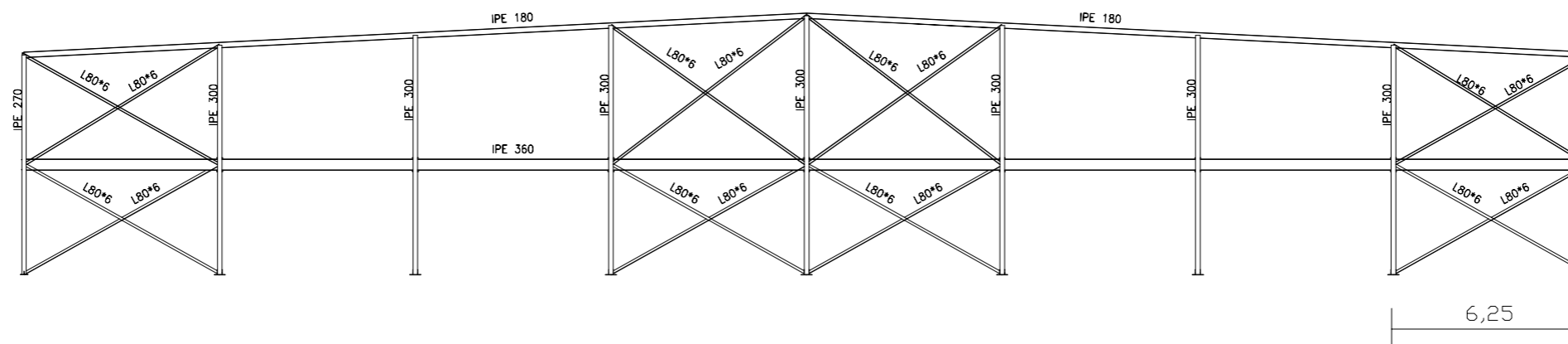




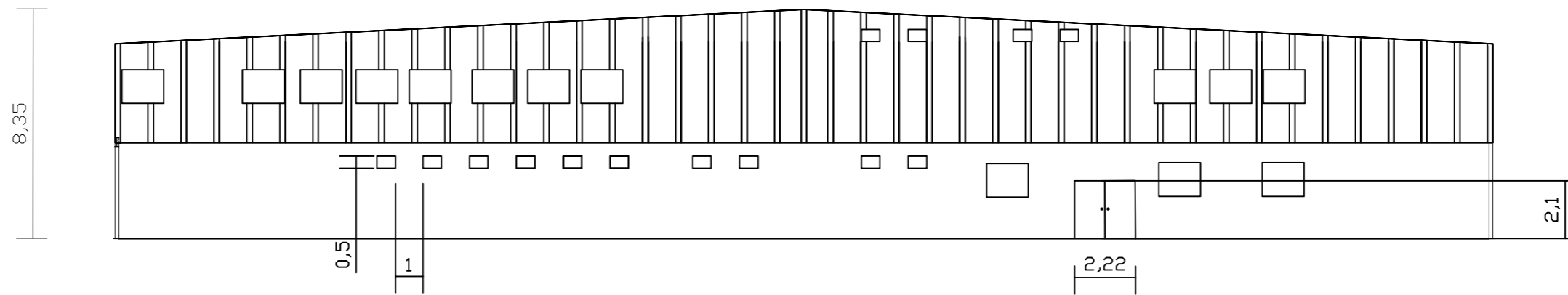
Pórtico de fachada anterior



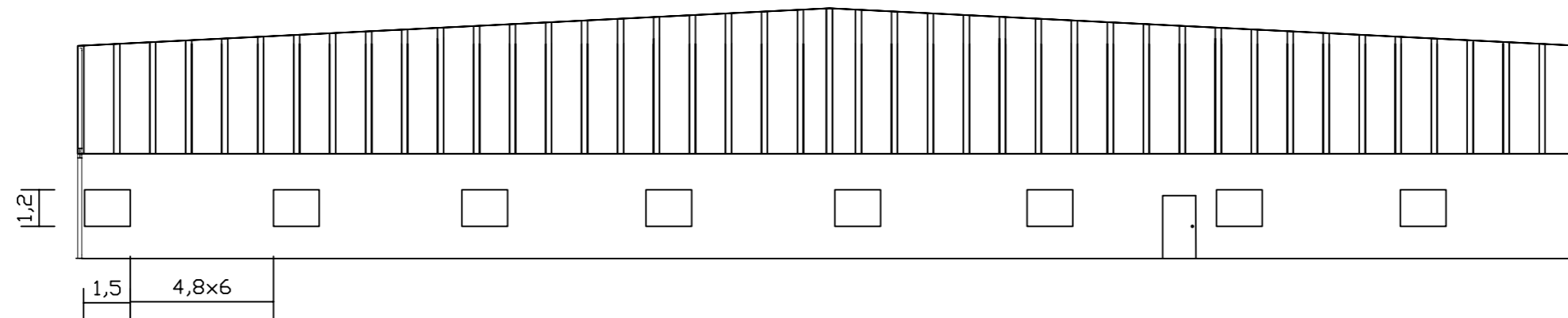
Pórtico de fachada posterior (atillo)



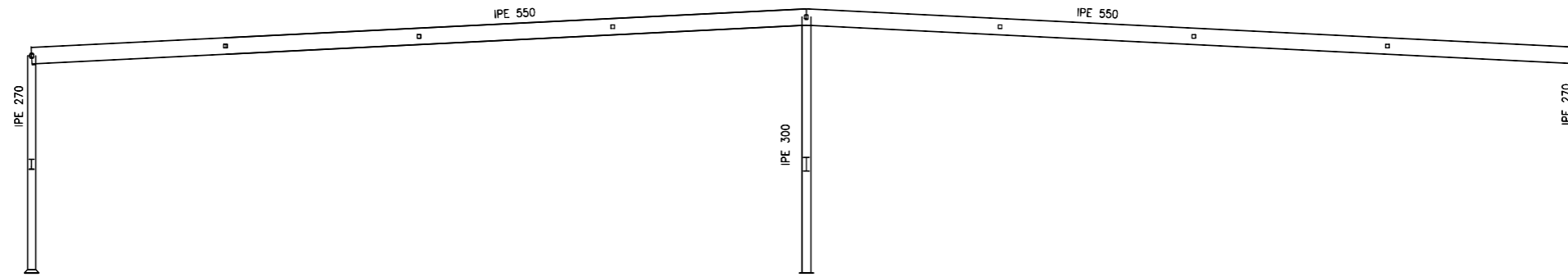
Cerramiento en pórtico de fachada con acceso a oficinas



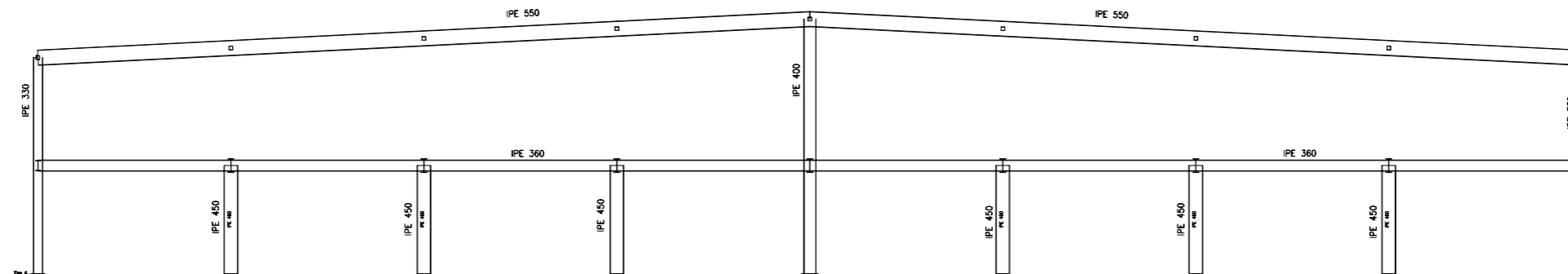
Cerramiento en pórtico de fachada anterior, con acceso a fábrica

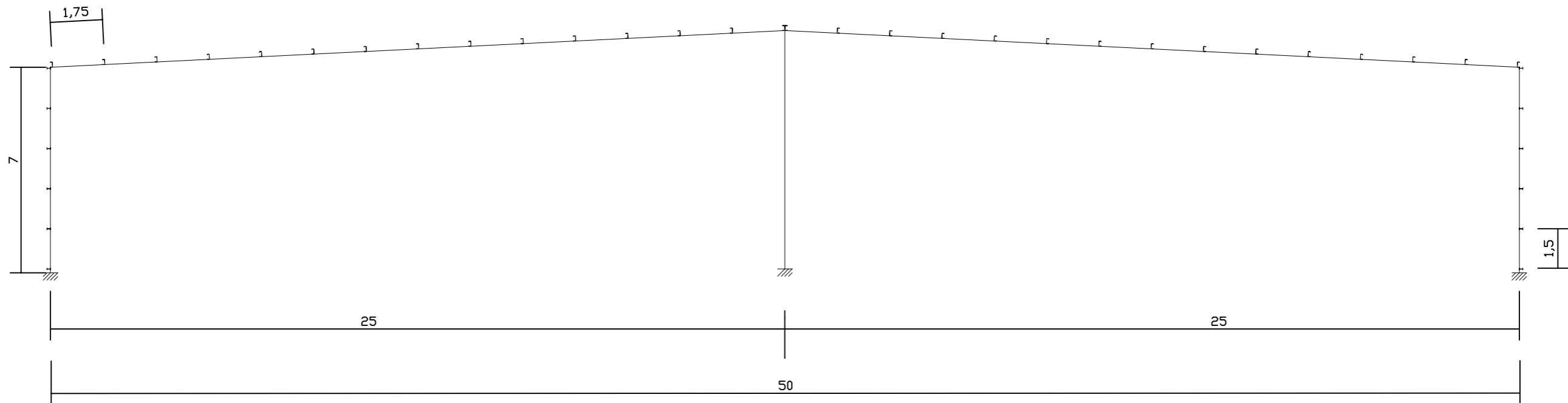


Pórtico interior



Pórtico interior (altillo)





TRABAJO FINAL DE GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR INGENIEROS INDUSTRIALES VALENCIA

Proyecto:

Proyecto estructural de edificio industrial de 3000 m² ubicado en el Polígono Industrial Aeroport de Manises para impresión en gran formato, con una producción aproximada de 1.612.000 m²/año.

Plano: Distribución correas en pórticos

Autor: Verónica Larrieux Lima

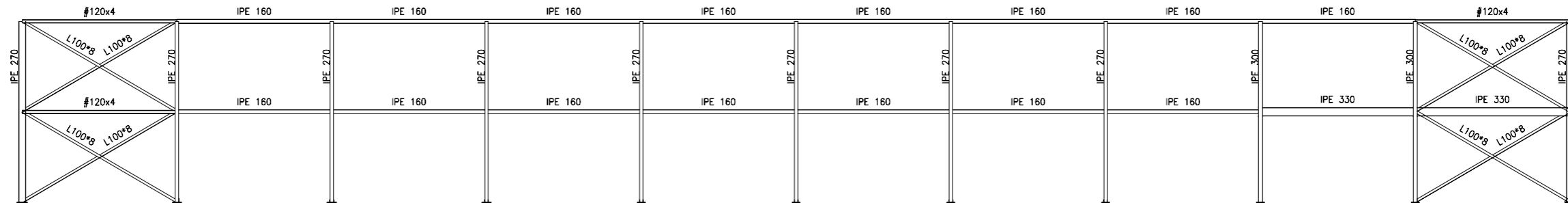
Fecha: Septiembre 2018

Escala: 1:250

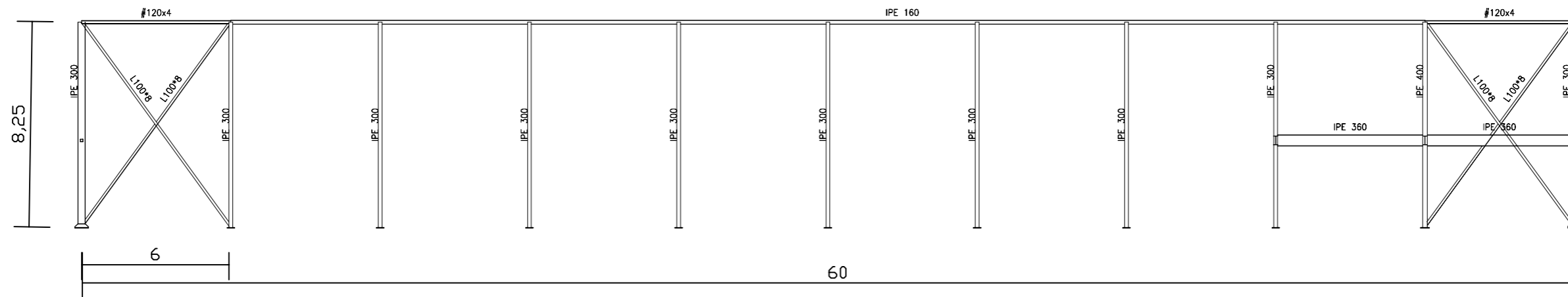
Nº Plano:

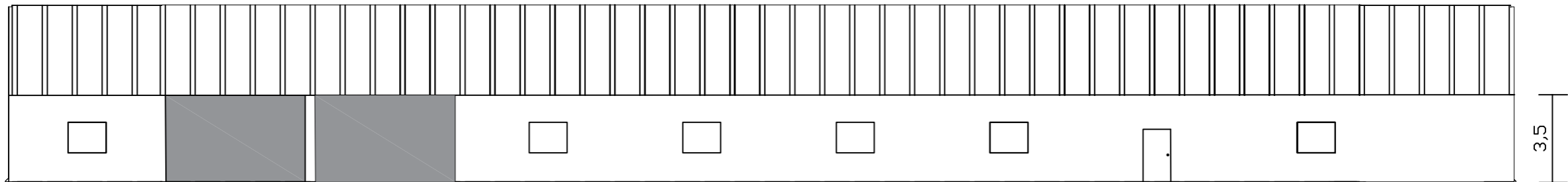
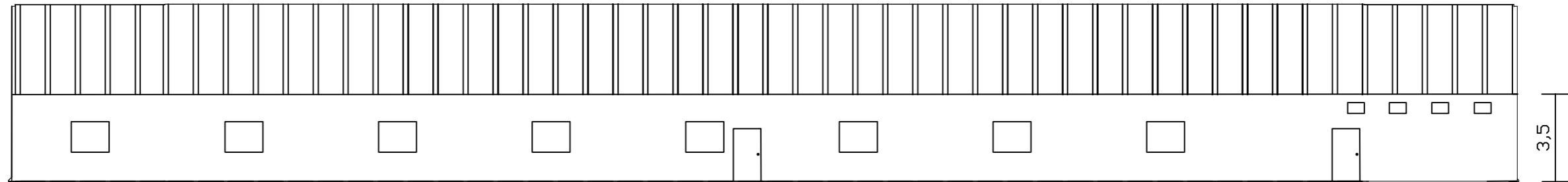
16

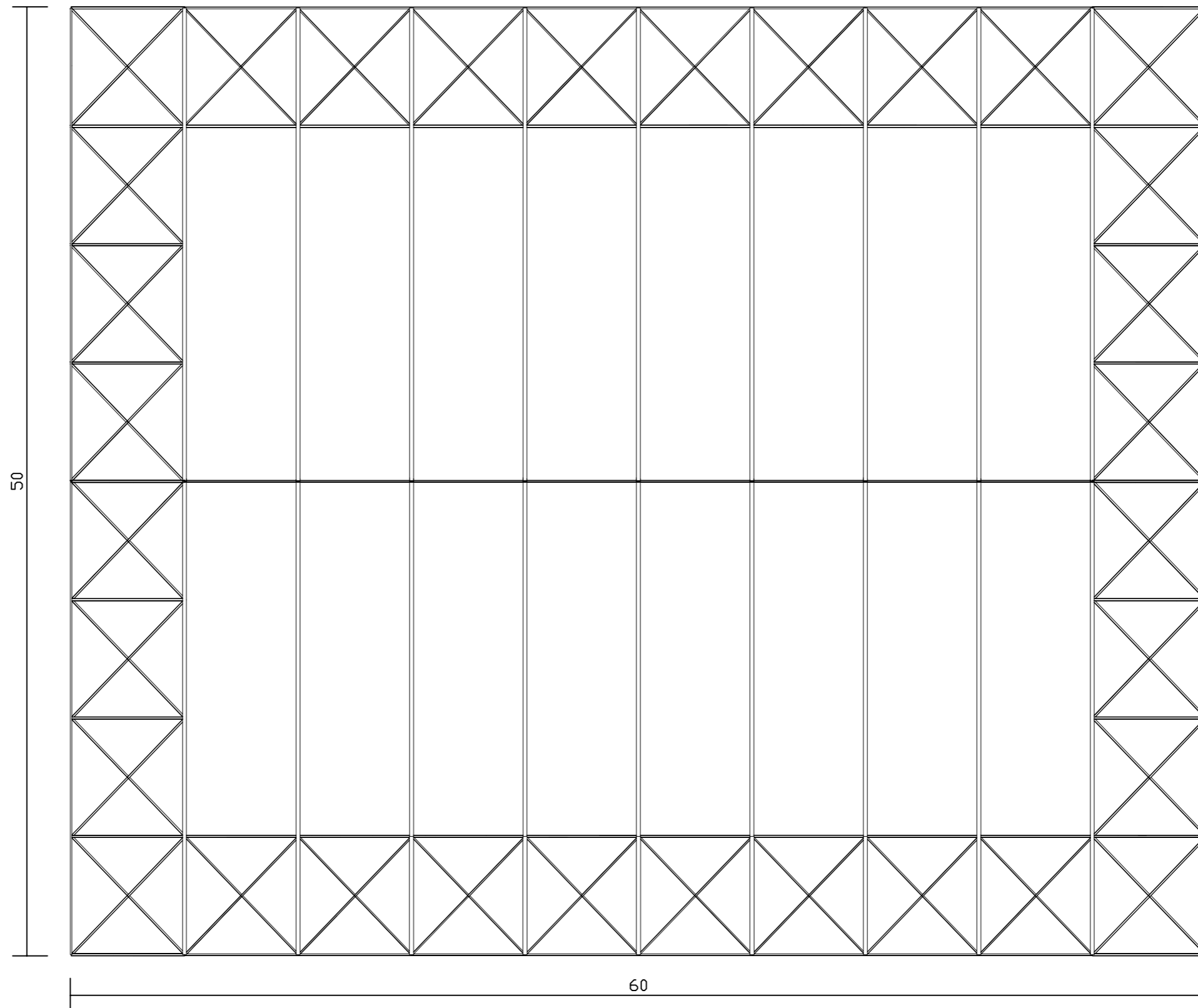
Vista lateral en exterior de la nave

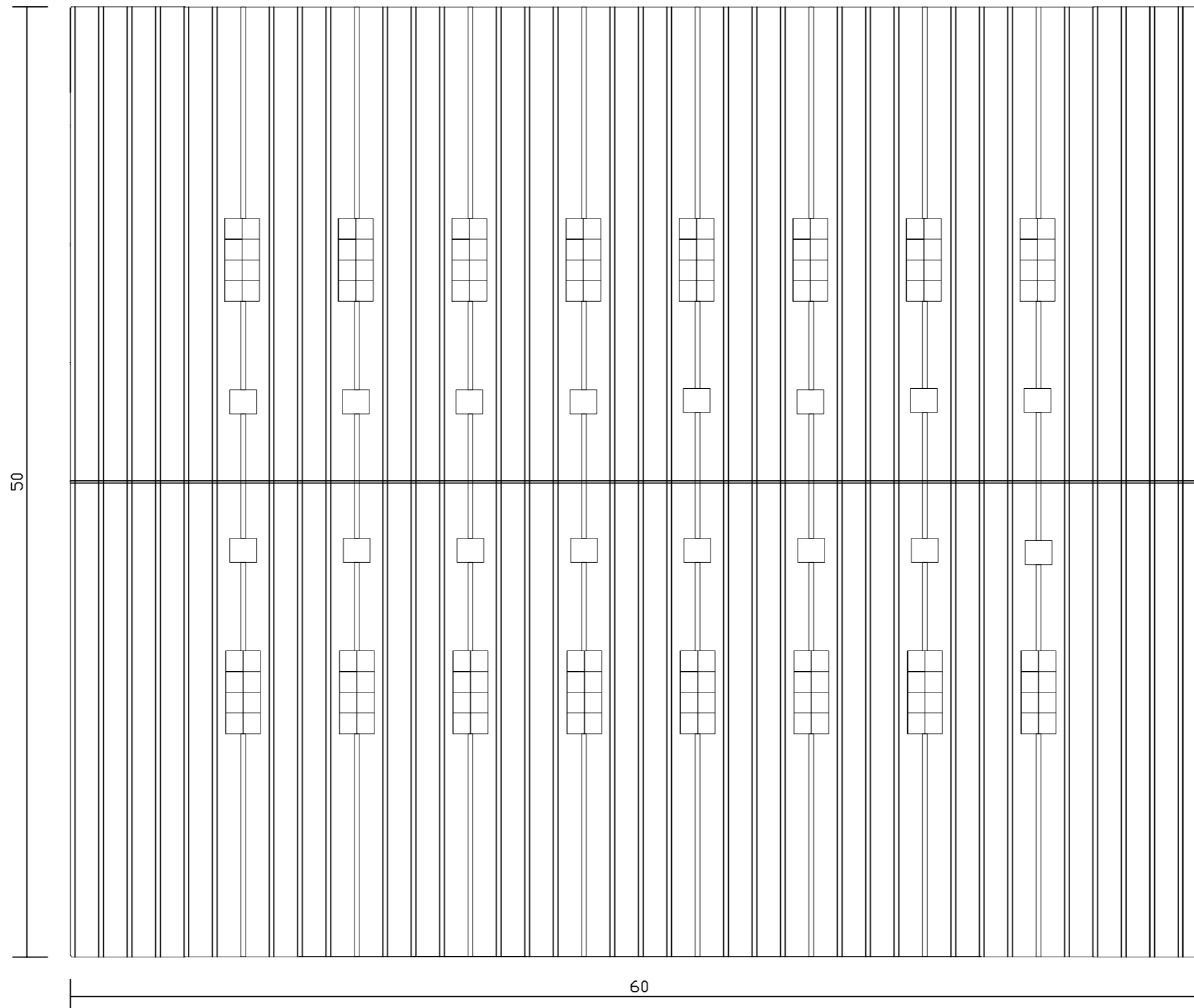


Vista lateral en interior (centro) de la nave









4. PRESUPUESTO

V - Presupuesto

Nave TFG imprenta gran formato

Proyecto: Nave TFG imprenta gran formato
Promotor:
Situación:

V Presupuesto

Capítulo N° 1 Acondicionamiento del terreno

N°	Ud	Descripción	Medición	Precio	Importe	
1.1.- Movimiento de tierras						
1.1.1	M²	Desbroce y limpieza del terreno con arbustos, hasta una profundidad de 15cm				
			Total m² :	1,000	302,94	302,94
1.1.2	M³	Excavación de zanjas para cimentaciones en suelo de arcilla				
			Total m³ :	2.100,000	23,29	48.909,00
1.1.3	M³	Transporte de tierras dentro de la obra, con carga mecánica.				
			Total m³ :	2.100,000	0,93	1.953,00
1.2.- Nivelación						
1.2.1	M²	Encachado en caja para base de solera de 20 cm de espesor, mediante relleno y extendido en tongadas de espesor no superior a 20 cm de gravas procedentes de cantera caliza de 40/80 mm; y posterior compactación mediante equipo manual con bandeja vibrante, sobre la explanada homogénea y nivelada.				
			Total m² :	3.000,000	8,16	24.480,00
1.2.2	M²	Solera de hormigón armado de 10 cm de espesor, realizada con hormigón HA-25/B/20/IIa fabricado en central, y vertido con bomba, y malla electrosoldada ME 20x20 Ø 5-5 B 500 T 6x2,20 UNE-EN 10080 como armadura de reparto, colocada sobre separadores homologa				
			Total m² :	3.000,000	16,74	50.220,00
Parcial N° 1 Acondicionamiento del terreno :					<u>125.864,94</u>	

Proyecto: Nave TFG imprenta gran formato
Promotor:
Situación:

V Presupuesto

Capítulo N° 2 Cimentaciones

Nº	Ud	Descripción	Medición	Precio	Importe	
2.1.- Regularización						
2.1.1.- Hormigón de limpieza						
2.1.1.1	M²	Capa de hormigón de limpieza y nivelado de fondos de cimentación, de 10 cm de espesor, de hormigón HL-150/B/20, fabricado en central y vertido desde camión, en el fondo de la excavación previamente realizada.				
			Total m² :	322,880	7,75	2.502,32
2.2.- Superficiales						
2.2.1.- Zapatas						
2.2.1.1	M³	Zapata de cimentación de hormigón armado, realizada con hormigón HA-25/B/20/IIa fabricado en central y vertido con cubilote, y acero UNE-EN 10080 B 500 S, con una cuantía aproximada de 15,8 kg/m³. Incluso armaduras de espera del pilar, alambre de atar y separadores.				
			Total m³ :	113,232	115,31	13.056,78
2.3.- Arriostramientos						
2.3.1.- Vigas entre zapatas						
2.3.1.1	M³	Viga de atado de hormigón armado, realizada con hormigón HA-25/B/20/IIa fabricado en central y vertido con cubilote, y acero UNE-EN 10080 B 500 S, con una cuantía aproximada de 47,6 kg/m³. Incluso alambre de atar y separadores.				
			Total m³ :	49,150	142,60	7.008,79
			Parcial N° 2 Cimentaciones :			<u>22.567,89</u>

Proyecto: Nave TFG imprenta gran formato
 Promotor:
 Situación:

V Presupuesto

Capítulo N° 3 Estructuras

N°	Ud	Descripción	Medición	Precio	Importe
3.1.- Acero					
3.1.1.- Montajes industrializados					
3.1.1.1	Kg	Acero S275JR en estructura metálica, con piezas simples de perfiles laminados en caliente de la serie IPE, con uniones soldadas en obra.			
			Total kg :	54.700,730	2,26 123.623,65
3.1.1.2	Kg	Acero S275JR en estructura metálica, con piezas simples de perfiles laminados en caliente de la serie L, con uniones soldadas en obra.			
			Total kg :	737,600	2,26 1.666,98
3.1.1.3	Kg	Acero S275JR en estructura metálica, con piezas simples de perfiles laminados en caliente de la serie SHS, con uniones soldadas en obra.			
			Total kg :	447,520	2,26 1.011,40
3.1.1.4	Kg	Acero S235JRC en estructura metálica, con piezas simples de perfiles conformados en frío de la serie #, con uniones soldadas en obra.			
			Total kg :	1.338,490	2,17 2.904,52
3.1.2.- Pilares					
3.1.2.1	Ud	Placa de anclaje de acero S275JR en perfil plano, de 300x450 mm y espesor 18 mm, con 4 pernos de acero corrugado UNE-EN 10080 B 500 S de 16 mm de diámetro y 49,3398 cm de longitud total, soldados.			
			Total Ud :	6,000	60,82 364,92
3.1.2.2	Ud	Placa de anclaje de acero S275JR en perfil plano, de 350x600 mm y espesor 22 mm, con 4 pernos de acero corrugado UNE-EN 10080 B 500 S de 20 mm de diámetro y 53,6248 cm de longitud total, soldados.			
			Total Ud :	12,000	105,20 1.262,40
3.1.2.3	Ud	Placa de anclaje de acero S275JR en perfil plano, de 200x300 mm y espesor 11 mm, con 4 pernos de acero corrugado UNE-EN 10080 B 500 S de 10 mm de diámetro y 42,8124 cm de longitud total, soldados.			
			Total Ud :	7,000	23,64 165,48
3.1.2.4	Ud	Placa de anclaje de acero S275JR en perfil plano, de 200x300 mm y espesor 15 mm, con 4 pernos de acero corrugado UNE-EN 10080 B 500 S de 10 mm de diámetro y 43,2124 cm de longitud total, soldados.			
			Total Ud :	14,000	27,52 385,28
3.1.2.5	Ud	Placa de anclaje de acero S275JR en perfil plano, de 200x350 mm y espesor 12 mm, con 4 pernos de acero corrugado UNE-EN 10080 B 500 S de 12 mm de diámetro y 44,8549 cm de longitud total, soldados.			
			Total Ud :	2,000	28,82 57,64
3.1.2.6	Ud	Placa de anclaje de acero S275JR en perfil plano, de 250x400 mm y espesor 14 mm, con 4 pernos de acero corrugado UNE-EN 10080 B 500 S de 14 mm de diámetro y 46,9973 cm de longitud total, soldados.			
			Total Ud :	7,000	40,69 284,83
Parcial N° 3 Estructuras :					131.727,10

Proyecto: Nave TFG imprenta gran formato
Promotor:
Situación:

V Presupuesto

Capítulo N° 4 Cerramientos

N°	Ud	Descripción	Medición	Precio	Importe	
4.1.- Fachadas						
4.1.1.- Fachada ligera						
4.1.1.1	M²	Cerramiento de fachada con paneles sándwich aislantes, de 35 mm de espesor y 1100 mm de ancho, formados por doble cara metálica de chapa lisa de acero, acabado galvanizado, de espesor exterior 0,5 mm y espesor interior 0,5 mm y alma aislante de poliuretano de densidad media 40 kg/m³, montados en posición vertical, con sistema de fijación oculto.				
			Total m² :	770,000	44,67	34.395,90
4.1.2.- Fachada pesada						
4.1.2.1	M²	Cerramiento de fachada formado por paneles alveolares prefabricados de hormigón pretensado, de 16 cm de espesor, 1,2 m de anchura y 9 m de longitud máxima, acabado liso, de color gris, dispuestos en posición horizontal.				
			Total m² :	770,000	23,46	18.064,20
4.2.- Cubierta						
4.2.1	M²	Cubierta inclinada de paneles sándwich aislantes de acero, de 30 mm de espesor y 1150 mm de ancho, alma aislante de lana de roca, con una pendiente mayor del 10%.				
			Total m² :	3.036,000	42,55	129.181,80
4.3.- Correas						
4.3.1.- Correas en cubierta						
4.3.1.1	Kg	Acero S235JRC en correas metálicas, con piezas simples de perfiles conformados en frío de las series omega, L, U, C o Z, acabado galvanizado y colocado en obra con tornillos.				
			Total kg :	300,000	2,80	840,00
4.3.2.- Correas en laterales						
4.3.2.1	Kg	Acero S275JR en correas metálicas, con piezas simples de perfiles laminados en caliente de las series IPN, IPE, HEB, HEA, HEM o UPN, acabado con imprimación antioxidante y colocado en obra con tornillos.				
			Total kg :	60,000	2,18	130,80
			Parcial N° 4 Cerramientos :			182.612,70

Capítulo N° 5 Instalaciones de iluminación y ventilación. Carpintería metálica

N°	Ud	Descripción	Medición	Precio	Importe
5.1.- Iluminación en fachada y cubierta					
5.1.1	M²	Lucernario a un agua con una luz máxima menor de 3 m revestido con placas alveolares de policarbonato celular incoloras de 6 mm de espesor.			
			Total m² :	16,000	249,79
					3.996,64
5.1.2	M²	Luna incolora, de 4 mm de espesor.			
			Total m² :	69,800	26,71
					1.864,36
5.2.- Ventilación en cubierta					
5.2.1	Ud	Sistema de ventilación natural del aire en cubierta. Serie esfera			
			Total ud :	16,000	406,85
					6.509,60
5.3.- Carpintería metálica					
5.3.1	Ud	Puerta seccional industrial, de 5x5 m, formada por panel sándwich, de 40 mm de espesor, de doble chapa de acero zincado con núcleo aislante de espuma de poliuretano, acabado lacado de color RAL 9016 en la cara exterior y de color RAL 9002 en la cara interior, con mirilla central de 610x180 mm, formada por marco de material sintético y acristalamiento de polimetilmetacrilato (PMMA).			
			Total Ud :	2,000	4.511,08
					9.022,16
5.3.2	Ud	Puerta cortafuegos de acero galvanizado homologada, EI2 60-C5, de una hoja, 1100x2000 mm de luz y altura de paso, acabado lacado en color blanco, con cierrapuertas para uso frecuente.			
			Total Ud :	5,000	539,97
					2.699,85
5.3.3	Ud	Puerta interior abatible, ciega, de una hoja de 210x82,5x3,5 cm, de tablero aglomerado, chapado con sapeli, barnizada en taller; precerco de pino país de 90x35 mm; galces de MDF, con chapado de madera, de sapeli de 90x20 mm; tapajuntas de MDF, con chapado de madera, de sapeli de 70x10 mm; con herrajes de colgar y de cierre.			
			Total Ud :	13,000	189,36
					2.461,68
Parcial N° 5 Instalaciones de iluminación y ventilación. Carpintería metálica :					26.554,29

Proyecto: Nave TFG imprenta gran formato
 Promotor:
 Situación:

V Presupuesto

Capítulo N° 6 Instalación de protección contra incendios

N°	Ud	Descripción	Medición	Precio	Importe
6.1	Ud	Extintor portátil de polvo químico ABC polivalente antibrasa, con presión incorporada, de eficacia 21A-144B-C, con 6 kg de agente extintor, con manómetro y manguera con boquilla difusora. Incluso soporte y accesorios de montaje.			
		Total Ud :	20,000	45,68	913,60
6.2	Ud	Suministro e instalación en superficie de Boca de incendio equipada (BIE), de 25 mm (1") y de 680x480x215 mm, compuesta de: armario construido en acero de 1,2 mm de espesor, acabado con pintura epoxi color rojo RAL 3000 y puerta semiciega con ventana de metacrilato de acero de 1,2 mm de espesor, acabado con pintura epoxi color rojo RAL 3000; devanadera metálica giratoria fija, pintada en rojo epoxi, con alimentación axial; manguera semirígida de 20 m de longitud; lanza de tres efectos (cierre, pulverización y chorro compacto) construida en plástico ABS y válvula de cierre tipo esfera de 25 mm (1"), de latón, con manómetro 0-16 bar. Incluso accesorios y elementos de fijación.			
		Total Ud :	8,000	419,92	3.359,36
6.3	Ud	Suministro e instalación de depósito para reserva de agua contra incendios de 12 m³ de capacidad, prefabricado de poliéster, colocado en superficie, en posición vertical. Incluso válvula de flotador de 1 1/2" de diámetro para conectar con la acometida, interruptores de nivel, válvula de bola de 50 mm de diámetro para vaciado y válvula de corte de mariposa de 1 1/2" de diámetro para conectar al grupo de presión.			
		Total Ud :	1,000	2.231,11	2.231,11
6.4	Ud	Grupo de presión de agua contra incendios, formado por: una bomba principal centrífuga de un escalón y de una entrada, cuerpo de impulsión de fundición GG25 en espiral con patas de apoyo y soporte cojinete con pata de apoyo, aspiración axial y boca de impulsión radial hacia arriba, rodete radial de fundición GG25, cerrado, compensación hidráulica mediante orificios de descarga en el rodete, soporte con rodamientos de bolas lubricados de por vida, estanqueidad del eje mediante cierre mecánico según DIN 24960, eje y camisa externa de acero inoxidable AISI 420, accionada por motor asíncrono de 2 polos de 5,5 kW, aislamiento clase F, protección IP55, eficiencia IE3, para alimentación trifásica a 400/690 V, una bomba auxiliar jockey con camisa externa de acero inoxidable AISI 304, eje de acero inoxidable AISI 416, cuerpos de aspiración e impulsión y contrabridas de hierro fundido, difusores de policarbonato con fibra de vidrio, cierre mecánico, accionada por motor eléctrico de 0,9 kW, depósito hidroneumático de 20 l, bancada metálica, válvulas de corte, antirretorno y de aislamiento, manómetros, presostatos, cuadro eléctrico de fuerza y control para la operación totalmente automática del grupo, soporte metálico para cuadro eléctrico, colector de impulsión, con caudalímetro para grupo contra incendios de tipo rotámetro de lectura directa, precisión del 10%, cuerpo acrílico y flotador de acero inoxidable. Incluso soportes, piezas especiales y accesorios.			
		Total Ud :	1,000	7.135,80	7.135,80
6.5	Ud	Suministro e instalación en superficie en zonas comunes de luminaria de emergencia, con tubo lineal fluorescente, 6 W - G5, flujo luminoso 155 lúmenes, carcasa de 245x110x58 mm, clase II, IP42, con baterías de Ni-Cd de alta temperatura, autonomía de 1 h, alimentación a 230 V, tiempo de carga 24 h. Incluso accesorios y elementos de fijación.			
		Total Ud :	19,000	51,25	973,75
6.6	Ud	Placa de señalización de equipos contra incendios, de poliestireno fotoluminiscente, de 210x210 mm. Incluso elementos de fijación.			
		Total Ud :	28,000	7,46	208,88
6.7	Ud	Placa de señalización de medios de evacuación, de poliestireno fotoluminiscente, de 210x210 mm. Incluso elementos de fijación.			
		Total Ud :	21,000	7,46	156,66
Parcial N° 6 Instalación de protección contra incendios :					14.979,16

Proyecto: Nave TFG imprenta gran formato
Promotor:
Situación:

V Presupuesto

Presupuesto de ejecución material

1 Acondicionamiento del terreno	125.864,94
2 Cimentaciones	22.567,89
3 Estructuras	131.727,10
4 Cerramientos	182.612,70
5 Instalaciones de iluminación y ventilación. Carpintería metálica	26.554,29
6 Instalación de protección contra incendios	14.979,16
Total	504.306,08

Asciende el presupuesto de ejecución material a la expresada cantidad de QUINIENTOS CUATRO MIL TRESCIENTOS SEIS EUROS CON OCHO CÉNTIMOS.

Manises, Valencia a 4 de septiembre de
2018