



Universidad de
Oviedo



ESCUELA POLITÉCNICA DE INGENIERÍA DE GIJÓN.

MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

ÁREA DE DISEÑO GRÁFICO/CÁLCULO ESTRUCTURAL

TRABAJO FIN DE MÁSTER Nº 18020135

**ELABORACIÓN DE GUÍA TÉCNICA DE DISEÑO PARA SISTEMA
DRIVE-IN**

D. FERNÁNDEZ MENÉNDEZ, Santiago
TUTOR: D. SAMPEDRO REDONDO, Jose Luis

FECHA: Julio, 2018



ÍNDICE GENERAL:

MEMORIA	2
PLIEGO DE CONDICIONES	88
PLANIFICACIÓN Y PRESUPUESTO	104
PLANOS.....	113
CONCLUSIONES.....	120
NORMATIVA Y BIBLIOGRAFÍA	125



MEMORIA



ÍNDICE DE LA MEMORIA:

1. OBJETIVO GENERAL Y ALCANCE DEL POROYECTO	5
1.1. INTRODUCCIÓN.....	5
1.2. DESCRIPCIÓN DE LA SOLUCIÓN PROPUESTA.....	6
2. PRESENTACIÓN DE LA EMPRESA: APERSA.....	8
2.1. INFORMACIÓN GENERAL	8
2.2. PRODUCTOS.....	9
2.2.1. Rack selectivo de paletización	12
2.2.2. Sistema Drive-In / Drive-Through	12
2.2.3. Almacén compacto con carro satélite	15
2.2.4. Sistema de paletización dinámica	16
2.2.5. Rack paletizado sobre bases móviles	17
3. MEMORIA GENERAL ACERCA DEL SISTEMA DRIVE-IN	19
3.1. BASES DE DISEÑO	20
3.1.1. Arriostramiento vertical	20
3.1.2. Arriostramiento horizontal.....	21
3.1.3. Métodos de cálculo	22
3.2. ACCIONES Y COMBINACIONES DE ACCIONES	23
3.2.1. Acciones permanentes	23
3.2.2. Acciones variables	24
3.2.3. Acciones debidas a impacto (accidentales).....	27
3.2.4. Acciones originadas por el montaje	30
3.2.5. Combinaciones de carga	31
3.3. COEFICIENTES PARCIALES DE SEGURIDAD.....	32
3.4. ACERO	32
3.4.1. Generalidades.....	32
3.4.2. Tolerancias dimensionales	35
3.4.3. Excentricidad en el arriostrado de los bastidores.....	36
3.4.4. Excentricidad entre puntales y largueros	37
3.4.5. Requisitos para las clavijas de seguridad	38
3.5. DURABILIDAD	38
4. DESCRIPCIÓN DE LOS SOFTWARES EMPLEADOS	39
4.1. SOLIDWORKS.....	39
4.1.1. Descripción	39
4.1.2. Uso del software en el proyecto	39
4.2. SOFTWARE SHAPE-THIN	40
4.2.1. Descripción	40
4.2.2. Uso del software en el proyecto	41
4.3. SOFTWARE RSTAB	43
4.3.1. Descripción	43
4.3.2. Uso del software en el proyecto	43



4.4.	EXCEL	46
4.4.1.	<i>Descripción</i>	46
4.4.2.	<i>Uso del software en el proyecto</i>	46
5.	ELABORACIÓN DE LA GUÍA TÉCNICA DE DISEÑO	48
5.1.	RECEPCIÓN DE UN PEDIDO DE UN CLIENTE	48
5.2.	INTRODUCCIÓN DE LOS DATOS EN EXCEL	49
5.3.	EXPORTACIÓN DE LAS TABLAS DE EXCEL A RSTAB	50
5.3.1.	<i>Tabla Excel para el archivo “Sólo estructura”</i>	51
5.3.2.	<i>Tabla Excel para el archivo “Arriestrado”</i>	60
5.3.3.	<i>Importación de las tablas en RSTAB</i>	61
5.3.4.	<i>Vínculo entre Excel y RSTAB</i>	66
5.4.	IMPORTACIÓN DE SECCIONES DESDE SHAPE-THIN	68
5.5.	REALIZACIÓN DE CÁLCULOS CON EL SOFTWARE RSTAB	72
5.5.1.	<i>Peso propio de la estructura, “G”</i>	72
5.5.2.	<i>Estantería completamente cargada “Q_{full}”</i>	73
5.5.3.	<i>Imperfecciones en dirección transversal a la calle “ImpY”</i>	73
5.5.4.	<i>Imperfecciones en dirección longitudinal a la calle “ImpX”</i>	74
5.5.5.	<i>Estantería parcialmente cargada “Q_{patt}”</i>	74
5.5.6.	<i>Carga accidental en dirección transversal a la calle “A_{ph-cl}”</i>	75
5.5.7.	<i>Carga accidental en dirección longitudinal a la calle “A_{ph-dl}”</i>	75
5.5.8.	<i>Carga de posicionamiento “F_{ph-cl}”</i>	76
5.5.9.	<i>Combinaciones de carga</i>	76
5.5.10.	<i>Realización de los cálculos</i>	77
5.6.	VERIFICACIÓN DEL CUMPLIMIENTO DE LA NORMA	81
5.6.1.	<i>Exportación de los resultados a Excel</i>	81



1. OBJETIVO GENERAL Y ALCANCE DEL PROYECTO

1.1. INTRODUCCIÓN

Se entiende por almacenar al conjunto de actividades que se ejecutan para guardar y conservar los productos en condiciones óptimas para su utilización, desde su producción hasta su consumo o utilización por parte del usuario o cliente final.

El papel que tienen los almacenes en las empresas ha ido cambiando a lo largo de los años. En el pasado, se trataban como instalaciones dedicadas únicamente a almacenar mientras que ahora son centros enfocados directamente al servicio.

Se dice esto ya que entre las principales ventajas que tiene el uso de almacenes hoy en día están: facilitar la rapidez de la preparación de los pedidos, la precisión de estos y la colocación más eficiente de las existencias. Todas estas ventajas tienen como factor común la obtención de ciclos de pedido más rápidos y, en consecuencia, con mejor servicio al cliente.

En el caso que nos ocupa, Auxiliar de Perfiles Perforados Metálicos S.A. (APERSA) se dedica a la fabricación y comercialización de los perfiles metálicos que componen las estanterías de almacenaje de pallets.

A partir de la adecuada combinación de dichos perfiles, la empresa obtiene varias configuraciones de racks de almacenaje. Gracias a ello, puede ofrecer una flexibilidad que satisfaga las necesidades demandadas por el cliente garantizando la eficiencia a la hora de colocar las mercancías.

El tipo de configuración en la que se enmarca este estudio (Sistema Drive-In) no está desarrollada por la empresa. Esto implica que en el momento en que se recibe un pedido de un cliente, se necesitan costosas horas de ingeniería para comprobar que las demandas del interesado son técnicamente viables.

Además del coste que acarrea el tiempo dedicado a la realización de los cálculos correspondientes, la tardanza en enviar una oferta firme (consecuencia del tiempo dedicado al estudio del sistema) hace que la empresa se encuentre ante una desventaja competitiva, ya que el resto de las empresas del sector son capaces de ofertar al cliente las instalaciones mucho más rápido.

Por estos motivos y, al ser el Sistema Drive-In uno de los más demandados, existe una clara necesidad de desarrollar este tipo de instalaciones.



1.2. DESCRIPCIÓN DE LA SOLUCIÓN PROPUESTA

La transformación tecnológica está suponiendo enormes cambios en el comportamiento de las personas y, con ellos, el de las empresas. Es por ello, que en este trabajo se pretende automatizar, en la medida de lo posible, el proceso que va desde la recepción de un pedido hasta la realización de una oferta firme al cliente.

La solución técnica funcionará de la forma que se describe a continuación.

En primer lugar, tiene que llegar un pedido de un sistema Drive-In por parte de un cliente. Este pedido debe detallar perfectamente las dimensiones de su almacén y tanto las dimensiones como el número y peso máximo de las paletas que desea almacenar.

Una vez se tienen todos los datos necesarios, se introducen en una hoja Excel que calcula a partir de estos las dimensiones que debe tener la estantería (altura y anchura de esta, distancia entre niveles de carga, etc.) y genera una tabla con estas dimensiones.

Esta tabla se exporta al software de cálculo estructural con el que se va a trabajar (RSTAB). En él, los nodos que definen la estantería son función de los parámetros que aparecen en la tabla creada por Excel, por lo que la estantería se generaría prácticamente de forma automática.

Para un mayor realismo, todas las vigas y piezas que utiliza la empresa fueron previamente generadas con el software "SHAPE-THIN" de tal manera que en el RSTAB aparezcan con la forma que tienen en realidad. Gracias a ello, sus propiedades estáticas (radios de giro de la sección, momentos de inercia, posición del centroide, etc.) quedarán perfectamente definidas y el cálculo será por tanto más fiable.

En el momento en que el software RSTAB haya generado completamente la estantería, realizará los cálculos correspondientes (sometiéndola a las condiciones de carga más desfavorables) y los máximos valores de esfuerzos axiales, deformaciones y momentos son introducidos de nuevo en Excel para que verifique que cumple la norma correspondiente (en este caso UNE-EN15512).

En caso de que no cumpla la norma se deberán importar desde SHAPE-THIN vigas con propiedades estáticas más sólidas para que la estantería aguante las combinaciones de carga más desfavorables.

Por el contrario, en caso de que la norma se cumpla de forma excesivamente holgada, se importarán desde SHAPE-THIN vigas más débiles para ver si serían suficientes para cumplir la norma. Si lo fueran, se estarían reduciendo los costes al ser las vigas débiles más baratas de fabricar que aquellas con propiedades estáticas más sólidas.

El flujograma que figura en la página siguiente define de forma rápida y fácilmente comprensible lo explicado en este apartado:

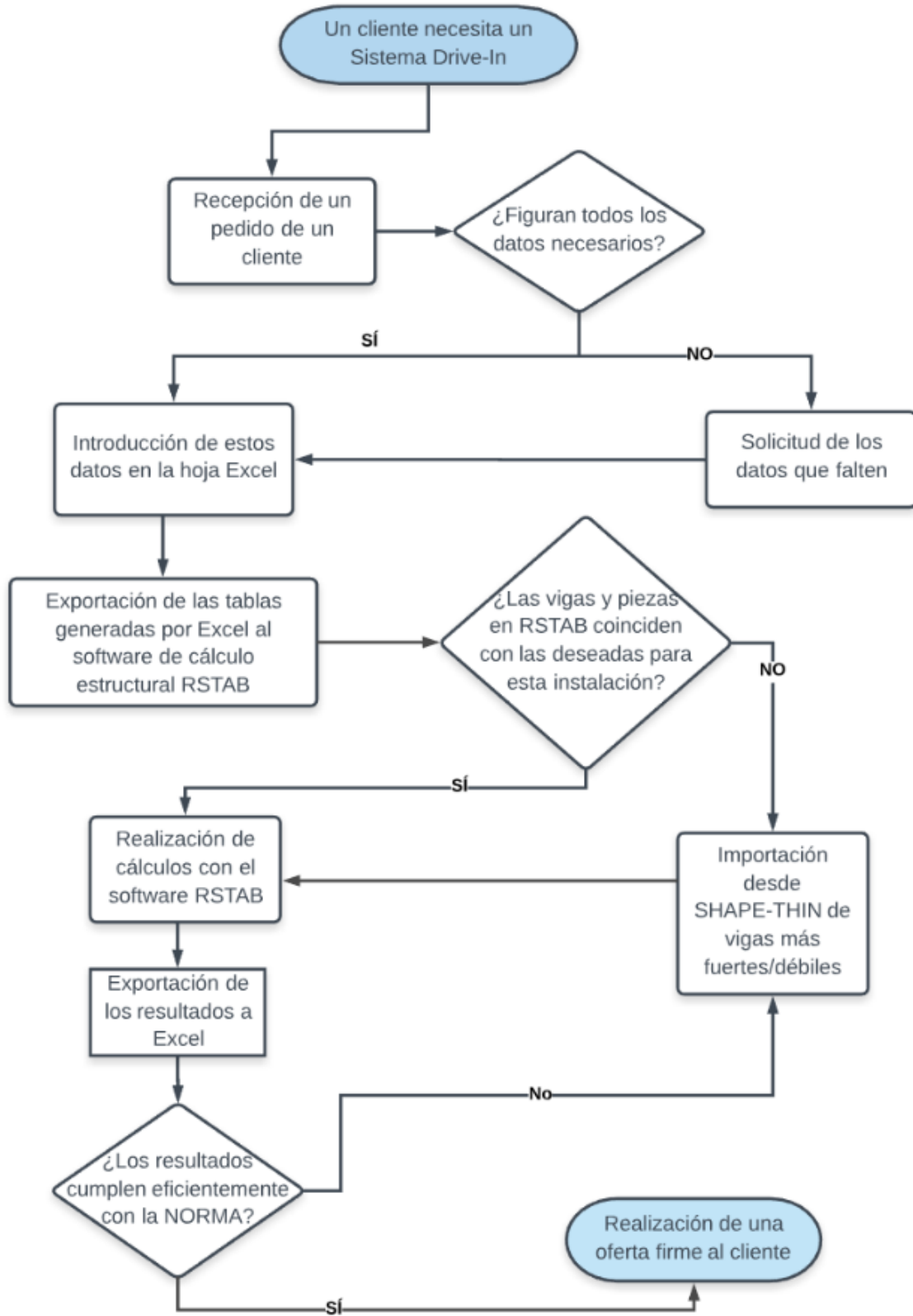


Ilustración 1.1. Flujoograma resumen del proyecto.

2. PRESENTACIÓN DE LA EMPRESA: APERSA

2.1. INFORMACIÓN GENERAL

Auxiliar de Perfiles Perforados Metálicos, S.A. (APERSA), es una empresa fundada en 2005, especializada en la fabricación de perfiles perforados metálicos conformados mediante la tecnología de perfilado en frío. APERSA tiene tres líneas de negocio:

- APERSA Sistemas de retención de vehículos: encargada del diseño y fabricación de sistemas de retención de vehículos.
- APERSA Estructuras solares: dedicada a la fabricación bajo plano de estructuras metálicas para el sector de la energía solar fotovoltaica.
- APERSA Sistemas de almacenaje: es el área de negocio en la que se enmarcará el TFM y es la encargada del diseño y fabricación de sistemas de almacenaje. La empresa cubre toda la cadena de valor en el sector de fabricación de este tipo de sistemas, ya que cuenta con: centro de servicios del acero, perfilado en frío, corte láser, punzonado, plegado, soldadura robotizada, pintura electrostática y galvanización en caliente.

En lo que a instalaciones y maquinaria se refiere, la empresa cuenta con aproximadamente 60.000 metros cuadrados de instalaciones industriales repartidas entre Asturias y el País Vasco. La siguiente imagen muestra las distintas factorías con las que cuenta la empresa.



Factoría Bilbao



Factoría APERSA, Langreo



Planta de Pintura y Galvanizado, Sotrongio



Centro de servicios, Langreo

Ilustración 2.1. Factorías de la empresa APERSA.

El stock de bobinas de APERSA permite al centro de servicios del acero de la empresa suministrar a sus líneas de perfilado Justo a Tiempo. Esto hace que APERSA sea la empresa con mejores plazos de entrega del mercado. Además, cuenta con 15 líneas de perfilado instaladas en 3 emplazamientos en Asturias.

2.2. PRODUCTOS

1. Piezas comunes

Para poder ofrecer un servicio personalizado, APERSA cuenta con una amplia gama de los componentes que forman los racks, con diferentes dimensiones para cada uno de ellos.

A continuación, se describen uno a uno los principales componentes que forman las estanterías, a los que se va a hacer referencia en numerosas ocasiones a lo largo del proyecto, de cara a una fácil comprensión de este.

1. PUNTALES:

APERSA cuenta con una extensa gama de puntales disponibles para configurar los bastidores que sustentan las estanterías. Estos puntales disponen de frentes de 76 y 100 mm, fondos desde 63 hasta 105 mm y espesores que varían entre 1,5 y 3,0 mm. Estos puntales llevan un acabado en color azul RAL 5019.

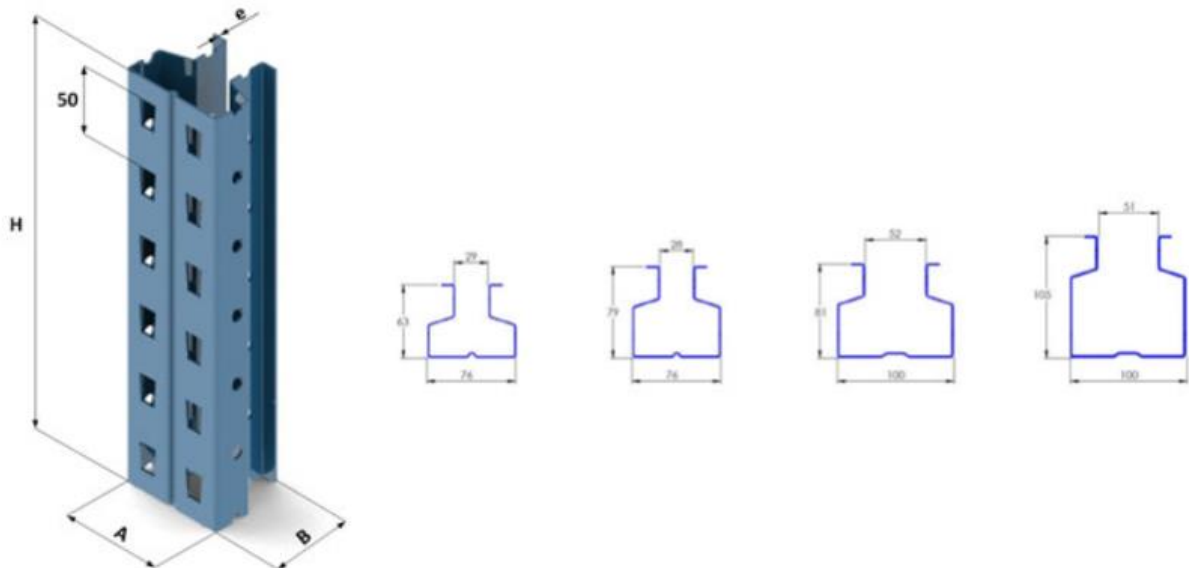


Ilustración 2.2. Cotas que definen los puntales.

GAMA DE PUNTALES			
DIMENSIONES (mm)			
Denominación	Frente A	Fondo B	Espesor e
AP766315	76	63	1,5
AP766318	76	63	1,8
AP767923	76	79	1,8
AP767923	76	79	2,3
AP1008118	100	81	1,8
AP1008123	100	81	2,3
AP10010523	100	105	2,3
AP10010525	100	105	2,5
AP10010530	100	105	3,0

Tabla 2.1. Gama de puntales de APERSA.

2. LARGUEROS

Los largueros tienen como fin soportar el peso de las paletas y dotar de estabilidad a la estructura. La empresa cuenta para tal fin con largueros tubulares y perfilados con secciones y espesores que varían respectivamente desde 80x40 a 150x50 y de 1,5 a 2,0 mm.

Las longitudes de los largueros van desde 1850 a 3600 mm, y están calculadas para asegurar el cumplimiento de las tolerancias y holguras definidas en la UNE-EN 15620. Todos los largueros llevan un acabado naranja RAL 2004.

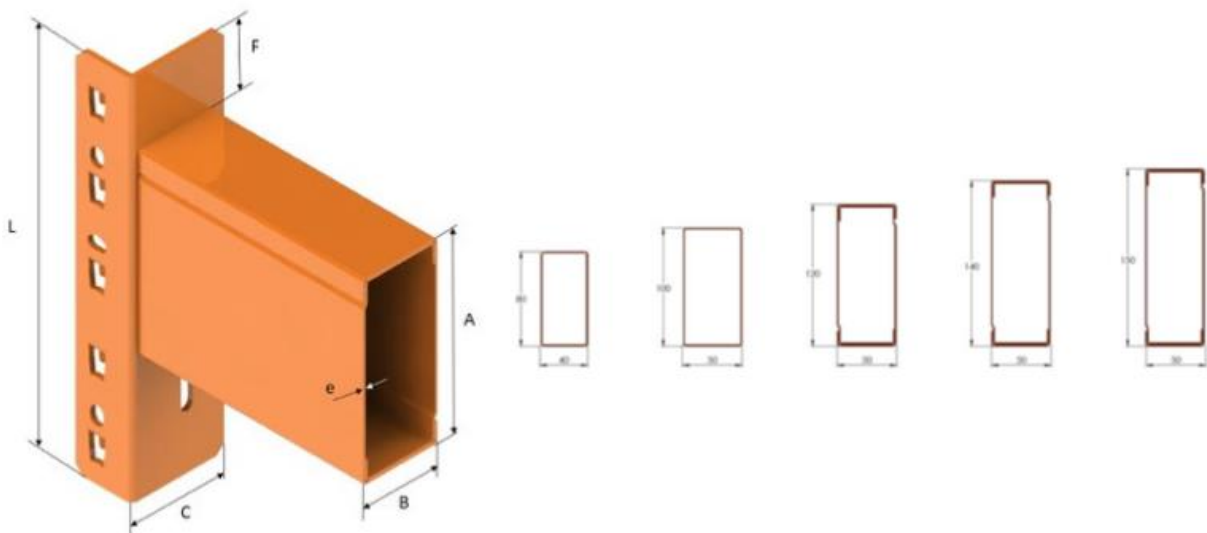


Ilustración 2.3. Cotas que definen los largueros.



GAMA DE LARGUEROS						
Denominación	DIMENSIONES (mm)			LONGITUD (mm)		
	Frente A	Fondo B	Espesor e			
APLT804015	80	40	1,5	1850	2250	2700
APLT1005015	100	50	1,5	1850	2250	2700
APLP1205015	120	50	1,5		2250	2700
APLP1405015	140	50	1,5		2250	2700 3300
APLP1405020	140	50	2,0		2250	2700 3300
APLP1505015	150	50	1,5		2250	2700 3300 3600
APLP1505020	150	50	2,0		2700	3300 3600

Tabla 2.2. Gama de largueros de APERSA.

3. DIAGONALES Y HORIZONTALES

Las horizontales y diagonales son elementos que se utilizan únicamente para arriostrar la estructura, tanto en los propios bastidores como en el techo o parte posterior de la estantería en caso de que fuesen necesarios para dotar al rack de una mayor estabilidad.

Estas horizontales y diagonales llevan un acabado pregalvanizado Z275 y su longitud es función del tipo de bastidor.

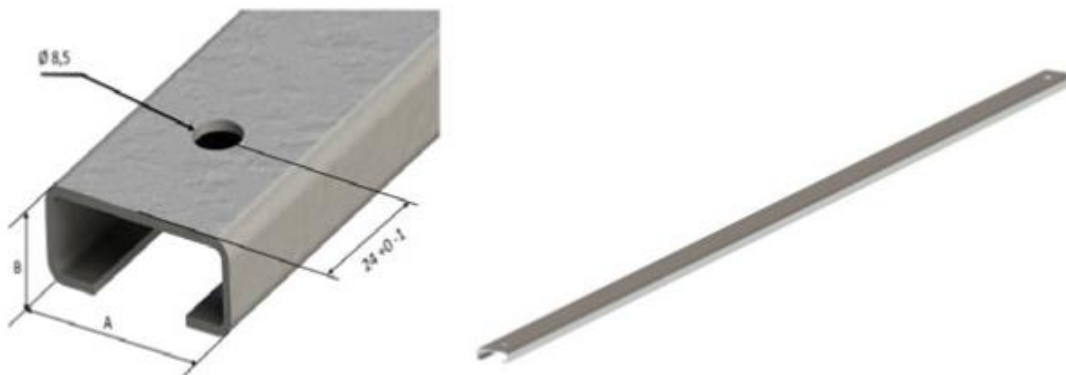


Ilustración 2.4. Horizontal/Diagonal de APERSA.

GAMA DE DIAGONALES Y HORIZONTALES			
Perfil	DIMENSIONES (mm)		
	Frente A	Fondo B	Espesor e
CZ36	36	14	1,5
CZ42	42	25	1,5

Tabla 2.3. Gama de horizontales/diagonales de APERSA.

La gama de accesorios de la empresa abarca los aspectos relacionados con la Seguridad del almacén. Las defensas del puntal, bastidor y malla anticaída permiten proteger la instalación y operarla con seguridad.

Existen diversas combinaciones de los componentes que se explicaron en este apartado, y todas ellas se enmarcan en los cinco grupos de estanterías que se explican a continuación:

2.2.1. Rack selectivo de paletización

Este tipo de racks es la solución de almacenaje idónea para carga paletizada general con acceso a todas las ubicaciones. Esta opción es configurable en función de los requerimientos del cliente a partir de piezas estándar. Está disponible para cargas medias y pesadas, combinando puntales, diagonales, largueros y arriostrados en función de cuáles sean las necesidades del interesado. Además, APERSA cuenta con una SMART APP en la que el cliente puede personalizar su sistema de Rack Paletizado.

Un ejemplo de Rack Selectivo de paletización sería el que se muestra a continuación. En él, pueden observarse los distintos componentes explicados hasta el momento.



Ilustración 2.5. Ejemplos de Rack selectivo con distintos arriostrados en el bastidor.

2.2.2. Sistema Drive-In / Drive-Through

En este tipo de sistemas, las paletas se almacenan en calles sin más espacio entre ellas que las tolerancias de posicionamiento. Las características de este son las siguientes:

- Óptimo aprovechamiento del espacio.
- Gestión de mercancía por calles y lotes.
- Gestión logística LIFO (Last-In-First-Out) con Sistema Drive-In.
- Gestión logística FIFO (First-In-First-Out) con Sistema Drive-Through.

Estos sistemas son la solución de almacenamiento compacto más popular. La diferencia entre ambos es que en el Sistema Drive-In la cara posterior del Rack está arriostrada o empotrada contra una pared, de forma que los pasillos sólo permiten la entrada por la cara principal de este.

En cambio, en el sistema Drive-Through, la cara posterior no tiene arriostramiento por lo que los operarios pueden introducir la carretilla elevadora para cargar o descargar pallets por la cara que más les interese. Además, los sistemas Drive-Through cuentan con pasillos de acceso a la carga.

A continuación, se muestran dos imágenes en las que se puede ver claramente la diferencia explicada entre los sistemas Drive-In y Drive-Through.

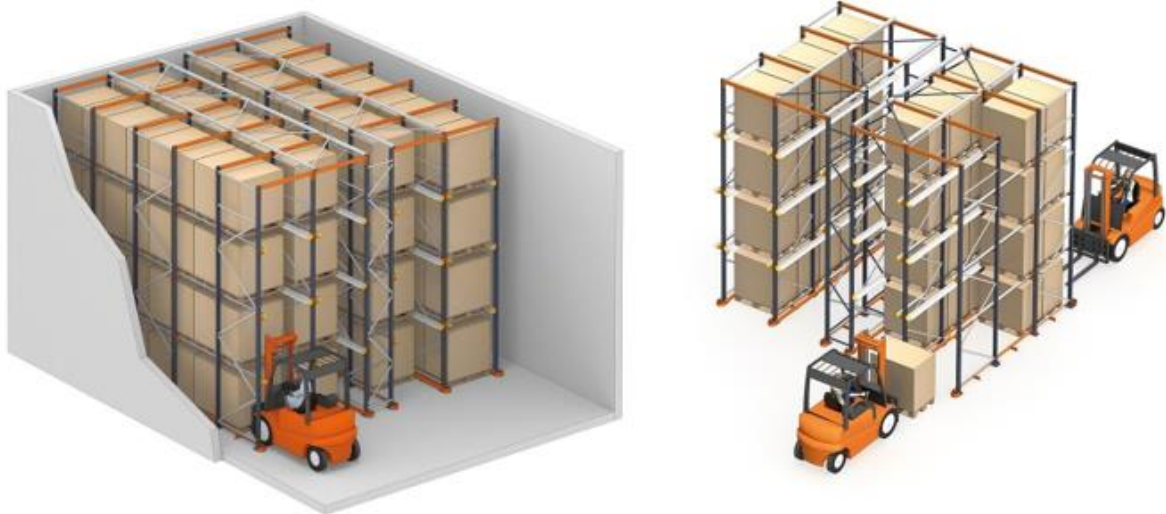


Ilustración 2.6. Sistemas Drive-In / Drive-Through.

Ambos sistemas se configuran con puntales de la serie AP100 (variando únicamente el fondo y el espesor de estos en función de las necesidades del cliente). APERSA estabiliza la estructura con un diseño optimizado del anclaje al suelo, celosía superior de arriostrado horizontal y torres de rigidización lateral cuando la estabilidad de la estructura lo requiere.

Además, al ser el sistema Drive-In sobre el que se va a realizar la Guía Técnica de diseño, se explican a continuación los componentes especiales que forman este tipo de sistemas (en combinación con los componentes comunes explicados en el apartado 2.2.1.).

1. GUÍAS CARRIL

Para facilitar el guiado de la carretilla, APERSA suministra con la instalación protecciones de puntal (pieza amarilla de la siguiente imagen) y guías carril (conjunto gris de la siguiente imagen) con la doble función de señalar y proteger la maniobra de colocación y retirada de la carga en el pasillo.

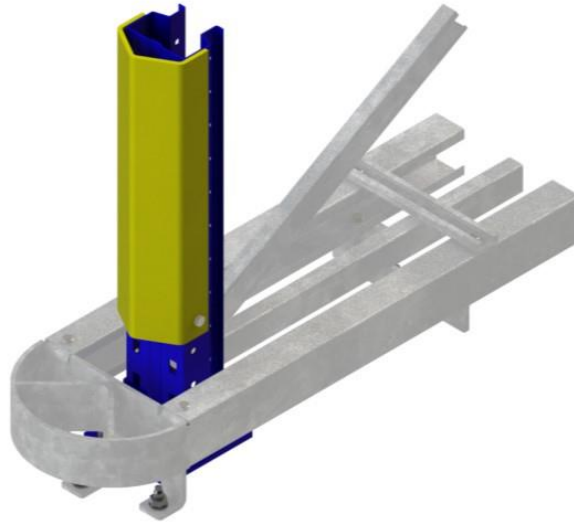


Ilustración 2.7. Guía carril de APERSA.

2. VIGA PALETA

A diferencia de las estanterías convencionales, en las que las paletas irían apoyadas directamente sobre los largueros, en el caso del sistema Drive-In, las paletas van sobre lo que llamamos Viga Paleta. La Viga Paleta de APERSA permite la modulación de los bastidores y distanciadores a paso de 50 mm con objeto de adecuar el diseño de cada instalación a los requerimientos operativos y a los resultantes del cálculo estructural. La siguiente imagen muestra la viga paleta de la empresa.



Ilustración 2.8. Viga Paleta de APERSA.

3. MÉNSULAS

APERSA dispone de ménsulas simples y dobles que pueden ser atornilladas directamente a los puntales o soldadas al conector de cinco enganches si se desea mejorar la rigidez de la unión. La ménsula que se muestra en la siguiente imagen es la pieza que es de color naranja.

Las dos piezas que aparecen con color amarillo se denominan encauzadores y son piezas que no son obligatorias por norma, pero si son recomendables de cara a guiar a los operarios a la hora de colocar la paleta y evitar golpes innecesarios.

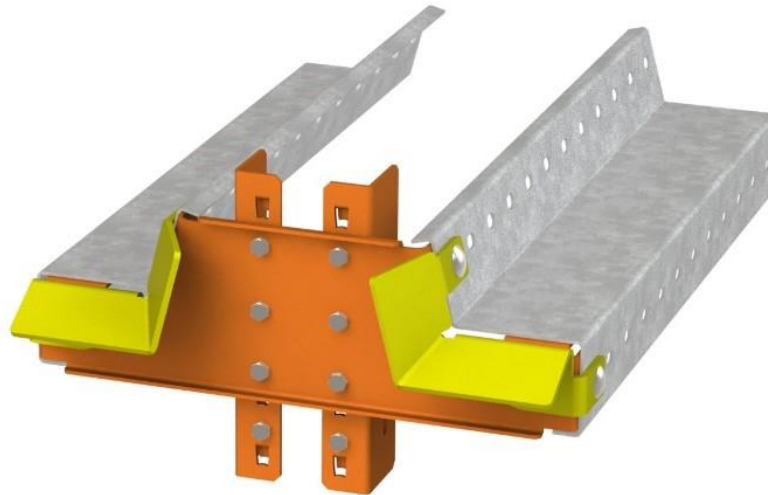


Ilustración 2.9. Ménsula doble de APERSA.

2.2.3. Almacén compacto con carro satélite

Es una adaptación del sistema Drive-In a la operación semi-automática con carro satélite sobre el pasillo. Tiene la ventaja de que si se dispone previamente de un Sistema Drive-In, APERSA está en disposición de adaptar la instalación al empleo de carro satélite. Las características que definen este sistema son:

- Óptimo aprovechamiento del espacio.
- Aumenta la seguridad en la operación del almacén, al no tener que introducirse los operarios dentro del rack para labores de carga y descarga. Esto supone minimizar el riesgo de colisión con la estructura.
- Mayor flujo horario de paletas.

Este sistema se considera una solución AS/RS (Automated Storage and Retrieval System) semi-automática, por lo que es el paso previo a la automatización del almacén. En la siguiente imagen se

muestra el carro satélite que se desplazaría a lo largo de los pasillos para depositar la carga en el lugar deseado.



Ilustración 2.10. Ejemplo de estantería con carro satélite de la empresa.

2.2.4. Sistema de paletización dinámica

Cuando la prioridad es maximizar el flujo horario de paletas por operador del almacén y/o el proceso requiere transportar la carga paletizada al mismo tiempo que almacenarla, el Sistema de Paletización dinámica es la solución idónea.

El movimiento de las paletas se consigue introduciéndole al rack una pequeña inclinación cercana al 4%. Los pallets se desplazan sobre unos rodillos giratorios y la estantería está dotada de unos topes que impiden o permiten el movimiento de las paletas sobre los mismos. Las características que definen este sistema son:

- Gestión logística FIFO y LIFO.
- Combinación de almacenamiento y transporte.
- Gestión de la mercancía por lotes, códigos de barras o RFID (Radio Frequency Identification).

Estos sistemas son especialmente recomendables para la operación de plataformas logísticas del sector alimentación y procesos que requieran almacenar y transportar las paletas al punto de entrega o área de expedición.

A continuación, se muestra una imagen del Rack descrito en la que pueden apreciarse los rodillos, así como los topes de frenado (en color amarillo y transversales al movimiento de las paletas).

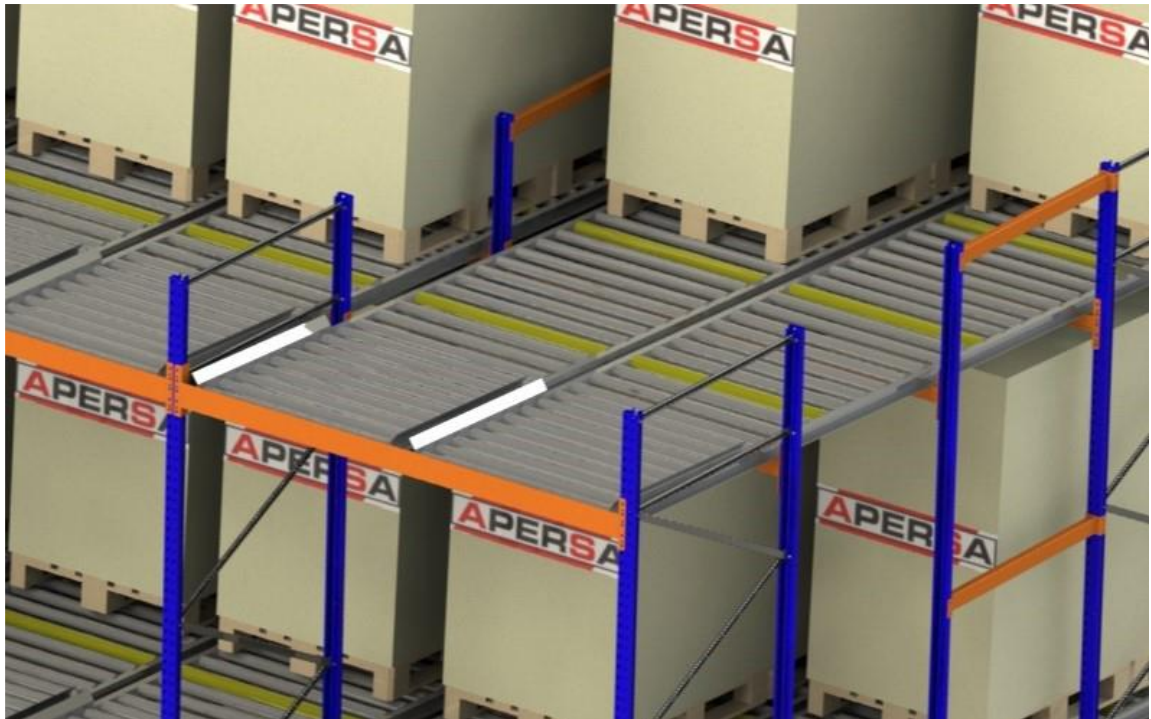


Ilustración 2.11. Sistema de paletización dinámica de APERSA.

2.2.5. Rack paletizado sobre bases móviles

Consiste en un rack selectivo de paletización montado sobre bases que se desplazan en la dirección del pasillo mediante actuadores electromagnéticos. Las características que definen este sistema son:

- Acceso a todas las ubicaciones.
- Eliminación de los pasillos de mantenimiento que permite un mejor aprovechamiento del volumen de almacenamiento disponible.
- Ralentiza la operación del almacén.

Cuando no se requiere un elevado flujo de paletas y se desea optimizar el uso del espacio disponible manteniendo el acceso a todas las ubicaciones sin necesidad de mover paletas para acceder a la unidad de carga deseada, el Sistema de Rack paletizado sobre bases móviles es una opción económica.

La empresa recomienda el empleo de alineaciones dobles para una mayor estabilidad de la carga durante el desplazamiento.

La Ilustración 2.12, que se muestra a continuación, simula un rack paletizado sobre bases móviles de APERSA.

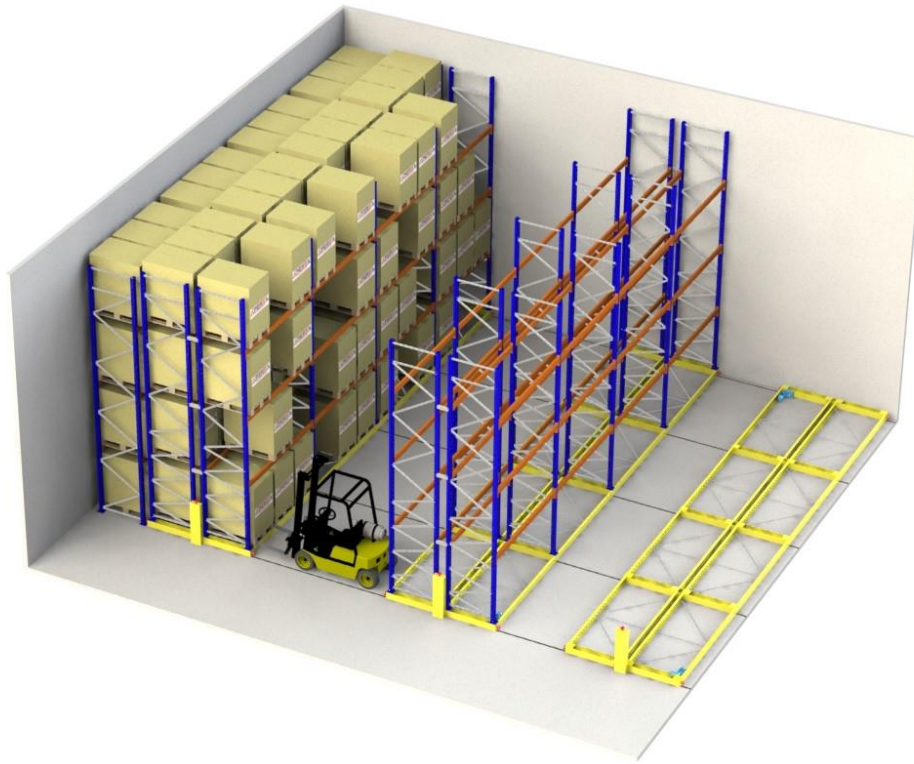


Ilustración 2.12. Ejemplo de rack paletizado sobre bases móviles de la empresa.



3. MEMORIA GENERAL ACERCA DEL SISTEMA DRIVE-IN

La información que figura en este capítulo está de acuerdo con lo que propone la FEM (European Racking Federation), concretamente en el documento FEM 10.2.07.

Los sistemas Drive In son un tipo específico de estructuras de acero que están insuficientemente cubiertos por las normas existentes en este campo, como puede ser el Eurocódigo 3 (EN 1993).

La industria europea del rack, en asociación con la “FEM Racking and Shelving Product Group” (European Racking Federation) tomó entonces la iniciativa financiando el desarrollo de una serie de procedimientos de diseño, que finalmente se convirtieron en normas para el diseño de sistemas de almacenamiento.

La FEM creó inicialmente una guía técnica de diseño, concretamente la FEM 10.2.02:2001, (“The design of steel static pallet racking”), que servía para el diseño de los sistemas más comunes de almacenaje de paletas en racks.

Esta guía técnica se convirtió más adelante en la norma que se utiliza hoy en día: Norma EN15512: 2010, “Almacenaje en estanterías metálicas – Estantería regulable para carga paletizada – Principios para el diseño estructural” para estanterías comunes.

Hasta hace relativamente poco no existían guías técnicas ni normas acerca del sistema Drive-In. La FEM 10.2.07 cubre no sólo el diseño estructural de los sistemas Drive-In, sino también trata adicionalmente aspectos importantes no estructurales como:

- Calidad, dimensiones y tolerancias de la paleta, que son aspectos incluso más importantes que en otros tipos de racks de almacenaje.
- Elección del equipo de manipulación apropiado para entrar y conducir de forma segura en los relativamente estrechos pasillos.

En este apartado se incluyen las características generales que han de ser tenidas en cuenta para el estudio del sistema Drive-In. Dichas características se obtienen combinando los requerimientos recogidos en la norma EN15512 con procedimientos recomendados en la FEM 10.2.07 para los aspectos en los que el sistema Drive-In difiere de las estanterías convencionales.

Esto incluye desde todos los requerimientos que se tienen que considerar a la hora de diseñar la estantería, hasta las combinaciones de carga más desfavorables (con sus correspondientes coeficientes de seguridad) que han de ser aplicadas para un correcto estudio de la estructura.

3.1. BASES DE DISEÑO

3.1.1. Arriostramiento vertical

Para sistemas Drive-In, la estabilidad en la dirección transversal a la calle de operación (si fuera necesario dotar a la estantería de una mayor estabilidad en esa dirección) se proporciona mediante un arriostramiento vertical que une los puntales de la parte posterior del rack como se observa en la siguiente imagen.

En cualquier caso, no debería ser necesario arriostrear la parte posterior de la estantería. Esto es debido a que la configuración del sistema Drive-In es exactamente igual que la del Drive-Through (sistema sin arriostrado vertical en el que las calles permiten la entrada de la carretilla tanto por la parte frontal como por la posterior del rack). Por lo tanto, si un sistema Drive-Through aguanta las combinaciones de carga de la norma, un sistema Drive-In sin arriostrear (igual que el sistema Drive-Through), debería aguantarlas también. Sólo sería necesario arriostrear el sistema Drive-In en caso de que el Sistema Drive-Through no aguantase las combinaciones de carga o si se pretendiese multiplicar la seguridad de la instalación.

Además, tanto los largueros que unen los puntales fijando el ancho de la calle, como el arriostrado horizontal (sistema de arriostrado del techo) aportan estabilidad a la estructura en la dirección transversal a la calle de operación.

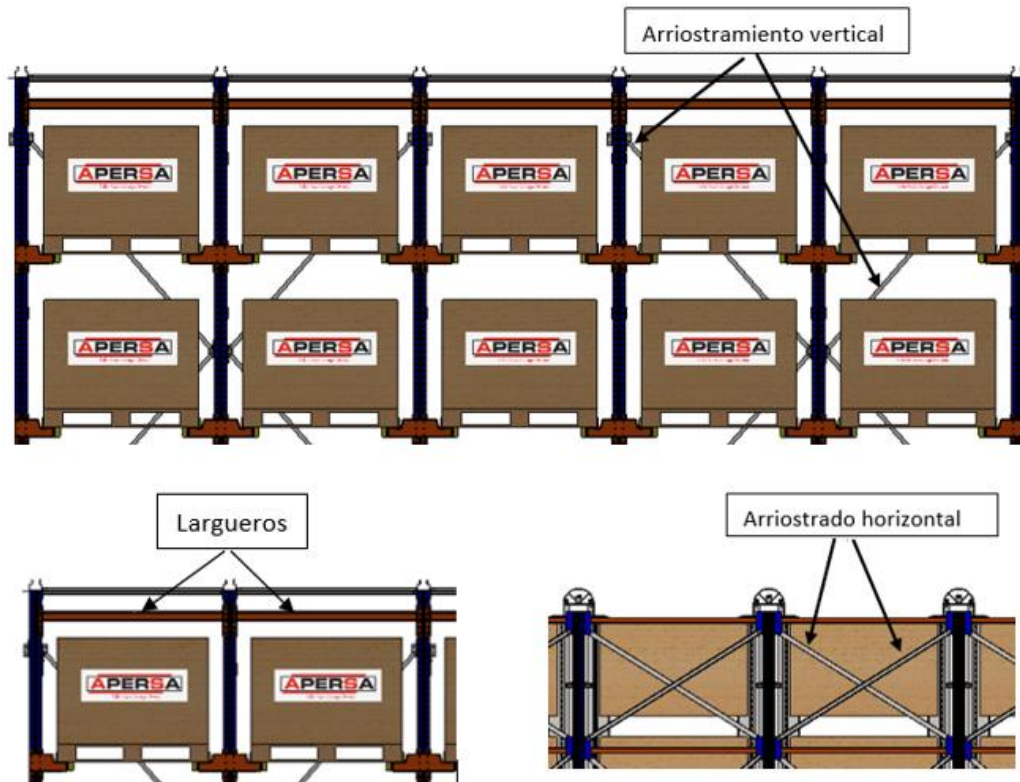


Ilustración 3.1. Sistemas que aportan estabilidad en la dirección transversal a la calle de operación.

3.1.2. Arriostramiento horizontal

Del mismo modo, también si fuera necesario, en la dirección longitudinal a la calle la estabilidad se proporciona arriostando la parte superior de la estantería mediante cruces de San Andrés como muestra la siguiente imagen.

Por otro lado, el sistema de arriostado que une las parejas de puntales que forman cada bastidor le proporciona también estabilidad a la estructura en la dirección longitudinal a la calle de operación.

Además, al ser la viga paleta (sobre la que van apoyadas las paletas) un único elemento que une todos los puntales de la calle, estabiliza también la estructura en esta dirección.

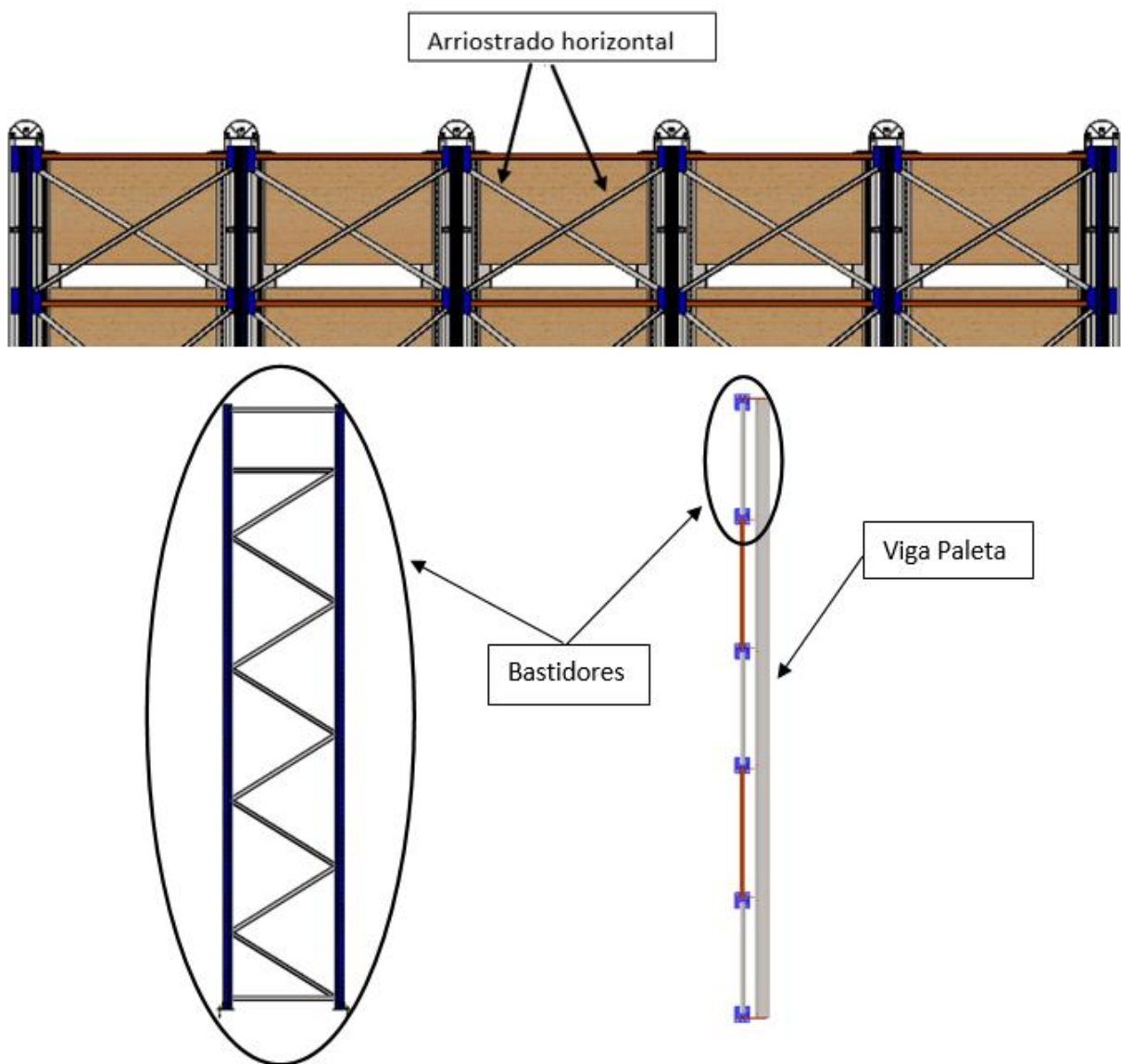


Ilustración 3.2. Sistemas que aportan estabilidad en la dirección longitudinal a la calle de operación.



3.1.3. Métodos de cálculo

El diseño de la estructura o de alguna de sus partes debe llevarse a cabo mediante uno de los distintos métodos que se recogen en la norma EN 15512:2010, incluidos los anexos.

En todos los casos, los detalles de los componentes y uniones deben ser de tal forma que se tengan en cuenta las hipótesis consideradas en el cálculo sin afectar negativamente a ninguna otra parte de la estructura.

3.1.3.1. Estado límite último

Es necesario calcular el estado límite último (USL, del inglés Ultimate Limit State) que corresponde a la máxima capacidad de carga y se caracteriza por:

- resistencia (incluyendo plastificación, rotura, pandeo y transformación en un mecanismo).
- estabilidad frente a vuelco y desplazamiento lateral.
- deformación local excesiva.
- Rotura por fatiga.

NOTA: Este documento no contiene aclaraciones a la fatiga. Se asume que las estanterías comunes no se encuentran sometidas a fatiga, por lo que este documento no debería ser empleado en el diseño de instalaciones que vayan a estar sometidas a altos ciclos de carga.

El cálculo del estado límite último se ha de realizar siguiendo las siguientes reglas, adoptando el mayor valor:

- I) Considerando sólo la acción variable más desfavorable.

$$\Sigma \gamma_G G_k + \gamma_Q Q_{k,1}$$

- II) Considerando todas las acciones variables desfavorables que puedan ocurrir simultáneamente

$$\Sigma \gamma_G G_k + 0,9 \sum_{i=2} \gamma_Q Q_{k,i}$$

- III) Valor de cálculo para una carga accidental

$$\Sigma \gamma_{GA} G_k + \sum_{i=2} \gamma_{QA} Q_{k,i} + \gamma_A A_k$$

donde G_k es el valor característico de la acción permanente (peso propio)
 $Q_{k,l}$ es el valor característico de una de las cargas variables
 $Q_{k,i}$ es el valor característico de una carga variable individual
 A_k es el valor característico de una carga accidental
 γ_G es el coeficiente parcial de seguridad para cargas permanentes
 γ_Q es el coeficiente parcial de seguridad para cargas variables
 γ_A es el coeficiente parcial de seguridad para cargas accidentales



3.1.3.2. Estado límite de servicio

La verificación del estado límite de servicio (SLS, del inglés Serviceability Limit State) asegura el comportamiento adecuado de los elementos bajo las condiciones de servicio.

Para realizar el cálculo del estado límite de servicio, deben utilizarse los coeficientes φ_0 , de acuerdo con lo especificado en la Norma EN 1993. Además, deben usarse las reglas de combinación simplificadas dadas en siguientes ecuaciones y considerando la que dé mayor valor:

- I) Considerando sólo la acción variable más desfavorable

$$\Sigma \gamma_G G_k + \gamma_Q Q_{k,1}$$

- II) Considerando todas las acciones variables

$$\Sigma \gamma_G G_k + 0,9 \gamma_Q \sum_{i \geq 1} Q_{k,i}$$

Donde la notación es la descrita en el anterior apartado.

En el caso del estado límite de servicio, no es necesario considerar las cargas de posicionamiento. En lo que respecta al peso de las unidades de carga, éste puede variar hasta un máximo que se utilice en el diseño.

Debería pues especificarse un valor máximo de diseño para la unidad de carga que no será en ningún caso sobrepasado, de acuerdo con lo establecido en la EN 15629. Esto puede resultar en la especificación de pesos de cálculo conservadores justificando así un coeficiente de combinación de 0,9 para cargas combinadas.

Excepto en condiciones inusuales, generalmente la combinación de las acciones debidas a las unidades de carga junto con las originadas por las imperfecciones globales constituye la acción de mayor efecto.

3.2. ACCIONES Y COMBINACIONES DE ACCIONES

Todas las acciones que se listan a continuación deben ser consideradas para el cálculo de la estructura, bien sea de forma individual o combinada. Estas acciones se clasifican en tres grupos: permanentes, variables y accidentales (debidas a impacto):

3.2.1. Acciones permanentes

Las acciones permanentes deben considerar el peso de toda la instalación, incluyendo paredes, suelo, tejados, escaleras y equipos de servicios fijados a la estructura. Los pesos reales de los materiales y de la instalación deben utilizarse para estimar las cargas muertas a efectos de cálculo.

Para tener en cuenta estos pesos, al diseñar cada pieza se le aplica el material correspondiente como puede verse en la Ilustración 3.3, para el caso de una ménsula en el SolidWorks. El material se les asigna a las piezas en todos los softwares utilizados en el TFM.

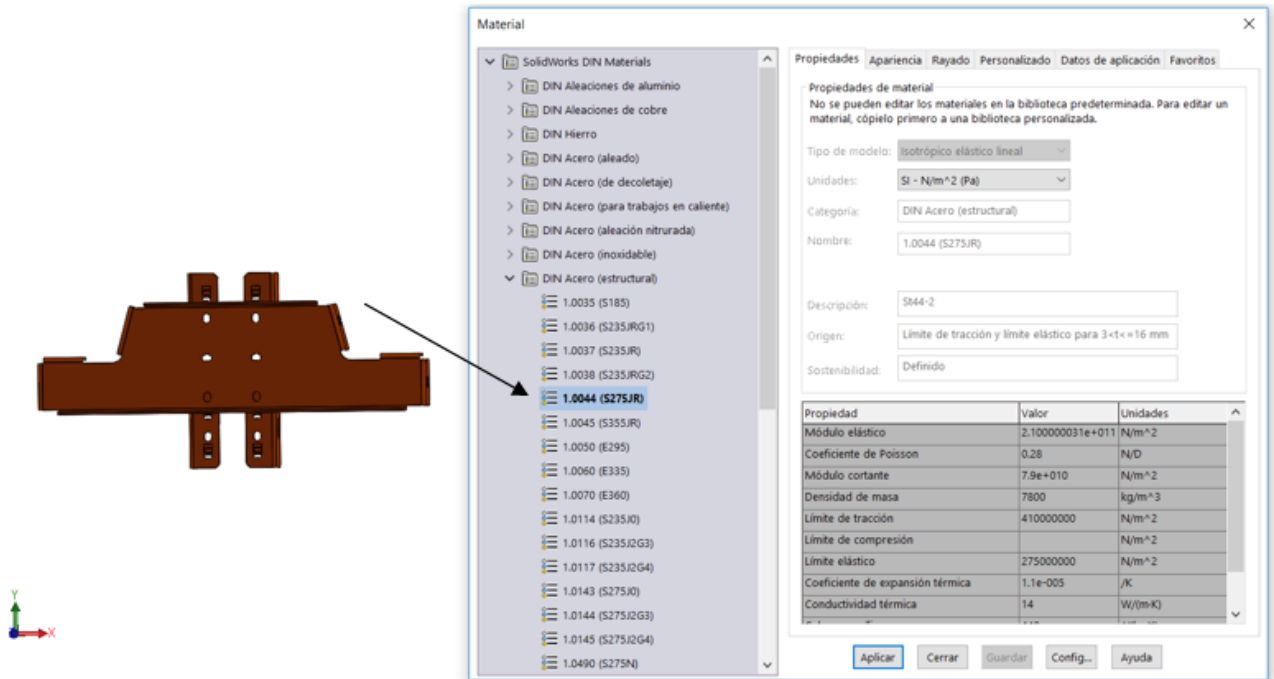


Ilustración 3.3. Ejemplo de introducción del peso a una ménsula en el software SolidWorks.

Además, debe considerarse también el peso de los equipos de servicio (como rociadores, alimentadores eléctricos o equipos de calefacción) siempre y cuando dichos equipos sean soportados por los componentes de la estantería.

3.2.2. Acciones variables

Han de tenerse en cuenta, en caso de existir, las siguientes:

- a) Unidades de carga: de acuerdo con los requerimientos de la EN 15629 para mercancías paletizadas, los datos a facilitar en la especificación deben incluir:
 - I. Peso máximo de las mercancías en una paleta
 - II. Tipo y calidad de la paleta, tolerancias de esta (dimensiones mínimas reales de la paleta) así como direcciones de entrada.
 - III. Medida máxima de la unidad de carga considerando vuelos, abombamientos y/o desplomes de las mercancías y altura de la paleta cargada.

En la siguiente imagen se muestran dos ejemplos de cargas paletizadas que afectarían a las holguras de diseño. En la Ilustración 3.4 (a), una carga abombada y en la Ilustración 3.4 (b), una carga con vuelo. Las

dimensiones de la paleta y las características de su carga forman la base para el diseño de la estantería, luego una buena especificación es crucial de cara a permitir que el sistema funcione de modo seguro.



Ilustración 3.4. Carga abombada (a), y carga con vuelo (b).

En lo que respecta al análisis global, el diseñador debe suponer que tanto la distribución de carga en cualquier calle, como la distribución en el volumen del bloque es uniforme a menos que una distribución de carga alternativa sea definida por el usuario final.

- b) Excentricidades de la carga: En caso de que la naturaleza de la carga sea tal que su centro de gravedad no coincida con el centro de gravedad de la paleta (situación ilustrada en la siguiente imagen), esta situación debería tenerse en cuenta en el análisis de acuerdo con la EN 15629.



Ilustración 3.5. Excentricidad entre los centroides de la paleta y el bulto.

- c) Cargas verticales de posicionamiento: Las cargas verticales de posicionamiento que surgen en el depósito o retirada de los bienes almacenados están cubiertas por el factor de seguridad parcial de la unidad de carga. Es por ello, que no es necesario tenerlas en cuenta.
- d) Cargas horizontales de posicionamiento: La carga mínima debida al posicionamiento horizontal, Q_{ph} , ha de ser igual a 0.5 kN (acción variable). Esta carga debe ser aplicada en la dirección transversal y en el nivel más cercano a la mitad de la altura del puntal. En el caso del Drive-In que se muestra en la siguiente imagen, esta altura correspondería con la del segundo nivel (sin contar el suelo).

Además, la carga debe ser considerada en un único puntal, olvidando cualquier tipo de distribución potencial por parte de la viga carril. El efecto de la carga de posicionamiento debe considerarse superponiendo esta carga a los resultados del caso más desfavorable de combinaciones de carga obtenido en el análisis global.

La carga horizontal en la dirección longitudinal puede despreciarse ya que será distribuida entre un cierto número de bastidores.

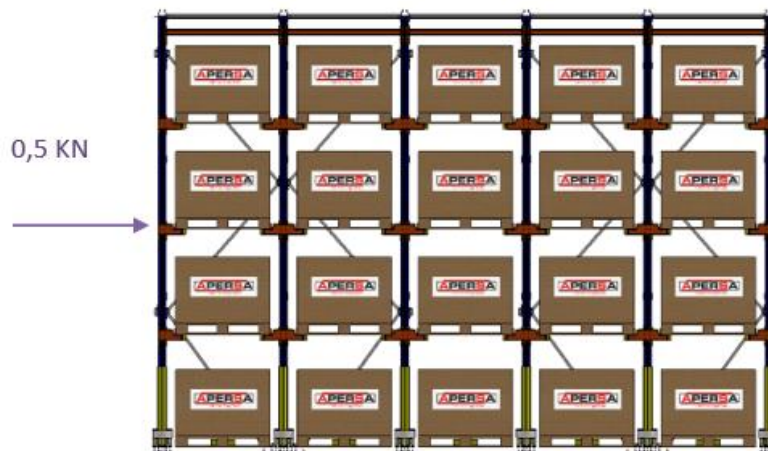


Ilustración 3.6. Punto de aplicación de la carga horizontal de posicionamiento, Q_{ph}

- e) Acciones debidas a imperfecciones (bastidores, arriostrado, componentes, cargas...)
- f) Cargas de viento, nieve y acciones sísmicas: Cuando se requiera, deben determinarse las cargas de viento, nieve y debidas a acciones sísmicas de acuerdo con las correspondientes reglamentaciones nacionales.
- g) Cualquier otra acción debida a equipos fijados a la estructura.

3.2.3. Acciones debidas a impacto (accidentales)

3.2.3.1. Generalidades

Las cargas originadas bajo condiciones de impacto deben sumarse a las explicadas anteriormente. Los modos de uso y fuerzas que impliquen vibraciones inusuales o fuerzas dinámicas deben ser previstos en el diseño estructural.

Para ello, se deben evitar los daños por impacto producidos por los equipos de manutención contra los puntales, mediante una formación adecuada de los operarios y estableciendo las medidas de seguridad en cada caso.

Los requisitos mínimos de cara a proteger los puntales de esquina de una instalación son los siguientes:

- Colocación de un protector de puntal de una altura mínima de 400 mm de todos los puntales extremos que den a pasillos transversales.
- Colocación de protectores de puntal en todos aquellos puntales situados en la intersección de pasillos y pasos transversales.
- El protector de puntal debe diseñarse para absorber una energía de, al menos, 400 Nm en cualquier dirección y a una altura entre 100 y 400 mm.
- La protección del puntal debe colocarse de tal forma que, una vez deformado por absorción de la carga de impacto, el puntal no resulte dañado.
- Estas protecciones pueden definirse o bien de forma teórica o bien mediante ensayos. Estos ensayos deben basarse en una masa lanzada sobre la protección que simule el requisito de la absorción de la energía de 400 Nm.

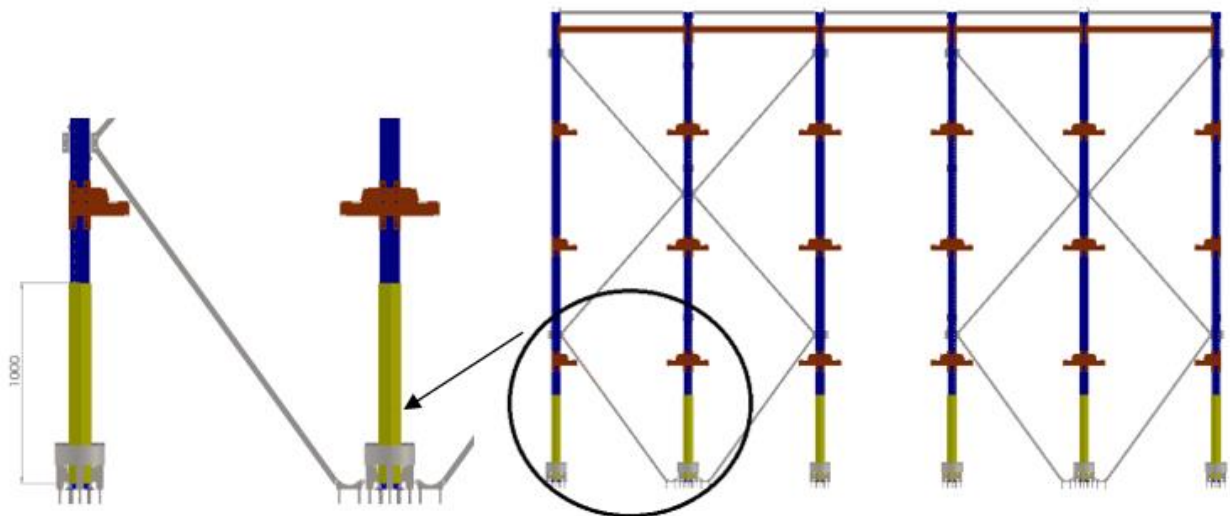


Ilustración 3.7. Protector de puntal utilizado por APERSA (pieza amarilla).



Las cargas accidentales deben ser tenidas en cuenta, pero no al mismo tiempo que las cargas horizontales de posicionamiento. Las cargas accidentales tratan de reflejar impactos menores en áreas restringidas.

La carga horizontal accidental A_{ph} debe ser aplicada a una altura de 400 mm sobre el suelo. La carga puede aparecer en los dos primeros puntales situados en la dirección longitudinal de la calle, pero solo debe ser aplicada a un puntal cada vez. El valor de estas cargas sería:

- $A_{ph,d-l} = 2.5$ kN en la dirección longitudinal a la calle.
- $A_{ph,c-l} = 1.25$ kN en la dirección transversal a la calle.

Estas cargas deben ser tratadas como si ocurriesen de forma separada.

En las siguientes imágenes se muestra cómo se aplicarían estas cargas en el primer puntal situado en la dirección longitudinal a la calle. Las imágenes son capturas realizadas al software RSTAB, con el que posteriormente se realizarán los pertinentes cálculos estructurales.

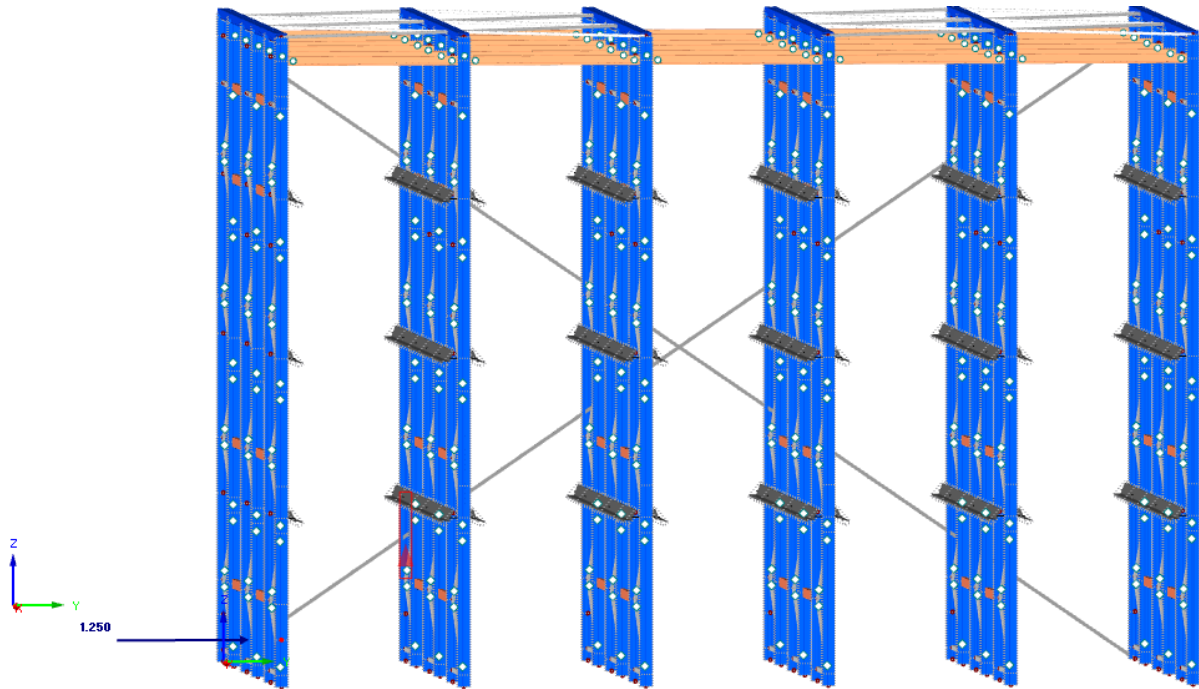


Ilustración 3.8. Carga horizontal accidental en la dirección transversal a la calle (A_{ph-cl})

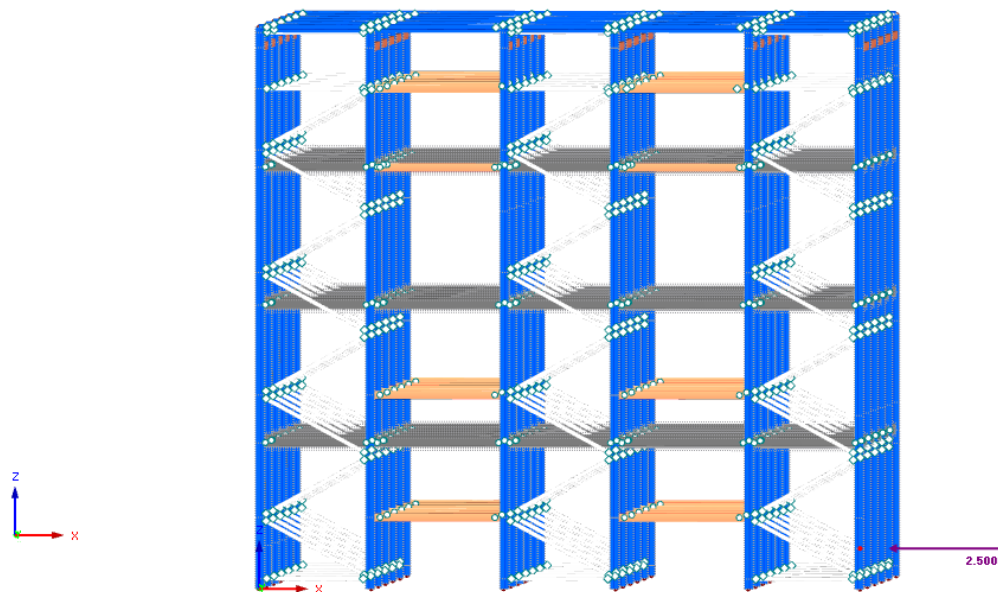


Ilustración 3.9. Carga horizontal accidental en la dirección longitudinal a la calle (A_{ph-d})

3.2.3.2. Topes traseros

Como requerimiento mínimo, se debe proporcionar a la instalación un tope trasero amortiguador que evite el impacto de la paleta con el arriostramiento vertical. Este tope debe ser posicionado con una holgura de al menos 100 mm entre la unidad de carga y el arriostramiento vertical como puede comprobarse en la Ilustración 3.10.

Si se cumple esta disposición, no es necesario colocar topes traseros sobre las vigas paleta del rack. En cualquier caso, a partir de un análisis de riesgos que debe ser realizado por el Manager de Seguridad del almacén, estos topes pueden ser utilizados de cara a proteger el arriostramiento vertical. La distancia mínima entre los topes opcionales y la unidad de carga ha de ser de 50 mm (situación también expuesta en la Ilustración 3.10.).

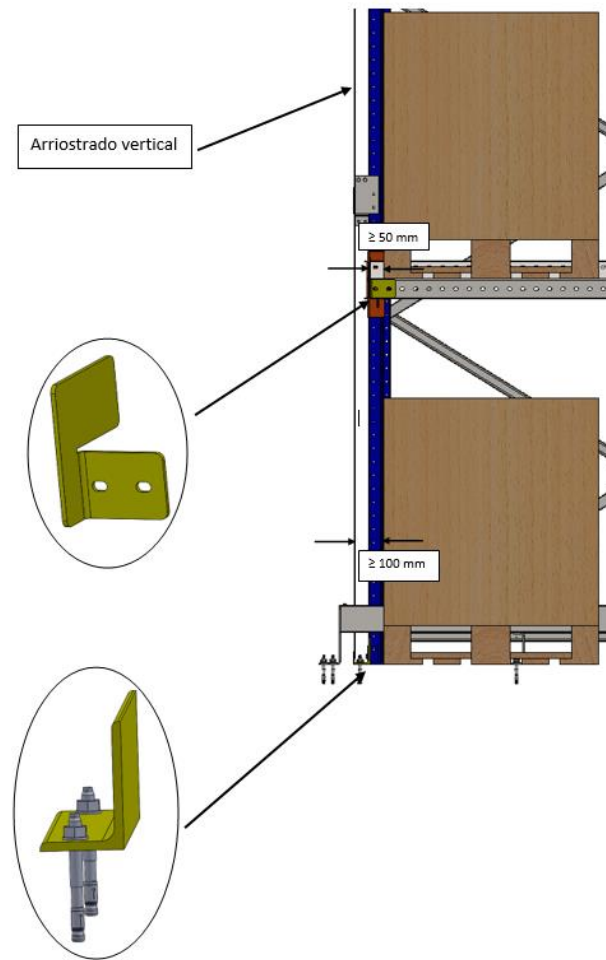


Ilustración 3.10. Disposición de los topes traseros.

En el diseño del tope trasero ha de considerarse una fuerza horizontal Q_{ph} cuyo valor no sea menor a $0,25Q_u$, siendo Q_u el peso de la paleta incluyendo los ítems almacenados.

En caso de que los métodos operacionales (velocidad de trabajo, tipo de carretilla, habilidades del conductor...) sean tales que esta fuerza sea excedida, una fuerza mayor debería ser especificada para el diseño por el usuario final.

3.2.4. Acciones originadas por el montaje

Cuando el procedimiento de montaje establezca el uso de arneses de seguridad, deben definirse puntos de anclaje que eviten cualquier caída accidental. Estos puntos de anclaje deberían colocarse, por ejemplo, en las paredes del almacén y en ningún caso sobre uno de los elementos que componen la estantería.

En el indeseado caso de que se produjese una caída accidental, podrían producirse deformaciones residuales en algún componente.



3.2.5. Combinaciones de carga

Las combinaciones de carga que figuran en la siguiente tabla deberían ser consideradas en el diseño del rack (considerando, como puede observarse en la Tabla 3.1, que las imperfecciones y las cargas de posicionamiento pueden darse tanto en la dirección longitudinal como en la transversal a la calle).

Las cargas accidentales no es obligatorio considerarlas en combinación con casos de carga para los cuales la estantería está parcialmente cargada (están únicamente presentes en las combinaciones de carga 9-12, que son todas con la estantería completamente cargada).

En caso de existir alguna acción particular adicional (como acciones sísmicas, cargas de nieve o viento...) deberían ser consideradas más combinaciones de carga.

Nº	Combinación			
1	G	Q_{full}	Imp_{d-l}	
2	G	Q_{pat}	Imp_{d-l}	
3	G	Q_{full}	Imp_{c-l}	
4	G	Q_{pat}	Imp_{c-l}	
5	G	Q_{full}	Imp_{d-l}	$F_{ph,c-l}$
6	G	Q_{pat}	Imp_{d-l}	$F_{ph,c-l}$
7	G	Q_{full}	Imp_{c-l}	$F_{ph,c-l}$
8	G	Q_{pat}	Imp_{c-l}	$F_{ph,c-l}$
9	G	Q_{full}	Imp_{d-l}	$A_{ph,d-l}$
10	G	Q_{full}	Imp_{d-l}	$A_{ph,c-l}$
11	G	Q_{full}	Imp_{c-l}	$A_{ph,d-l}$
12	G	Q_{full}	Imp_{c-l}	$A_{ph,c-l}$

Tabla 3.1. Combinaciones de carga más desfavorables (recomendadas en el apartado 6.7 de la FEM 10.2.01)

donde G	Peso propio de la estructura
Q_{full}	Unidades de carga (estantería completamente cargada)
Q_{pat}	Unidades de carga (estantería parcialmente cargada)
Imp_{d-l}	Influencia de las imperfecciones globales en la dirección longitudinal a la calle
Imp_{c-l}	Influencia de las imperfecciones globales en la dirección transversal a la calle
$F_{ph,c-l}$	Carga de posicionamiento en la dirección transversal a la calle
$A_{ph,d-l}$	Carga accidental en la dirección longitudinal a la calle
$A_{ph,c-l}$	Carga accidental en la dirección transversal a la calle



3.3. COEFICIENTES PARCIALES DE SEGURIDAD

Los coeficientes parciales de seguridad γ_f a utilizar son los que se muestran en la siguiente tabla. Estos coeficientes están de acuerdo con el apartado 7.4. “Coeficientes parciales de seguridad” de la norma EN 15512.

En caso de estar realizando un pedido para un cliente extranjero, las reglamentaciones nacionales pueden requerir diferentes coeficientes.

Acciones	Estado límite último (ELU)	Estado límite de servicio (ELS)
Cargas permanentes γ_G		
- con efecto favorable	1,3	1,0
- con efecto desfavorable	1,0	1,0
Cargas variables γ_Q		
- unidades de carga	1,4	1,0
- unidades de carga en instalaciones operadas con transelevadores	1,4	1,0
- cargas de posicionamiento	1,4	1,0
- otras cargas variables	1,5	1,0
Cargas accidentales		
γ_A	1,0	
γ_{GA}	1,0	
γ_{QA}	1,0	

Tabla 3.2. Coeficientes parciales de seguridad según la norma EN15512.

3.4. ACERO

3.4.1. Generalidades

3.4.1.1. Consideraciones preliminares

Los valores nominales de las características del material que aparecerán en este apartado son los que deben adoptarse como valores característicos en los cálculos de diseño relativos a la fabricación de los componentes de las estanterías. Los aceros que se utilicen deben ser adecuados para el conformado en frío, la soldadura y el galvanizado, al ser estos procesos comunes en la fabricación de racks de almacenaje.

Los aceros que se muestran en la siguiente tabla tienen unas propiedades y composición química que son conformes con las normas EN 1993-1-1:2005 y EN 1993-1-3:2006, por lo que pueden ser utilizados.



Norma y tipo de acero	Espesor nominal del elemento t (mm)			
	t ≤ 40 mm		40 mm ≤ t ≤ 80 mm	
	fy (N/mm ²)	fu (N/mm ²)	fy (N/mm ²)	fu (N/mm ²)
EN 10025-2				
S 235	235	360	215	360
S 275	275	430	255	410
S 355	355	490	335	470
S 450	440	550	410	550
EN 10025-3				
S 275 N/NL	275	390	255	370
S 355 N/NL	355	490	335	470
S 420 N/NL	420	520	390	520
S 460 N/NL	460	540	430	540
EN 10025-4				
S 275 M/ML	275	370	255	360
S 355 M/ML	355	470	335	450
S 420 M/ML	420	520	390	500
S 460 M/ML	460	540	430	530
EN 10025-5				
S 235 W	235	360	215	340
S 355 W	355	490	335	490
EN 10025-6				
S 460 Q/QL/QL1	460	570	440	550
EN 10210-1				
S 275 H	275	430	255	410
S 355 H	355	510	335	490
S 275 NH/NLH	275	390	255	370
S 355 NH/NLH	355	490	335	470
S 420 NH/NLH	420	540	390	520
S 460 NH/NLH	460	560	430	550
EN 10219-1				
S 275 H	275	430		
S 355 H	355	510		
S 275 NH/NLH	275	370		
S 355 NH/NLH	355	470		
S 275 MH/MLH	275	360		
S 355 MH/MLH	355	470		
S 420 MH/MLH	420	500		
S 460 MH/MLH	460	530		

Tabla 3.3. Características mínimas que ha de tener un acero en función del espesor de la chapa (según el Eurocódigo)



Podrían utilizarse aceros distintos a los que figuran en la tabla anterior si:

1. Sus propiedades y composición química son al menos equivalentes a las de los aceros que son listados en la tabla.
2. El acero es para conformación en frío.
3. La relación entre el valor característico del límite de rotura y el valor característico del límite elástico satisface $f_u/f_y \geq 1,05$, donde f_y, f_u son respectivamente, el valor característico del límite elástico y el valor característico del límite de rotura del material base.

Los aceros utilizados por APERSA son los que se muestran en la siguiente tabla. Las propiedades que se indican sobre los mismos fueron sacadas de la tabla 7 de la norma UNE-EN 10025-2:2006.

Norma y tipo de acero	Espesor nominal del elemento t (mm)			
	t ≤ 16 mm		0 mm < t ≤ 100 mm	
	f _y (N/mm ²)	f _u (N/mm ²)	f _y (N/mm ²)	f _u (N/mm ²)
EN 10025-2				
S235JR	235	360	215	360
S275JR	275	430	255	410
S355JR	355	490	335	470

Tabla 3.4. Características de los aceros utilizados por APERSA

Todas las piezas que fabrica APERSA tienen espesores inferiores a 16, por lo que con mostrar las propiedades del acero para esos espesores es suficiente. Además, como puede comprobarse si se realiza una comparación entre esta tabla y la anterior, las propiedades de los aceros empleados son, al menos equivalentes que las que exige la norma.

3.4.1.2. Propiedades mecánicas generales

El cálculo debe utilizar las propiedades mecánicas del acero que se recogen en la siguiente Tabla:

Módulo de elasticidad	E=210 000 N/mm ²
Módulo de elasticidad transversal	G=E/[2(1+ν)] N/mm ²
Coefficiente de Poisson	ν=0,3
Coefficiente de dilatación térmica lineal	α= 12 x 10 ⁻⁶ por °C
Densidad	ρ = 7 850 kg/m ³

Tabla 3.5. Propiedades mecánicas del acero

3.4.1.3. Tenacidad a la fractura

De acuerdo con el apartado 8.4. de la norma EN15512, la fractura frágil de un material de espesor inferior a 6 mm no tiene que considerarse para temperaturas hasta -35°C.



3.4.2. Tolerancias dimensionales

3.4.2.1. Generalidades

Los límites de las tolerancias para secciones y componentes que se muestran en este apartado están de acuerdo con lo establecido en la Norma EN 10162.

Las tolerancias dimensionales y de peso de secciones perfiladas, de secciones estructurales huecas y de planchas deben cumplir con la normativa estándar del producto a menos que se especifiquen tolerancias más estrictas.

Para el cálculo y análisis estructural deben utilizarse los valores nominales de las medidas.

3.4.2.2. Espesor del material

Las reglas de cálculo dadas en esta guía técnica se refieren al espesor base t_c eliminando recubrimientos, a no ser que se especifique lo contrario:

$$0,5 \leq t_c \leq 8 \text{ mm}$$

No queda excluido el empleo del acero más delgado siempre y cuando la capacidad de carga sea determinada mediante ensayos adecuados. Si se emplean componentes con mayores espesores, deben ser diseñados de acuerdo con la Norma EN 1993-1-1. La formulación para el diseño de las placas base puede utilizarse para espesores de material superior a 8 mm.

3.4.2.3. Anchura y profundidad de secciones conformadas en frío

La anchura y profundidad de los elementos planos de una sección deben cumplir con lo especificado en las siguientes tablas:

Espesor t	$b_0 \leq 40$	$40 < b_0 \leq 80$	$80 < b_0 \leq 120$
$t < 3,0$	$\pm 1,20$	$\pm 1,50$	$\pm 1,50$
$3,0 \leq t < 5,0$	$\pm 1,50$	$\pm 1,50$	$\pm 2,00$
$5,0 \leq t \leq 8,0$	$\pm 2,00$	$\pm 2,00$	$\pm 2,00$

Tabla 3.6. Tolerancias (expresadas en mm) en la anchura b_0 de elementos planos

3.4.2.4. Rectitud de componentes

La desviación máxima inicial de un componente de la línea perfectamente recta debe ser inferior a 1/400 de la longitud entre sus dos extremos.

3.4.2.5. Giro (revirado)

El giro inicial de un componente debe ser, en su punto medio, inferior a 1° por metro para las secciones simétricas y de 1,5 ° por metro para las secciones asimétricas.

3.4.3. Excentricidad en el arriostrado de los bastidores

Si las excentricidades entre las líneas del sistema sobrepasan los límites especificados más abajo, deben incluirse en el análisis global, y los momentos secundarios resultantes deben considerarse en el cálculo del componente.

Los efectos de la excentricidad en el arriostramiento pueden desprejarse si se cumple la siguiente condición:

- La excentricidad “g1” no es superior a 1,5 veces la profundidad del puntal.

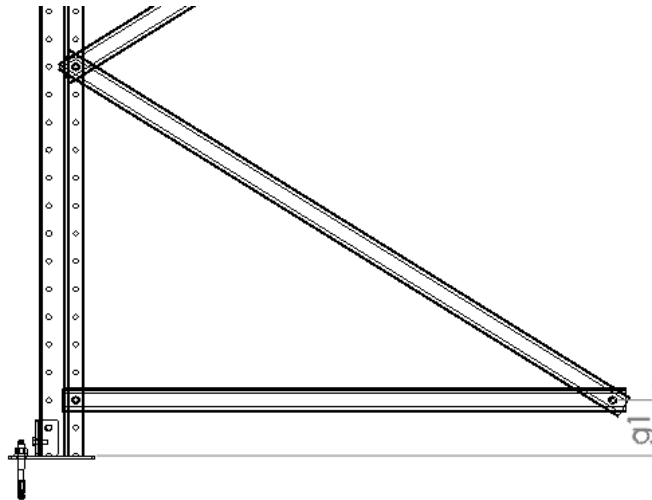


Ilustración 3.11. Cota "g1" en los bastidores de APERSA

En el ejemplo mostrado en la Ilustración 3.11, el valor de “g1” es 100 mm. Esta cota es siempre igual en los bastidores de APERSA.

En lo que respecta a la profundidad del puntal, la menor medida que utiliza APERSA para configurar sistemas Drive-In es de 81 mm.

Por lo tanto, al ser $g1 < 1,5 \cdot d_u$ (siendo d_u la profundidad del puntal, 81 mm para el caso más desfavorable), APERSA cumple la condición para obviar las excentricidades en el arriostrado de bastidores y puede despreocuparse de incluirlas en el cálculo de la estructura

3.4.4. Excentricidad entre puntales y largueros

El eje centroide del larguero puede no coincidir con el eje centroide del puntal. Esto origina una excentricidad “e” en dirección longitudinal a la calle de operación, como puede apreciarse en la Ilustración 3.12.

De acuerdo con lo establecido en la Norma EN 15512:2009, la excentricidad “e” de la Ilustración 3.12 puede ser despreciada cuando es inferior a $0,25 d_u$.

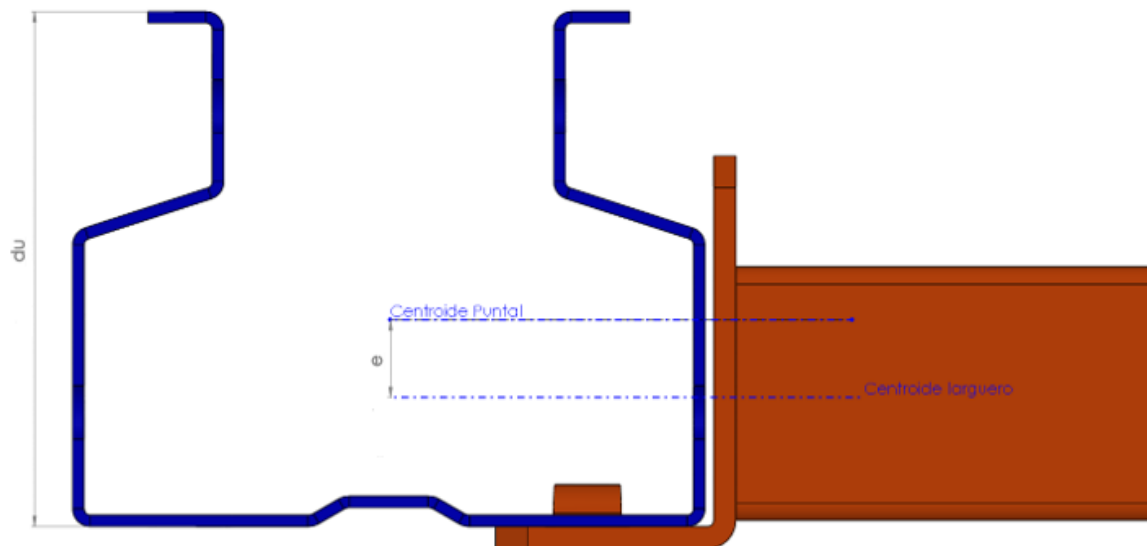


Ilustración 3.12. Representación gráfica de las cotas “e” y “ d_u ” a las que se hace referencia en este apartado

Como puede intuirse a simple vista en la anterior imagen, la cota “e” es inferior a $0,25 \cdot d_u$.

Los largueros que utiliza APERSA fueron en su día calculados de forma que todas las combinaciones puntal-larguero posibles cumplieren esta condición del apartado 8.7 de la norma EN15512. Por ello, la empresa puede también despreocuparse de considerar estas excentricidades en el cálculo de la estructura.

3.4.5. Requisitos para las clavijas de seguridad

En estanterías para paletas, todos los conectores de los largueros deben asegurarse mediante clavijas que impidan el desenganche del conector cuando se someta a una carga vertical (por ejemplo, cuando sea aplicada accidentalmente por el equipo de mantenimiento). La clavija debe diseñarse para soportar una fuerza vertical de cortante, tratada como una acción accidental.

En la siguiente imagen se puede ver la forma en la que la clavija refuerza la conexión entre puntal y conectores.

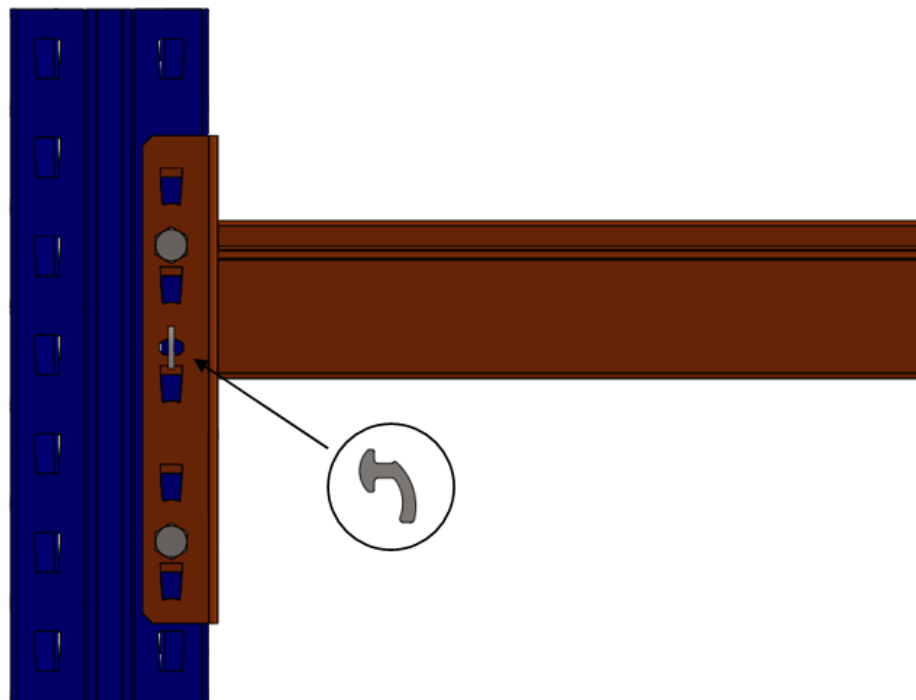


Ilustración 3.13. Colocación de la clavija de seguridad.

3.5. DURABILIDAD

A fin de asegurar la durabilidad de la estructura en buenas condiciones, en cuanto a su uso y vida útil, debe considerarse en la etapa del cálculo como podrían afectar los siguientes aspectos al acero utilizado:

- I) El entorno
- II) El grado de exposición
- III) La forma de los componentes y detalles estructurales
- IV) Si puede llevarse a cabo el mantenimiento de los recubrimientos de protección.

Cuando diferentes materiales se unan entre sí, debe prevenirse la corrosión debida al contacto entre materiales distintos.



4. DESCRIPCIÓN DE LOS SOFTWARES EMPLEADOS

Para la realización del proyecto fue necesario aprender a utilizar los softwares SHAPE-THIN y RSTAB, ambos vinculados con el cálculo estructural. Además, se utilizaron también los programas SolidWorks y Excel, de los que ya se tenían conocimientos.

En este capítulo se realizará una breve descripción de cada uno de ellos, indicando el uso que se les da a lo largo del proyecto.

4.1. SOLIDWORKS

4.1.1. Descripción

El software SolidWorks se utiliza para el modelado de sólidos en 3D. Dicho modelado es un aspecto fundamental para el desarrollo de productos, proporcionando las bases para el diseño, simulación, y fabricación de cualquier pieza y ensamblaje de una amplia gama de sectores, aplicaciones y productos.

Las operaciones clave de modelado de sólidos en 3D de SolidWorks permiten:

- Crear modelos sólidos en 3D de cualquier pieza y ensamblaje, sin importar lo grande o complejos que sean.
- Realizar variaciones de los diseños rápidamente, mediante el control de los parámetros de diseño claves.
- Eliminar los problemas de interferencias del diseño.
- Analizar de forma instantánea el modelo en 3D para obtener cualquier propiedad de volumen y masa sólida (masa, densidad, volumen, momentos de inercia, etc.)

4.1.2. Uso del software en el proyecto

El SolidWorks es un software que tiene un módulo (SolidWorks Simulation) que sería capaz de comprobar si las estanterías aguantarán las condiciones de carga a las que estén sometidas. En cualquier caso, al tener los componentes de los racks muchos agujeros, los ordenadores de los que se dispone en la empresa no son capaces de realizar dichos cálculos.

En este proyecto, el SolidWorks se utiliza para:

- Realizar el modelado de los componentes de la estantería en 3D, para posteriormente comprobar si existe alguna interferencia entre los mismos.

- Realizar planos con las cotas exactas de los distintos componentes de las estanterías, que posteriormente pasarán al equipo de fabricación.
- Obtención de archivos DXF que se exportarán al programa de diseño de secciones SHAPE-THIN.
- Realizar mejoras a las piezas utilizadas por la empresa, comprobando en el visualizador si las nuevas piezas son técnicamente viables o podrían tener alguna interferencia con las ya existentes.
- Evaluar si las piezas de chapa metálica podrían desarrollarse a partir del material plano.

En la siguiente imagen se muestra un ejemplo de una de las estanterías generadas mediante SolidWorks.

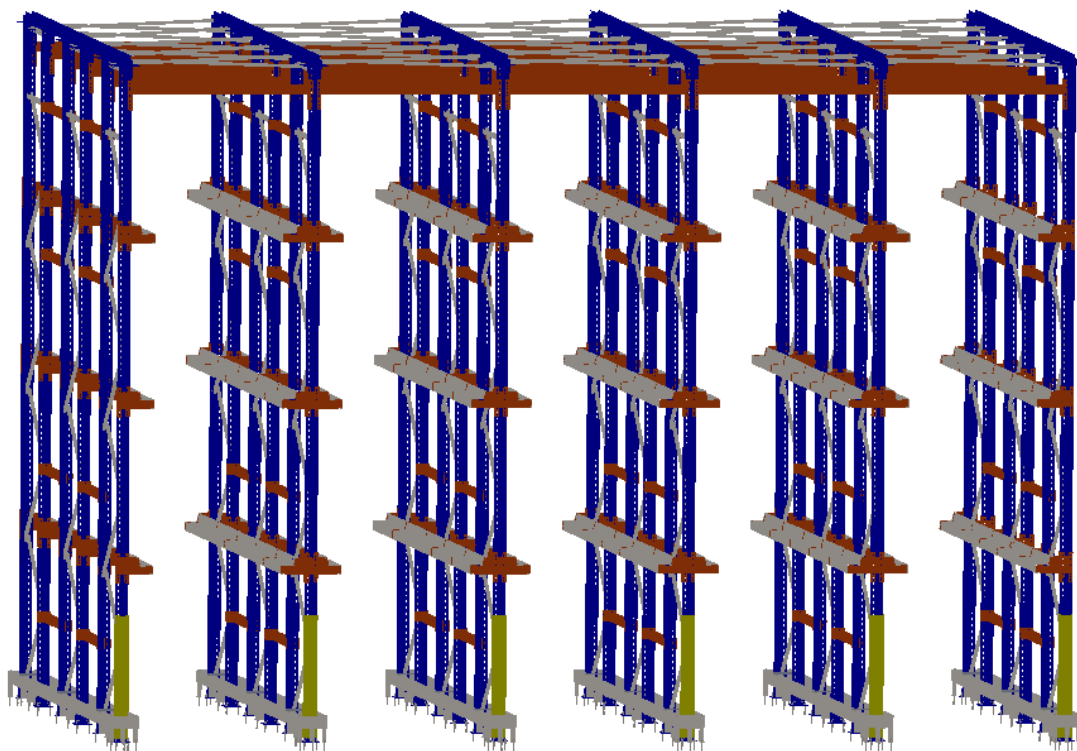


Ilustración 4.1. Vista tridimensional de una estantería dibujada con el software SolidWorks

4.2. SOFTWARE SHAPE-THIN

4.2.1. Descripción

SHAPE-THIN es un programa profesional para el diseño y análisis de secciones transversales con paredes delgadas. Las características más importantes del software son las que se muestran a continuación:

- Modelado preciso de la geometría de la sección por medio de arcos y elementos definidos mediante nodos.



- Importación DXF de contornos o líneas centrales para facilitar el modelado.
- Determinación de las propiedades de la sección para secciones tanto abiertas como cerradas.
- Análisis de la sección efectiva acorde a la norma EN 1993-1-1.
- Diseño de tensiones normales, cortantes y equivalentes y comparación con las tensiones límite.
- Exportación de las propiedades de la sección a RSTAB/RFEM y módulos de diseño.
- Consideración de distintos materiales para las secciones.
- Generación de un informe con contenido modificable a gusto del usuario.

4.2.2. Uso del software en el proyecto

En nuestro caso, el SHAPE-THIN se utiliza para generar las secciones transversales de los componentes que forman los racks.

En el momento en el que se tienen las propiedades de las secciones, se importan desde el SHAPE-THIN al RSTAB (software que será explicado en el siguiente apartado) para realizar un análisis tridimensional sometiendo las estanterías a las futuras condiciones de carga.

En la Ilustración 4.2 se muestra la forma en la que quedan introducidas las secciones de los componentes en el software. En este caso, se trata de la sección del puntal AP10010523.

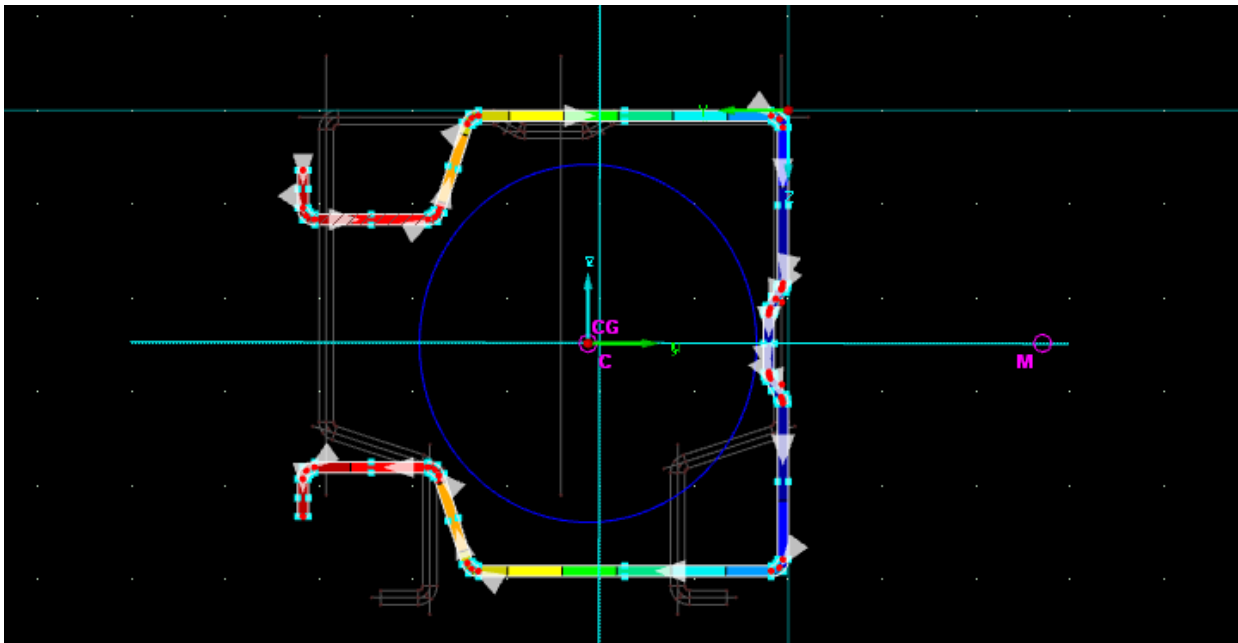


Ilustración 4.2. Sección vista desde arriba, del puntal AP10010523 en el SHAPE-THIN

Una vez que la sección fue importada desde SolidWorks mediante un archivo DXF, se pulsará el botón de calcular todo y el software nos devolverá las principales propiedades de la sección. Estas propiedades se muestran en la siguiente imagen:



Description	Symbol	Value	Unit	Comment
Cross-sectional area	A	7.99	cm ²	
	A _{geom}	7.99	cm ²	geometric cross-sectional area (not ideal)
Shear areas	A _v	3.43	cm ²	
	A _z	1.14	cm ²	
	A _u	3.43	cm ²	
	A _v	1.14	cm ²	
Centroid position	Y _{C,0}	-4.27	cm	relative to zero point
	Z _{C,0}	4.96	cm	
Moments of inertia	I _y	116.15	cm ⁴	about centroidal axes y, z
	I _z	103.17	cm ⁴	
	I _{yz}	0.03	cm ⁴	
Inclination of principal axes	α	-0.14	°	counterclockwise
Principal moments of inertia	I _u	116.15	cm ⁴	about principal axes u, v in C
	I _v	103.17	cm ⁴	
Polar moments of inertia	I _p	219.32	cm ⁴	
	I _{p,M}	971.00	cm ⁴	about shear center M
Radii of gyration	i _y	3.81	cm	relative to centroid C
	i _z	3.59	cm	
	i _{yz}	0.06	cm	
Principal radii of gyration	i _u	3.81	cm	about principal axes u, v in C
	i _v	3.59	cm	
Polar radii of gyration	i _p	5.24	cm	
	i _{p,M}	11.02	cm	about shear center M
Warping radius of gyration	r _{w,M}	2.07	cm	
Cross-section weight	G	6.3	kg/m	
Cross-section perimeter	U	69.98	cm	incl. inner side of cells
Torsional constant	J	0.13	cm ⁴	calculated analytically
Secondary torsional constant	J _s	123.30	cm ⁴	
Location of the shear center	Y _{U,0}	-5.42	cm	relative to zero point
	Z _{U,0}	4.96	cm	
	Y _M	-9.69	cm	relative to centroid C
	Z _M	0.00	cm	
Warping constants	I _{w,C}	15033.24	cm ⁶	relative to centroid C
	I _{w,M}	4177.27	cm ⁶	about shear center M
Auxiliary value for warp rotation	r _{w,M}	0.001		
Section moduli	S _{u,max}	23.36	cm ³	
	S _{u,min}	-23.36	cm ³	in distance -49.7 mm
	S _{v,max}	16.64	cm ³	in distance 0.0 mm
	S _{v,min}	-24.10	cm ³	in distance -42.8 mm
	S _{y,max}	23.39	cm ³	in distance 49.7 mm
	S _{y,min}	-23.40	cm ³	in distance -49.6 mm
	S _{z,max}	16.67	cm ³	in distance 61.9 mm
	S _{z,min}	-24.16	cm ³	in distance -42.7 mm
Warping section moduli	S _{w,M,max}	98.81	cm ⁴	in node 137
	S _{w,M,min}	-98.88	cm ⁴	in node 135
Torsional section modulus	S _t	0.56	cm ³	
Stability parameters	r _u	0.01	cm	
	r _v	0.66	cm	
	r _{st,u}	20.06	cm	
	r _{st,v}	0.06	cm	
Reduction factor	χ _{st}	0.00	1/cm	
Max. plastic bending moments	M _{pl,y,d}	10.138	kNm	
	M _{pl,z,d}	9.185	kNm	
	M _{pl,u,d}	10.138	kNm	
	M _{pl,v,d}	9.185	kNm	
Max. plastic section moduli	Z _y	28.56	cm ³	Z _y /S _y : 1.22
	Z _z	25.87	cm ³	Z _z /S _z : 1.55
	Z _u	28.56	cm ³	Z _u /S _u : 1.22
	Z _v	25.87	cm ³	Z _v /S _v : 1.55
Plastic shear areas	A _{pl,y}	4.84	cm ²	
	A _{pl,z}	3.73	cm ²	
	A _{pl,u}	4.85	cm ²	
	A _{pl,v}	3.74	cm ²	
Position of area bisecting axes	f _{y,0}	4.03	cm	relative to zero point
	f _{z,0}	4.96	cm	
	f _u	-0.24	cm	relative to centroid C
	f _v	-0.01	cm	
Plastic shear forces	V _{pl,y,d}	99.28	kN	
	V _{pl,z,d}	76.46	kN	
	V _{pl,u,d}	99.38	kN	
	V _{pl,v,d}	76.66	kN	
Plastic axial force	N _{pl,d}	283.57	kN	
Buckling curves	BC _{y/c}	c		user-defined
	BC _{z/v}	c		

Ilustración 4.3. Propiedades de la sección del puntal AP10010523 obtenidas del software SHAPE-THIN



4.3. SOFTWARE RSTAB

4.3.1. Descripción

RSTAB es un programa de análisis potente para cálculos de estructuras de barras de acero en 3D, que refleja el estado actual de la técnica y ayuda a los ingenieros estructurales a cumplir con las exigencias de la ingeniería moderna.

RSTAB es la base de un sistema de software modular y ofrece un modelado intuitivo de estructuras simples y complejas gracias a su técnica de entrada. El núcleo de cálculo eficiente de RSTAB permite cálculos lineales y no lineales de esfuerzos internos, deformaciones y reacciones en apoyos.

Para cálculos avanzados, se encuentran disponibles módulos adicionales que consideran datos estructurales de materiales y normas específicas. En nuestro caso se utiliza el STEEL EC3, que realiza el cálculo de barras y conjuntos de barras de acero según el Eurocódigo 3.

Entre las principales características del software, destacan las siguientes:

- La rigidez de todas las secciones transversales y de las barras es ajustable.
- Asignación gráfica de las propiedades de cada miembro.
- Planos de trabajo definidos por tres puntos o ejes de superficie.
- Importación de secciones con sus correspondientes materiales desde SHAPE-THIN.
- Creación automática de combinaciones de carga y resultado de acuerdo con la especificación estándar.

4.3.2. Uso del software en el proyecto

4.3.2.1. Introducción

El software RSTAB se utiliza en el proyecto para realizar una representación en 3D de las estanterías y, posteriormente, someterlas a las combinaciones de carga recomendadas por la norma de cara a comprobar si sus dimensiones son técnicamente viables.

RSTAB proporciona diagramas y valores máximos y mínimos de deformaciones, esfuerzos axiales y momentos flectores (estos últimos tanto en dirección longitudinal como transversal a la calle). Los resultados generados por el software son posteriormente analizados y estudiados por los ingenieros pertenecientes al departamento de oficina técnica.

En la Ilustración 4.4 se muestra un ejemplo de una estantería ya generada con RSTAB, que está sometida a la carga que supondría el peso de las paletas.

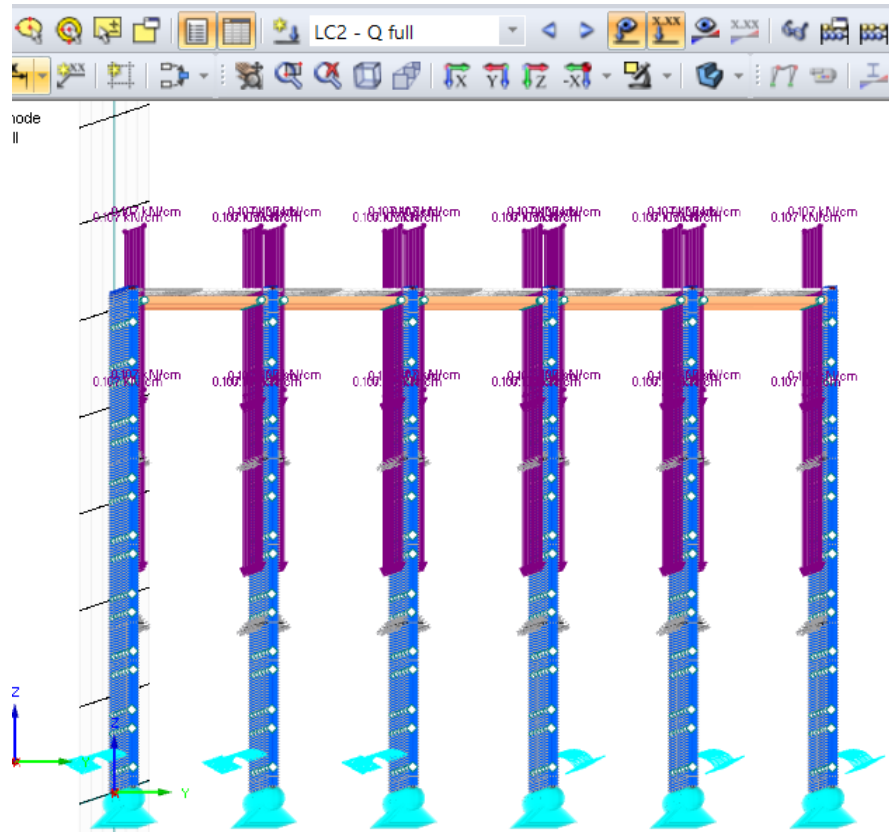


Ilustración 4.4. Estantería en RSTAB cargada con el peso de las paletas

Como se ha comentado en la introducción del trabajo, el objetivo de este es automatizar en la medida de lo posible el estudio de los pedidos de los clientes. Para conseguirlo, a los nodos de RSTAB se les ha asignado un parámetro (en el capítulo 5 de esta memoria se explicará cómo se hizo) que al cambiar de valor cambiaría automáticamente la posición de ese nodo.

4.3.2.2. Problema encontrado y solución propuesta

Para introducir las dimensiones de una barra en el software RSTAB, hay que variar las coordenadas de los nodos que la definen.

De esta forma, si queremos por ejemplo introducir en el software un puntal que tenga una altura de 5000 mm, tendremos que decirle que la barra va desde el nodo 0 situado en (0,0,0) al nodo 1 situado en (0,0,5000).

Imaginemos ahora que tenemos un bastidor como el que se muestra en la siguiente imagen. En él, la viga paleta del primer nivel une los nodos 2 y 7.

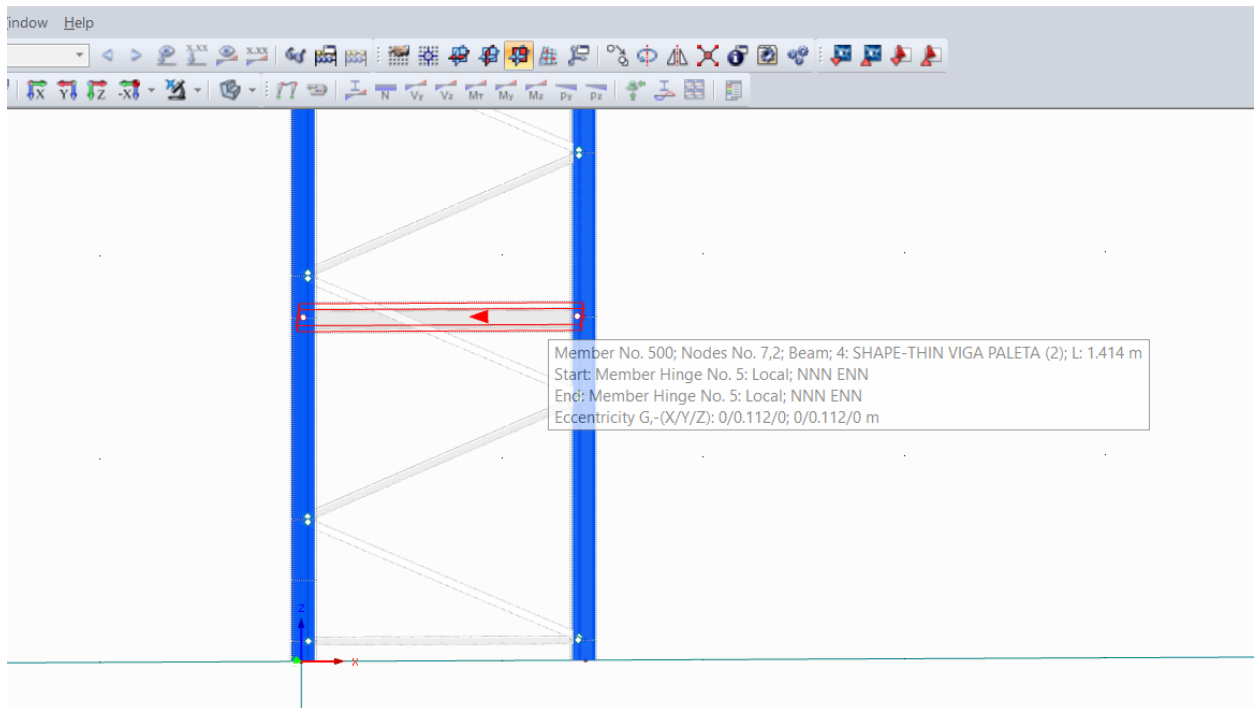


Ilustración 4.5. Viga paleta que une los puntales de un bastidor (marcada en rojo)

El nodo 7, nodo en el que comienza la viga paleta, (como puede apreciarse en el cuadro de texto que aparece en RSTAB al seleccionar la viga) tiene una altura de 1,691 m. Para generar ese nodo, el programa creó una barra que va desde el nodo en el que concluyen los arriostrados al nodo 7.

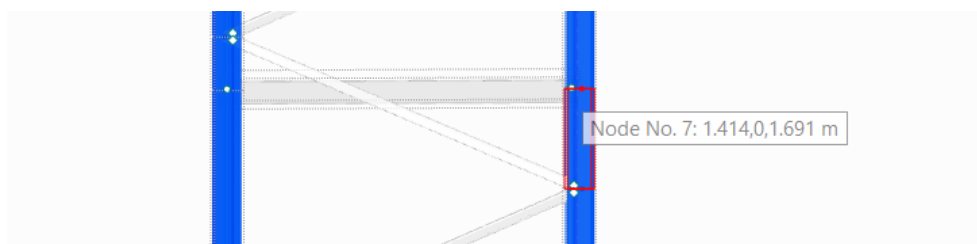


Ilustración 4.6. Barra generada por RSTAB para unir el punto de intersección de los arriostrados con el comienzo de la viga paleta (marcada en rojo)

Supongamos ahora que la altura de los bultos que va a almacenar el cliente es pequeña y hubiese que bajar la viga paleta a una altura de 1.1 m. Como puede observarse en la Ilustración 4.7, RSTAB mantiene el nodo 7 como comienzo de la viga paleta, pero al pasar el nodo de estar por encima del punto en el que concluyen los arriostrados a estar por debajo, RSTAB genera automáticamente una barra que una el punto de intersección con la nueva posición de la viga paleta.

Por el contrario, el nodo final de la viga paleta (nodo de la izquierda) se pudo desplazar libremente a lo largo del puntal ya que no se encontró ningún otro nodo por el camino. Por tanto, RSTAB no tuvo que generar ninguna barra.

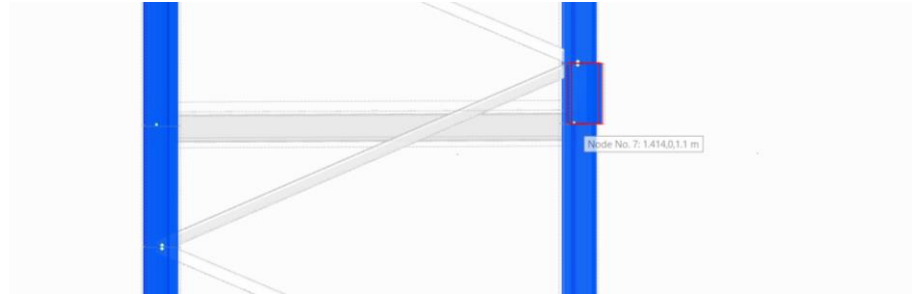


Ilustración 4.7. Barra generada por RSTAB para unir el punto en que concluyen los arriostrados con el nuevo comienzo de la viga paleta (marcada en rojo)

La situación de la ilustración 4.7 es absolutamente indeseable, ya que en la zona en la que se ha generado esa nueva barra tendríamos barras duplicadas, lo que se vería reflejado en el resultado del cálculo.

La solución propuesta consiste en generar dos archivos en RSTAB. Un primer archivo que se llamará “Sólo estructura” en el que sólo aparezcan los puntales, las vigas paleta y el arriostrado del techo. De esta forma, las vigas paleta podrían desplazarse libremente a lo largo del puntal sin encontrarse con ningún nodo por el medio. Así, podría fijarse a nuestro gusto la altura de los niveles.

Además del archivo “Sólo estructura”, se generará otro archivo llamado “Arriostrado” en el que sólo aparezcan las horizontales y diagonales que forman los bastidores, y los largueros. Una vez que la altura de las vigas paleta haya sido ajustada, se copiará el archivo arriostrado y se pegará en el archivo “Sólo estructura”, definiendo así completamente la estantería y sin encontrarnos con barras generadas erróneamente por el programa.

La forma exacta en la que se ha de realizar este procedimiento está explicada en detalle en el capítulo 5 de esta memoria.

4.4. EXCEL

4.4.1. Descripción

Excel es un programa informático desarrollado y distribuido por Microsoft Corp.

Se trata de un software que permite a sus usuarios crear, procesar, editar, almacenar, compartir e imprimir hojas de cálculo. Por ello, se convierte en una de las plataformas líderes en el ámbito contable, entre otras actividades financieras.

4.4.2. Uso del software en el proyecto

En el trabajo, el Excel se utiliza principalmente para dos cosas:



- I. Generar las tablas con los parámetros necesarios para el dimensionado de la estantería, a partir de los datos facilitados por el cliente. Esas tablas serán posteriormente exportadas al software RSTAB para que la estantería sea dibujada y pueda ser, por tanto, calculada.
- II. Verificar que los resultados de deformaciones, esfuerzos axiales y momentos proporcionados en el RSTAB cumplen con las normas correspondientes.

En las siguientes imágenes se muestra, en primer lugar, la tabla generada por Excel para el archivo “Sólo estructura” y, en segundo lugar, un resumen que figura en el libro Excel que muestra si la norma se cumple o no.

	A	B	C	D	E	F	G	H
1		Parameter	Unit Type	Value	Unit	Formula	Range of Values	Comment
2	1	CargaPaleta	Mass	0,000	kg			
3	2	NumeroPaleta	Dimensionless	0,000	-			
4	3	LongViga	Length	0,000	mm			
5	4	FondoEscala	Length	1500,000	mm			
6	5	DEjesPuntales	Length	1413,800	mm			
7	6	DHuecos	Length	1500,000	mm			
8	7	DBastidores	Length	1586,200	mm			
9	8	AnchodeCalle	Length	1450,000	mm			
10	9	Altura1erNivel	Length	1941,000	mm			
11	10	Altura2doNivel	Length	3891,000	mm			
12	11	Altura3erNivel	Length	5841,000	mm			
13	12	Altura4oNivel	Length	7841,000	mm			
14	13	Altura5oNivel	Length	9841,000	mm			
15	14	Altura6oNivel	Length	11841,000	mm			
16	15	AlturaDelPuntal	Length	7906,000	mm			
17	16	FrentePuntal	Length	100,000	mm			
18	17	E	Length	100,000	mm			
19	18	U	Length	0,000	mm			
20	19	yC0	Length	43,100	mm			
21	20	HCentroLarguero	Length	7798,000	mm			
22	21	Paso	Length	600,000	mm			
23	22	HorizBase	Length	100,000	mm			
24	23	Cero	Length	0,000	mm			

Ilustración 4.8. Tabla Excel para exportar a RSTAB con los parámetros que dimensionan la estantería para

VALIDACIÓN DE PUNTALES			
TIPO COMPROBACIÓN	CÁLCULO SOFTWARE		
Compresión $N_{sd} \leq N_{c,Rd}$	✓		
Pandeo por flexión respecto al eje y-y' $N_{sd} \leq N_{b,Rd,y}$	✓		
Pandeo por flexión respecto al eje z-z' $N_{sd} \leq N_{b,Rd,z}$	✓		
Pandeo por torsión y pandeo por flexo-torsión $N_{sd} \leq N_{b,Rd,FT}$	✓		
Momento flector y fuerza axial de compresión $\frac{N_{sd}}{N_{c,Rd}} + \frac{M_{y,sd}}{M_{cy,Rd}} + \frac{M_{z,sd}}{M_{cz,Rd}} \leq 1$	✓		
Flexión y compresión axial sin pandeo lateral $\frac{N_{sd}}{\lambda_{min} A_{eff} f_{y/YM}} + \frac{k_y M_{y,sd}}{\lambda_{eff} W_{eff,y} f_{y/YM}} + \frac{k_z M_{z,sd}}{W_{eff,z} f_{y/YM}} \leq 1$	✓	✓	Válido
Flexión y compresión axial con pandeo lateral $\frac{N_{sd}}{\lambda_{min} A_{eff} f_{y/YM}} + \frac{k_{yT} M_{y,sd}}{\lambda_{LT} W_{eff,y} f_{y/YM}} + \frac{k_z M_{z,sd}}{W_{eff,z} f_{y/YM}} \leq 1$	✗	!	Faltan Datos
Comprobación según FEM 10.2.15 Part 1 $\frac{N_{sd}}{N_{b,Rd,min}} + \frac{M_{y,sd}}{M_{cy,Rd}} + \frac{M_{z,sd}}{M_{cz,Rd}} \leq 1$	✓	✗	No Válido

Ilustración 4.9. Resumen de comprobaciones para la validación de los puntales en Excel



5. ELABORACIÓN DE LA GUÍA TÉCNICA DE DISEÑO

En este capítulo se explicará la forma en la que se realizó la guía técnica para el diseño de los sistemas Drive-In.

El capítulo estará estructurado de forma que sus apartados correspondan con los pasos explicados en el apartado 1.2 “Descripción de la solución propuesta” y en el flujograma explicativo que figura en ese mismo apartado.

5.1. RECEPCIÓN DE UN PEDIDO DE UN CLIENTE

La altura, anchura, etc. de los racks de almacenaje es configurable en función de las necesidades del cliente. Por ello, no existen estanterías estandarizadas que se puedan comprar como un único producto. Al ser cada caso distinto del anterior, se requiere un estudio de viabilidad técnica cada vez que se reciba un pedido.

Para que APERSA pueda realizar los cálculos, es necesario que el cliente facilite, con la mayor precisión posible, los datos que se enumeran a continuación:

- Plano del almacén en el que figuren las dimensiones principales de éste
 - Largo
 - Ancho
 - Alto
- Tipo de paleta a utilizar:
 - Europaleta
 - Paleta Industrial
- Dimensiones de la unidad de carga
 - Frente
 - Fondo
 - Alto
- Masa de la unidad de carga
- Número de paletas a almacenar
- Número de niveles sin contar el suelo

A partir de estos datos ya es posible realizar los cálculos necesarios para obtener las dimensiones de la estantería. En caso de que en el pedido que realice el cliente falte alguno de estos, el trabajador del departamento de ventas al que le corresponda dicho pedido solicitará que sean facilitados.

En la siguiente imagen se muestra la parte del flujograma a la que corresponde este apartado.

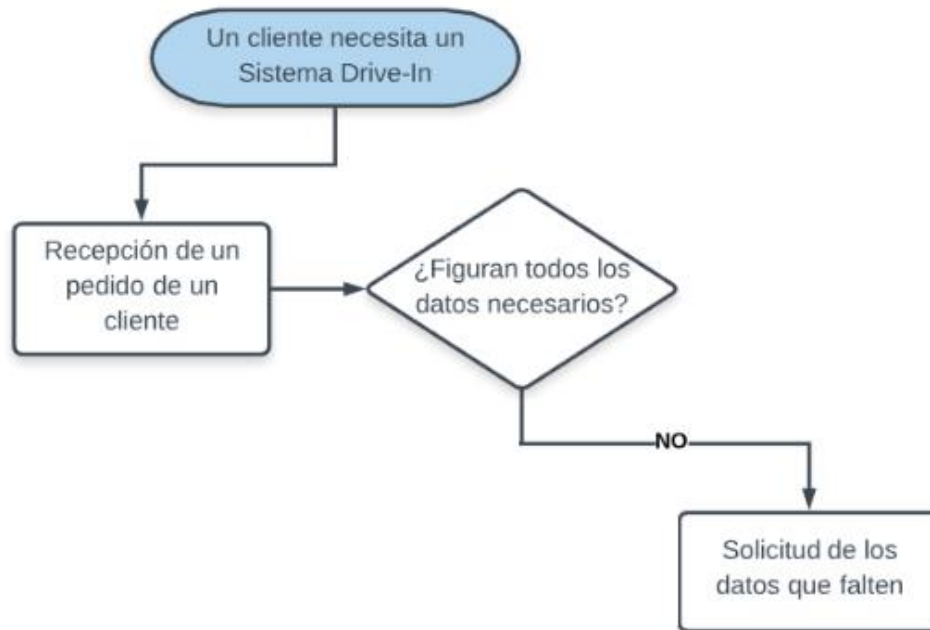


Ilustración 5.1. Punto del proceso global en el que nos encontramos

5.2. INTRODUCCIÓN DE LOS DATOS EN EXCEL

Una vez se dispone de todos los datos necesarios relativos a las necesidades del cliente, estos datos deben ser introducidos en una hoja Excel llamada “Introducción de datos y resultados”. En la siguiente imagen se muestra la tabla que aparece en esta hoja Excel:

INTRODUCCIÓN DE DATOS

DESCRIPCIÓN		VALOR	UNIDADES
Dimensiones de la Unidad de Carga	Paleta	Frente	mm
		Fondo	mm
	Bulto	Frente	mm
		Fondo	mm
		Alto	mm
Masa de la unidad de carga			kg
Longitud de calle (Distancia entre frente del primer puntal a frente del último)			mm
Ancho de calle (Distancia entre ejes centrales de los puntales)			mm
Cantidad de unidades de carga por nivel			uds
Numero de niveles (sin contar el suelo)			Niv.

Ilustración 5.2. Tabla Excel en la que se introducen los datos facilitados por el cliente



Como se puede apreciar en la tabla, aparecen tanto el frente y fondo de paleta como el frente y fondo del bulto. En muchas ocasiones estas cotas son iguales, pero (como se ha explicado en el apartado 3.2.2. de esta memoria) la existencia de cargas con forma abombada o cargas con vuelo afectaría a las holguras de diseño y es, por tanto, un detalle que debe ser tenido en cuenta.

Como puede observarse en la siguiente imagen, la introducción de los datos de partida en Excel era el siguiente proceso en el flujograma.

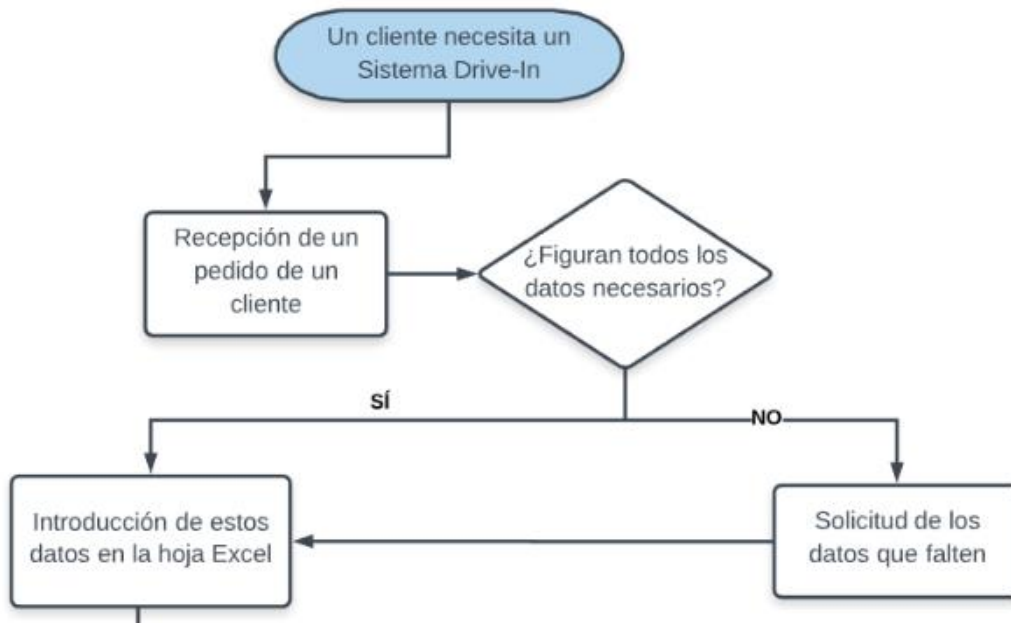


Ilustración 5.3. Proceso del flujograma al que corresponde este apartado

Tras la introducción de estos datos en Excel, este nos devolverá unas tablas en las que figuran las dimensiones principales de la estantería (altura, anchura, distancia entre niveles, etc.).

5.3. EXPORTACIÓN DE LAS TABLAS DE EXCEL A RSTAB

Como se ha comentado en la introducción del proyecto, el fin de este es automatizar, en la medida de lo posible, el proceso que va desde la recepción de un pedido por parte de un cliente hasta la realización de una oferta firme al mismo.

Conseguir automatizarlo supondría evitar que los ingenieros que trabajan en Oficina Técnica dediquen sus costosas horas a diseñar en 3D las estanterías en el software RSTAB de cara a comprobar que la oferta que realizará la empresa es técnicamente viable.

En el anterior apartado se explica que, tras introducir los datos facilitados por el cliente en Excel, este nos genera unas tablas con las dimensiones principales de la estantería.



En este apartado se mostrarán las tablas creadas por Excel y se explicará la forma en la que el programa realiza los cálculos correspondientes. Además, se mostrará también como se exportan estas tablas desde Excel a RSTAB y el vínculo existente entre estos dos programas para que el software de cálculo estructural realice los cálculos oportunos.

5.3.1. Tabla Excel para el archivo “Sólo estructura”

En la siguiente imagen se muestra la tabla generada por Excel que será exportada al archivo “Sólo estructura” de RSTAB. En los distintos subapartados de este apartado se explica cómo, a partir de los datos facilitados por el cliente, el Excel realiza los cálculos para dimensionar la estantería.

Estas dimensiones son calculadas de forma que respeten las tolerancias recomendadas en la FEM 10.2.07 en lo referente a las holguras existentes entre las unidades de carga y los principales componentes del rack. Por lo tanto, conociendo únicamente las dimensiones de las paletas y almacén ya se pueden obtener las dimensiones de la estantería.

Como puede observarse, en la columna “Parameter” de la tabla no hay espacios entre las palabras. Esto se debe a que RSTAB no admite espacios y, por tanto, nos daría un error a la hora de exportar las tablas desde Excel.

	Parameter	Unit Type	Value	Unit	Formula	Range of Values	Comment
1	CargaPaleta	Mass	0,000	kg			
2	NumeroPaleta	Dimensionless	0,000	-			
3	LongViga	Length	0,000	mm			
4	FondoEscala	Length	0,000	mm			
5	DEjesPuntales	Length	-86,200	mm			
6	DHuecos	Length	0,000	mm			
7	DBastidores	Length	86,200	mm			
8	AnchodeCalle	Length	0,000	mm			
9	Altura1erNivel	Length	191,000	mm			
10	Altura2doNivel	Length	391,000	mm			
11	Altura3erNivel	Length	591,000	mm			
12	Altura4oNivel	Length	791,000	mm			
13	Altura5oNivel	Length	991,000	mm			
14	Altura6oNivel	Length	1191,000	mm			
15	AlturaDelPuntal	Length	0,000	mm			
16	FrentePuntal	Length	100,000	mm			
17	E	Length	50,000	mm			
18	U	Length	450,000	mm			
19	yC0	Length	43,100	mm			
20	HCentroLarguero	Length	-108,000	mm			
21	Paso	Length	600,000	mm			
22	HorizBase	Length	100,000	mm			
23	Cero	Length	0,000	mm			

Ilustración 5.4. Tabla generada por Excel para exportar al archivo "Sólo estructura" de RSTAB



5.3.1.1. “CargaPaleta”, “NumeroPaleta” y “LongViga”

Los parámetros “CargaPaleta”, “NumeroPaleta” y “LongViga” es necesario exportarlos al RSTAB ya que de ellos depende la magnitud de las cargas que se aplicarán en la estantería para su cálculo. Al considerarse que cuando la estantería está cargada la fuerza que ejercen las paletas es una carga distribuida, el valor de esta será: $(CargaPaleta * NumeroPaleta) / LongViga$.

Como puede observarse en las siguientes ilustraciones, estos datos están directamente vinculados a los datos provenientes del cliente que introducimos en la hoja Excel “Introducción de datos y resultados”.

D2 = 'Introducción Datos y Resultados'!G16								
	A	B	C	D	E	F	G	H
1		Parameter	Unit Type	Value	Unit	Formula	Range of Values	Comment
2	1	CargaPaleta	Mass	0,000	kg			

Ilustración 5.5. Fórmula de la que obtiene Excel el parámetro “CargaPaleta”

D3 = 'Introducción Datos y Resultados'!G19								
	A	B	C	D	E	F	G	H
3	2	NumeroPaleta	Dimensionless	0,000	-			

Ilustración 5.6. Fórmula de la que obtiene Excel el parámetro “NumeroPaleta”

D4 = 'Introducción Datos y Resultados'!G17								
	A	B	C	D	E	F	G	H
4	3	LongViga	Length	0,000	mm			

Ilustración 5.7. Fórmula de la que obtiene Excel el parámetro “LongViga”

5.3.1.2. “FondoEscala”, “DEjesPuntales”, “γC0”, “DHuecos” y “DBastidores”

Lo que en la jerga se conoce como Fondo de Escala es concretamente la distancia que hay entre las caras externas de dos puntales que componen un bastidor (situación que se puede observar en la Ilustración 5.8 (a), capturada del Solidworks).

El RSTAB es un programa en el que las coordenadas de las barras están referidas a los centroides de las mismas (como puede observarse en la Ilustración 5.8 (b), capturada del software RSTAB). Por tanto, no es posible introducirle una cota entre las caras externas de los puntales, habría que introducirla entre los centroides de estas.

Para ello se creó la variable DEjesPuntales (Distancia entre Ejes de Puntales), que se calcula a partir del fondo de escala y del parámetro “γC0” (obtenido del software SHAPE-THIN) que representa la distancia que hay desde la cara exterior del puntal al eje centroide de este.

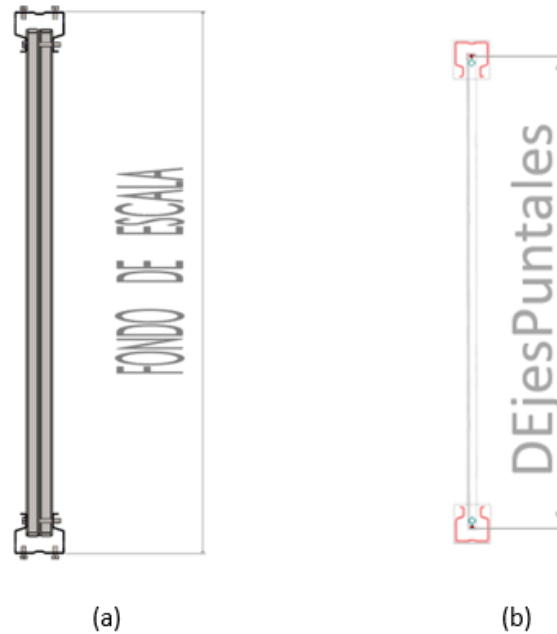


Ilustración 5.8. Diferencia entre los parámetros "FondoEscala" y "DEjesPuntales"

En las siguientes imágenes se muestra la forma en la que el Excel calcula estas variables:

				=D5-2*D20					
	A	B	C	D	E	F	G	H	
5	4	FondoEscala	Length	1500,000	mm				
6	5	DEjesPuntales	Length	1413,800	mm				

Ilustración 5.9. Fórmula Excel para calcular el parámetro "DEjesPuntales"

Como se puede apreciar en la anterior imagen, el parámetro "DEjesPuntales" se calcula restándole al fondo de escala la distancia entre el extremo del puntal y el centroide del mismo multiplicada por dos.

				=BUSCARV("Introducción Datos y Resultados"!D3;Datos!B5:H13;7;0)*10					
	A	B	C	D	E	F	G	H	
20	19	yCO	Length	43,100	mm				
21	20	HCentroLarguero	Length	-108,000	mm				

Ilustración 5.10. Fórmula Excel para obtener el parámetro "yCO"

Como puede observarse en la barra de fórmulas de la imagen anterior, para obtener el valor del parámetro yCO, Excel busca en la hoja "Introducción de datos y resultados" el puntal que se está utilizando en esta instalación. A continuación, busca en la siguiente tabla (tabla que está presente en la hoja "Datos") el puntal que se está utilizando y devuelve la yC de dicho puntal. Como se ha comentado anteriormente, todas las propiedades estáticas de estos puntales fueron calculadas mediante el software SHAPE-THIN. En este ejemplo, el puntal que se estaría utilizando sería el AP10010530 (con una yC de 4,31 cm).



TIPOS DE PUNTALES Y CARACTERÍSTICAS						
Puntal	A_g (cm ²)	I_y (cm ⁴)	I_z (cm ⁴)	I_T (cm ⁴)	I_{yy} (cm ⁶)	y_C (cm)
AP766315	3,74	24,49	17,71	0,02	396,85	2,49
AP766318	4,44	28,64	20,77	0,04	459,87	2,49
AP767918	5,01	36,51	36,96	0,05	1030,39	3,29
AP767923	6,32	45,1	45,7	0,1	1262,59	3,28
AP1008118	5,54	75,71	43,95	0,05	1595,41	3,17
AP1008123	7,01	94,04	54,41	0,11	1958,72	3,16
AP10010523	8,11	120,39	107,19	0,13	4353,66	4,32
AP10010525	8,79	129,74	115,45	0,17	4677,65	4,32
AP10010530	10,45	151,98	135,07	0,28	5448,17	4,31

Ilustración 5.11. Tabla Excel con las propiedades de la sección de los distintos puntales (obtenidas del software SHAPE-THIN)

Para el caso de la distancia entre bastidores, tenemos el mismo problema que para el fondo de escala. Lo que en la jerga se conoce como distancia entre bastidores es el hueco existente entre las caras externas de dos puntales pertenecientes a distintos bastidores (situación que se muestra en la siguiente imagen).

En este caso, se ha creado un parámetro llamado “DBastidores” que a partir de los parámetros “DHuecos” e “yC0” (esta vez sumándole al parámetro “DHuecos la distancia entre la cara externa del puntal y el centroide del mismo multiplicada por dos) calcula la distancia entre centroides de puntales que habría que introducir en el RSTAB.



Ilustración 5.12. Descripción de lo que se entiende por distancia entre bastidores (que coincide con el parámetro "DHuecos")

En las siguientes imágenes se muestra cómo Excel suministra los valores correspondientes a los parámetros “DHuecos” y “DBastidores”:



D7								
=Introducción Datos y Resultados!G22								
	A	B	C	D	E	F	G	H
7	6	DHuecos	Length	1500,00	mm			

Ilustración 5.13. Fórmula con la que Excel obtiene el parámetro "DHuecos"

D8								
=D7+2*D20								
	A	B	C	D	E	F	G	H
8	7	DBastidores	Length	1586,200	mm			

Ilustración 5.14. Fórmula con la que Excel devuelve el parámetro "DBastidores"

5.3.1.3. "AnchodeCalle"

Siguiendo las recomendaciones de la FEM 10.2.07, el ancho de calle se debe escoger respetando las dos situaciones que se comentan e ilustran a continuación:

1. La distancia entre el bulto y la cara del puntal ha de ser de, al menos, 75 mm en caso de que la instalación no cuente con guía carretilla. Todas las instalaciones de la empresa cuentan con guía carretilla, por lo que esa cota no tiene restricción en los sistemas de APERSA. En cualquier caso, la empresa trata de cumplirla siempre que sea posible multiplicando así la seguridad de sus sistemas.
2. Las paletas deben apoyar sobre la viga paleta una distancia mínima de 20 mm. En el caso de APERSA, el ancho de calle está diseñado de forma que el apoyo mínimo para una Europaleta sea de 50 mm.

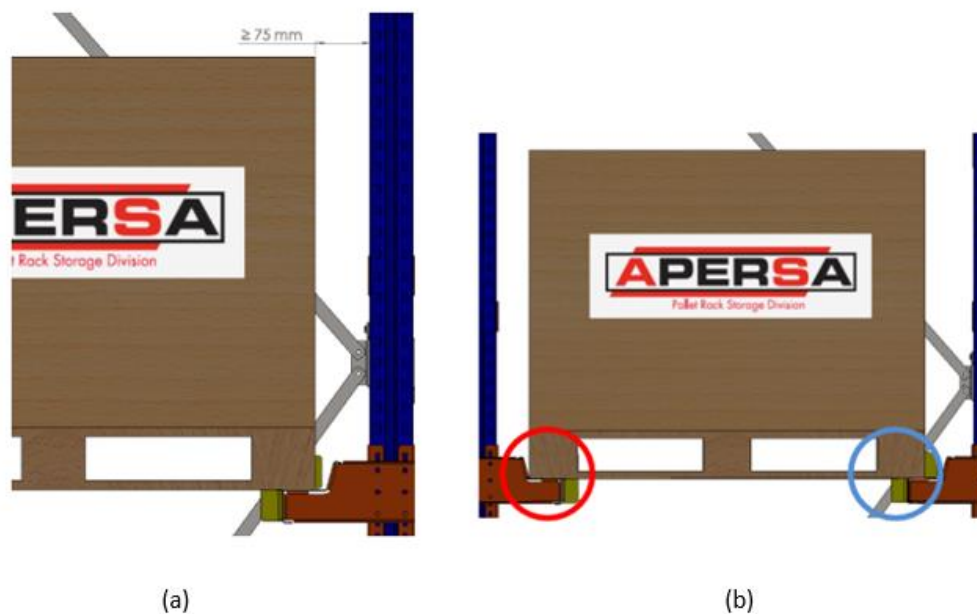


Ilustración 5.15. Situaciones a tener en cuenta en el diseño del parámetro "AnchodeCalle"



Si se diese la indeseada situación de la Ilustración 5.15 (b), en la que un operario introduce la paleta en el sistema Drive-In de forma que una de las paredes del bulto está en contacto con la pared inclinada de la viga paleta (círculo rojo), el apoyo mínimo del bulto sobre la otra viga paleta de la calle (círculo azul) sería de 50 mm en las instalaciones de APERSA.

D9		=Introducción Datos y Resultados!G13+(2*75+2*50)						
	A	B	C	D	E	F	G	H
9	8	AnchodeCalle	Length	1450,000	mm			

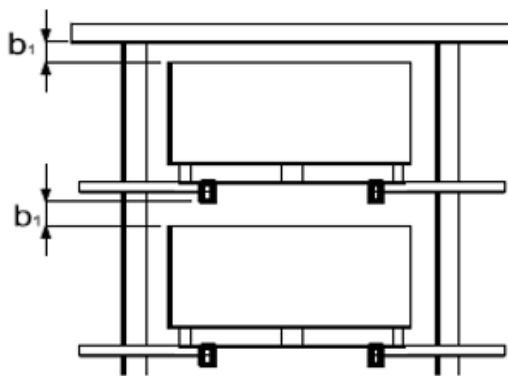
Ilustración 5.16. Fórmula mediante la cual Excel devuelve el parámetro "AnchodeCalle"

Por todo esto, es importante que la paleta sea de calidad y no tenga imperfecciones, ya que, si tuviese por ejemplo un frente de un poco menos de 1200 mm la superficie de apoyo sobre la viga paleta se vería reducida. Esto podría ser peligroso hasta el punto de llegar a no cumplir con las recomendaciones de la FEM. En definitiva, las dimensiones de las paletas a utilizar han de ser rigurosas.

5.3.1.4. "Altura1erNivel", ..., "Altura6oNivel"

La distancia entre niveles de carga de la estantería es función de la altura de los bultos que se deseen almacenar en ella. Esa altura era uno de los datos que se establecían en el apartado 4.1. "Recepción de un pedido de un cliente" como indispensables de cara a poder calcular las dimensiones principales de la estantería.

Además, a la altura de esos bultos habría que sumarle la tolerancia recomendada en el C.3.7 de la FEM. En la siguiente imagen se muestran los distintos valores que puede tomar esa tolerancia en función de la altura a la que se encuentran los niveles de carga.



Altura del nivel < 6000 mm → $b_1 \geq 100$ mm

Altura del nivel < 9000 mm → $b_1 \geq 125$ mm

Altura del nivel < 13000 mm → $b_1 \geq 150$ mm

Ilustración 5.17. Cota "b1" que, de acuerdo con el capítulo C.3.7 de la FEM, hay que dejar entre el punto más alto del bulto y la siguiente ménsula / larguero

A continuación, se explicará cómo se introdujeron las fórmulas en Excel para que nos devolviese en la tabla la altura a la que deben situarse los niveles.

Al ser el primer nivel siempre inferior a 6000 mm, la altura del primer nivel tiene que respetar la tolerancia $b1 \geq 100$ mm. En la siguiente imagen capturada del Solidworks, se muestra la cota $b1$ que utiliza la empresa para el primero de los niveles (como se puede comprobar es $115 > 100$ mm).

Este ejemplo está realizado con una altura del bulto de 1750. La altura de los bultos es requisito que sea múltiplo de 50, de forma que si aumentase a 1800 o disminuyese a 1700 la ménsula podría engancharse en los siguientes/anteriores agujeros del puntal (el puntal tiene un paso de agujeros de 50 mm) y la distancia $b1$ seguiría siendo 115 mm y por tanto cumpliendo la norma.

El RSTAB considera las barras líneas, por lo que la cota que nos devuelva el Excel de la altura tiene que ser la cota a la que está la superficie sobre la que se apoyan las paletas en la viga paleta. Esta superficie será siempre (con una distancia de 115 mm entre parte superior de la paleta e inferior de la ménsula) de 191 mm como se puede observar en la Ilustración 5.18 (b).

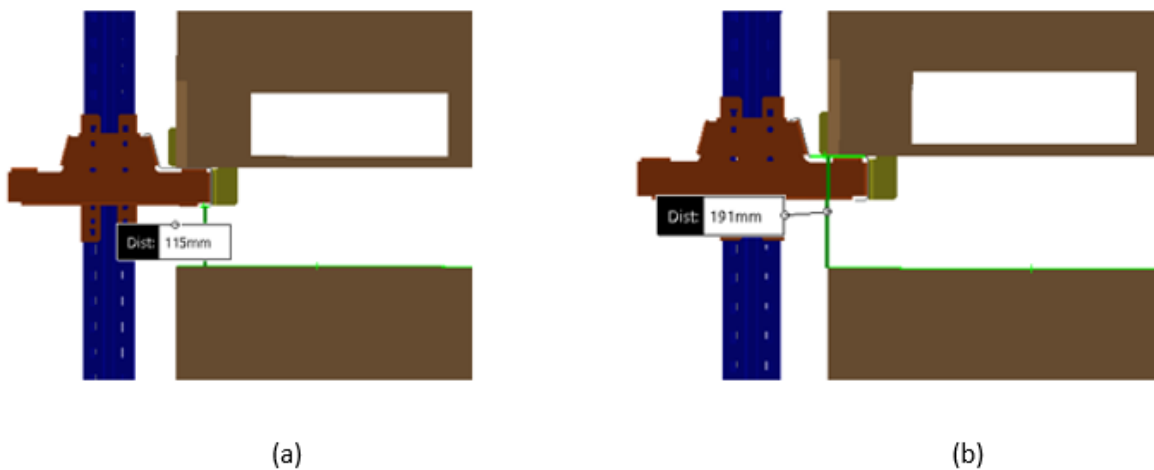


Ilustración 5.18. Cota "b1" que utiliza la empresa (a), y cota que habría que introducirle al RSTAB (b)

Por tanto, para que el Excel nos devuelva la altura a la que debe situarse el primer nivel, únicamente tenemos que pedirle que sume la altura del bulto y 191 mm que son necesarios para cumplir la norma (esta situación se muestra en la siguiente imagen).

D10		= 'Introducción Datos y Resultados'!G15+191						
	A	B	C	D	E	F	G	H
10	9	Altura1erNivel	Length	1941,000	mm			

Ilustración 5.19. Fórmula Excel para calcular la altura a la que se encuentra el primer nivel

En realidad, la instalación está sobredimensionada en 15 mm, pues con 100 en lugar de 115 mm de distancia entre la parte superior del bulto e inferior de la ménsula sería suficiente para cumplir la norma. El problema es, como se ha comentado anteriormente, que el puntal tiene agujeros con un paso de 50,



por lo que sólo podría colocarse a 65 mm (115-50, situación que no cumpliría la norma) o a 165 mm por encima del bulto (115+50, situación que sobredimensionaría la estructura en exceso).

El resto de los niveles son función de la altura del nivel n-1 y la altura del bulto. A partir de ahora, la distancia de 191 mm pasará a ser de 200 (de cara a respetar el paso de los agujeros de los puntales). En el caso de que la instalación mida más de 6000 mm, esta distancia pasará a ser directamente de 250 mm (a fin de respetar la tolerancia más desfavorable de la FEM).

Si algún nivel estuviese situado entre 6000 y 9000 mm, sería suficiente para cumplir las recomendaciones de la FEM pasar de 200 a 225 mm (véase la Ilustración 5.20), pero al no disponer de un paso de 25 mm en los puntales, nos veríamos obligados a subirla directamente a 250 mm.

=SI((D14+'Introducción Datos y Resultados'!\$G\$15)<=6000;D14+'Introducción Datos y Resultados'!\$G\$15+200;D14+'Introducción Datos y Resultados'!\$G\$15+250)												
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
13	12	Altura4oNivel	Length	7841,000	mm							
14	13	Altura5oNivel	Length	9841,000	mm							
15	14	Altura6oNivel	Length	11841,000	mm							

Ilustración 5.20. Fórmula que utiliza Excel para calcular la altura del nivel n

5.3.1.5. “AlturaDelPuntal” y “HCentroLarguero”

Como se puede apreciar en la siguiente imagen, la altura a la que se encuentra el larguero superior es 117 mm por encima del bulto más alto. La cota que realmente nos interesa para poder introducirla en el RSTAB es la distancia entre la parte superior del bulto y el centroide del larguero, que es exactamente 157 mm.

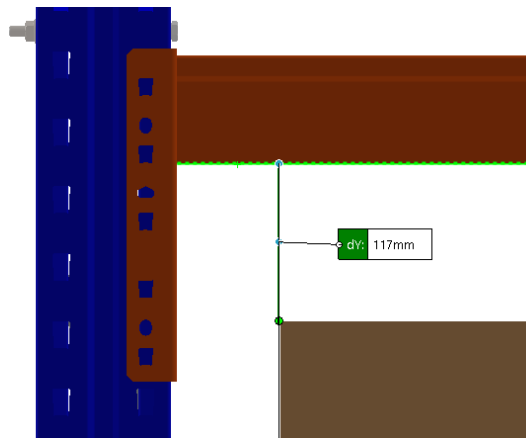


Ilustración 5.21. Cota entre parte superior del bulto e inferior del larguero que se da en las instalaciones de APERSA para sistemas en los que el larguero tiene una altura inferior a 6000 mm

Imaginemos que estamos en una situación en la que hay 3 niveles de carga sin contar el suelo, y que el 4 nivel está a menos de 6.000 mm. En caso de existir ese 4 nivel, nos lo situaría 200 mm por encima del último bulto del tercer nivel. En nuestro caso, (al querer la cota del centroide del larguero) queremos que lo sitúe 157 mm por encima del bulto (o lo que es lo mismo 200-157=43 mm por debajo de donde situaría el 4º nivel).



En Excel, el parámetro HCentroLarguero, se formuló restándole 43 mm a la altura del nivel n+1 de la estantería. Esta fórmula se muestra en la siguiente imagen:

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
21	20	HCentroLarguero	Length	7798,000	mm						

Ilustración 5.22. Fórmula usada por Excel para calcular el parámetro "HCentroLarguero"

En lo que respecta al parámetro "AlturaDelPuntal", este se obtiene a partir de la altura del larguero. Como se puede observar en la siguiente imagen, la distancia entre la parte superior del larguero y el punto más alto del puntal es 68 mm.

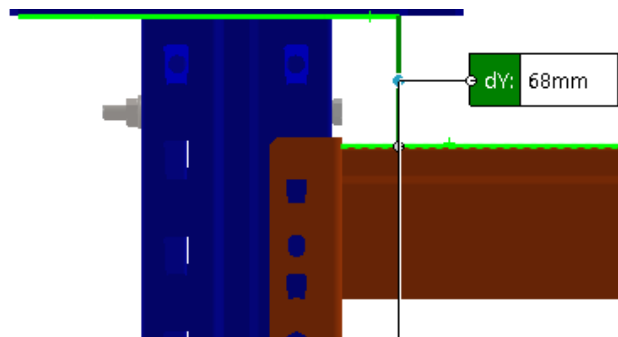


Ilustración 5.23. Distancia entre parte superior del larguero y punto más alto del puntal en las instalaciones de APERSA

Al ser la distancia entre la parte superior del larguero y el centroide del mismo 40 mm, sólo habría que sumar los $68 + 40 = 108$ mm para ver la altura del punto más alto del puntal. En la siguiente captura de Excel, se muestra como el programa realiza el cálculo:

	A	B	C	D	E	F	G	H
16	15	AlturaDelPuntal	Length	7906,000	mm			
17	16	FrentePuntal	Length	100,000	mm	,		
18	17	E	Length	100,000	mm	,		
19	18	U	Length	0,000	mm	,		
20	19	yCO	Length	43,100	mm			
21	20	HCentroLarguero	Length	7798,000	mm			

Ilustración 5.24. Fórmula utilizada por Excel para obtener el parámetro "AlturaDelPuntal"

5.3.1.6. "E" y "U"

Los parámetros E y U representan las cotas que se observan en la siguiente imagen.

En caso de que el bastidor esté formado por una única horizontal en su parte superior, el valor de U sería 0.

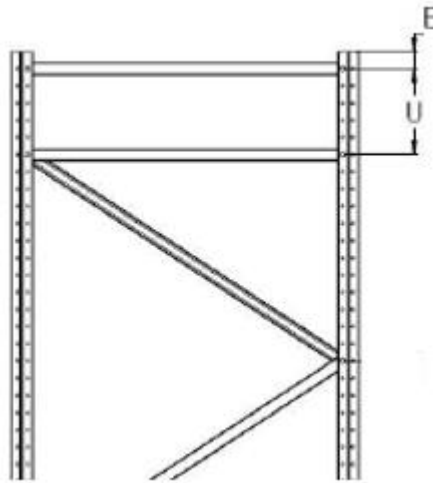


Ilustración 5.25. Definición de las cotas "E" y "U"

Los distintos valores que pueden tomar estas cotas en función de cuál sea la altura del bastidor, están expuestos en la Tabla 3.2, del capítulo 3 del pliego de condiciones.

5.3.1.7. "FrentePuntal", "Paso", "HorizBase" y "Cero"

Estos cuatro parámetros son valores constantes que se introdujeron en Excel manualmente.

Son necesarios para fijar las coordenadas de algunos nodos en RSTAB, pero al ser valores constantes no están asociados a ninguna fórmula en Excel.

5.3.2. Tabla Excel para el archivo "Arriostrado"

La tabla que se muestra a continuación es la que se ha de exportar desde el Excel hasta el archivo de RSTAB "Arriostrado". La forma en la que Excel calcula los distintos parámetros de esta tabla fue explicada en el anterior subapartado.

	A	B	C	D	E	F	G	H
1		Parameter	Unit Type	Value	Unit	Formula	Range of Values	Comment
2	1	DEjesPuntales	Length	1413,8	mm			
3	2	DBastidores	Length	1586,2	mm			
4	3	AnchodeCalle	Length	1450	mm			
5	4	Paso	Length	600	mm			
6	5	HorizBase	Length	100	mm			
7	6	AlturaDelPuntal	Length	7906	mm			
8	7	E	Length	100	mm			
9	8	U	Length	0	mm			
10	9	HCentroLarguero	Length	7798	mm			
11	10	Cero	Length	0	mm			

Ilustración 5.26. Tabla generada por Excel para exportar al archivo "Arriostrado" de RSTAB



5.3.3. Importación de las tablas en RSTAB

En este apartado se explica cómo importar en el software RSTAB las tablas generadas por Excel. La forma en la que se importan se expone utilizando como ejemplo el archivo “Sólo estructura”. Para el archivo “Arriostrado” se haría exactamente de la misma manera.

En primer lugar, se debe abrir la hoja Excel en la que figura la tabla que se desea exportar, en este caso la hoja “Datos Introducción Rstab” como se muestra en la Ilustración 5.27.

	Parameter	Unit Type	Value	Unit	Formula	Range of Value	Comment
1	CargaPaleta	Mass	900,000	kg			
2	NumeroPaleta	Dimensionless	10,000				
3	LoncViga	Length	8250,000	mm			
4	FondoEscala	Length	1500,000	mm			
5	DEjesPuntales	Length	1413,800	mm			
6	DHuecos	Length	1500,000	mm			
7	DBastidores	Length	1586,200	mm			
8	AnchodeCalle	Length	1450,000	mm			
9	Altura1erNivel	Length	1691,000	mm			
10	Altura2doNivel	Length	3391,000	mm			
11	Altura3erNivel	Length	5091,000	mm			
12	Altura4oNivel	Length	6841,000	mm			
13	Altura5oNivel	Length	8591,000	mm			
14	Altura6oNivel	Length	10341,000	mm			
15	AlturaDelPuntal	Length	5139,000	mm			
16	FrentePuntal	Length	100,000	mm			
17	E	Length	239,000	mm			
18	U	Length	0,000	mm			
19	yCD	Length	43,100	mm			
20	HCentroLarguero	Length	5031,000	mm			
21	Paso	Length	600,000	mm			
22	HorizBase	Length	100,000	mm			
23	Cero	Length	0,000	mm			

Ilustración 5.27. Hoja Excel "Datos Introducción RSTAB" que debe exportarse al archivo "Solo estructura"

A continuación, se ha de abrir el archivo “Sólo estructura” con el software RSTAB. Al hacerlo, nos encontraremos la estructura más grande que APERSA considera que se puede ofertar (imagen que aparece a continuación).

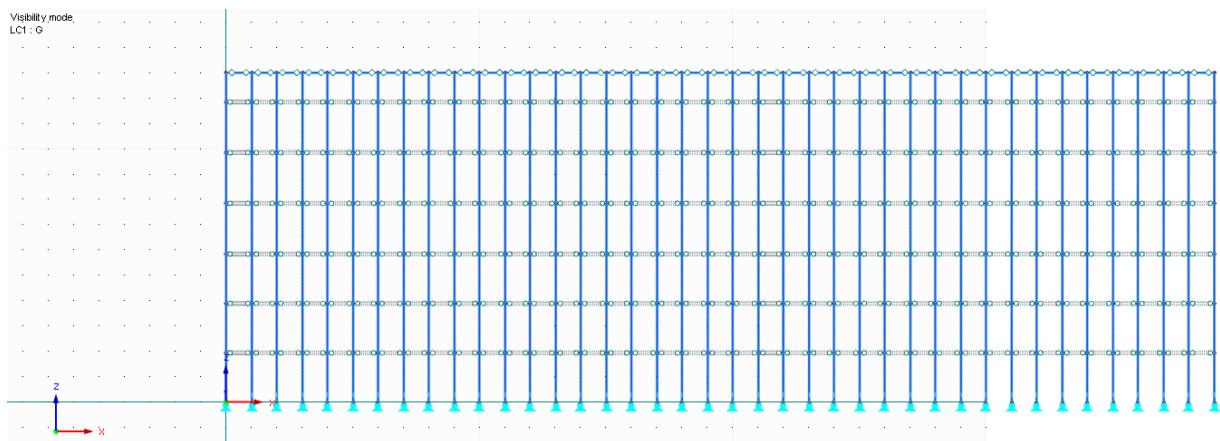


Ilustración 5.28. Archivo "Sólo estructura" en RSTAB



Una vez tenemos la hoja Excel y el RSTAB abiertos, pincharemos sobre el botón “Edit Parameters” que se muestra en la Ilustración 5.29. Este botón nos abrirá el cuadro de diálogo que aparece en la Ilustración 5.30.

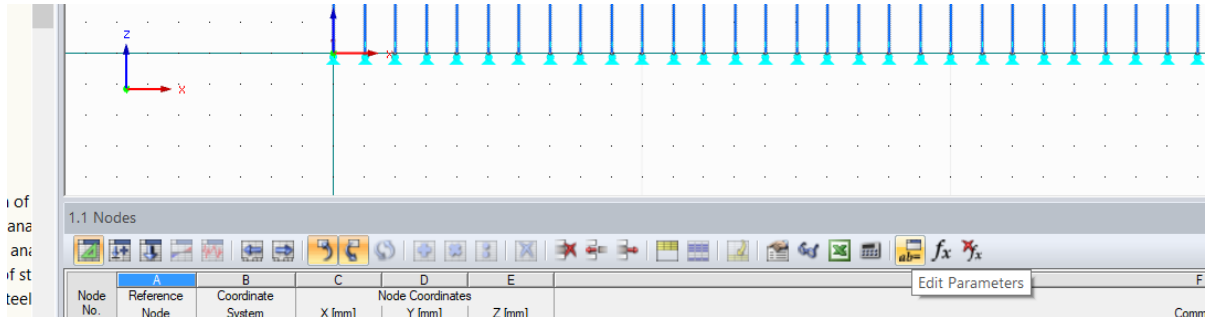


Ilustración 5.29. Ubicación del botón "Edit Parameters" en RSTAB

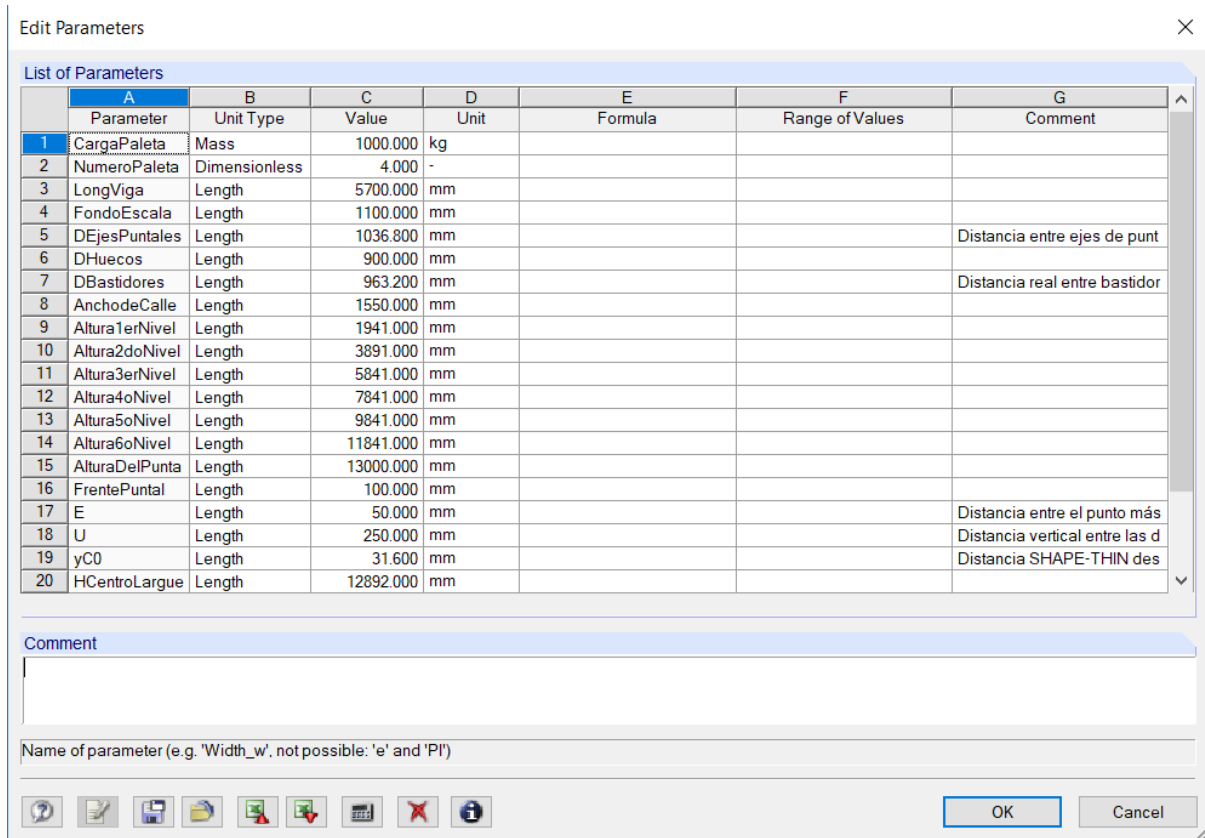


Ilustración 5.30. Cuadro de diálogo que devuelve el botón "Edit Parameters"

Los valores que aparecen en ese cuadro de diálogo son los valores con los que está diseñada la estantería de partida. A continuación, habría que presionar el botón “Import from MS Excel” que se muestra en la siguiente imagen para importar la tabla con los valores deseados.

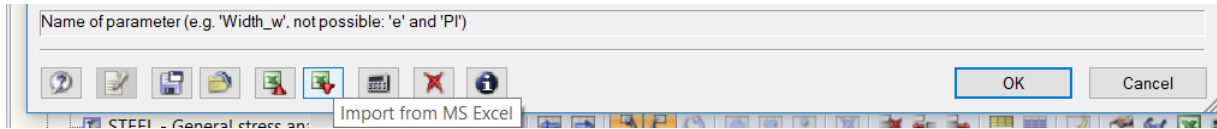


Ilustración 5.31. Ubicación del botón "Import from MS Excel"

Tras pulsar este botón, RSTAB nos realizará la pregunta que aparece en la siguiente imagen: ¿Realmente quiere reescribir la lista de parámetros?, a lo que le debemos responder que sí (OK).

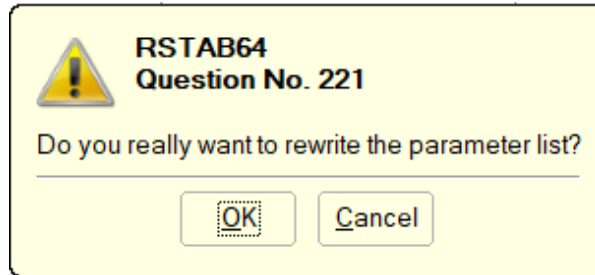


Ilustración 5.32. Confirmación exigida por RSTAB para importar parámetros

Al presionar OK, la tabla se importará automáticamente de Excel, y la estructura que tenemos dibujada pasará a tener las medidas que deseamos para esta instalación.

Una vez que la estructura tiene las dimensiones deseadas, habría que repetir estos pasos con el archivo de RSTAB "Arriostrado". En cuanto tengamos las medidas deseadas en el archivo arriostrado, se seleccionará todo como se muestra en la siguiente imagen para seguidamente copiar todas las barras con el comando Ctrl + C.

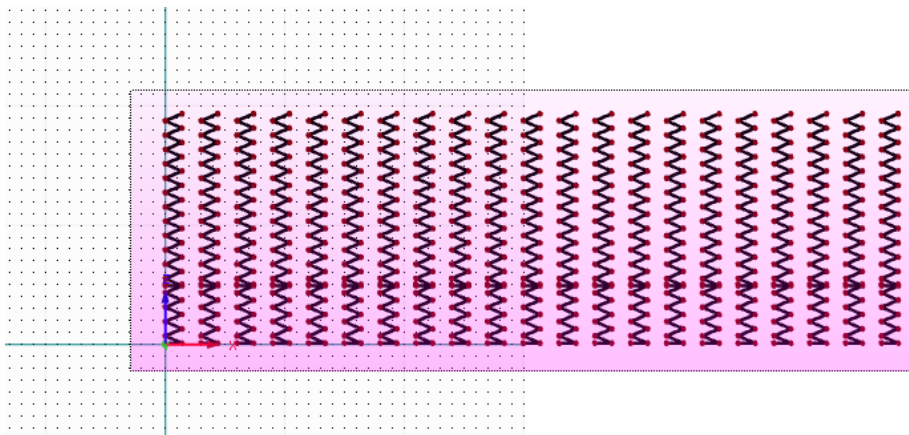


Ilustración 5.33. Forma de seleccionar todo el archivo "Arriostrado"

Sabremos que todo está bien seleccionado si las barras pasan a tener color rojo, como se puede observar en la siguiente imagen.

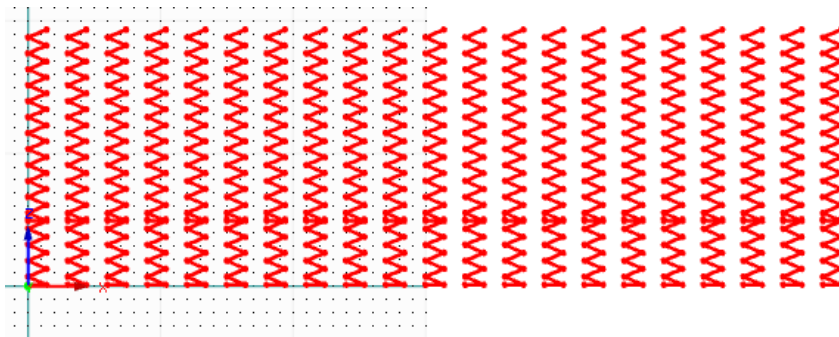


Ilustración 5.34. Color rojo con el que deben aparecer los componentes si están correctamente seleccionados

En ese momento, copiaremos las barras e iremos al archivo “Sólo estructura”. Utilizaremos el comando Ctrl + V para pegar las barras de los arriostrados en la estructura. En el momento en el que presionemos Ctrl + V, RSTAB nos mostrará el siguiente cuadro de diálogo, preguntándonos el desfase con el que queremos pegar las barras. Está preparado para que se pegue sin ningún desfase, luego dejaríamos los valores 0,0,0, y presionaríamos OK.

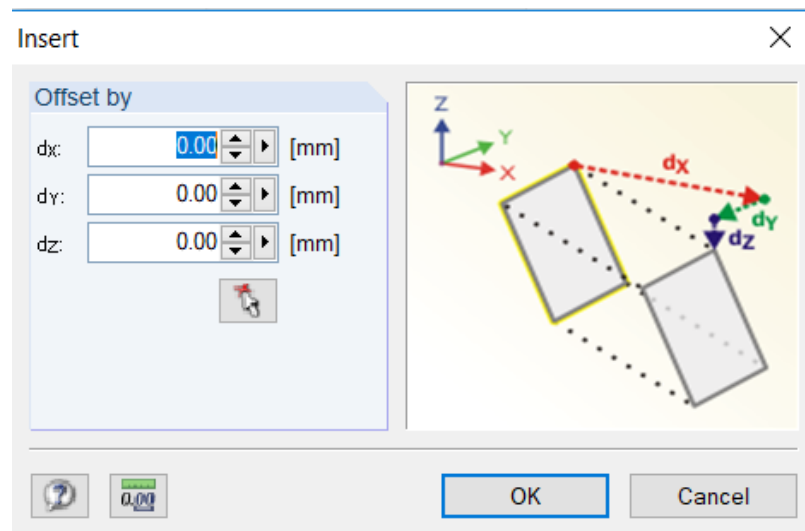


Ilustración 5.35. Cuadro de diálogo que devuelve el RSTAB para conocer el desfase con el que se quiere aplicar el comando

Ctrl + V

Tras presionar OK, todas las barras del archivo “Arriostrado” se pegarán en el archivo “Solo estructura” configurando los bastidores de esta. A continuación, se suprimirán las barras sobrantes y ya tendremos montado nuestro sistema Drive-In. En la siguiente imagen, se muestra el sistema resultante del ejemplo que se ha ido realizando en este apartado.

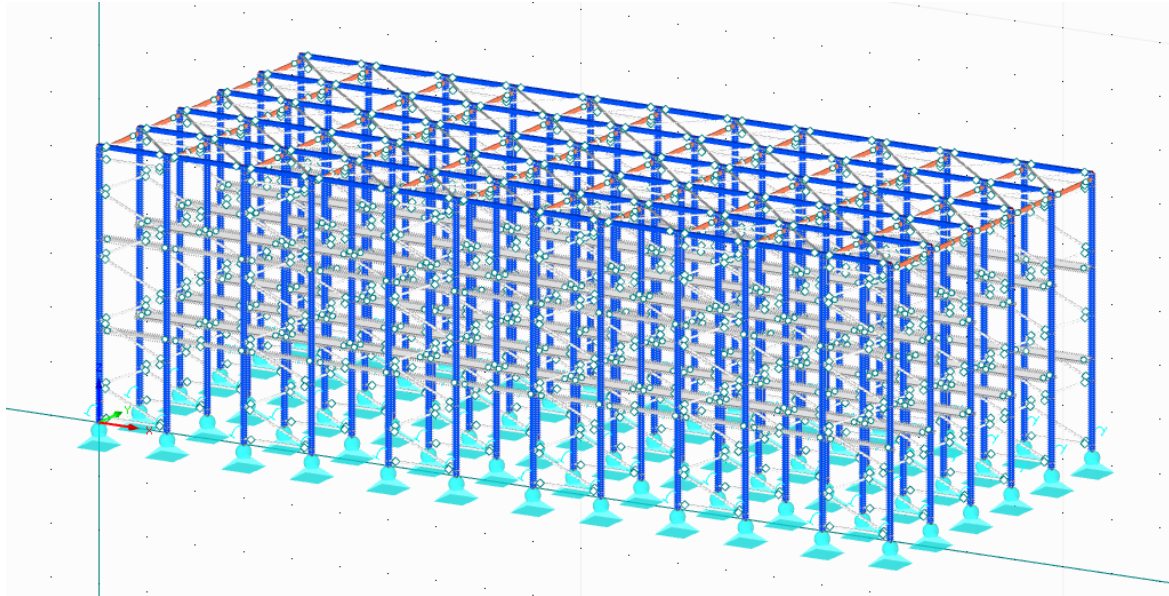


Ilustración 5.36. Vista 3D del sistema obtenido en RSTAB tras realizar los pasos explicados en este apartado

Una vez tenemos el sistema completado, habremos completado el siguiente paso del flujograma. En la siguiente imagen se muestra el punto en el que nos encontramos actualmente.

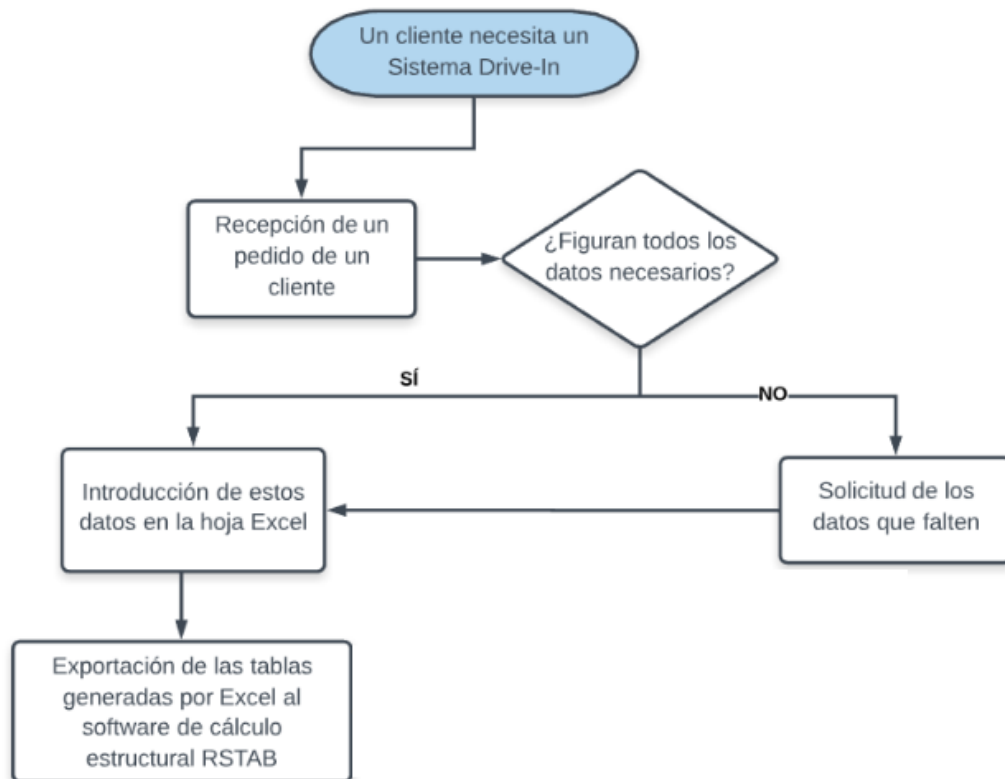


Ilustración 5.37. Proceso del flujograma en el que nos encontramos en este momento

5.3.4. Vínculo entre Excel y RSTAB

En este subapartado se explicará la forma en la que están relacionados Excel y el software RSTAB. Como se ha comentado anteriormente, RSTAB es un software en el que las barras son uniones de nodos. Por tanto, siendo capaces de parametrizar las coordenadas de esos nodos, se logrará automatizar la construcción de las estanterías en el software RSTAB.

Si nos fijamos en las coordenadas de un nodo cualquiera en RSTAB, (en este ejemplo utilizaremos el nodo número 178, nodo que aparece en color rojo y rodeado por un círculo negro en la siguiente figura) veremos que en la parte superior izquierda de la celda aparece un triángulo amarillo.

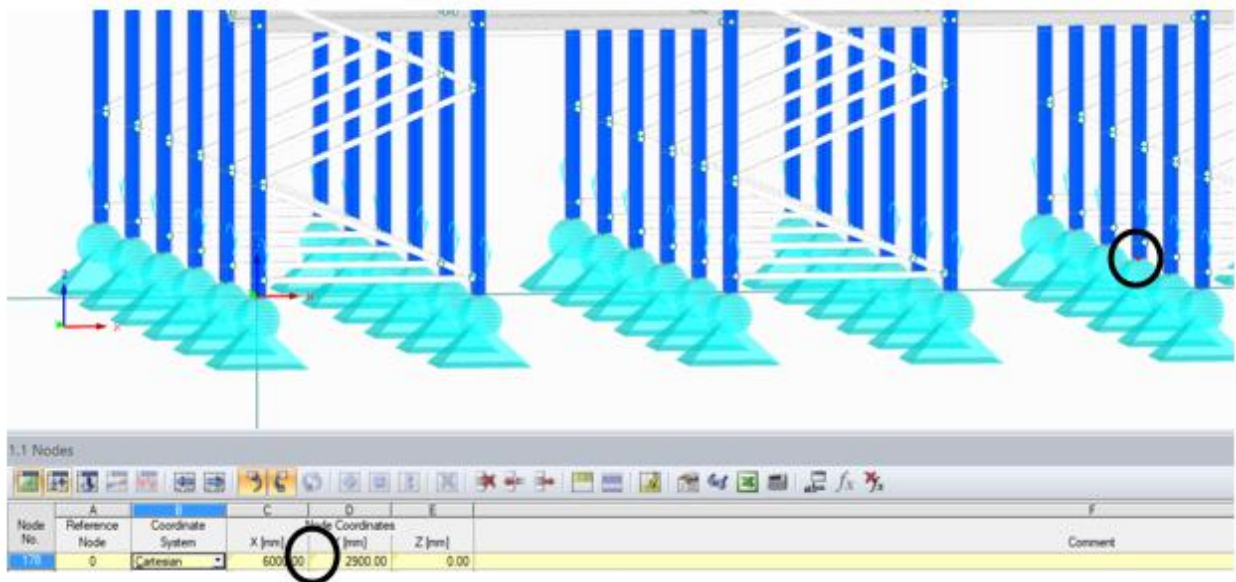


Ilustración 5.38. Situación del nodo 178 (nodo que se utilizará de ejemplo) en RSTAB

Al situar el ratón sobre el triángulo amarillo de cualquiera de las coordenadas nos indicará que esta es función de unos parámetros y si pinchamos sobre el triángulo, nos abrirá el siguiente cuadro de diálogo. En él, se puede asignar a esa coordenada un valor que sea función de una ecuación en la que los parámetros sean los que se importan desde Excel. Esta situación se describe en la siguiente imagen:

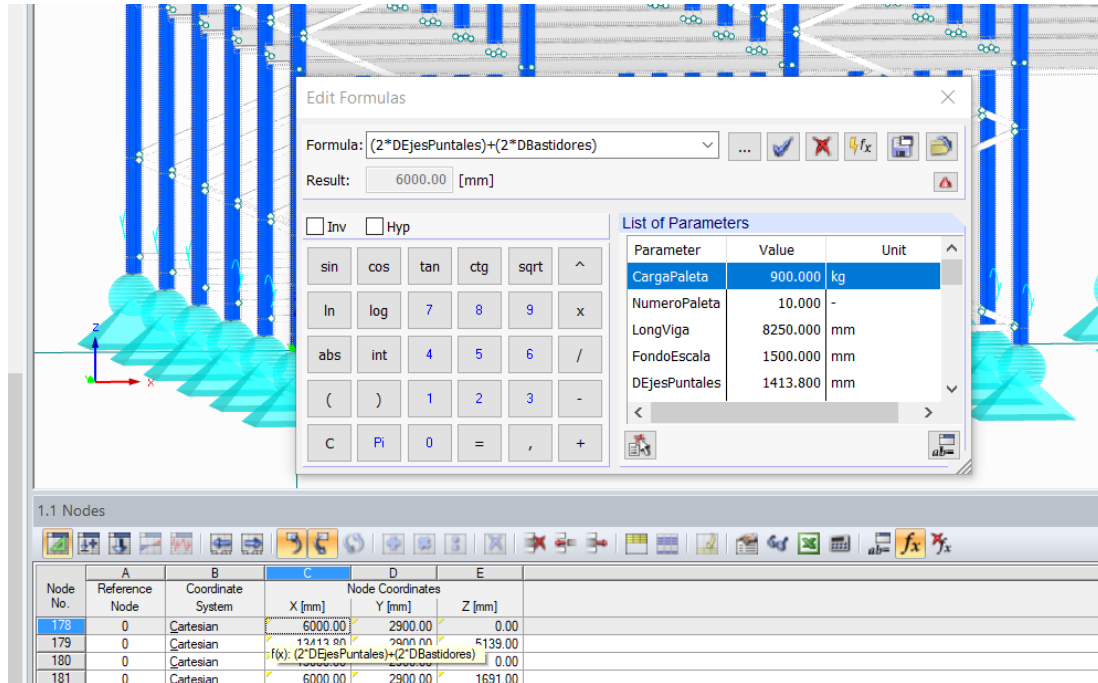


Ilustración 5.39. Cuadro de diálogo que devuelve RSTAB al pinchar sobre el triángulo amarillo de cualquier coordenada de un nodo

En el ejemplo anterior, la coordenada X del nodo 178 está vinculada a la fórmula $(2 \cdot \text{DEjesPuntales}) + (2 \cdot \text{DBastidores})$. Si volvemos a la Ilustración 5.38, podemos ver que, partiendo desde el origen, la coordenada X de ese nodo sería la distancia entre bastidores multiplicada por 2 más la distancia entre puntales que forman un bastidor también multiplicada por dos.

En lo que respecta a la coordenada Y, este nodo está en la tercera fila de puntales. Por lo tanto, delimita la segunda calle de operación (la primera calle estaría entre las filas de puntales 1 y 2, y la segunda calle entre las filas 2 y 3). Como puede observarse en la siguiente imagen, la coordenada Y es función del parámetro “AnchoDeCalle” (en este caso multiplicado por dos).

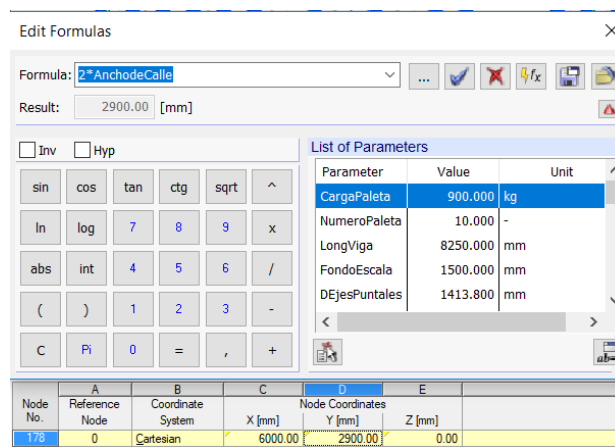


Ilustración 5.40. Fórmula que parametriza la coordenada Y del nodo 178



Por último, en lo que respecta a la altura, la coordenada Z ha de ser cero, ya que es uno de los nodos que se encuentran en la base. Por lo tanto, a la coordenada Z del nodo 178 se le asignará directamente el parámetro “Cero”.

5.4. IMPORTACIÓN DE SECCIONES DESDE SHAPE-THIN

Los sistemas Drive-In están principalmente formados por la combinación de las siguientes barras: puntales, diagonales y horizontales, largueros y vigas paleta.

Por defecto, en el RSTAB aparecen puntales de la clase AP1008123, horizontales y diagonales CZ42, largueros APLP 80x40x15 y vigas paleta (situación que se ilustra en la siguiente imagen). Todas estas barras fueron importadas desde el software SHAPE-THIN.

1.3 Cross-Sections

Section No.	Cross-Section Description [mm]	Material No.	Moments of inertia [cm ⁴]			Cross-Sectional Areas [cm ²]			Principal Axes α [°]	Rotation α' [°]	Overall Dimensions [mm]	
			Torsion J	Bending I _y	Bending I _z	Axial A	Shear A _y	Shear A _z			Width b	Depth h
1	SHAPE-THIN VIGA PALETA (2)	4	0.15	101.24	6.96	5.31	0.97	3.20	-41.14	0.00	106.4	106.2
2	SHAPE-THIN AP1008123 LONGITUDI	1	0.11	94.04	54.41	7.01	2.40	1.20	-0.06	0.00	81.3	100.0
3	SHAPE-THIN APLP 80X40X1.5	8	23.19	50.17	12.92	5.13	1.22	1.80	0.35	0.00	40.0	80.0
4	SHAPE-THIN HORIZONTAL CZ42-2	6	0.01	4.09	1.30	1.50	0.54	0.43	0.00	0.00	25.0	41.8

Ilustración 5.41. Secciones que figuran inicialmente en RSTAB

Estas barras son las que aparecen por defecto, pero los puntales y largueros pueden no ser los deseados. En caso de que se considere que se necesitan barras con propiedades más sólidas/débiles que las que aparecen en primera instancia, es posible cambiar estas por las que se desee.

Si seleccionamos la sección “SHAPE-THIN AP1008123 LONGITUDINAL”, se seleccionarán todas las barras que tienen asignada dicha sección (marcadas en color rojo en la siguiente imagen).

1.3 Cross-Sections

Section No.	Cross-Section Description [mm]	Material No.	Moments of inertia [cm ⁴]			Cross-Sectional Areas [cm ²]			Principal Axes α [°]	Rotation α' [°]	Overall Dimensions [mm]	
			Torsion J	Bending I _y	Bending I _z	Axial A	Shear A _y	Shear A _z			Width b	Depth h
1	SHAPE-THIN VIGA PALETA (2)	4	0.15	101.24	6.96	5.31	0.97	3.20	-41.14	0.00	106.4	106.2
2	SHAPE-THIN AP1008123 LONGITUDI	1	0.11	94.04	54.41	7.01	2.40	1.20	-0.06	0.00	81.3	100.0
3	SHAPE-THIN APLP 80X40X1.5	8	23.19	50.17	12.92	5.13	1.22	1.80	0.35	0.00	40.0	80.0
4	SHAPE-THIN HORIZONTAL CZ42-2	6	0.01	4.09	1.30	1.50	0.54	0.43	0.00	0.00	25.0	41.8

Ilustración 5.42. Barras que tendrían asignada la sección AP1008123 (marcadas en color rojo)



Al hacer doble click con el ratón sobre cualquiera de las barras marcadas en color rojo, RSTAB nos devolverá el siguiente cuadro de diálogo:

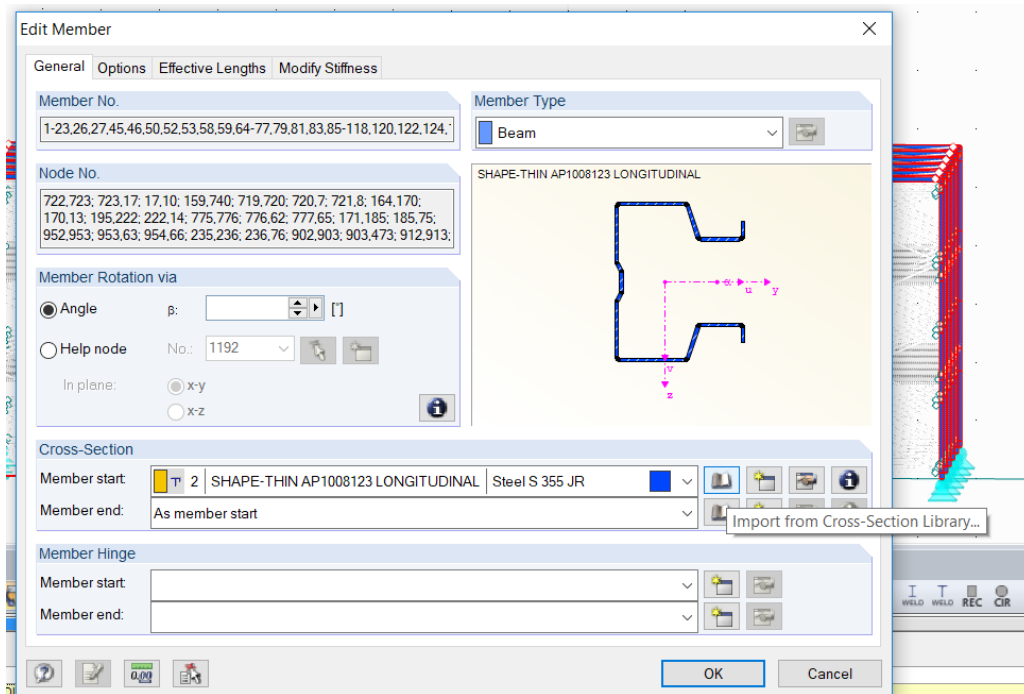


Ilustración 5.43. Cuadro de diálogo en el que se pueden editar las propiedades de las barras

En este cuadro de diálogo, en el apartado “Cross-Section”, nos indica tanto la sección como el material que tienen asignados esas barras. Si pinchamos sobre el botón que aparece en la anterior imagen, “Import from Cross-Section Library”, RSTAB abrirá el siguiente cuadro de diálogo, donde podremos importar la barra que consideremos que se ajusta más a la instalación dentro de las disponibles por la empresa (todas las barras que utiliza APERSA fueron previamente generadas con el software SHAPE-THIN).

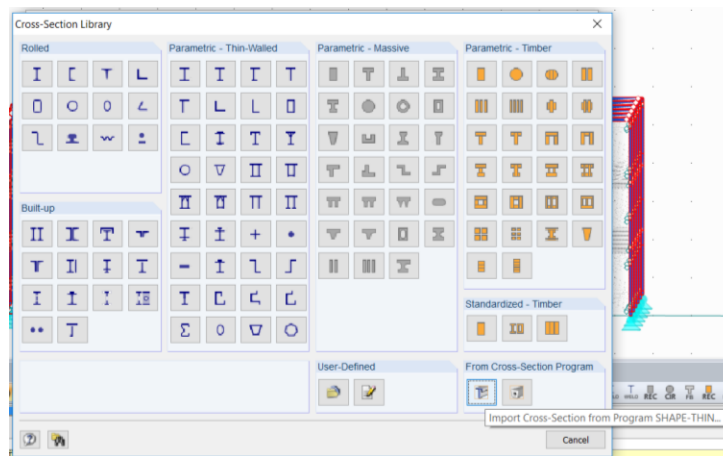


Ilustración 5.44. Ubicación del botón para importar secciones desde SHAPE-THIN



En el cuadro de diálogo de la Ilustración 5.44 están diseñadas la mayor parte de las secciones estandarizadas. Los puntales, largueros, vigas paleta... que utiliza la empresa no son formas comunes. Por lo tanto, pincharemos sobre el botón que aparece en la anterior imagen “Import Cross-Section from Program SHAPE-THIN”, tras lo que RSTAB nos mostrará el siguiente cuadro de diálogo.

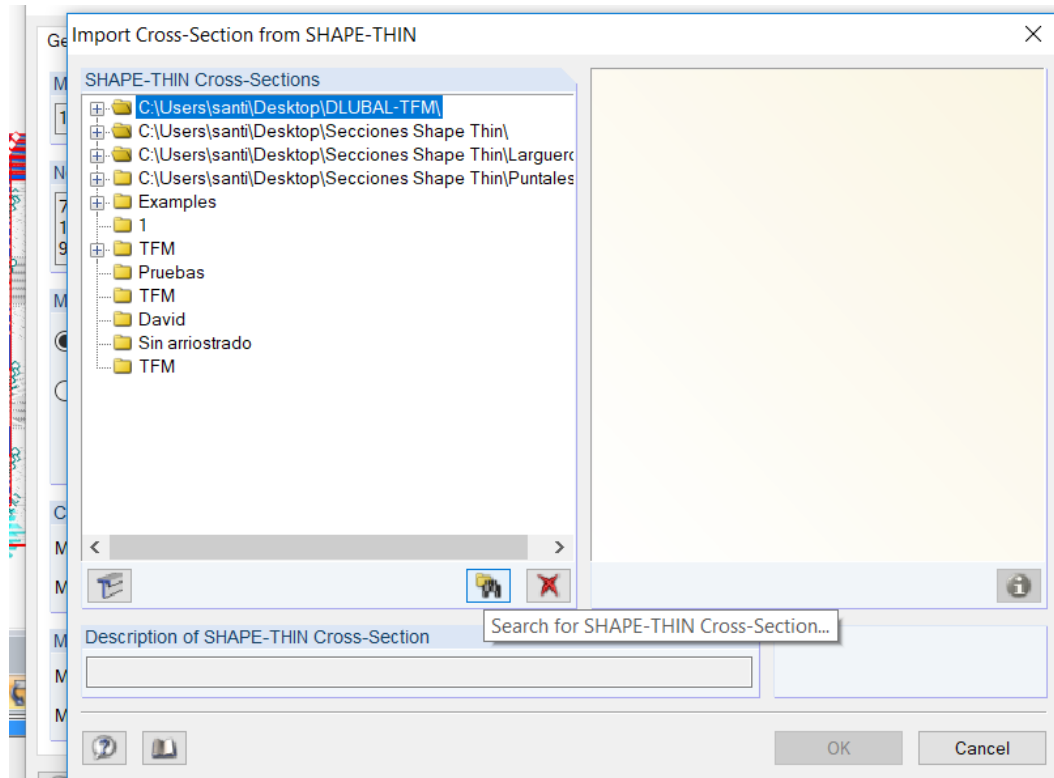


Ilustración 5.45. Ubicación del botón desde el que se busca la sección deseada en tu ordenador

En este cuadro de diálogo, simplemente habría que pulsar el botón “Search for SHAPE-THIN Cross-Section...”, buscar en tu ordenador la carpeta en la que tengas guardadas las secciones e importarla.

Al aceptar, todos los puntales habrán cambiado de la sección que venía por defecto (AP1008123) a la que se desee importar (para este ejemplo importé la sección AP10010525, como se puede observar en la siguiente imagen).

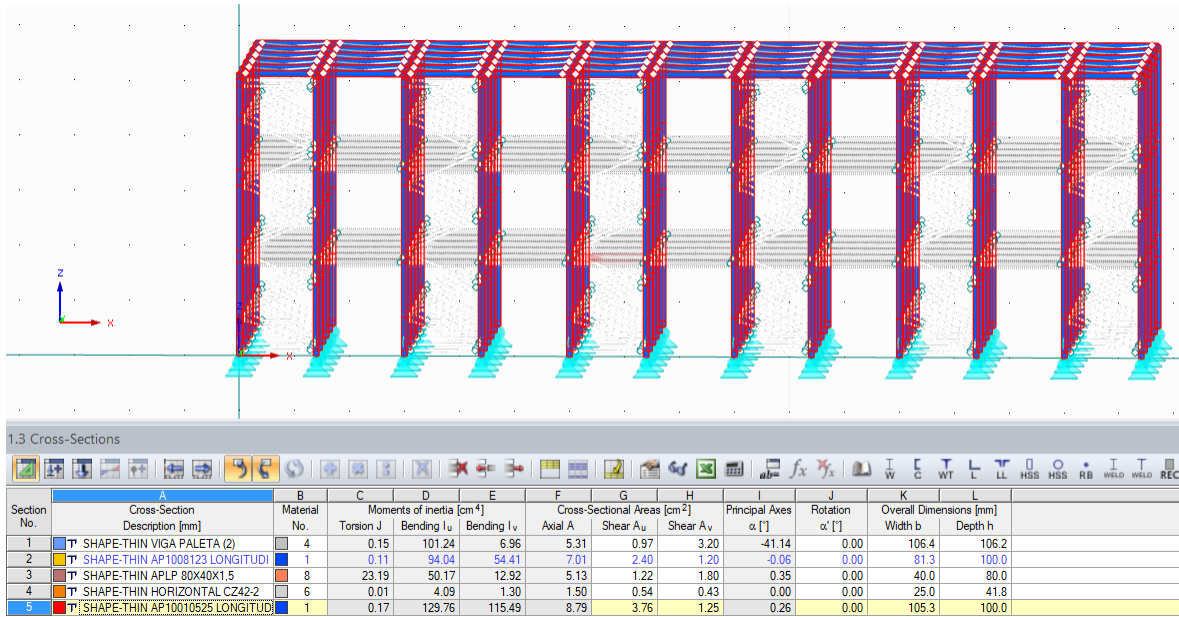


Ilustración 5.46. Barras que tienen asignada la nueva sección (en este ejemplo la del puntal AP10010525, marcado en amarillo)

Una vez se tengan la estructura dimensionada y las secciones deseadas, se procederá a realizar los cálculos. El punto del flujograma en el que nos encontramos será el que se muestra en la siguiente imagen:

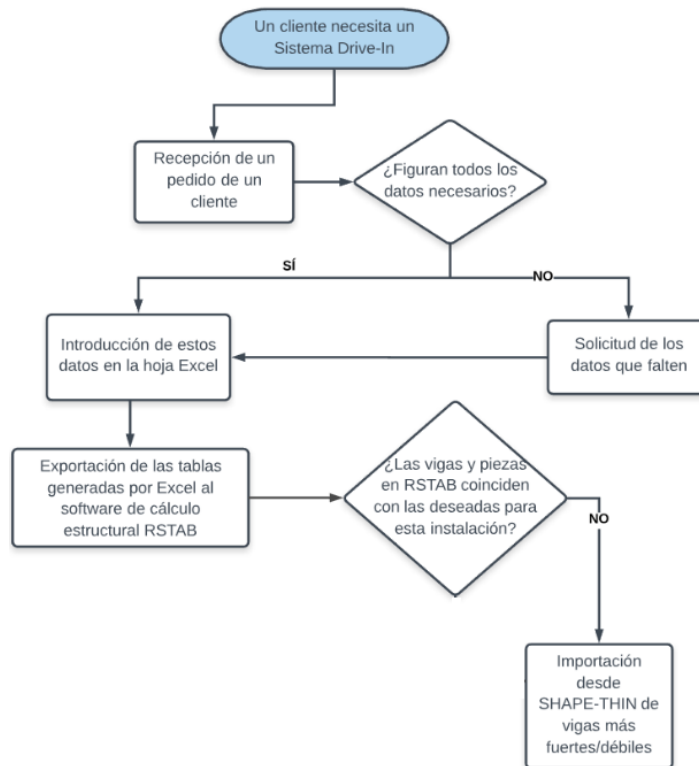


Ilustración 5.47. Proceso del flujograma en el que nos encontramos tras importar las secciones deseadas desde SHAPE-THIN

5.5. REALIZACIÓN DE CÁLCULOS CON EL SOFTWARE RSTAB

Las cargas y combinaciones de carga a las que debe ser sometida la estructura de acuerdo con la FEM 10.2.07. fueron comentadas en el apartado 3.2.5. de esta memoria. En este apartado se mostrará cómo fueron introducidas en RSTAB cada una de ellas y la forma en la que el software realiza los cálculos.

5.5.1. Peso propio de la estructura, “G”

El peso propio de la estructura lo calcula automáticamente el programa a partir del material de las barras y la sección y longitud de las mismas. En la siguiente imagen puede verse la carga equivalente que aplica el software al peso de la estructura.

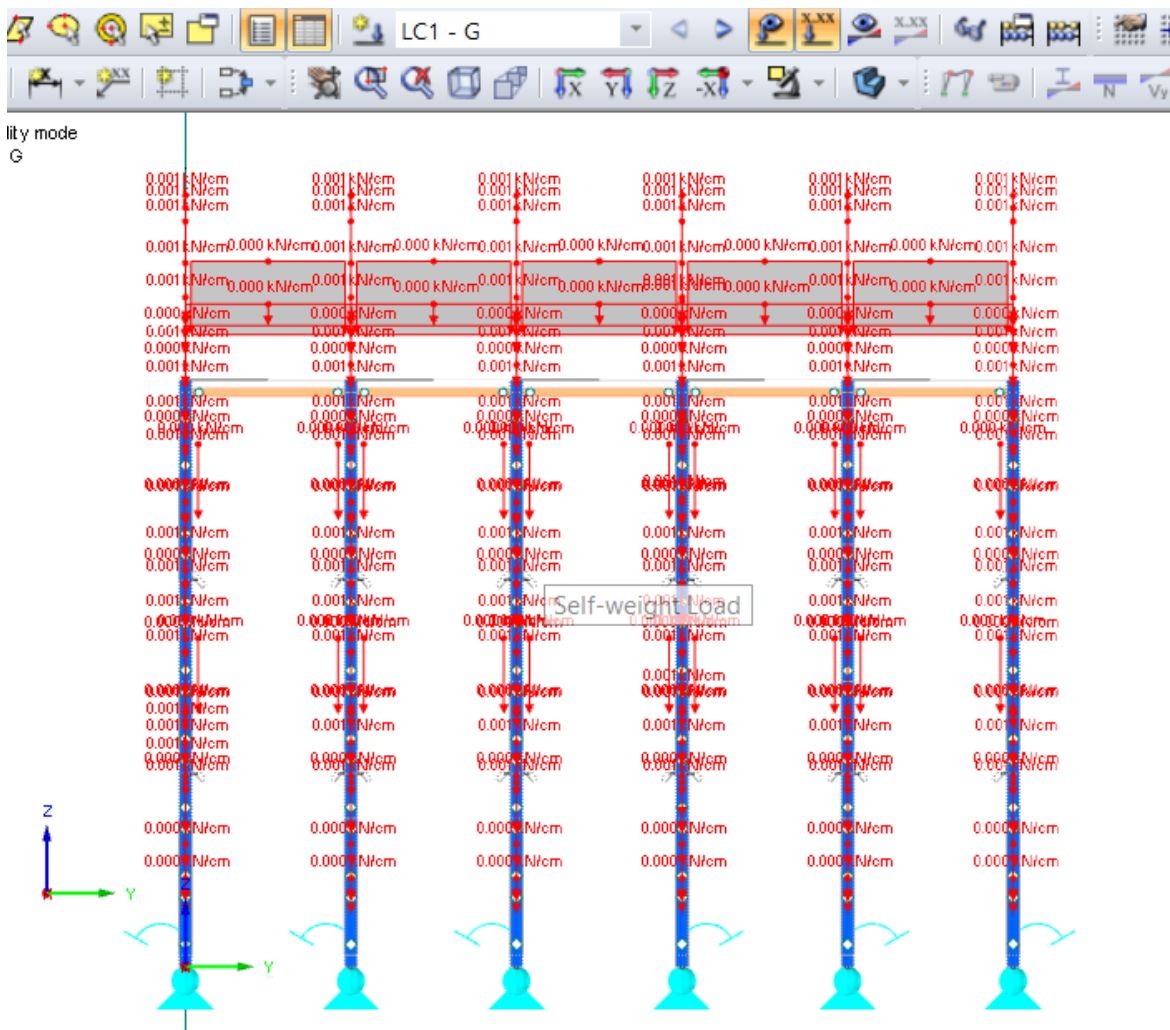


Ilustración 5.48. Carga equivalente al peso propio de la estructura

5.5.2. Estantería completamente cargada “ Q_{full} ”

Esta carga representa la estantería completamente cargada por paletas. Se considera que la carga que ejercen las paletas es una carga distribuida a lo largo de la viga paleta.

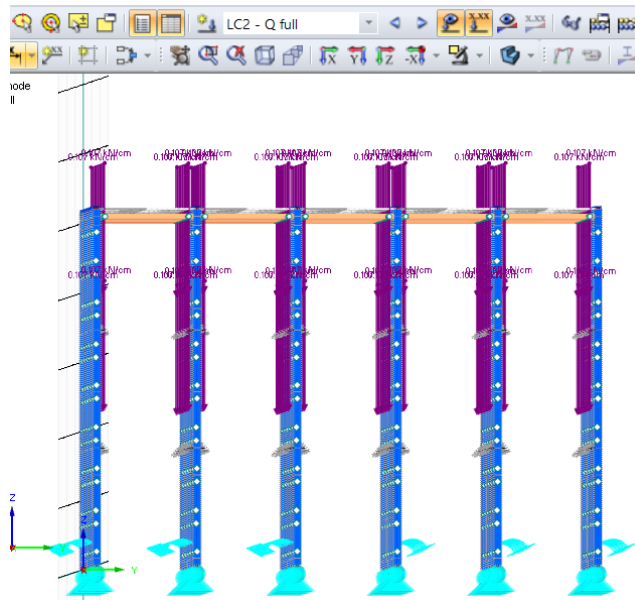


Ilustración 5.49. Carga que representa la estantería completamente cargada “ Q_{full} ”

5.5.3. Imperfecciones en dirección transversal a la calle “ImpY”

Esta carga representa la desviación de los puntales sobre la vertical en la dirección de Y. Esta situación se puede observar en la siguiente imagen:

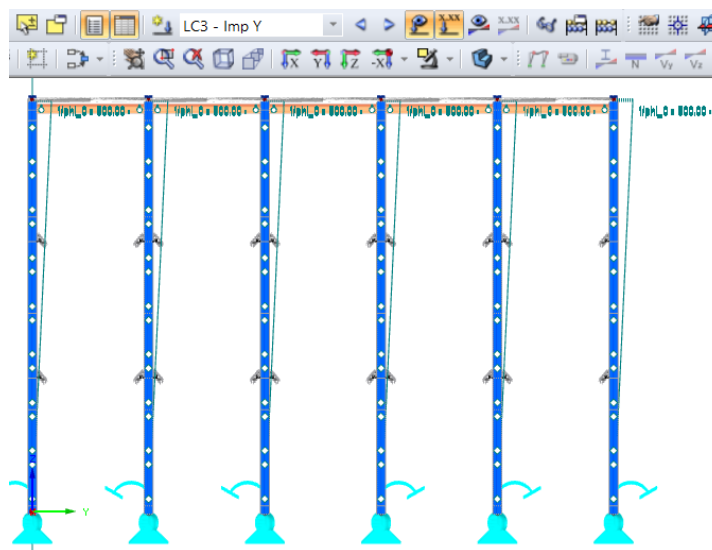


Ilustración 5.50. Imperfecciones de los puntales en la dirección transversal a la calle “ImpY”



5.5.4. Imperfecciones en dirección longitudinal a la calle “ImpX”

Al igual que en el anterior subapartado, esta carga representa las imperfecciones en la dirección longitudinal a la calle de operación (como se puede observar en la siguiente imagen).

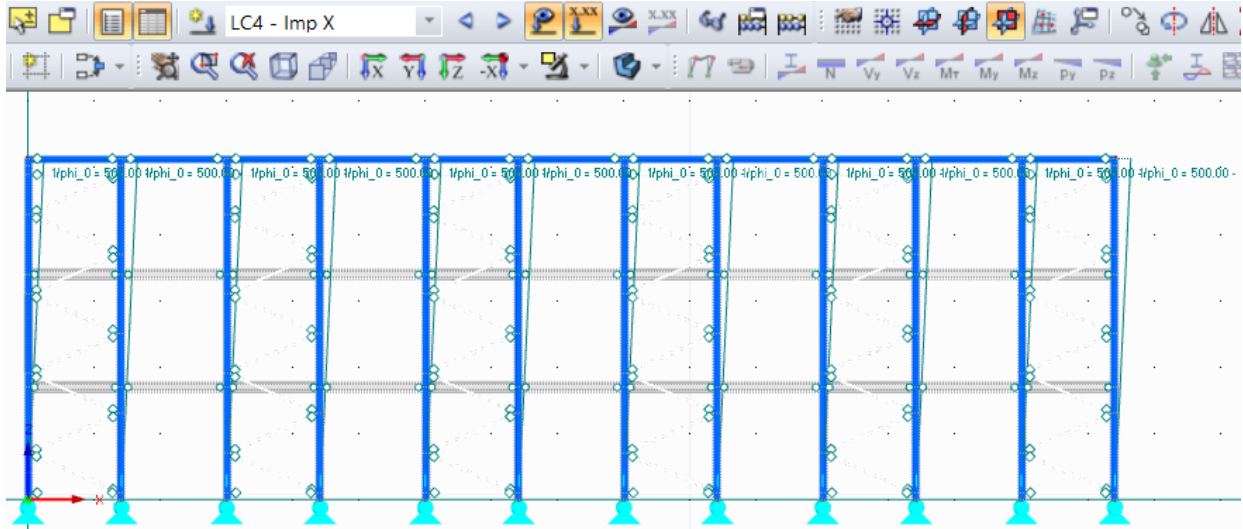


Ilustración 5.51. Imperfecciones de los puntales en la dirección longitudinal a la calle "ImpX"

5.5.5. Estantería parcialmente cargada “Q_{patt}”

Esta carga representa la que se considera la situación más desfavorable de carga de la estantería. De acuerdo con un estudio realizado por la Universidad de Griffith, esta situación es con la estantería completamente cargada salvo el nivel más bajo de la calle central.

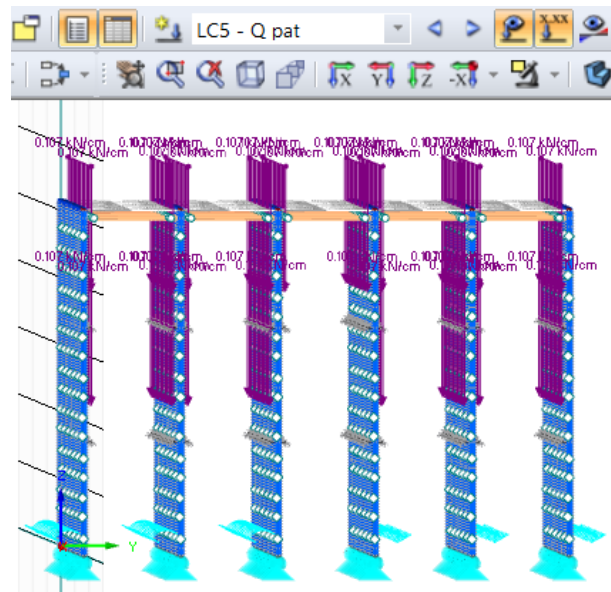


Ilustración 5.52. Carga que representa la estantería parcialmente cargada "Q_{patt}"



5.5.6. Carga accidental en dirección transversal a la calle "A_{ph-cl}"

Las cargas accidentales deben ser aplicadas a una altura de 400 mm sobre el nivel del suelo, sobre el primero de los puntales de una única calle. En el sentido transversal a la calle de operación, el valor de esta carga es de 1,25 KN, como puede observarse en la siguiente imagen.

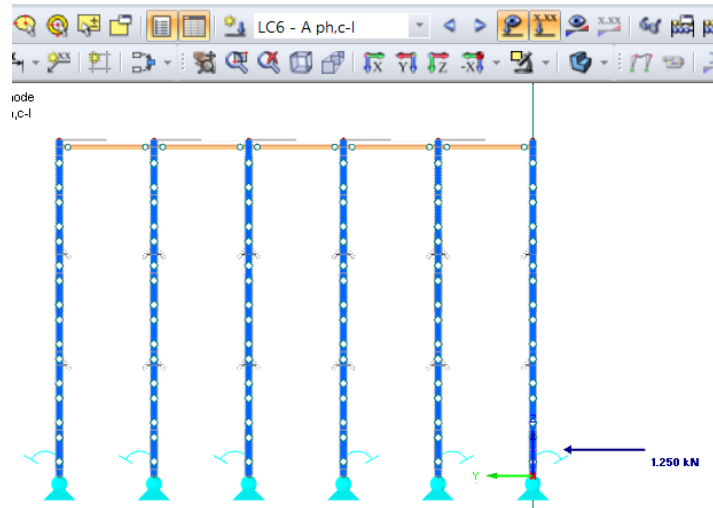


Ilustración 5.53. Carga accidental en la dirección transversal a la calle "A_{ph-cl}"

5.5.7. Carga accidental en dirección longitudinal a la calle "A_{ph-dl}"

De la misma forma, en la dirección longitudinal a la calle de operación debe aplicarse una carga a una altura de 400 mm sobre el nivel del suelo. En este caso, el valor de la carga será de 2,5 KN como se aprecia en la siguiente imagen.

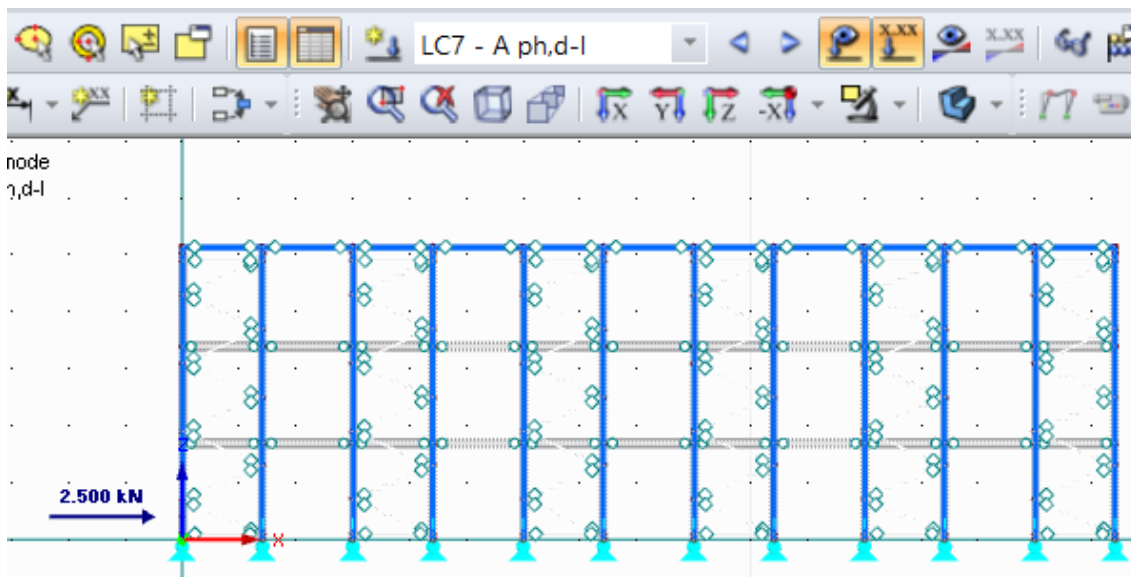


Ilustración 5.54. Carga accidental en la dirección longitudinal a la calle "A_{ph-dl}"



5.5.8. Carga de posicionamiento “ F_{ph-cl} ”

Por último, la carga de posicionamiento horizontal “ F_{ph-cl} ”, debe ser aplicada en el nivel de carga que se encuentre más cercano a la mitad de la altura del puntal (en este caso el segundo nivel de carga). Como se puede observar en la siguiente imagen, esta carga tiene un valor de 0,5 KN.

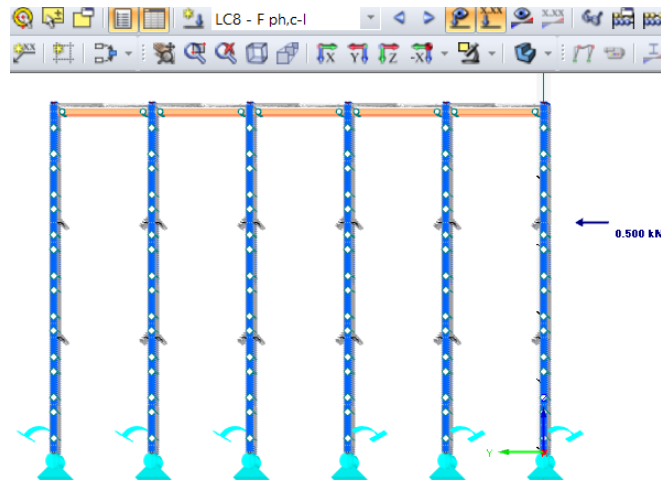


Ilustración 5.55. Carga horizontal de posicionamiento “ F_{ph-cl} ”

5.5.9. Combinaciones de carga

Las cargas expuestas en este apartado no aparecen de forma aislada. En muchos de los casos aparecen combinadas y, por tanto, así han de ser estudiadas. En el apartado 3.2.5. de la memoria se ilustran las combinaciones de carga recomendadas por la FEM.

En la siguiente imagen se muestran de nuevo estas combinaciones de carga, y la forma en la que están introducidas en RSTAB (con los correspondientes coeficientes de seguridad aplicables en cada caso).

Nº	Combinación			
1	G	Q_{full}	Imp_{d4}	
2	G	Q_{pat}	Imp_{d4}	
3	G	Q_{full}	Imp_{c1}	
4	G	Q_{pat}	Imp_{c1}	
5	G	Q_{full}	Imp_{d4}	F_{ph-cl}
6	G	Q_{pat}	Imp_{d4}	F_{ph-cl}
7	G	Q_{full}	Imp_{c1}	F_{ph-cl}
8	G	Q_{pat}	Imp_{c1}	F_{ph-cl}
9	G	Q_{full}	Imp_{d4}	A_{ph-d4}
10	G	Q_{full}	Imp_{d4}	A_{ph-c1}
11	G	Q_{full}	Imp_{c1}	A_{ph-d4}
12	G	Q_{full}	Imp_{c1}	A_{ph-c1}

Ilustración 5.56. Combinaciones de carga recomendadas en la FEM con sus respectivos coeficientes de seguridad

5.5.10. Realización de los cálculos

Todas las cargas y sus combinaciones están perfectamente definidas en el programa RSTAB. A continuación, se deben realizar los cálculos que determinen si la estantería cumple con las normas correspondientes de cara a realizar una oferta firme al cliente.

Para realizar los cálculos en el software RSTAB, habrá que presionar el botón que aparece en la siguiente imagen "Calculate All".

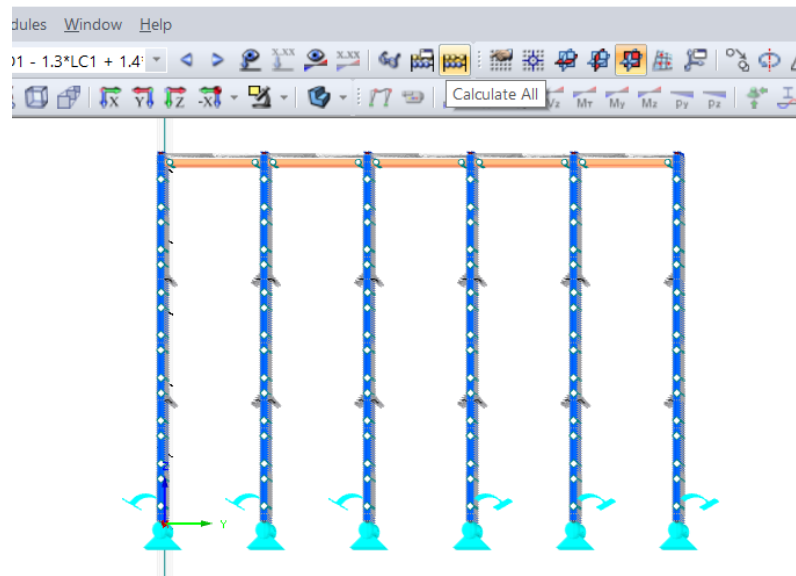


Ilustración 5.57. Ubicación del botón "Calculate All"

Una vez haya realizado todos los cálculos, el programa devolverá para cada carga y combinación de carga unos resultados de deformaciones, esfuerzos axiales y momentos. En los siguientes subapartados se muestra un ejemplo de los resultados dados por el programa para la combinación de carga CO2.

5.5.10.1. Diagramas de deformaciones

Los diagramas de deformaciones nos dan una idea del comportamiento que van a tener tanto los puntales como la viga paleta.

En la imagen que figura a continuación, se muestra la forma en la que pandearían los puntales bajo la combinación de carga dada. Al estar descargado el nivel más bajo de la calle central, los puntales que forman esta calle pierden el equilibrio y pandean en direcciones opuestas.

Como se puede observar, en la parte inferior izquierda del software te indica los valores máximos y mínimos que toman las deformaciones. En este caso, sería 6.7 mm.

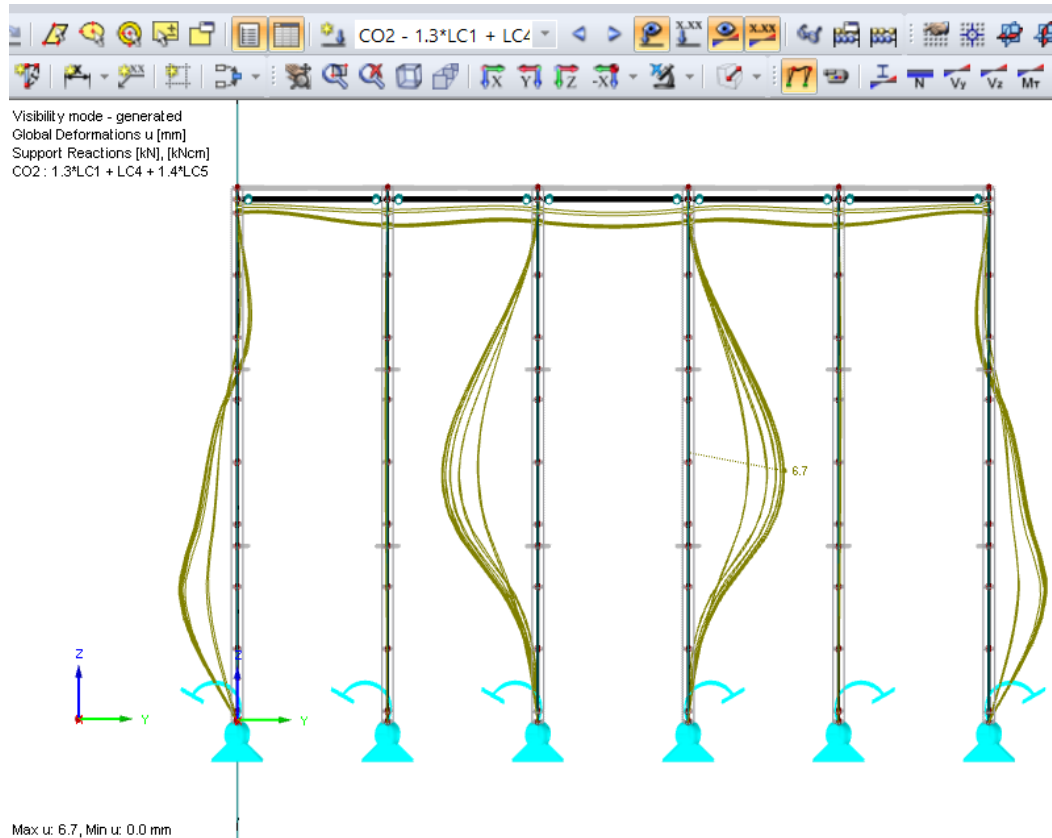


Ilustración 5.58. Diagrama de deformaciones en los puntales generado por RSTAB

En la siguiente imagen se muestra la forma en la que pandearía la viga paleta. En este caso la deformación máxima de la barra serían 17,4 mm (excesivamente alta).

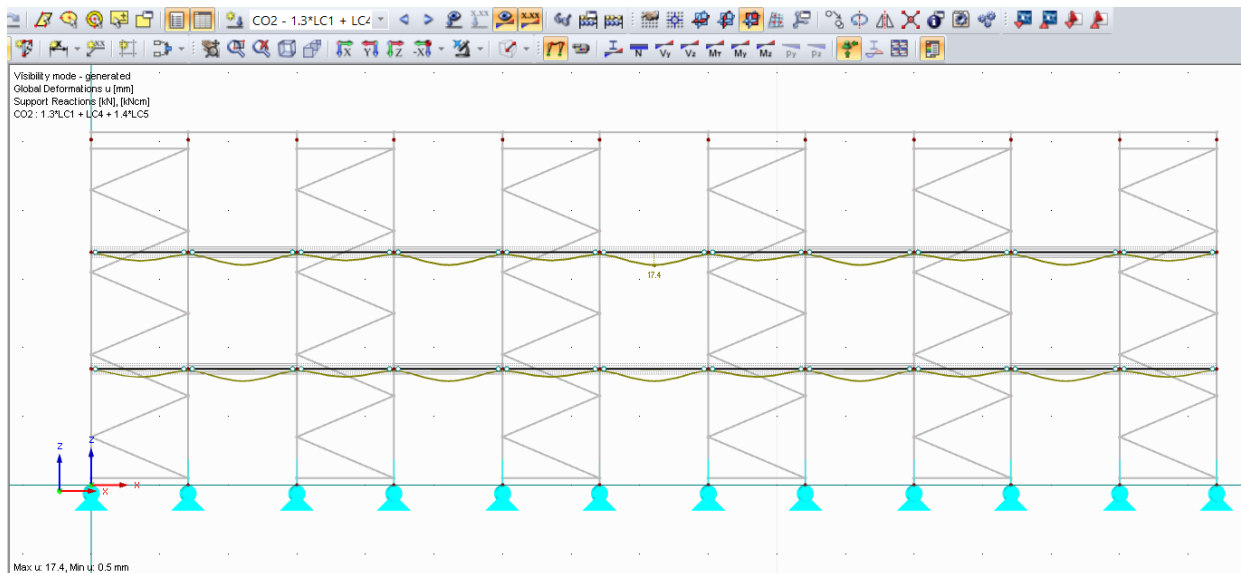


Ilustración 5.59. Diagrama, generado por RSTAB, de las deformaciones de la viga paleta

5.5.10.2. Diagramas de esfuerzos axiales

En la siguiente imagen se muestra el diagrama de esfuerzos normales que generaría la combinación de carga CO2.

Como se puede apreciar en la imagen, el punto más desfavorable sería el primer nivel de carga, al estar soportando las paletas de su propio nivel y las de los niveles superiores.

Los esfuerzos normales aparecen en dos sentidos distintos. Esto es debido a que las parejas de puntales que forman los bastidores tienen orientaciones opuestas y, por tanto, los esfuerzos normales serán también opuestos para cada puntal.

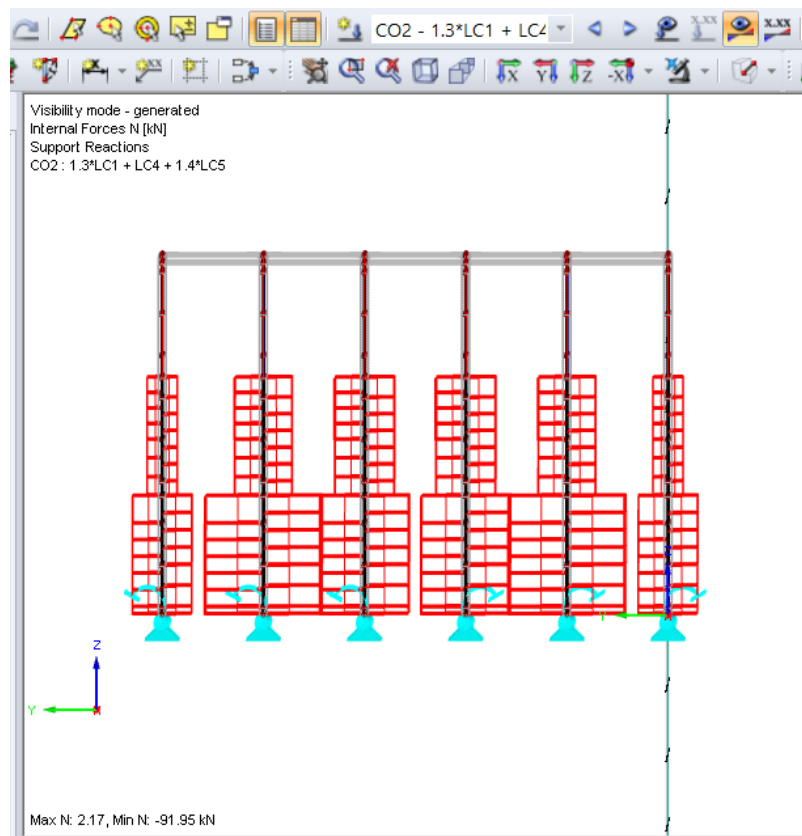


Ilustración 5.60. Diagrama de esfuerzos axiales generado por el software RSTAB

5.5.10.3. Diagramas de momentos flectores

Es importante conocer el valor de los momentos máximos existentes en la estructura. Esto es debido a que, en combinación con los resultados de los esfuerzos axiales, determinan si los puntales aguantarán o no a Pandeo las solicitaciones de carga. Estos valores máximos y mínimos aparecen de nuevo en la parte inferior izquierda del programa.

En las siguientes imágenes se muestran los diagramas de momentos generados por RTSTAB en las direcciones de los ejes Y y Z.

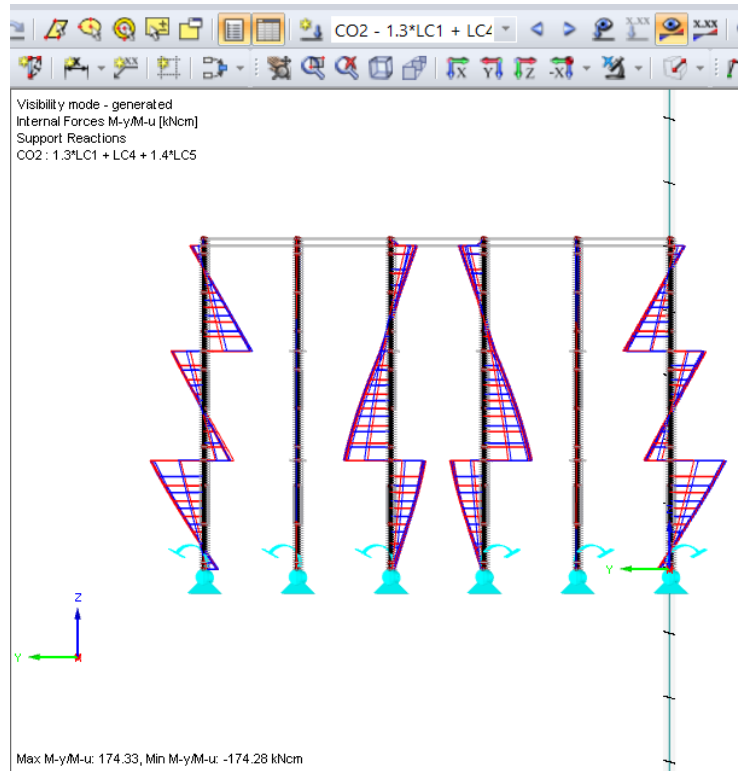


Ilustración 5.61. Diagrama generado por RSTAB de los momentos en Y

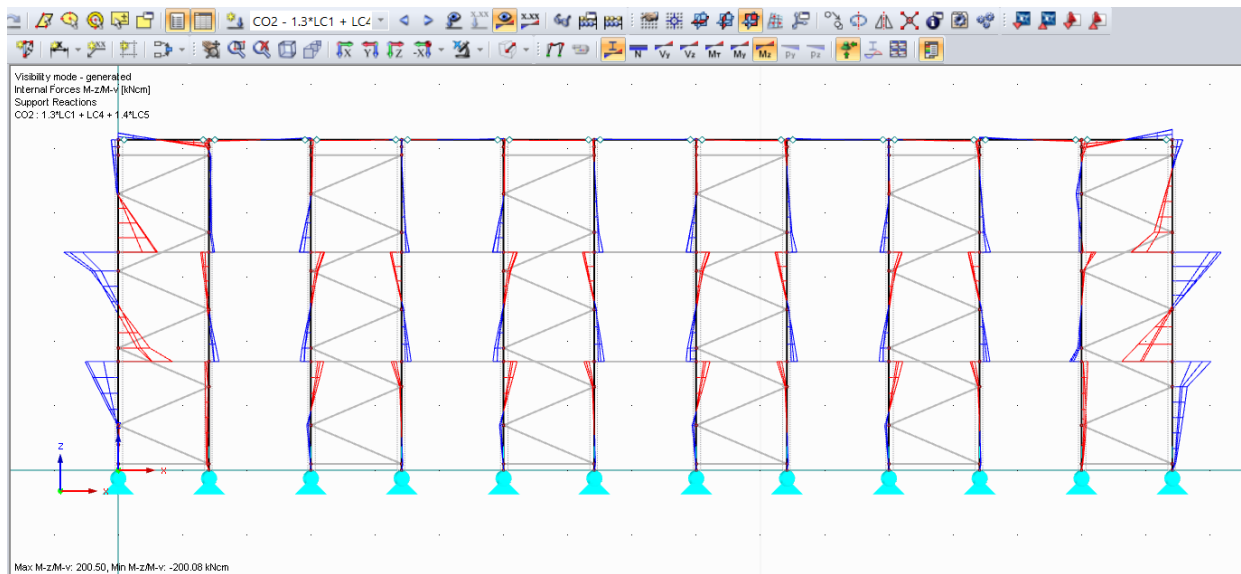


Ilustración 5.62. Diagrama, generado por RSTAB, de los momentos en Z

En este momento ya se tienen todos los datos necesarios para poder realizar los cálculos que proponen la Norma EN 15512 y la FEM 10.2.07.

El flujograma indicativo del punto en el que nos encontramos ahora mismo se puede observar en la siguiente imagen:

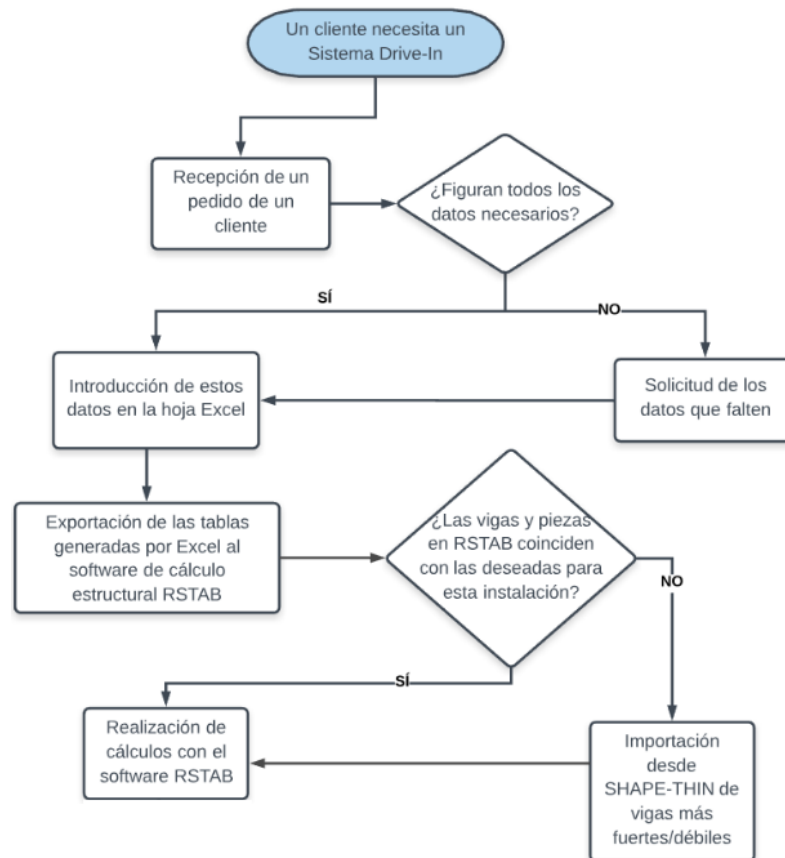


Ilustración 5.63. Proceso del flujograma en el que nos encontramos tras la realización de los cálculos

5.6. VERIFICACIÓN DEL CUMPLIMIENTO DE LA NORMA

De cara a verificar el cumplimiento de la norma en lo que respecta al pandeo de puntales y la viga paleta, habrá que exportar desde el software RSTAB al Excel los resultados de los cálculos y hacer, posteriormente, una interpretación de los mismos.

5.6.1. Exportación de los resultados a Excel

5.6.1.1. Cálculo de puntales

En el libro creado en Excel para realizar la verificación del cumplimiento de la norma, hay una hoja llamada “Cálculos Puntales”.

En esa hoja figuran las tablas que aparecen a continuación, en las que hay que introducir en primer lugar el valor del esfuerzo axil máximo para cada combinación de carga y el máximo valor del momento al que está sometido el puntal que estaba sufriendo el máximo esfuerzo axil.

Seguidamente, habría que introducir el momento máximo al que está sometido el puntal que esté aguantando un mayor momento, acompañado del esfuerzo axil que cae sobre ese puntal.



La primera de las tablas que se muestran a continuación recoge los datos de momentos en el sentido longitudinal a la calle de operación (eje Y de los puntales) mientras la segunda tabla recoge los datos de los momentos en sentido transversal a la calle (eje Z de los puntales).

Combinaciones de Carga		Criterio	Comb Carga	N_{Ed} (RStab)(kN)	$M_{Ed,y}$ (kNcm)	$N_{Ed,min}$ (kN)
CO1: 1,3D + 1,4P1 + ImpX		Axil Máximo	CO1	31,16	0,40	175,60
CO2: 1,3D + 1,4P2 + ImpX			CO2	30,92	23,83	175,60
CO3: 1,3D + 1,4P1 + ImpY			CO3	31,02	31,72	175,60
CO4: 1,3D + 1,4P2 + ImpY			CO4	70,17	7,52	175,60
CO5: 1,3D + 1,26P1 + 1,26H1 + ImpX			CO5	63,95	1,22	175,60
CO6: 1,3D + 1,26P2 + 1,26H1 + ImpX			CO6	63,47	5,08	175,60
CO7: 1,3D + 1,26P1 + 1,26H1 + ImpY			CO7	63,69	4,95	175,60
CO8: 1,3D + 1,26P2 + 1,26H1 + ImpY			CO8	63,32	6,28	175,60
CO9: 1,3D + 1,26P1 + AcX + ImpX			CO9	63,91	1,31	175,60
CO10: 1,3D + 1,26P1 + AcY + ImpX			CO10	63,92	1,31	175,60
CO11: 1,3D + 1,26P1 + AcX + ImpY			CO11	63,64	4,27	175,60
CO12: 1,3D + 1,26P1 + AcY + ImpY			CO12	63,68	4,57	175,60
Peso muerto de la estructura	D	Momento Máximo	CO1	35,67	146,74	175,60
Carga completa de instalación	P1		CO2	57,24	120,62	175,60
Carga parcial de la instalación	P2		CO3	36,15	149,06	175,60
Carga horizontal de posicionamiento	H1		CO4	57,32	123,04	175,60
Carga accidental en dirección long.	AcX		CO5	32,26	132,62	175,60
Carga accidental en dirección trans.	AcY		CO6	51,60	108,42	175,60
Imperfeccion de montaje long.	ImpX		CO7	32,77	134,76	175,60
Imperfeccion de montaje trans.	ImpY		CO8	51,60	108,42	175,60
			CO9	32,13	132,70	175,60
			CO10	32,18	132,66	175,60
			CO11	32,56	134,83	175,60
			CO12	32,64	134,80	175,60

Criterio	Comb Carga	N_{Ed} (RStab)(kN)	$M_{Ed,z}$ (kN)	$N_{Ed,min}$ (kN)
Axil Máximo	CO1	31,16	12,44	175,60
	CO3	31,02	9,28	175,60
	CO5	63,95	11,35	175,60
	CO7	63,69	8,53	175,60
	CO9	63,91	11,07	175,60
	CO10	63,92	11,12	175,60
	CO11	63,64	8,06	175,60
	CO12	63,68	8,39	175,60
Momento Máximo	CO1	70,89	15,10	175,60
	CO3	70,33	13,98	175,60
	CO5	61,74	14,98	175,60
	CO7	63,41	13,27	175,60
	CO9	61,70	14,29	175,60
	CO10	61,71	14,35	175,60
	CO11	63,34	11,98	175,60
	CO12	63,39	12,74	175,60

Ilustración 5.64. Tablas para la introducción en Excel de los resultados obtenidos con el software RSTAB, para cada una de las combinaciones de carga recomendadas en la FEM

Cuando Excel conoce los datos sobre los máximos esfuerzos axiles y momentos a los que están sometidos los puntales, tanto en la dirección longitudinal como en la transversal a la calle, realiza las comprobaciones que figuran en la norma EN 15512.

Dichas comprobaciones estudian el comportamiento de los puntales sometidos a: compresión; pandeo por flexión (eje $y-y'$ y eje $z-z'$), torsión y flexo-torsión; y carga combinada de flexión y axial. Estas comprobaciones se muestran en las siguientes imágenes.



COMPROBACIÓN A COMPRESIÓN

Carga de diseño calculada con software de cálculo estructural.

Símbolo	Descripción	Axil Máx.	Moment. Máx	Unidades
N_{d1}	Fuerza de compresión debida a la carga de diseño	70,17	57,32	kN
$N_{c,Rd}$	Resistencia a compresión de la sección transversal	304,20	304,20	kN

Condición	Validación
$N_{d1} \leq N_{c,Rd}$	VÁLIDO

COMPROBACIÓN DE PANDEO POR FLEXIÓN

Símbolo	Descripción	Axil Máx.	Moment. Máx	Unidades
β_1	Coefficiente de amplificación por los efectos de segundo orden	0,82	0,82	
λ_1	Esbeltez mínima para que el puntal falle por pandeo	76,41	76,41	

Variables correspondientes al eje y-y'

Símbolo	Descripción	Axil Máx.	Moment. Máx	Unidades
L_y	Distancia entre la base del puntal y el eje central del primer larguero o entre los ejes centrales de dos largueros consecutivos	503,1	503,1	cm
K_y	Factor de longitud efectiva	0,6	0,6	
l_y	Longitud de pandeo	301,86	301,86	cm
λ_y	Esbeltez correspondiente al eje y-y'	79,15	79,15	
$\bar{\lambda}_y$	Esbeltez adimensional correspondiente al eje y-y'	0,94	0,94	
α_y	Factor de imperfección correspondiente al eje y-y'	0,34	0,34	
ϕ_y	Imperfección por desplazamiento lateral correspondiente al eje y-y'	1,07	1,07	
χ_y	Factor de reducción para pandeo correspondiente al eje y-y'	0,64	0,64	
$N_{b,Rd,y}$	Resistencia a pandeo por flexión en el eje y-y'	193,68	193,68	kN

Condición	Validación Cálculo Software
$N_{d1} \leq N_{b,Rd,y}$	VÁLIDO

Variables correspondientes al eje z-z'

Símbolo	Descripción	Axil Máx.	Moment. Máx	Unidades
L_z	Distancia entre nudos de celosía	120	120	cm
K_z	Factor de longitud efectiva	1	1	
l_z	Longitud de pandeo	120	120	cm
λ_z	Esbeltez correspondiente al eje z-z'	33,38	33,38	
$\bar{\lambda}_z$	Esbeltez adimensional correspondiente al eje z-z'	0,40	0,40	
α_z	Factor de imperfección correspondiente al eje z-z'	0,34	0,34	
ϕ_z	Imperfección por desplazamiento lateral correspondiente al eje z-z'	0,61	0,61	
χ_z	Factor de reducción para pandeo correspondiente al eje z-z'	0,93	0,93	
$N_{b,Rd,z}$	Resistencia a pandeo por flexión en el eje z-z'	282,24	282,24	kN

Condición	Validación Cálculo Software
$N_{d1} \leq N_{b,Rd,z}$	VÁLIDO

Ilustración 5.65. Comprobaciones de los puntales a compresión y a pandeo por flexión exigidas en la norma EN15512 y realizadas mediante el software Excel



COMPROBACIÓN DE PANDEO POR TORSIÓN Y PANDEO POR FLEJO-TORSIÓN

Símbolo	Descripción	Axil Máx.	Moment. Máx	Unidades
i_0^2	Radio de giro polar $i_{0x}^2 + i_{0y}^2 + y_0^2$	120,78	120,78	cm ²
L_T	Distancia entre nudos de celosía	120	120	cm
β_T	Coefficiente corrector de restricción de alabeo y torsional	0,7	0,7	
L_{eT}	Longitud efectiva del elemento respecto a la torsión	84	84	cm
β	Coefficiente de amplificación por los efectos de segundo orden	0,23	0,23	
$N_{cr,T}$	Carga crítica elástica de un puntal basada en la longitud de pandeo	345,70	345,70	kN
$N_{cr,T}$	Carga axial crítica para pandeo por torsión	1343,73	1343,73	kN
$N_{cr,FT}$	Carga axial crítica para pandeo por flexo-torsión	285,97	285,97	kN
λ_{FT}	Esbeltez reducida para pandeo por flexo-torsión	1,03	1,03	
α_{FT}	Factor de imperfección para pandeo por flexo-torsión	0,34	0,34	
ϕ_{FT}	Imperfección por desplazamiento lateral para pandeo por flexo-torsión	1,17	1,17	
χ_{FT}	Factor de reducción para pandeo por flexo-torsión	0,58	0,58	
$N_{b,Rd,FT}$	Resistencia a pandeo por flexo-torsión	175,60	175,60	kN

Condición	Validación Cálculo Software
$N_{Sd} \leq N_{b,Rd,FT}$	VÁLIDO

COMPROBACIÓN DE CARGA COMBINADA DE FLEXIÓN Y AXIAL

Momento flector y fuerza axial de compresión

Símbolo	Descripción	Unidades
N_{Sd}	Fuerza de compresión debida a la carga de diseño	kN
$N_{c,Rd}$	Resistencia a compresión de la sección transversal	kN
$M_{y,Sd}$	Momento debido a la carga de diseño respecto al eje y-y'	kNcm
$M_{z,Sd}$	Momento debido a la carga de diseño respecto al eje z-z'	kNcm
$M_{c,y,Rd}$	Momento resistente efectivo de la sección cuando sólo esté sometido a momento flector respecto al eje y-y'	kNcm
$M_{c,z,Rd}$	Momento resistente efectivo de la sección cuando sólo esté sometido a momento flector respecto al eje z-z'	kNcm

Condición	Validación
$\frac{N_{Sd}}{N_{c,Rd}} + \frac{M_{y,Sd}}{M_{c,y,Rd}} + \frac{M_{z,Sd}}{M_{c,z,Rd}} \leq 1$	VÁLIDO

Flexión y compresión axial sin pandeo lateral

Símbolo	Descripción	Valor	Unidades
χ_y	Factor de reducción para pandeo correspondiente al eje y-y'	0,64	
χ_z	Factor de reducción para pandeo correspondiente al eje z-z'	0,93	
χ_{db}	Factor de reducción obtenido del ensayo de pandeo distorsional	0,77	
χ_{min}	Factor de reducción menor entre χ_y , χ_z , χ_{db}	0,64	

Condición	Validación
$\frac{N_{Sd}}{\chi_{min} A_{eff} f_y / \gamma_{m0}} + \frac{k_y M_{y,Sd}}{W_{eff,y} f_y / \gamma_{m0}} + \frac{k_z M_{z,Sd}}{W_{eff,z} f_y / \gamma_{m0}} \leq 1$	VÁLIDO

Ilustración 5.66. Comprobación de los puntales en lo referente a: pandeo por torsión, pandeo por flexo-torsión y carga combinada de flexión y axial



Flexión y compresión axial con pandeo lateral	
Condición	Validación
$\frac{N_{sd}}{\chi_{min} A_{eff} f_y / \gamma_M} + \frac{k_{yT} M_{y,sd}}{\chi_{iT} W_{eff,y} f_y / \gamma_M} + \frac{k_{zT} M_{z,sd}}{W_{eff,z} f_y / \gamma_M} \leq 1$	VÁLIDO
Comprobación según FEM 10.2.15 Part 1	
Condición	Validación
$\frac{N_{sd}}{N_{b,Rd,min}} + \frac{M_{y,sd}}{M_{c,y,Rd}} + \frac{M_{z,sd}}{M_{c,z,Rd}} \leq 1$	VÁLIDO

Ilustración 5.67. Resto de comprobaciones de carga combinada de flexión y axial

Todas las imágenes que se acaban de exponer son un resumen que muestra si los puntales cumplen las comprobaciones que ordena la norma.

Además, Excel da para cada comprobación y combinación de carga, un valor que nos indica en qué medida se está cumpliendo esa norma. En la siguiente tabla se muestran los valores que dio Excel para cada combinación de carga en el ejemplo estudiado.

Criterio	Comb Carga	N _{sd} (RStab)(kN)	M _{sd,y} (kNm)	N _{b,Rd,min} (kN)	Check FEM(Rstab)	Check EN15512 9.7.6.2 (Rstab)	Check EN15512 9.7.6.3 (Rstab)	Check EN15512 9.7.6.4 (Rstab)
Axil Máximo	CO1	31,16	0,40	175,60	0,178	0,103	0,161	0,161
	CO2	30,92	23,83	175,60	0,207	0,132	0,190	0,190
	CO3	31,02	31,72	175,60	0,218	0,143	0,201	0,201
	CO4	70,17	7,52	175,60	0,409	0,240	0,372	0,372
	CO5	63,95	1,22	175,60	0,366	0,212	0,332	0,332
	CO6	63,47	5,08	175,60	0,368	0,215	0,334	0,334
	CO7	63,69	4,95	175,60	0,369	0,216	0,335	0,335
	CO8	63,32	6,28	175,60	0,369	0,216	0,335	0,335
	CO9	63,91	1,31	175,60	0,366	0,212	0,332	0,332
	CO10	63,92	1,31	175,60	0,366	0,212	0,332	0,332
	CO11	63,64	4,27	175,60	0,368	0,215	0,334	1,500
	CO12	63,68	4,57	175,60	0,369	0,215	0,335	0,900

Ilustración 5.68. Tabla Excel que indica en qué medida se está cumpliendo la norma

Como se puede observar, todos los valores están entre 0 y 1 con color verde (salvo los dos últimos valores de la última columna que se cambiaron manualmente para que el ejemplo fuese más ilustrativo). Como todos los resultados son menores que 0.500, (seguirían cumpliendo la norma siempre que fuesen menor que 1) estamos cumpliendo la norma de forma excesivamente holgada, es decir, la estantería estaría sobredimensionada. Por tanto, podríamos probar a importar desde el software SHAPE-THIN puntales con propiedades más débiles (que son más baratos de fabricar) y es probable que siguiesen cumpliendo con la norma.

En caso de que algún valor sea cercano a 1 (pero menor), el resultado aparecería en color amarillo indicando precaución; y si fuese mayor que 1 (la norma dejaría de cumplirse) aparecería en color rojo. En estos casos, habría que importar desde SHAPE-THIN puntales con propiedades más sólidas que garanticen cumplir la norma EN 15512.

5.6.1.2. Cálculo de la Viga Paleta

Para el cálculo de la viga paleta, la FEM 10.2.01. recomienda que el desplazamiento máximo de la ménsula (cota D_B de la siguiente imagen) sea inferior a 5 mm.

En lo que respecta a la viga paleta, el desplazamiento máximo de esta (cota D_R de la siguiente imagen) ha de ser inferior a 10 mm.

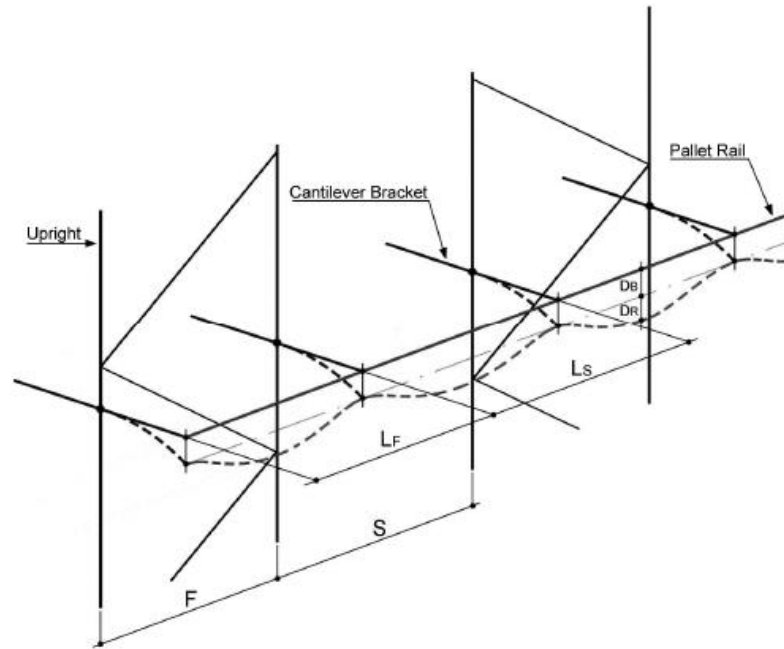


Ilustración 5.69. Cotas necesarias para comprobar la viga paleta

En Excel, habría que introducir únicamente las cotas D_B y D_R obtenidas de RSTAB para que el programa nos diga si cumple la norma o no. La hoja Excel “Cálculos Viga Paleta” tiene la forma que se muestra a continuación.

Comprobación Viga Paleta según FEM 11.2.1.			
Símbolo	Descripción	Valor	Unidades
D_R	Desplazamiento total máximo en z de la viga paleta	10	mm
D_B	Desplazamiento máximo en z de la ménsula	5	mm
L_F	Distancia entre ejes de dos puntales consecutivos que forman los bastidores	1413,8	mm
L_S	Distancia entre ejes de dos puntales consecutivos que forman un hueco	1586,2	mm
INTRODUCCIÓN DE DATOS (VALOR OBTENIDO DEL SOFTWARE DE CÁLCULO ESTRUCTURAL)			
Símbolo	Descripción	Valor	Unidades
D_R	Desplazamiento de la viga paleta obtenido en RSTAB	12	mm
D_B	Desplazamiento de la ménsula obtenido en RSTAB	5	mm
Condición	Validación		
$D_R \leq 10$	NO VÁLIDO		
$D_B \leq 5$	VÁLIDO		

Ilustración 5.70. Comprobación en Excel de la viga paleta



Tras verificar el cumplimiento de la norma, podríamos realizar una oferta firme al cliente (en caso de que la norma se cumpla eficientemente) o importar desde SHAPE-THIN puntales más sólidos/débiles para pasar a cumplirla de forma eficiente.

Por lo tanto, ya se habrá pasado por todos los procesos del flujograma inicial.

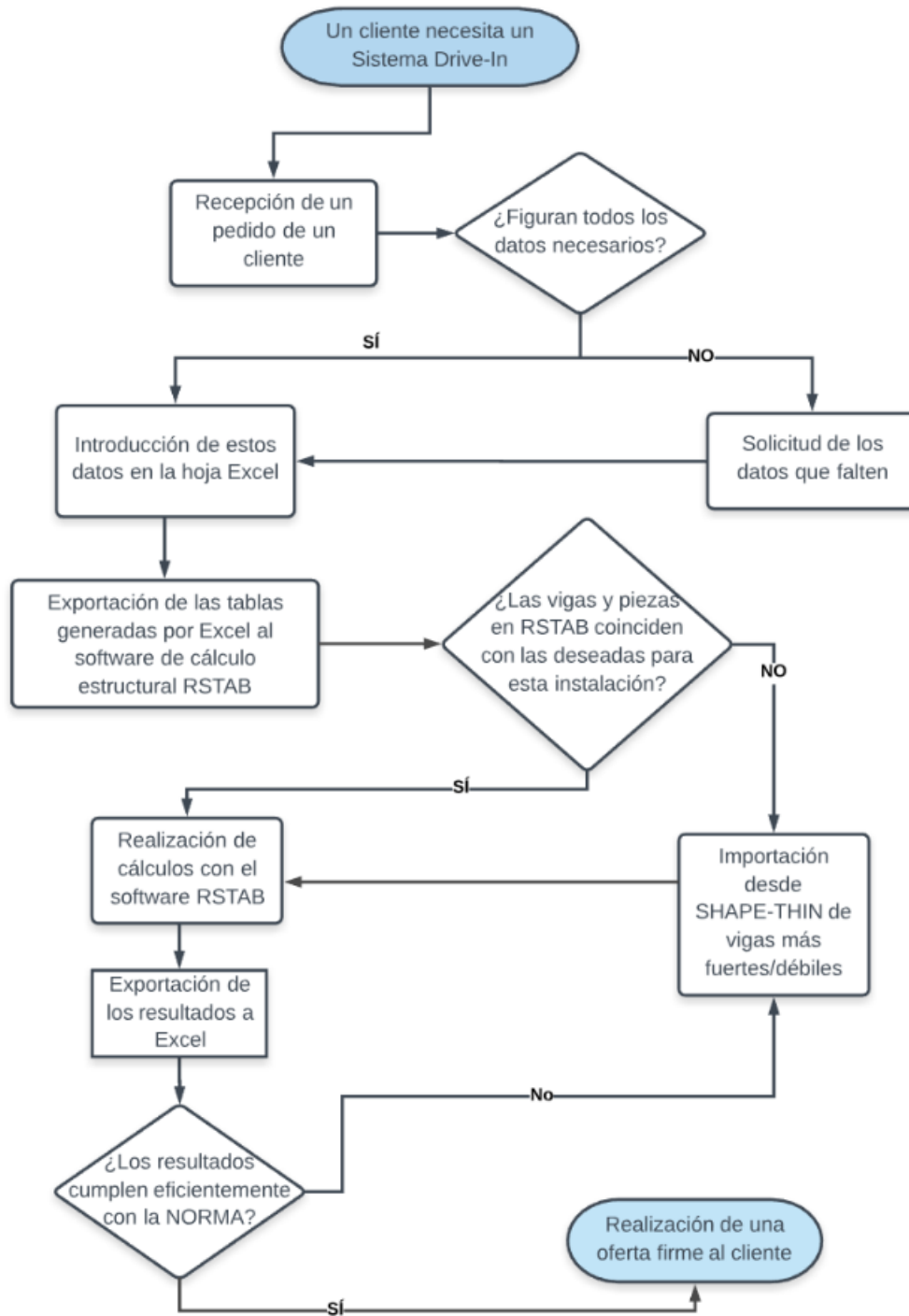


Ilustración 5.71. Todos los pasos que se fueron siguiendo desde la llegada de un pedido hasta la realización de una oferta



PLIEGO DE CONDICIONES



ÍNDICE DEL PLIEGO DE CONDICIONES:

1. INTRODUCCIÓN	90
2. PREPARACIÓN DEL MONTAJE. MEDIDAS DE SEGURIDAD.....	91
3. CONFIGURACIÓN DE BASTIDORES	92
3.1. INTRODUCCIÓN.....	92
3.2. TIPOS DE BASTIDOR	94
4. PLACA DE CARACTERÍSTICAS.....	97
5. MONTAJE DE LOS COMPONENTES	98
5.1. MONTAJE DE LOS BASTIDORES.....	98
5.1.1. <i>Listado de posiciones</i>	98
5.1.2. <i>Secuencia de montaje</i>	98
5.2. MONTAJE DE LARGUEROS	100
5.2.1. <i>Listado de posiciones</i>	100
5.2.2. <i>Secuencia de montaje</i>	101
5.3. MONTAJE DE LOS DISTANCIADORES	101
5.3.1. <i>Listado de posiciones</i>	101
5.3.2. <i>Secuencia de montaje</i>	101
6. CONSIDERACIONES ADICIONALES.....	102
6.1. GARANTÍA	102
6.2. SERVICIO DE MANTENIMIENTO Y REVISIONES PERIÓDICAS	103



1. INTRODUCCIÓN

El presente Manual de Montaje fue elaborado de forma que, si se siguen rigurosamente las recomendaciones del mismo, se obtendrá una versátil instalación de almacenamiento.

Es responsabilidad del usuario hacer una utilización adecuada de la instalación y realizar el mantenimiento necesario para asegurar las prestaciones y funcionalidad de la misma. Para contribuir a este propósito, APERSA facilitará a la entrega de la instalación, un manual que contiene indicaciones y directrices sobre la normativa que regula esta materia, ayudando así a la reducción de los riesgos que puedan afectar a la seguridad de los materiales y personas.

Concretamente, se detallan en el manual:

- Consideraciones básicas de uso y mantenimiento preventivo y correctivo.
- Riesgos comunes y consejos para evitarlos.
- Recomendaciones para las revisiones periódicas.
- Directrices de comprobación para un buen uso de la instalación y evaluación de daños.

Un uso incorrecto de las estanterías y los medios de manutención, debido a la tendencia a un empleo más intensivo de las instalaciones, llevan consigo unas condiciones de trabajo que cada vez tienden a ser menos rigurosas.

En esas circunstancias, se incrementa el riesgo de daños por golpes, falsas maniobras y prácticas equivocadas de trabajo. Si se producen impactos en las estanterías y no se atienden debidamente, se crea un peligro latente que puede desembocar en un grave riesgo para las mismas, los materiales almacenados y las personas que los manipulan.



2. PREPARACIÓN DEL MONTAJE. MEDIDAS DE SEGURIDAD

El uso cotidiano de la estructura para almacenamiento descrita en la presente oferta necesariamente conlleva riesgos de accidentes provocados por golpeo, arrastre o empuje en los componentes de la misma o sobre las unidades de carga. Los operarios encargados de las labores de manutención deben extremar la precaución para evitar posibles daños en las mercancías almacenadas, los elementos de la instalación o incluso lesiones personales.

Se listan a continuación las medidas de seguridad que se han de tomar para tratar de prevenir, en la medida de lo posible, los riesgos relacionados con el montaje de estanterías:

- Nombre al Coordinador de Seguridad de la obra y asegure su presencia en el inicio de los trabajos y en la supervisión de estos.
- Previamente al inicio de los trabajos de montaje delimite el Área de Trabajo y señálcela prohibiendo la entrada a la misma de personal y vehículos no autorizados.
- Verifique que dispone de todos los materiales y herramientas necesarios para el montaje antes del inicio de los trabajos.
- Asegúrese de que los operarios recibieron la formación requerida en materia de prevención de riesgos laborales y fueron informados acerca de los riesgos específicos del trabajo a realizar.
- Verifique que los montadores lleven los EPI's requeridos por la normativa.
- No realizar modificaciones de la estructura ni alterar el uso original previsto de la instalación sin contar previamente con la necesaria revisión del proyecto por parte de la empresa responsable del diseño.
- Respete la normativa aplicable a trabajos en altura asegurándose de que el personal dispone y utiliza correctamente el arnés de seguridad.
- Defina los puntos de anclaje de los arneses de seguridad a una línea de vida. Recuerde que está prohibido trepar por los bastidores y encaramarse a la estantería en montaje.
- Está prohibido subirse a carretillas elevadoras situándose sobre las uñas, paletas, o sobre cualquier cestón no homologado.
- Presente a la Propiedad el Plan de Seguridad del Montaje antes de iniciar los trabajos y asegure que dispone de las autorizaciones necesarias antes de iniciar los trabajos de montaje.
- El responsable del Montaje debe conocer el Manual de Producto del Sistema Drive-In así como el presente Manual de Montaje.
- La estantería debe montarse según indica la Placa de Características de la instalación elaborada por el fabricante.

3. CONFIGURACIÓN DE BASTIDORES

3.1. INTRODUCCIÓN

El sistema denominado Drive-In se configura mediante la disposición de Bastidores en alineaciones simples o dobles, conectados entre sí mediante largueros. Además, en la dirección longitudinal a la calle, los bastidores están unidos por la viga paleta y, opcionalmente, en las partes superior y posterior de la estantería puede disponerse un arriostrado.

Los Bastidores constituyen la estructura a través de la cual se transmiten las cargas de la estantería a la solera de hormigón.

Los Bastidores son estructuras atornilladas que se componen de los siguientes elementos:

- Puntales
- Arriostrados: horizontales y diagonales
- Bases de anclaje al suelo

APERSA dispone de cuatro modelos de Bastidor: AP7663 – AP7679 – AP10081 – AP100105.

Los dos primeros números que siguen a las letras AP, representan el Frente medido en mm (cota A de la siguiente imagen) mientras que los números que siguen a los dos primeros representan el Fondo medido en mm (cota B de la siguiente imagen).

Además, cada modelo de puntal puede tener varios espesores, en función de las necesidades del cliente.

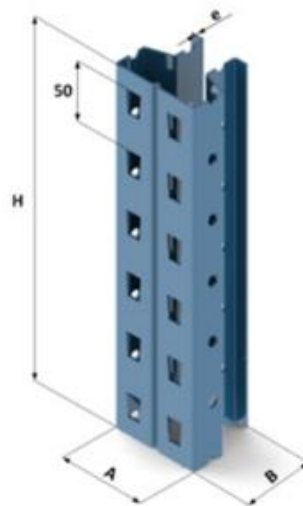


Ilustración 3.1. Cotas que definen un puntal

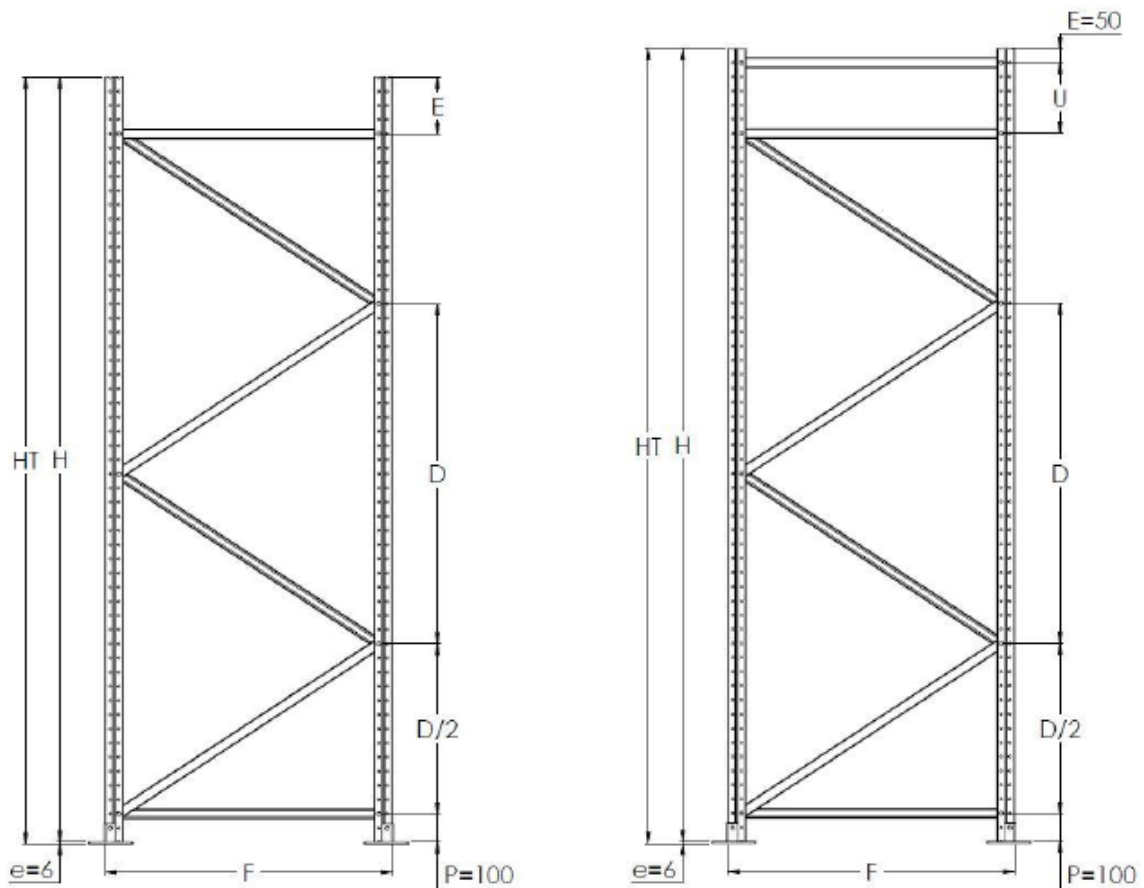


Ilustración 3.2. Cotas que definen un bastidor

El bastidor queda definido por su Altura Total (HT) y su Fondo (F), debiendo cumplirse en su montaje los parámetros que se indican en la Tabla 2.

El espesor de las Bases Estándar es de 6 mm, por lo que la Altura Total $HT = 6 \text{ mm} + H$, siendo H la Altura del Puntal.

TIPO DE BASTIDOR	AP7663 – AP7679 AP10081 – AP100105
e – Espesor chapa base (mm)	6
P – Distancia entre la 1ª horizontal y la base (mm)	100
D – Distancia máxima entre diagonales (mm)	1.200
U – Vano entre horizontales superiores. Min/Máx (mm)	0/550
E – Longitud superior del puntal sin arriostrar. Min/Máx (mm)	50/250

Tabla 3.1. Valores máximos y mínimos de las cotas que definen los bastidores



Los Bastidores de APERSA se configuran disponiendo la primera horizontal a 100 mm de altura sobre la altura de la base. Esta es la cota P que se muestra en la Ilustración 3.2 y la TABLA 3.1.

La distancia máxima entre diagonales (cota D) es de 1.200 mm. Esta es la configuración estándar con la que trabaja la empresa, suministrando las diagonales a con la medida correspondiente en función del Tipo de Bastidor y de su Fondo F.

La altura libre del puntal (cota E) ha de estar comprendida entre 50 y 250 mm. En caso de que la altura del puntal H diese lugar a una cota E superior a 250 mm, sería necesario disponer de una segunda horizontal superior.

La distancia entre las dos horizontales superiores (cota U de la imagen XXXS) ha de estar comprendida (en caso de existir) entre 250 y 550 mm.

3.2. TIPOS DE BASTIDOR

APERSA dispone de puntales en stock para facilitar un suministro ágil a los distribuidores. Las alturas en stock corresponden a medidas múltiplos de 1.000. En cualquier caso, al existir la posibilidad de fabricar bajo pedido medidas especiales, en este documento se recogen datos para alturas de puntales que no sean múltiplo de 100.

Para facilitar el proceso de montaje y la elaboración de Listas de Materiales, APERSA ha definido 4 tipos de Bastidor por Modelo. Estos se representan en la siguiente figura.

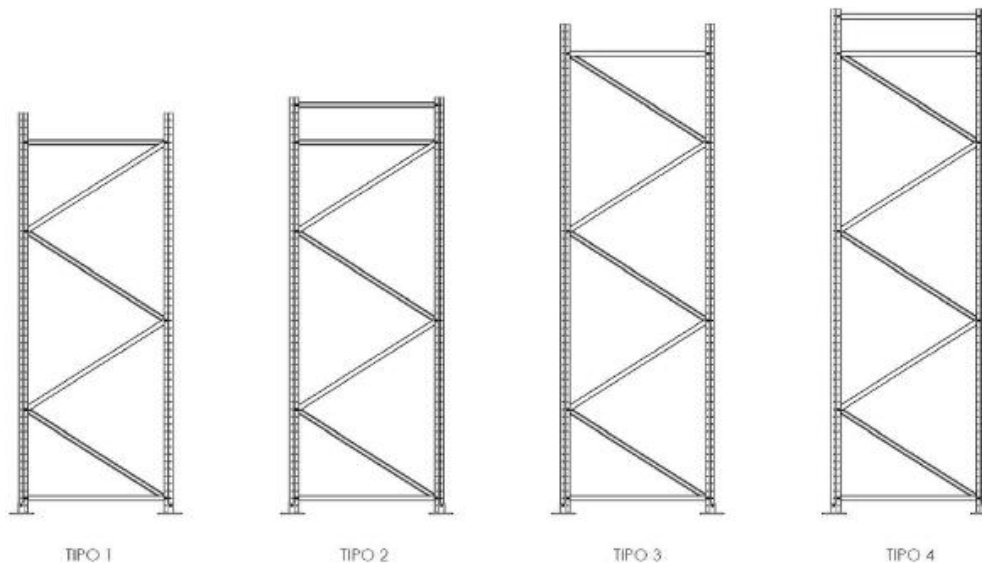


Ilustración 3.3. Tipos de bastidores con los que trabaja la empresa

Para facilitar el trabajo de los Distribuidores y Montadores, APERSA ha definido la siguiente tabla, en la que se presentan los Tipos de Bastidor y Lista de Materiales en función de la Altura del Puntal H.



ALTURA DEL PUNTAL H	TIPO				Nº DE HORIZON.	Nº DE DIAGONA.	NUDO SIMPLE NS	NUDO DOBLE ND	U (mm)	E (mm)
	1	2	3	4						
2.000			X		2	3	2	4	0	100
2.250				X	3	3	4	4	300	50
2.500				X	3	3	4	4	550	50
2.750	X				2	4	2	5	0	250
3.000		X			3	4	4	5	450	50
3.250			X		2	5	2	6	0	150
3.500				X	3	5	4	6	350	50
3.750	X				2	6	2	7	0	50
4.000		X			3	6	4	7	250	50
4.250		X			3	6	4	7	500	50
4.500			X		2	7	2	8	0	200
4.750				X	3	7	4	8	400	50
5.000	X				2	8	2	9	0	100
5.250		X			3	8	4	9	300	50
5.500		X			3	8	4	9	550	50
5.750			X		2	9	2	10	0	250
6.000				X	3	9	4	10	450	50
6.250	X				2	10	2	11	0	150
6.500		X			3	10	4	11	350	50
6.750			X		2	11	2	12	0	50
7.000				X	3	11	4	12	250	50
7.250				X	3	11	4	12	500	50
7.500	X				2	12	2	13	0	200
7.750		X			3	12	4	13	400	50
8.000			X		2	13	2	14	0	100
8.250				X	3	13	4	14	300	50
8.500				X	3	13	4	14	550	50
8.750	X				2	14	2	15	0	250
9.000		X			3	14	4	15	450	50
9.250			X		2	15	2	16	0	150
9.500				X	3	15	4	16	350	50
9.750	X				2	16	2	17	0	50
10.000		X			3	16	4	17	250	50
10.250		X			3	16	4	17	500	50
10.500			X		2	17	2	18	0	200
10.750				X	3	17	4	18	400	50



11.000	X				2	18	2	19	0	100
11.250		X			3	18	4	19	300	50
11.500		X			3	18	4	19	550	50
11.750			X		2	19	2	20	0	250
12.000				X	3	19	4	20	450	50

Tabla 3.2. Propiedades del bastidor en función de la altura del puntal

En la siguiente tabla se muestra resumido el número de componentes que son necesarios para formar un bastidor en función del tipo al que pertenezca este.

COMPONENTES DEL BASTIDOR	TIPO			
	1	2	3	4
PUNTALES	2	2	2	2
BASES DE PUNTAL	2	2	2	2
UNIÓN BASE Y PUNTAL	2	2	2	2
DIAGONAL CZ36/CZ42	$(H-150) / 600 = \text{Número entero}$			
HORIZONTAL CZ36/CZ42	2	3	2	3
NUDO SIMPLE	2	4	2	4
NUDO DOBLE	Nº Diagonales + 1			

Tabla 3.3. Componentes necesarios para formar un bastidor

4. PLACA DE CARACTERÍSTICAS

Con la entrega de la instalación serán facilitadas las necesarias placas de identificación y características del diseño original proyectado. Si APERSA no ha asumido o validado el montaje o si la configuración instalada ha sufrido alguna alteración respecto al diseño original, aquella quedará al margen de cualquier responsabilidad derivada de la eventual falta de correspondencia entre el dimensionamiento real de la implementación y el consignado en las placas exhibidas.

Deben ser colocadas en sitio visible ya que contienen información técnica esencial para el correcto uso del equipo, así como recomendaciones básicas y directrices de comportamiento para distintos supuestos. Todo ello según determina la norma EN15635 sobre “Almacenaje en estanterías metálicas. Uso y mantenimiento del equipo de almacenamiento”



APERSA
Pallet Rack Storage Division

PLACA DE CARACTERÍSTICAS INSTALACIÓN DE RACK DRIVE-IN

Fabricante Auxiliar de Perfiles Perforados Metálicos, S.A.
Distribuidor
Fecha de Fabricación Mayo-2018

www.apersa.biz

SEGURIDAD

INSTALACIÓN SOMETIDA A LOS REQUISITOS DE LA NORMA UNE-EN 15635:2010

PROHIBIDO MODIFICAR LA CONFIGURACIÓN DE LA ESTANTERÍA SIN APROBACIÓN PREVIA POR PARTE DEL FABRICANTE

PROHIBIDO TREPAR O ENCARAMARSE A LA ESTANTERÍA

AVISE AL RESPONSABLE EN CASO DE DETECTAR DAÑOS O GOLPES EN LA ESTRUCTURA



UNIDAD DE CARGA		
Tipo:	Dimensiones Paleta (mm)	Carga Máx (kg):
EUROPALETA	1200 x 800	500
Dimensiones Máximas Unidad de Carga (mm) (Auc x Fuc x Huc)		
800 x 1200 x 2500		

CONFIGURACIÓN DE MÓDULOS			
Anchura de Calle AC (mm)	1450	Número de Niveles	Suelo + 1
Número de Calles	4	Altura Nivel 1 al Suelo (mm)	2690
Altura Bastidor (mm)	5600	Altura entre Niveles (mm)	
Fondo Bastidor (mm)	1250	Nº Paletas por Nivel	3
Distancia entre nodos (mm)	1200	Longitud de Calle (mm)	2530

CARGA MÁX NIVEL	
Tipo	Carga Máxima (kg) / Viga Paleta
Viga Paleta Drive-In	1500

CARGA MÁX POR CALLE	
Tipo de Bastidor	Carga Máxima por Calle (kg)
BAP1008118	3000

Ilustración 4.1. Placa de características de APERSA

El usuario de la instalación debe consultar siempre al fabricante para establecer una operativa de funcionamiento segura. Todas las personas que usen el equipo deben ser formadas convenientemente en la interpretación correcta de la información contenida en las placas de características.

Como parte de la rutina de inspección interna de las estanterías, los usuarios habrán de asegurarse que las placas de características estén colocadas y sean claramente visibles, así como que la información contenida en las mismas se corresponda con el estado físico y funcional actual de la instalación.

5. MONTAJE DE LOS COMPONENTES

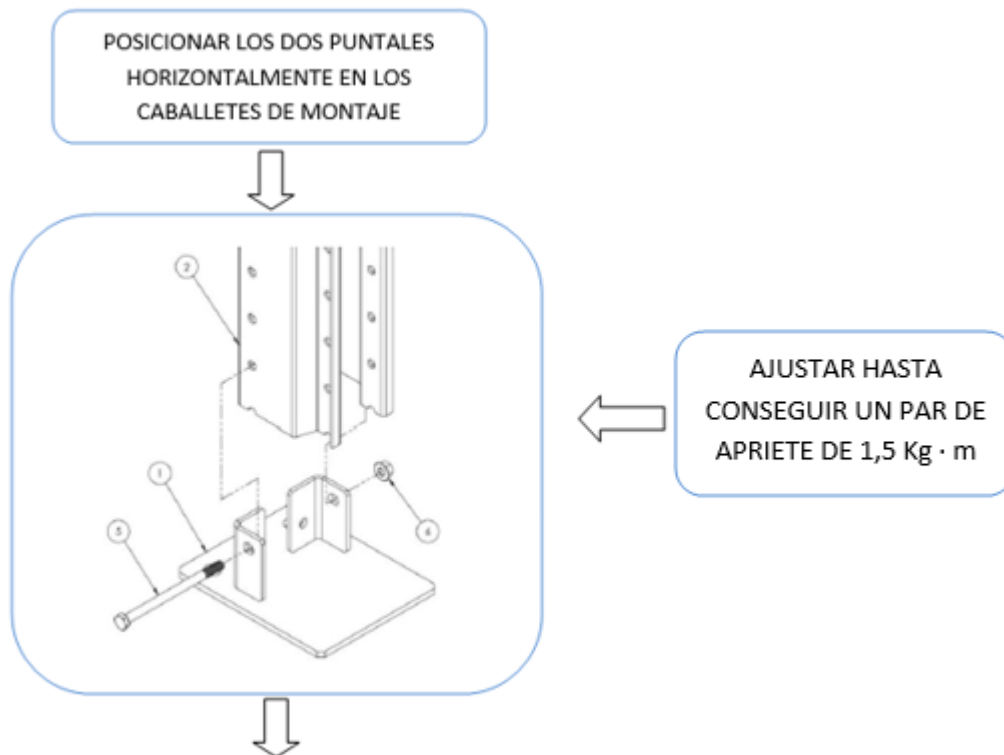
5.1. MONTAJE DE LOS BASTIDORES

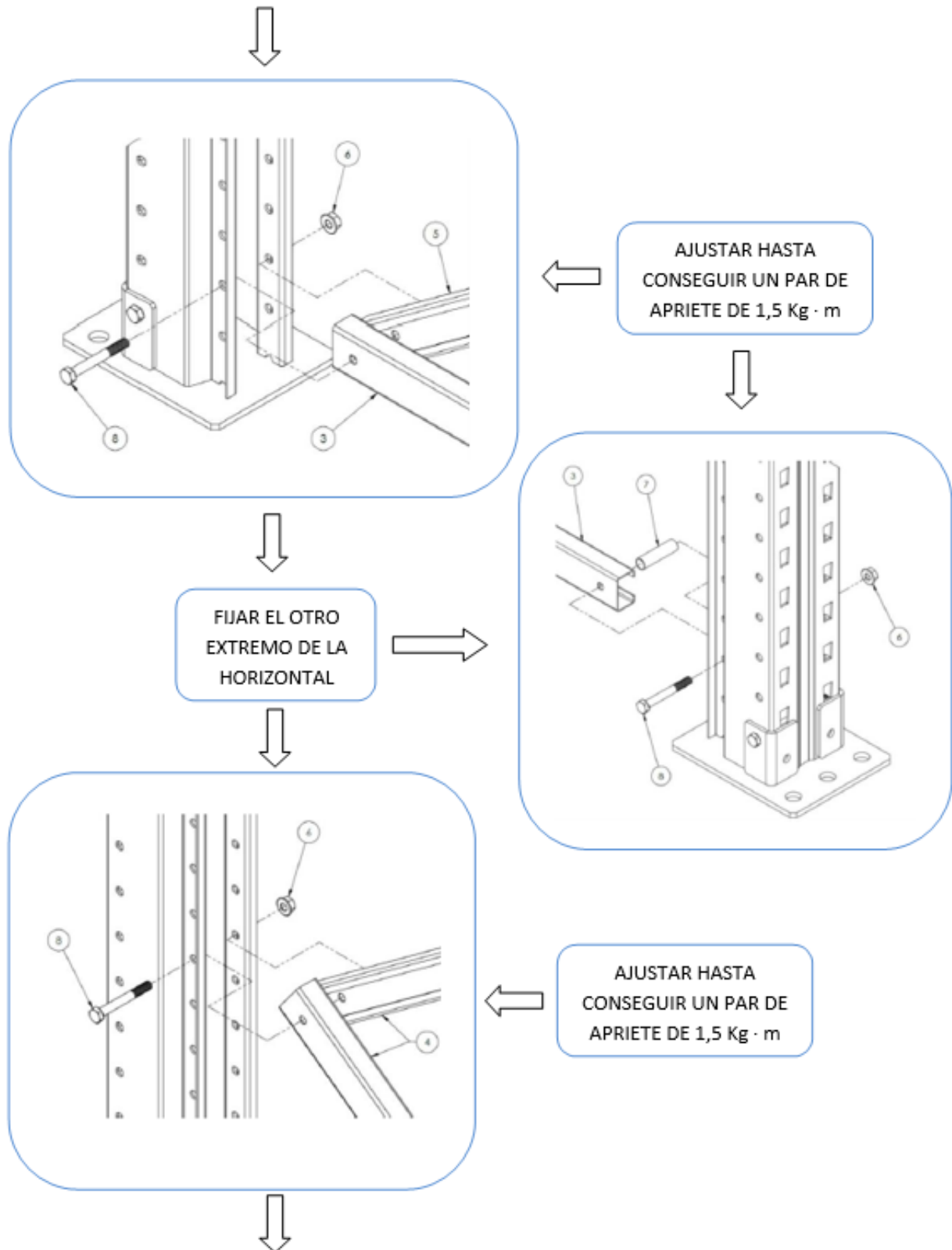
5.1.1. Listado de posiciones

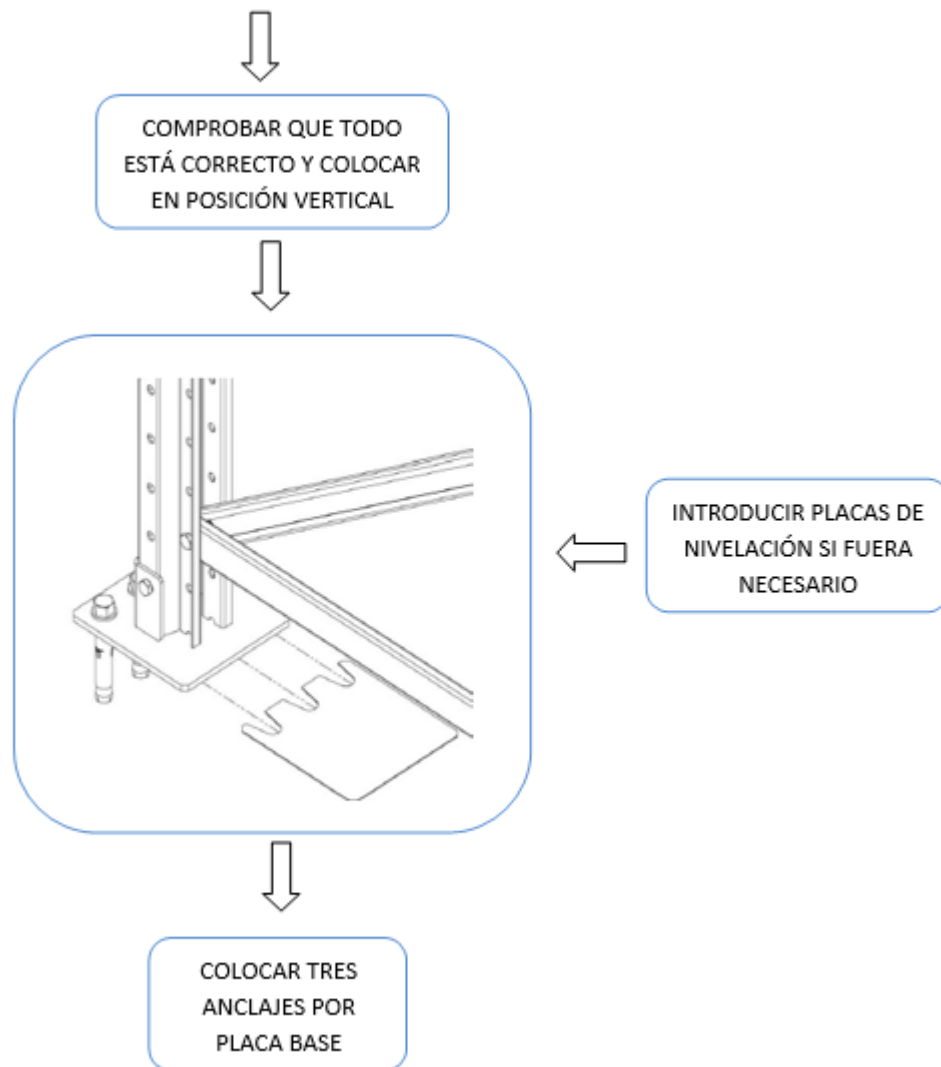
POSICIÓN	DESCRIPCIÓN
1	BASE PUNTAL
2	PUNTAL
3	HORIZONTAL CZ42
4	DIAGONAL CZ42
5	TORNILLO DIN 931 CAL. 8.8 M8x120 ZINCADO
6	TUERCA DIN 6923 CAL. 8 M8 ZINCADA
7	CASQUILLO 13/11 x 48 ZINCADO
8	TORNILLO DIN 931 CAL. 8.8 M8x65 ZINCADO

Tabla 5.1. Listado de posiciones de los bastidores

5.1.2. Secuencia de montaje







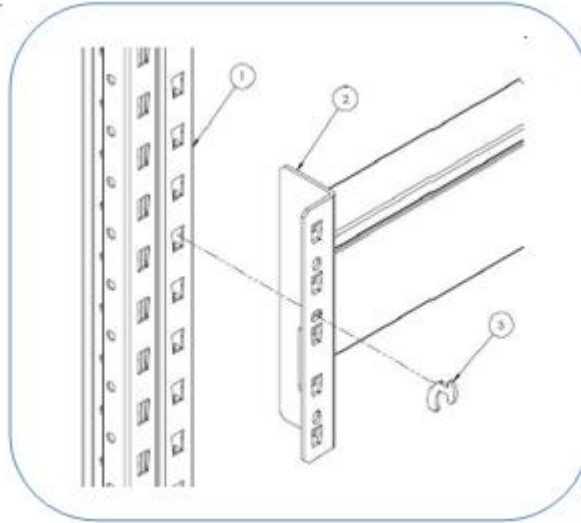
5.2. MONTAJE DE LARGUEROS

5.2.1. Listado de posiciones

POSICIÓN	DESCRIPCIÓN
1	PUNTAL
2	LARGUERO
3	CLAVIJA SEGURIDAD

Tabla 5.2. Listado de posiciones de los largueros

5.2.2. Secuencia de montaje



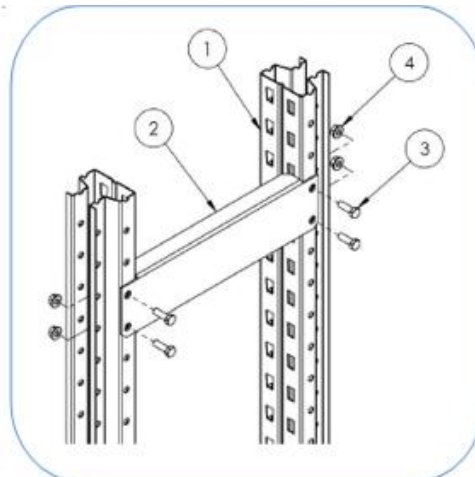
5.3. MONTAJE DE LOS DISTANCIADORES

5.3.1. Listado de posiciones

POSICIÓN	DESCRIPCIÓN
1	PUNTAL
2	LARGUERO
3	TORNILLO DIN 933 CAL. 8.8 M8x25 ZINCADO
4	TUERCA DIN 6923 CAL. 8 M8 ZINCADA

Tabla 5.3. Listado de posiciones de los distanciadores entre bastidores

5.3.2. Secuencia de montaje





6. CONSIDERACIONES ADICIONALES

6.1. GARANTÍA

APERSA garantiza los materiales suministrados para la instalación contra todo defecto de fabricación y montaje por un período de 5 años. Esta condición es únicamente válida si el montaje y mantenimiento son realizados por personal designado por la empresa.

En el caso de que no se den las condiciones expuestas, el periodo de la garantía será de únicamente 1 año y se extenderá solo a defectos de fabricación de los elementos que componen el sistema.

Si el montaje se contrata con APERSA, la fecha de inicio de la garantía coincidirá con el momento de finalización del montaje. En caso contrario, comenzará en la fecha en la que se entreguen los materiales. En cualquiera de los casos descritos, el plazo transcurrirá independientemente de que la instalación se utilice o no.

Esta garantía se extiende exclusivamente a los materiales objeto de la presente oferta y será válida sólo si se cumplen las siguientes condiciones:

- Que hayan sido acatadas todas las indicaciones que APERSA expone en la presente oferta, incluida su documentación anexa y los manuales que acompañen a la instalación.
- Que la instalación sea utilizada de acuerdo con sus planteamientos de diseño y al uso previsto.
- Que no hayan sido realizadas sobre la instalación modificaciones de ningún tipo sobre el montaje inicial. Tampoco están permitidas las reparaciones o sustituciones de alguno de sus componentes sin el consentimiento explícito de APERSA.
- Que tanto el mantenimiento como las inspecciones técnicas necesarias hayan sido realizados de forma adecuada.
- Que la detección de cualquier defecto, daño o circunstancia que pueda comprometer la seguridad de la instalación le haya sido comunicada a APERSA en un plazo no superior a 24 horas.
- Que el cliente cumpla sus obligaciones y responsabilidades contractuales.

Durante el periodo de garantía mencionado al comienzo de este apartado, y bajo las circunstancias expuestas, APERSA procederá a la reparación o sustitución de los componentes que manifiesten graves defectos de fabricación o montaje. La garantía cubrirá tanto materiales como la mano de obra de los empleados. Los elementos retirados pasarán a ser propiedad de APERSA. Las reparaciones se realizarán en el menor plazo posible, en función de la disponibilidad del personal necesario.



6.2. SERVICIO DE MANTENIMIENTO Y REVISIONES PERIÓDICAS

Las entreplantas modulares se deterioran con el uso continuado o inadecuado, reduciéndose la funcionalidad y capacidad portante para la que fueron diseñadas y aumentando considerablemente los riesgos de accidentes. Los elementos golpeados o dañados, aún incluso no siendo apreciables visualmente, pueden generar tensiones peligrosas que lleven al propio colapso de la instalación, a veces, de forma instantánea y sin previo aviso.

Es responsabilidad del usuario de las estructuras, asegurar el buen estado y funcionalidad de sus instalaciones. Previa petición, APERSA ofrece distintos servicios y asistencia técnica para colaborar en este sentido: examen y revisión de los equipos implantados al objeto de realizar un mantenimiento preventivo o correctivo adecuado que minimice los riesgos descritos, asesoramiento en el uso correcto de las instalaciones o cómo proceder en caso de accidente, formación en materia de manutención o seguridad, entrega de manuales técnicos, supervisión y evaluación de las tareas de mantenimiento efectuadas por el usuario, realización de las intervenciones correctivas necesarias, etc.

De acuerdo con la norma EN 15635 sobre “Almacenaje en estanterías metálicas. Uso y mantenimiento del equipo de almacenamiento” establece la necesidad de inspeccionar los equipos instalados como mínimo con una periodicidad anual por un profesional externo y experto.

Dadas las importantes implicaciones que tiene el escenario descrito, APERSA recomienda que se tome conciencia de todo ello y se actúe en consecuencia.



PLANIFICACIÓN Y PRESUPUESTO



ÍNDICE DE LA PLANIFICACIÓN Y PRESUPUESTO:

1. PLANIFICACIÓN TEMPORAL	106
1.1. ESTUDIO DE CARACTERÍSTICAS Y NECESIDADES DE LA EMPRESA	106
1.2. RECOGIDA DE INFORMACIÓN Y ENSAYOS PERTINENTES.....	106
1.3. IDENTIFICACIÓN Y ANÁLISIS DE LA DOCUMENTACIÓN EXISTENTE	106
1.4. REALIZACIÓN DE LA GUÍA TÉCNICA MEDIANTE EL USO DE DIVERSOS SOFTWARES	107
1.5. REDACCIÓN DE LA DOCUMENTACIÓN.....	107
2. PRESUPUESTO	110
2.1. RESUMEN DEL PRESUPUESTO.....	112



1. PLANIFICACIÓN TEMPORAL

La ejecución del proyecto se ha llevado a cabo gracias a la total colaboración del personal de la empresa y se ha enfocado de tal manera que sea posible su realización de manera eficiente, en lo que respecta a cumplir las expectativas generales, tiempo de ejecución y coste de este. Se exponen a continuación los pasos llevados a cabo para llegar al final satisfactorio:

1.1. ESTUDIO DE CARACTERÍSTICAS Y NECESIDADES DE LA EMPRESA

En este punto del programa se trabaja juntamente con los altos cargos de la empresa para poder así conocer la estructura organizacional de la misma, las responsabilidades que lleva consigo cada cargo, la forma de trabajar, los centros de trabajo en los cuales se desarrollan las distintas actividades, las carencias existentes y las necesidades de los distintos niveles que la estructuran.

1.2. RECOGIDA DE INFORMACIÓN Y ENSAYOS PERTINENTES

Este paso consiste en la obtención de toda la información considerada necesaria, tanto de forma presencial en la empresa como fuera de esta.

Además, se realizaron también ensayos en el laboratorio que determinasen la capacidad que tienen nuestros componentes de aguantar las sollicitaciones de carga.

1.3. IDENTIFICACIÓN Y ANÁLISIS DE LA DOCUMENTACIÓN EXISTENTE

Una vez se tiene toda la información necesaria, es importante estudiarla minuciosamente para comprender los dos siguientes aspectos:

1. Las necesidades que tiene la empresa y cuál podría ser la forma en la que la ayuda proporcionada resultase lo más útil posible.
2. Los detalles de carácter técnico que tienen las estanterías de almacenaje, al ser nuevo en este campo en el momento del comienzo de las prácticas.



1.4. REALIZACIÓN DE LA GUÍA TÉCNICA MEDIANTE EL USO DE DIVERSOS SOFTWARES

En el momento en que se tienen claros tanto las necesidades de la empresa, como los conocimientos técnicos necesarios para la realización de la guía técnica se procede a la elaboración de la misma.

Para ello, se trabaja durante varios meses tratando de vincular los softwares que realizan los cálculos estructurales, con los que verifican el cumplimiento de las normas aplicables en este tipo de instalaciones.

1.5. REDACCIÓN DE LA DOCUMENTACIÓN

Una vez se obtiene un vínculo aceptable entre los distintos softwares y con unos resultados técnicos considerados admisibles, se procede a la redacción del proyecto.

En este punto se recopila toda la información adquirida en las fases anteriores de la programación, donde ya se conocen las necesidades que debe cumplir el Sistema Drive-In así como sus características.

Se citan a continuación, en orden cronológico, los documentos realizados para la elaboración del TFM:

- Memoria
- Pliego de condiciones
- Planos

Mediante el programa Project Professional, se ha elaborado la planificación del proyecto. Se muestran a continuación dos capturas de los resultados obtenidos.














		Modo de	Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin	Predecesoras
1			Estudio de características y necesidades de la empresa	1 sem	mié 07/02/18	mar 13/02/18	
2			Recogida de información y ensayos pertinentes	4 días	mié 14/02/18	lun 19/02/18	1
3			Identificación y análisis de la documentación existente	3 sem.	mar 20/02/18	lun 12/03/18	2
4			Realización de la guía técnica con la ayuda de diversos softwares de cálculo estructural	10 sem.	mar 13/03/18	lun 21/05/18	3
5			<input type="checkbox"/> Redacción de la documentación	23,75 días	mar 22/05/18	vie 22/06/18	4
6			Memoria	120 horas	mar 22/05/18	lun 11/06/18	
7			Pliego de condiciones	30 horas	mar 12/06/18	vie 15/06/18	6
8			Planos	30 horas	vie 15/06/18	jue 21/06/18	7
9				10 horas	jue 21/06/18	vie 22/06/18	8

Ilustración 1.1. Descomposición en tareas EDT

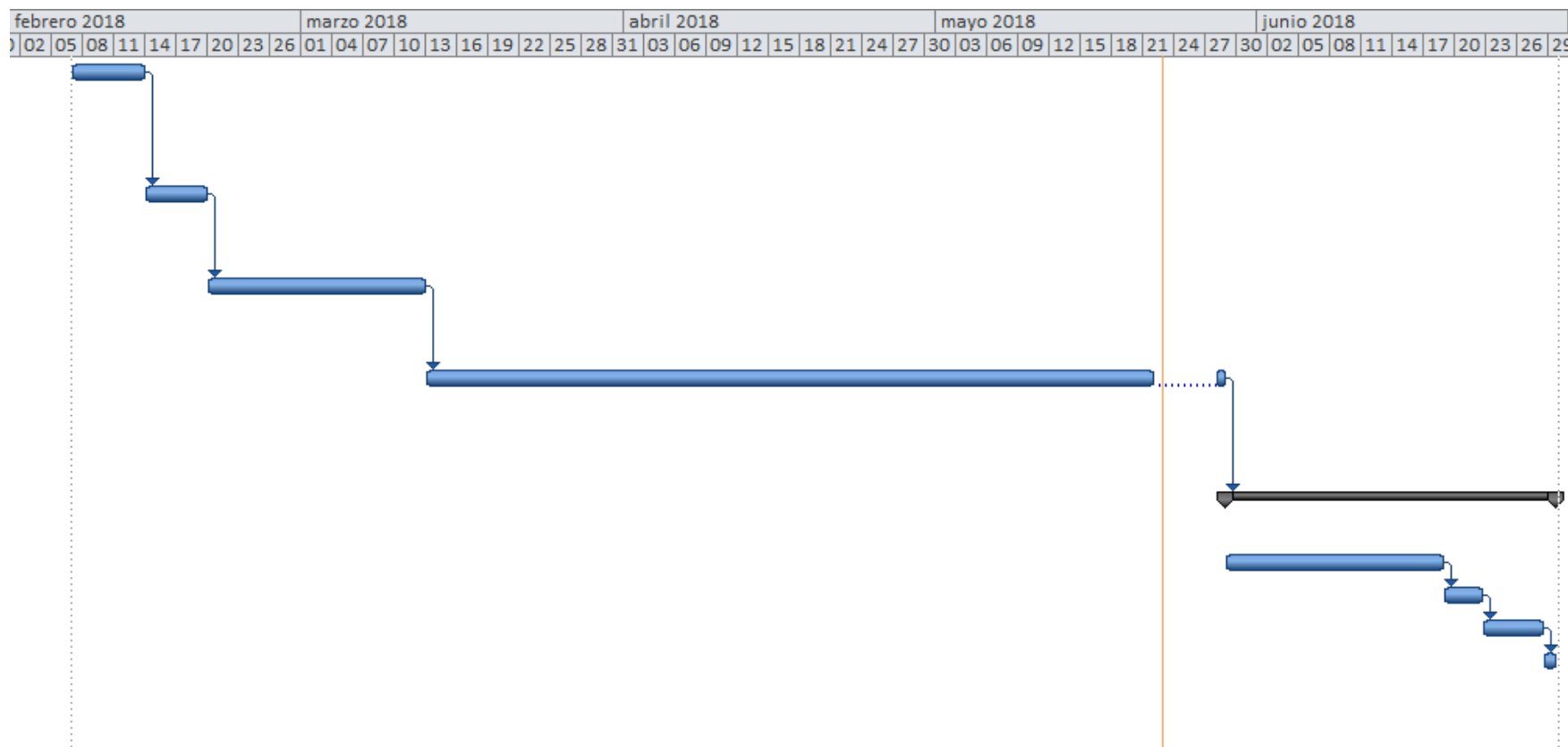


Ilustración 1.2. Planificación temporal



2. PRESUPUESTO

ELEMENTOS PRINCIPALES DE LA ESTANTERÍA

Concepto	Acabado	Unidades	Peso/ud (Kg)	Peso total (Kg)	Tarifa/ud (€)	Precio Venta (€)	
Puntal AP1008118 L3950	Azul RAL5019	20	17,00	340,00	22,10	442,00	
Base Puntal Soldada APBPS100	Azul RAL5019	20	1,28	25,60	3,55	71,00	
Placa Nivelación Base Soldada APPNBS	Pregalvanizado	20	0,16	3,20	0,40	8,00	
Puntal AP766318 L5100	Azul RAL5019	4	23,16	92,64	30,11	120,44	
Larguero APLT804015 1340	Naranja RAL2004	15	4,77	71,55	11,88	178,20	
Clavija de seguridad APCS	Pregalvanizado	30	0,11	3,30	0,05	1,50	
Distanciador de Bastidores D1450	Naranja RAL2004	8	5,32	42,56	13,68	109,44	
Distanciador de Bastidor-Puntal D650	Naranja RAL2004	8	4,45	35,60	10,80	86,40	
				PESO TOTAL (Kg)	614,45	COSTE TOTAL (€)	1016,98

ELEMENTOS QUE SUSTENTAN LAS PALETAS Y SUS ACCESORIOS

Concepto	Acabado	Unidades	Peso/ud (Kg)	Peso total (Kg)	Tarifa/ud (€)	Precio Venta (€)	
Ménsula estampada Drive-In Conectores AC1450	Naranja RAL 2004	10	4,06	40,60	11,25	112,50	
Ménsula estampada Drive-In Conectores Izquierda AC1450	Naranja RAL 2004	5	2,09	10,45	9,58	47,90	
Ménsula estampada Drive-In Conectores Derecha AC1450	Naranja RAL 2004	5	2,09	10,45	9,58	47,90	
Viga Paleta Drive-In L4997 e2.5	Pregalvanizado	6	26,69	160,14	50,22	301,32	
Encauzador Drive-In APEDI Izquierdo	Amarillo RAL1007	3	0,67	2,01	5,52	16,56	
Encauzador Drive-In APEDI Derecho	Amarillo RAL1007	3	0,67	2,01	5,52	16,56	
Tope trasero Drive-In Izquierdo	Amarillo RAL1007	3	0,75	2,25	4,06	12,18	
Tope trasero Drive-In Derecho	Amarillo RAL1007	3	0,75	2,25	4,06	12,18	
				PESO TOTAL (Kg)	230,16	COSTE TOTAL (€)	567,1



ELEMENTOS QUE FORMAN EL ARRIOSTRADO

Concepto	Acabado	Unidades	Peso/ud (Kg)	Peso total (Kg)	Tarifa/ud (€)	Precio Venta (€)	
Horizontal CZ-42x25x9x1,5 L1437	Pregalvanizado	16	1,68	26,88	1,93	30,88	
Diagonal CZ-42x25x9x1,5 L1525	Pregalvanizado	48	1,75	84,00	2,01	96,48	
Diagonal CZ-42x25x9x1,5 L1815	Pregalvanizado	9	2,12	19,08	2,44	21,96	
Diagonal CZ-42x25x9x1,5 L1946	Pregalvanizado	3	2,28	6,84	2,62	7,86	
Placa superior Puntal Arriostrado Horizontal	Azul RAL 5019	20	1,30	26,00	5,85	117,00	
				PESO TOTAL (Kg)	162,8	COSTE TOTAL (€)	274,18

ELEMENTOS GUÍA CARRETILLA

Concepto	Acabado	Unidades	Peso/ud (Kg)	Peso total (Kg)	Tarifa/ud (€)	Precio Venta (€)	
Esquinera Carril Guía Drive-In	Pregalvanizado	8	3,61	28,88	14,55	116,40	
Carril Guía Perfil C100x50x15 L5128	Pregalvanizado	8	13,16	105,28	21,60	172,80	
Accesorio Fijación Carril Guía	Pregalvanizado	12	1,23	14,76	5,59	67,08	
Perfil CZ-36x14x9x1,5 L218	Pregalvanizado	12	0,26	3,12	0,31	3,72	
				PESO TOTAL (Kg)	152,04	COSTE TOTAL (€)	360,00

TORNILLERÍA

Concepto	Acabado	Unidades	Peso/ud (Kg)	Peso total (Kg)	Tarifa/ud (€)	Precio Venta (€)	
Tornillo DIN 933 8.8x120	Zincado	72	0,05	3,60	0,10	7,20	
Tornillo DIN 933 8.8x65	Zincado	16	0,03	0,48	0,07	1,12	
Tornillo DIN 933 8.8x20	Zincado	396	0,01	3,96	0,30	118,80	
Tuerca DIN 6923 Cal. 8 M8	Zincada	550	0,01	5,50	0,01	5,50	
Arandela Trapezoidal APAT e1,5 Z275	Zincada	48	0,01	0,48	0,02	0,96	
Arandela DIN9021 M8	Zincada	162	0,01	1,62	0,01	1,62	
Anclaje metálico SITA G&B 12x110 mm.	Zincado	88	0,11	9,68	0,25	22,00	
				PESO TOTAL (Kg)	25,32	COSTE TOTAL (€)	157,20



2.1. RESUMEN DEL PRESUPUESTO

1) Elementos principales de la estantería	1016,98 €
2) Elementos que sustentan las paletas y sus accesorios	567,10 €
3) Elementos que forman el arriestrado	274,18€
4) Elementos de la guía carretilla	360,00 €
5) Tornillería	157,20 €
SUBTOTAL	2375,46 €
I.V.A. (21%)	498,84 €
TOTAL PRESUPUESTO SISTEMA DRIVE-IN	2874,31 €

Asciende el presupuesto general del sistema Drive-In a la expresada cantidad de **DOS MIL OCHOCIENTOS SETENTA Y CUATRO EUROS con TREINTAYÚN CÉNTIMOS**



PLANOS



ÍNDICE DE LOS PLANOS:

1. INTRODUCCIÓN	115
1.1. PLANO PUNTAL AP1008118	116
1.2. PLANO HORIZONTAL CZ42 AP10081	117
1.3. PLANO DEL TOPE VIGA PALETA IZQUIERDO Y DERECHO	118
1.4. PLANO CONECTOR DERECHO 5 ENGANCHES	119

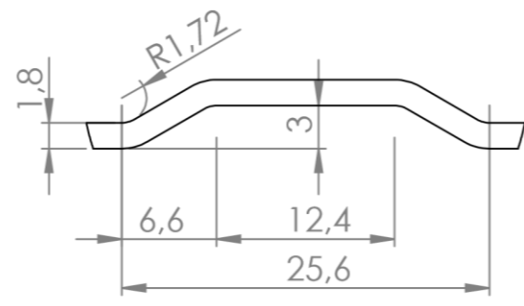
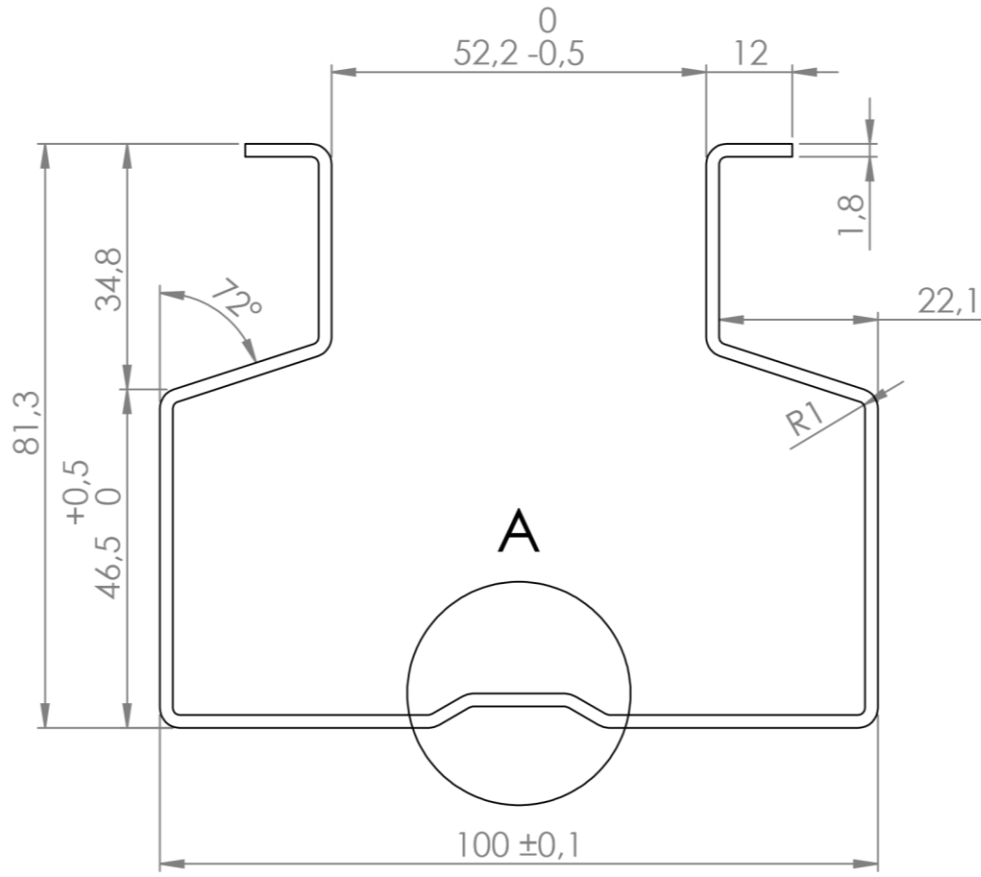


1. INTRODUCCIÓN

En este capítulo se muestran ejemplos de algunos de los planos que fueron generados mediante el SolidWorks. Esos planos pasaban posteriormente al equipo de fabricación para su producción.

En caso de que alguna de las cotas no quedase clara, los operarios vendrían a consultarla con los ingenieros del departamento de oficina técnica y se realizaría una revisión del plano aclarando las cotas que no estuviesen perfectamente definidas.

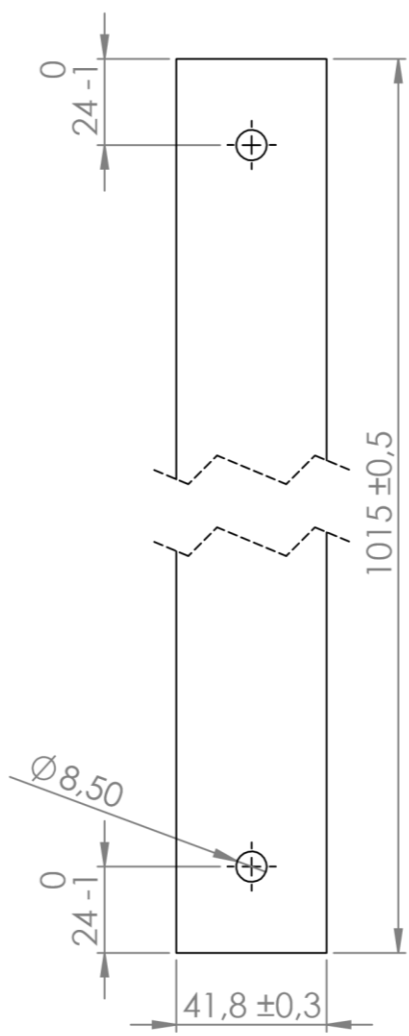
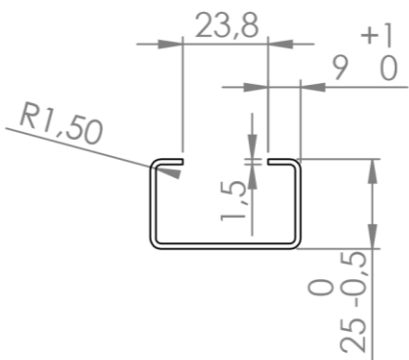
NOTA: Por petición de la empresa con motivos de confidencialidad, no se muestran en este capítulo todos los planos con las cotas exactas que definen los componentes de la estantería, sino únicamente algunos ejemplos.



DETALLE A
ESCALA 2 : 1

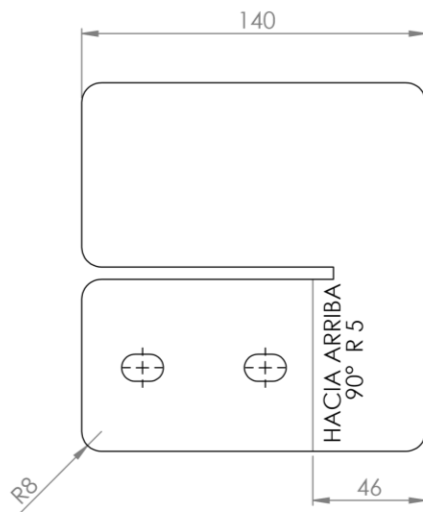
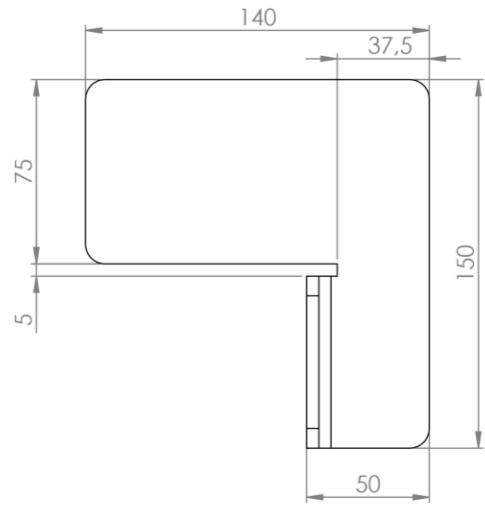
Peso(kg)	Tolerancias Generales según norma ISO-2768	Formato A4	Estado PROTOTIPO	Fecha dibujo 03/03/2018	Dibujado por S. Fernández
Material S355 JR	Acabado Azul RAL5019	Escala 1:1		Fecha revisión	Revisado por J.L. Hurlé
 APERSA Pallet Rack Storage Division		Descripción Puntal AP1008118			
		Métrica Dimensiones indicadas en mm salvo que se especifique lo contrario	Plano	Ver. 1	Hoja 1 de 1

PROPIEDAD Y CONFIDENCIALIDAD DE LA INFORMACION
 El presente plano y la documentación contenida tiene carácter de CONFIDENCIAL siendo propiedad de APERSA Auxiliar de Perfiles Perforados Metálicos, S.A. El receptor de la presente información acepta (1) Custodiaria como Información Confidencial (2) Limitar su uso y difusión al ámbito de la relación técnico-comercial mantenida entre el proveedor y APERSA (3) No realizar con ella actividades de re-ingeniería o copia (4) No difundirla a terceros sin mediar firma previa de Acuerdo de Confidencialidad.



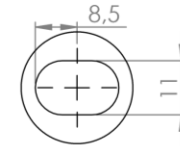
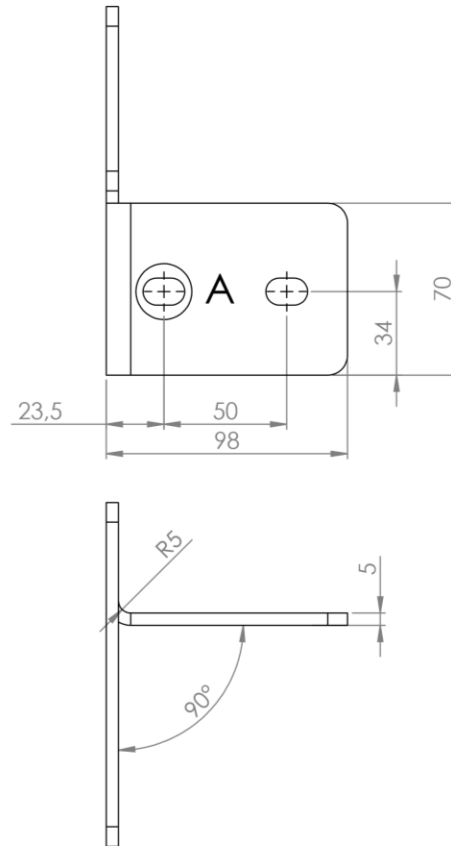
Peso(kg) 1,17 Kg/m.l.	Tolerancias Generales según norma ISO-2768 -cL	Formato A4	Estado PROTOTIPO	Fecha dibujo 04/03/2018	Dibujado por S. Fernández
Material S 250GD	Acabado Pregalvanizado	Escala 1:2		Fecha revisión	Revisado por J.L. Hurlé
		Descripción Horizontal CZ42 AP10081			
		Métrica Dimensiones indicadas en mm salvo que se especifique lo contrario	Plano	Ver. 1	Hoja 1 de 1

PROPIEDAD Y CONFIDENCIALIDAD DE LA INFORMACION
 El presente plano y la documentación contenida tiene carácter de CONFIDENCIAL siendo propiedad de APERSA Auxiliar de Perfiles Perforados Metálicos, S.A. El receptor de la presente información acepta (1) Custodiaria como Información Confidencial (2) Limitar su uso y difusión al ámbito de la relación técnico-comercial mantenida entre el proveedor y APERSA (3) No realizar con ella actividades de re-ingeniería o copia (4) No difundirla a terceros sin mediar firma previa de Acuerdo de Confidencialidad.

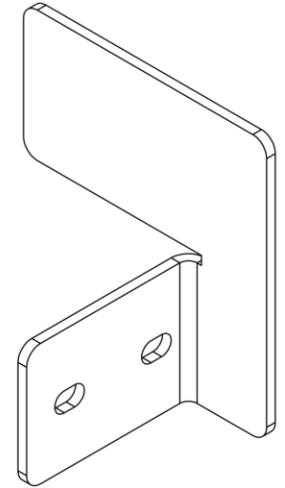


DESARROLLO DE CHAPA ORIENTATIVO

Las vistas del plano corresponden al tope izquierdo.
El desarrollo de chapa es el mismo tanto para el derecho como para el izquierdo. Para el tope derecho el ángulo de plegado es el mismo pero el sentido opuesto.



DETALLE A ESCALA 1 : 1

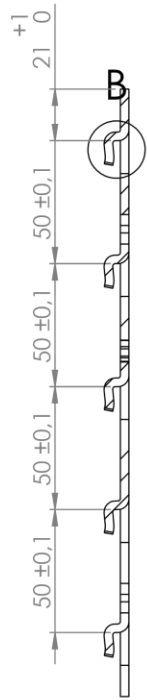


Peso (kg) 0,75	Tolerancias generales según norma ISO-2768	Formato A3	Estado PROTOTIPO	Fecha dibujo 27/04/2018	Dibujado por S. Fernández
Material S 235JR	Acabado Amarillo RAL 1007	Escala 1:2		Fecha revisión	Revisado por

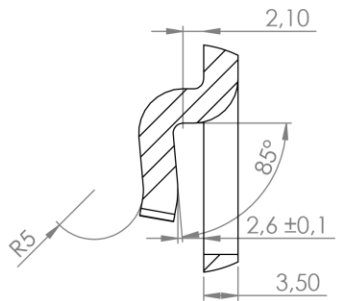


Descripción Tope Viga Paleta Drive-In, Izq. y Dcho.			
Métrica Dimensiones indicadas en mm salvo que se especifique lo contrario	Plano	Ver. 1	Hoja 1 of 1

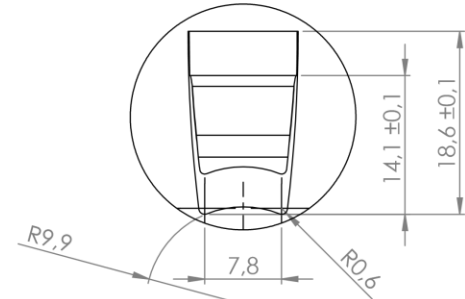
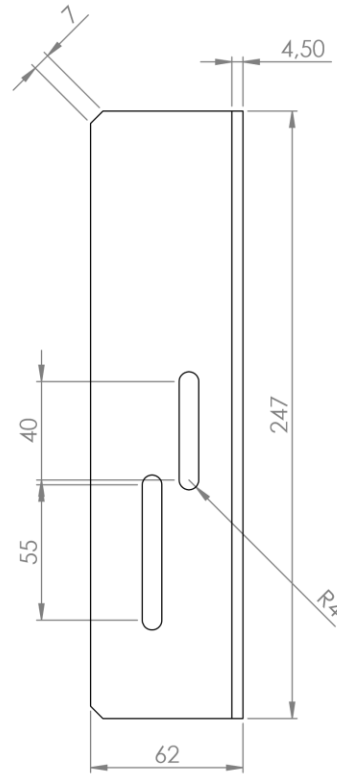
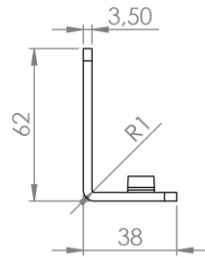
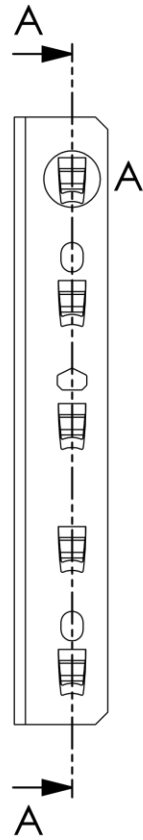
PROPIEDAD Y CONFIDENCIALIDAD DE LA INFORMACION
El presente plano y la documentación contenida tiene carácter de CONFIDENCIAL siendo propiedad de APERSA Auxiliar de Perfiles Perforados Metálicos, S.A. El receptor de la presente información acepta (1) Custodiarla como Información Confidencial (2) Limitar su uso y difusión al ámbito de la relación técnico-comercial mantenida entre el proveedor y APERSA (3) No realizar con ella actividades de re-ingeniería o copia (4) No difundirla a terceros sin mediar firma previa de Acuerdo de Confidencialidad.



SECCIÓN A-A



DETALLE B
ESCALA 2 : 1



DETALLE A
ESCALA 2 : 1

Peso (kg) 0.61	Tolerancias generales según norma ISO-2768	Formato A3	Estado PROTOTIPO	Fecha dibujo 26/04/2018	Dibujado por S. Fernández
Material S355	Acabado Decapado	Escala 1:2		Fecha revisión	Revisado por J.L. Hurlé



Descripción Conector Derecho 5 Enganches C5E		Ver. 1	Hoja 1 of 1
Métrica Dimensiones indicadas en mm salvo que se especifique lo contrario	Plano AP100021		

PROPIEDAD Y CONFIDENCIALIDAD DE LA INFORMACION
El presente plano y la documentación contenida tiene carácter de CONFIDENCIAL siendo propiedad de APERSA Auxiliar de Perfiles Perforados Metálicos, S.A. El receptor de la presente información acepta (1) Custodiarla como Información Confidencial (2) Limitar su uso y difusión al ámbito de la relación técnico-comercial mantenida entre el proveedor y APERSA (3) No realizar con ella actividades de re-ingeniería o copia (4) No difundirla a Terceros sin mediar firma previa de Acuerdo de Confidencialidad.



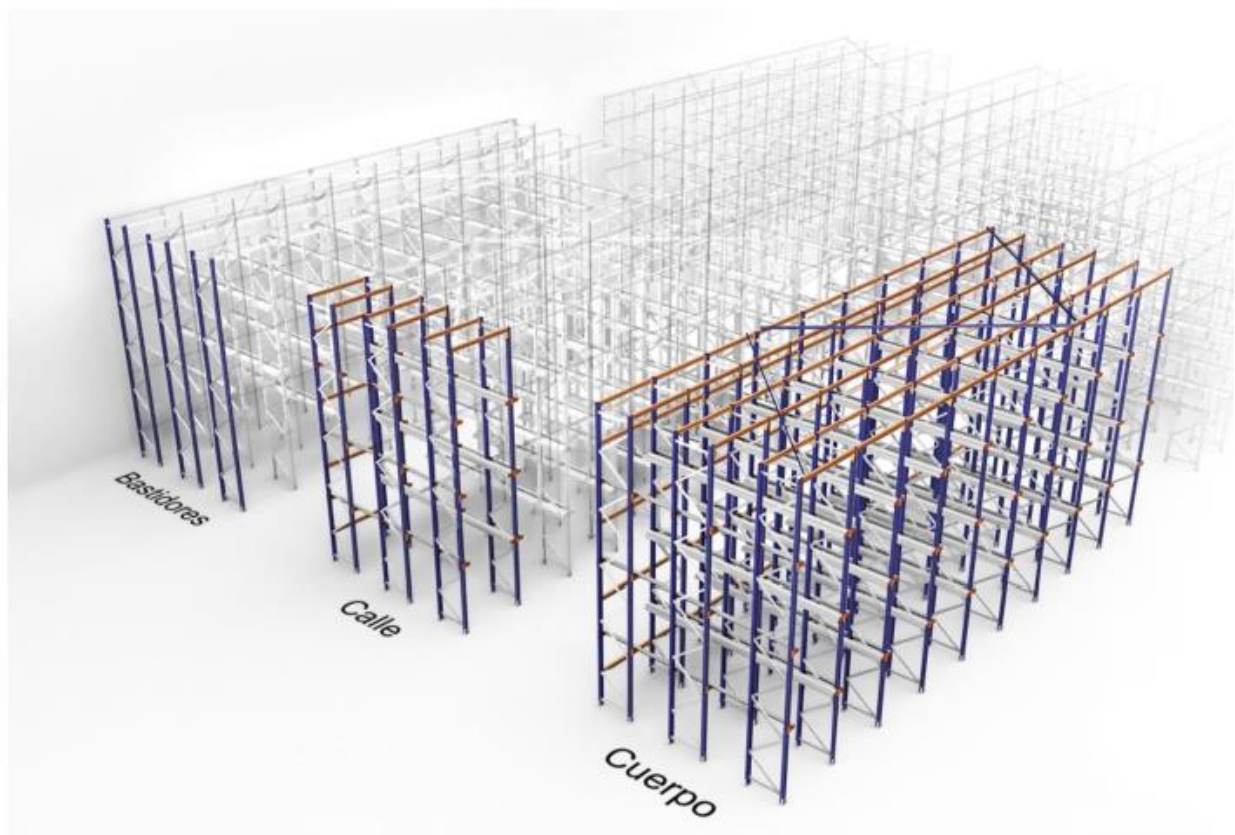
CONCLUSIONES

Hoy en día, los racks de almacenamiento de acero se utilizan ampliamente en el mundo para almacenar todo tipo de bienes. Existen dos grandes tipos de estanterías de almacenaje: los llamados “Rack selectivo” (que son las estanterías convencionales) y los “Sistema Drive-In / Drive-Through” (sistemas de paletización compacta).

El sistema de estanterías para paletización compacta debe estar constituido por la combinación adecuada de sus elementos estructurales según los condicionantes técnicos y funcionales de la utilidad a la que vaya a ser destinado.

El diseño de la estructura de los sistemas Drive-In hace que presenten un alto grado de rigidez y estabilidad ante fenómenos de empuje longitudinal o transversal. En función de las características del producto a almacenar y de los condicionantes particulares de cada caso, los componentes se dimensionan adecuadamente para soportar la carga y el uso previstos.

Los componentes principales de la instalación son los bastidores y los niveles de carga. Los bastidores se disponen de forma contigua, alineándose paralelamente para formar las calles de operación, por las que penetrarán las carretillas en la estructura. Esta situación puede apreciarse en la siguiente imagen.





Incrustadas en los puntales que forman los bastidores se distribuyen las ménsulas que, unidas por los carriles destinados a distribuir las paletas, forman los niveles de carga sobre los que se apoyarán las mercancías.

El volumen contenido entre dos niveles contiguos en altura delimita la carga máxima por nivel y el número y dimensiones de las paletas admisibles.

El conjunto estructural formado por varias calles y varios niveles de carga forma el cuerpo del Sistema Drive-In. Los cuerpos pueden ser de simple entrada, si la estructura está próxima a la pared, o de doble entrada, si son practicables por ambos lados a la vez. Los cuerpos de doble acceso duplican el rendimiento del sistema acelerando la rotación de stocks.

La estructura se rigidiza en su parte superior y, (si fuese necesario por las características del caso) también en su parte posterior mediante largueros y perfiles arriostrados de cara a controlar los empujes longitudinales y transversales que provocan las cargas y los condicionantes funcionales del sistema.

Las alineaciones de cuerpos delimitan pasillos, cuya anchura vendrá determinada por los medios de manutención disponibles, las dimensiones de las unidades de carga y el modo de acceso a las mismas.

Entre las principales ventajas de estos sistemas cabe destacar las siguientes:

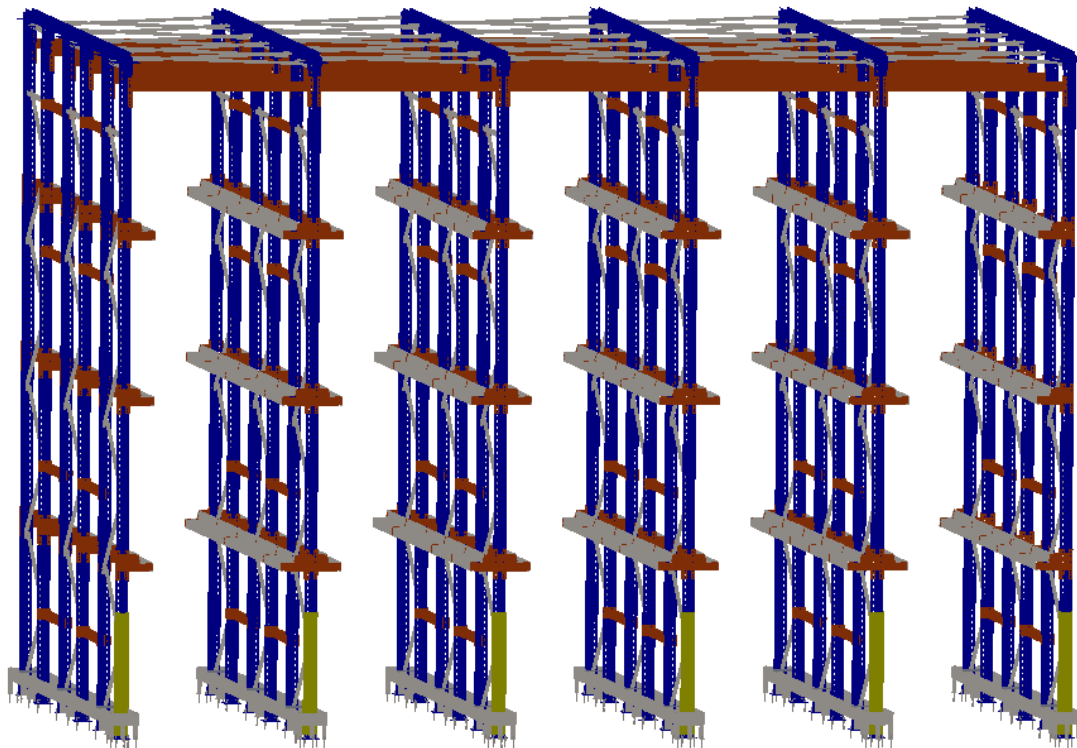
- Es la solución más adecuada para el almacenamiento denso de productos homogéneos con rotación moderada. La gestión del almacén se adecúa a la metodología LIFO (Last In First Out, último en entrar primero en salir). Por lo tanto, el sistema es el indicado cuando los condicionantes de espacio priman sobre los de selectividad y rotación de stocks.
- Al prescindir de pasillos de acceso y maniobra, con el sistema de almacenaje compacto se obtiene un excelente aprovechamiento de la superficie útil (entre el 60 y el 80%). De esta forma, las mercancías pueden disponerse muy densamente, constituyendo un bloque de almacenamiento acumulado que optimiza el espacio cúbico del local.
- Posibilidad de adaptación a necesidades cambiantes. La variedad de accesorios y configuraciones posibles permiten adecuar las estanterías para su uso con cualquier tipo de carga homogénea, tanto por peso como por volumen.
- Riguroso control sobre las mercancías almacenadas y el flujo circulación y servicio, lo que se ve reflejado en una gestión logística metódica y ordenada. Esto es particularmente productivo cuando la variedad de productos no es elevada y pero sí lo es el número de unidades, haciéndose corresponder cada nivel de carga con un mismo grupo de referencias de características uniformes.
- El diseño del ensamblaje de sus elementos estructurales facilita un rápido desmontaje y traslado o bien, su reconfiguración o ampliación según nuevas necesidades de almacenamiento. Además, la sustitución de componentes dañados es fácil e inmediata.
- Aprovechamiento máximo del espacio vertical. La rápida y simple regulación de los niveles de carga permite el ajuste en altura de los volúmenes de la misma.

- Versatilidad y flexibilidad de uso, que ahorra tiempo y esfuerzo, evitando errores en la gestión del almacén. Las posibilidades de configuración del sistema permiten adaptar las estanterías para ser utilizadas de forma coordinada con cualquier tipo de maquinaria de manutención disponible en el almacén.

El usuario puede tener la seguridad de que su inversión nunca quedará obsoleta y que podrá evolucionar o desarrollarse según lo haga su propio negocio. Previo el oportuno estudio por parte de APERSA, el sistema implementado podría ser reconfigurado, ampliado o readaptado según condicionantes sobrevenidos o necesidades de ampliación o traslado.

El sistema de estanterías convencionales para paletización compacta tiene por objeto asegurar una óptima gestión de stocks y rentabilizar el almacén con una inversión contenida y proporcionada a los beneficios y ventajas que reporta.

La siguiente imagen (capturada del software SolidWorks) ilustra un sistema Drive-In terminado:



Por todas las ventajas expuestas en estas conclusiones acerca del sistema Drive-In, resulta claro que una empresa en la que una de sus líneas de negocio son los racks de almacenaje, debe estar en disposición de ofertar con facilidad este tipo de instalaciones.



En el pasado, cada vez que llegaba un pedido de un cliente (antes siquiera de saber si iba a ser APERSA la empresa que se llevase ese pedido, debido a la gran competencia existente en el sector), se necesitaban costosas horas de ingeniería por parte de los trabajadores del departamento de oficina técnica para determinar si la oferta era, o no, técnicamente viable.

Es por ello, que el objetivo principal del proyecto era automatizar el proceso existente desde la llegada de un pedido de un del cliente hasta el momento en el que era posible devolverle una oferta firme.

Tras la realización del proyecto, se consiguió que las estanterías (con las dimensiones particulares de cada caso que son función de las necesidades del cliente) se dibujen de forma prácticamente automática en el software de cálculo estructural.

Por ese motivo, lo que en el pasado se vería reflejado en varias horas de ingeniería destinadas a estudiar casos en los que no se tenía siquiera la certeza de que fuese a ser APERSA la empresa que realizase la instalación, ahora sería cuestión de 15-20 minutos.

Esta reducción en el tiempo de horas de cálculo, no se ve reflejada únicamente en términos de coste de horas de ingeniería, sino también en la posibilidad de realizar ofertas firmes en menos tiempo (lo que le da a la empresa una ventaja competitiva).

Por todo lo expuesto en este capítulo, concluyo que el proyecto fue de gran utilidad tanto para la empresa (por los beneficios tanto económicos como competitivos que APERSA obtuvo de este trabajo) como para mí, habiendo tenido la oportunidad de compartir trabajo y aprender de un grupo de personas tremendamente competente que me ha aportado experiencia tanto de carácter técnico como de aspectos relacionados con el desempeño de trabajo y relaciones laborales.



NORMATIVA Y BIBLIOGRAFÍA



1. NORMATIVA

En este apartado se exponen las normas que se utilizaron para la elaboración de la guía técnica:

- UNE-EN 15512: “Almacenaje en estanterías metálicas - Estantería regulable para carga paletizada - Principios para el diseño estructural”
- UNE-EN 15620: “Almacenaje en estanterías metálicas – Estantería regulable para carga paletizada – Tolerancias, deformaciones y holguras”
- UNE-EN 15629: “Almacenaje en estanterías metálicas – Especificación de los equipos de almacenaje”
- UNE-EN 15635: “Almacenaje en estanterías metálicas – Uso y mantenimiento del equipo de almacenamiento”
- UNE-EN 10025-2:2006: “Productos laminados en caliente de aceros para estructuras. Parte 2: Condiciones técnicas de suministro de los aceros estructurales no aleados”
- UNE-EN 1993-1-1 “Eurocódigo 3: Proyecto de estructuras de acero – Parte 1-1: Reglas generales y reglas para edificios”
- UNE-EN 1993-1-3: “Eurocódigo 3: Proyecto de estructuras de acero – Parte 1-3: Reglas generales – Reglas adicionales para perfiles y chapas de paredes delgadas conformadas en frío”
- FEM 10.2.07: “The design of Drive-In and Drive-Through Racking”



2. BIBLIOGRAFÍA

- Benoit. (2013). *Determination of the influence of the pallets on the design of drive-in steel storage racks*. Queensland: Griffith University.
- Climent, F. J. (s.f.). *Área Logística*. Obtenido de <http://www.arealogistica.es/>
- Corporation, S. (2011). *Guía del estudiante para el aprendizaje del software SolidWorks*. Massachusetts.
- Dlupal. (2012). *Cálculo de estructuras generales. Ejemplo introductorio*. Leipzig.
- Dlupal. (2012). *Shape 7: Cross-Section Characteristics and Design of Thin-Walled Sections*. Leipzig.
- Dlupal. (2013). *Structural analysis of General Frameworks*. Leipzig.
- Dlupal. (2017). *SHAPE-THIN: Cross-section properties and designs of thin-walled cross-sections. Introductory Example*. Leipzig.
- Interlake. (17 de Diciembre de 2015). *Interlake soluciones en manejo de materiales*. Obtenido de <http://interlake.com.mx>
- Interlake. (6 de Diciembre de 2016). *Interlake soluciones en manejo de materiales*. Obtenido de <http://interlake.com.mx>
- Mecalux, G. (2018). *Estanterías para paletización compacta. Almacenaje por acumulación: gran aprovechamiento del espacio disponible*.
- Möll, D. (2014). *Design Example of Steel Pallet Racking according to EN 15512:2009*. Darmstadt.
- Suárez, D. (2017). *Sistemas de almacenaje*. Langreo.
- Vallejo, B. K. (2012). *Almacenamiento e inventarios*. Servicio Nacional de Aprendizaje.