



Universidad de Jaén
Escuela Politécnica Superior de Linares

Trabajo Fin de Grado

**ESTUDIO COMPARATIVO DE LA
ESTRUCTURA METÁLICA DE UN
EDIFICIO INDUSTRIAL MEDIANTE
EL EMPLEO RIGIDIZADORES TIPO
CARTELA**

Alumno: María Soledad Alameda López

Tutor: Javier Fernández Aceituno

Depto.: Ingeniería mecánica y minera

Febrero, 2022



TRABAJO DE FIN DE GRADO

ESTUDIO COMPARATIVO DE LA ESTRUCTURA METÁLICA DE UN EDIFICIO INDUSTRIAL MEDIANTE EL USO DE RIGIDIZADORES DE TIPO CARTELA.

D. JAVIER FERNÁNDEZ ACEITUNO, tutor del Trabajo de Fin de Grado “Estudio comparativo de la estructura metálica de un edificio industrial mediante el uso de rigidizadores de tipo cartela” que presenta el alumno MARÍA SOLEDAD ALAMEDA LÓPEZ firman este presente documento para su evaluación y defensa en Escuela Politécnica Superior de Linares.

Linares, a 16 de Febrero de 2022

16/02/2022

X María Soledad Alameda López...
Marisol

Firmado por: 970f55d0-ddd0-4470-90ce-70fa071d9c59

El autor

El tutor



ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	10
1.1 Motivación.....	10
1.2 Alcance y objetivos del TFG	10
1.3 Resumen	10
2. ESTADOS DEL ARTE.....	12
2.1 Estructuras industriales.....	12
2.1.1 Funcionalidad.....	12
2.1.2 Ventajas e inconvenientes del uso de una estructura metálica	12
2.1.3 Elementos que componen una estructura de acero	13
2.2 Las cartelas	19
3. REQUISITOS DEL SISTEMA	21
3.1 Tipo de cubierta	21
3.2 Dimensiones de la estructura	23
3.3 Ubicación edificación.....	24
4. NORMATIVA UTILIZADA	26
4.1 Código Técnico de Edificación.....	26
4.1.1 Acciones permanentes	26
4.1.1.1 Peso propio	26
4.1.1.2 Pretensado	26
4.1.1.3 Acciones del terreno	26
4.1.2 Acciones variables.....	26
4.1.2.1 Sobrecarga de uso	26
4.1.2.1.1 Valores de la sobrecarga	27
4.1.2.1.2 Reducción de sobrecargas.....	28
4.1.2.2 Acciones sobre barandillas y elementos divisorios	28
4.1.2.3 Viento.....	28
4.1.2.3.1 Generalidades.....	28
4.1.2.3.2 Acción del viento.....	29
4.1.2.4 Nieve	41
4.1.2.4.1 Determinación de la carga de nieve.....	41
4.1.2.4.2 Carga de nieve sobre un terreno horizontal	42
4.1.2.4.3 Coeficiente de forma	42
5. ESTUDIO PRELIMNAR DEL ANÁLISIS DE VIGAS DE SECCIÓN VARIABLE ...	43
5.1 Introducción.....	43
5.2 Ejemplo genérico sin el uso de cartelas.....	43



5.3	Ejemplo genérico usando cartelas	44
6.	DISEÑO.....	47
6.1	Nave industrial	47
6.1.1	Diseño nave industrial	47
6.1.2	Arriostramientos.....	48
6.2	Obtención cargas de viento.....	49
6.3	Obtención resto de cargas.....	62
6.3.1	Peso propio	62
6.3.2	Sobrecarga de uso.....	63
6.3.3	Carga de nieve.....	63
6.3.4	Peso cerramiento puerta.....	64
6.3.5	Resumen cargas.....	64
7.	DISEÑO Y APLICACIÓN DE CARGAS EN EL SOFTWARE.....	65
7.1	Diseño 3D nave industrial	65
7.2	Aplicación de cargas en el software Robot Autodesk.....	68
7.3	Definición de grupos	74
7.3.1	Grupo 1, pilares esquina	74
7.3.2	Grupo 2, pilares fachada	75
7.3.3	Grupo 3, vigas de atado	76
7.3.4	Grupo 4, vigas de la puerta	76
7.3.5	Grupo 5, vigas fachada	77
7.3.6	Grupo 6, vigas intermedias	79
7.3.6.1	Estructura sin cartelas	79
7.3.6.2	Estructura con cartelas	80
7.3.7	Grupo 7, pilares intermedios.....	80
7.3.7.1	Estructura sin cartelas	80
7.3.7.2	Estructura con cartelas	81
7.3.8	Grupo 8, Cruces de San Andrés	82
8.	DIMENSIONAMIENTO NAVES INDUSTRIALES	83
9.	VERIFICACIONES A ESTADOS LÍMITES	85
9.1	Verificación de Estado Límite no empleando cartelas	85
9.2	Verificación de Estado Límite empleando cartelas.....	88
10.	COMPARATIVA EN KG DE ACERO	91
10.1	Nave industrial sin cartelas	91
10.2	Nave industrial con cartelas.....	92
10.3	Comparación de resultados.....	95
11.	CONCLUSIONES.....	97



12. BIBLIOGRAFÍA.....98



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Dimensiones nave industrial.....	22
Tabla 2.	Valores característicos de las sobrecargas de uso.....	26
Tabla 3.	Coefficiente de reducción de sobrecargas.....	27
Tabla 4.	Acciones sobre barandillas y elementos divisorios.....	27
Tabla 5.	Corrección de la velocidad básica en función del periodo de servicio	29
Tabla 6.	Valores del coeficiente de exposición.....	30
Tabla 7.	Coefficientes para tipos de entorno	30
Tabla 8.	Coefficientes de presión interior	31
Tabla 9.	Parámetros verticales.....	32
Tabla 10.	Datos cubierta plana	33
Tabla 11.	Datos cubierta a un agua 1.....	34
Tabla 12.	Datos cubierta a un agua 2.....	35
Tabla 13.	Datos cubierta a un agua 3.....	36
Tabla 14.	Datos cubierta a dos aguas 1.....	37
Tabla 15.	Datos cubierta a dos aguas 2.....	38
Tabla 16.	Datos cubierta a cuatro aguas	39
Tabla 17.	Sobrecarga de nieve en capitales de provincia y ciudades autónomas.....	41
Tabla 18.	Parámetros entorno grado de aspereza IV	50
Tabla 19.	Parámetro vertical viento 0°.....	50
Tabla 20.	Parámetro vertical viento 90°.....	51
Tabla 21.	Parámetros cubierta viento 0°	51
Tabla 22.	Parámetros cubierta viento 90°	51
Tabla 23.	Resultados parámetros verticales viento 0°	53
Tabla 24.	Resultados parámetros verticales viento 90°.....	53
Tabla 25.	Resultados parámetros cubierta viento 0°.....	53
Tabla 26.	Resultados parámetros cubierta 90°	54
Tabla 27.	Cargas secciones hipótesis 1 0°.....	54
Tabla 28.	Cargas pilares H1 0°	55
Tabla 29.	Cargas vigas H1 0°	56
Tabla 30.	Cargas secciones hipótesis 2 0°.....	57
Tabla 31.	Cargas pilares H2 0°	57
Tabla 32.	Cargas vigas H2 0°	58
Tabla 33.	Cargas secciones hipótesis 1 90°.....	59
Tabla 34.	Cargas pilares H1 90°	59
Tabla 35.	Cargas vigas H1 90°	60
Tabla 36.	Resumen acciones permanentes y nieve.....	63



Tabla 37. Dimensionado de grupos	82
Tabla 38. Tipo de barras	90
Tabla 39. Peso INCAFE 2000 y precios BBKA.....	90
Tabla 40. Cálculo de peso y precio por grupo de barras.....	91
Tabla 41. Tipo de barras	91
Tabla 42. Peso INCAFE y precio BBKA.....	91
Tabla 43. Cálculo de peso y coste por grupo de barras sin cartelas incorporadas	92
Tabla 44. Cálculo peso y coste de las cartelas	94
Tabla 45. Cuadro resumen peso y precio	94



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Placa de base	12
Figura 2. Cartelas de rigidez	12
Figura 3. Pernos de anclaje	12
Figura 4. Cruces de San Andrés.....	13
Figura 5. Perfiles más utilizados	13
Figura 6. Unión atornillada.....	14
Figura 7. Unión mediante soldadura	14
Figura 8. Viga simple	15
Figura 9. Vigas de atado.....	15
Figura 10. Viga acartelada.....	16
Figura 11. Puente con viga acartelada.....	16
Figura 12. Viga de sección variable.....	17
Figura 13. Viga de sección constante.....	17
Figura 14. Cartelas	18
Figura 15.	19
Figura 16.	20
Figura 17.	20
Figura 18.	20
Figura 19. Estructura cubierta a dos aguas sin cartelas.....	21
Figura 20. Estructura cubierta a dos aguas con cartelas.....	22
Figura 21. Municipios colindantes a Jaén capital	22
Figura 22. Polígono Industrial Los Olivares	23
Figura 23. Valor básico de la velocidad del viento, V_b	28
Figura 24. Presiones ejercidas por el viento en una construcción diáfana	30
Figura 25. Cotas parámetros verticales	32
Figura 26. Cotas cubiertas planas	32
Figura 27. Cotas cubiertas a un agua 1.....	33
Figura 28. Cotas cubierta a un agua 2.....	34
Figura 29. Cotas cubierta a un agua 3.....	35
Figura 30. Cotas cubierta a dos aguas 1	36
Figura 31. Cotas cubierta a dos aguas 2.....	37
Figura 32. Cotas cubierta a cuatro aguas.....	38
Figura 33. Ejemplo con carga uniforme sin cartelas.....	41
Figura 34. Ejemplo con momentos puntuales sin cartelas	42
Figura 35. Dimensiones de las cartelas	42
Figura 36. Ejemplo con cartelas	43



Figura 37. Error numérico en el diagrama de momentos flectores.....	43
Figura 38. Arriostramiento del ala inferior de la viga.....	44
Figura 39. Correas.....	47
Figura 40. Jaén capital.....	48
Figura 41. Áreas de aplicación estructura con viento a 0°	51
Figura 42. Áreas de aplicación estructura con viento a 90°	51
Figura 43. Vistas estructura metálica sin cartelas.....	64
Figura 44. Vistas estructura metálica con cartelas.....	65
Figura 45. Cerramiento de la estructura metálica.....	66
Figura 46. Casos de carga según el CTE.....	66
Figura 47. Numeración pilares de la nave industrial	67
Figura 48. Numeración vigas de la nave industrial.....	67
Figura 49. Aplicaciones cargas peso propio.....	68
Figura 50. Aplicaciones cargas sobrecarga de uso	68
Figura 51. Aplicación cargas de nieve H1	69
Figura 52. Aplicación cargas de nieve H2	69
Figura 53. Aplicación cargas de nieve H3	70
Figura 54. Aplicación cargas de viento H1	70
Figura 55. Aplicación cargas de viento H2	71
Figura 56. Aplicación cargas de viento H3	71
Figura 57. Definición parámetros grupo 1	72
Figura 58. Arriostramiento grupo 1	73
Figura 59. Definición parámetros grupo 2	73
Figura 60. Definición parámetros grupo 3	74
Figura 61. Definición parámetros grupo 4	75
Figura 62. Definición parámetros grupo 5	76
Figura 63. Arriostramientos grupo 5.....	76
Figura 64. Definición parámetros grupo 6	77
Figura 65. Arriostramiento sin cartelas grupo 6.....	77
Figura 66. Arriostramiento con cartelas grupo 6.....	78
Figura 67. Definición parámetros grupo 7	79
Figura 68. Arriostramiento con cartelas grupo 7.....	79
Figura 69. Definición parámetros grupo 8	80
Figura 70. Diseño nave industrial sin cartelas	82
Figura 71. Diseño nave industrial con cartelas	82
Figura 72. Verificación barras parte 1 ELU	83
Figura 73. Verificación barras parte 2 ELU	84



Figura 74. Verificación barras parte 3 ELU	84
Figura 75. Verificación barras parte 1 ELS	85
Figura 76. Verificación barras parte 2 ELS	85
Figura 77. Verificación barras parte 1 ELU	86
Figura 78. Verificación barras parte 2 ELU	87
Figura 79. Verificación barras parte 3 ELU	87
Figura 80. Verificación barras parte 1 ELS.....	88
Figura 81. Verificación barras parte 2 ELS.....	88
Figura 82. Boceto 2D de viga intermedia acartelada	91
Figura 83. Boceto 2D explicación dimensión cartelas.....	92



1 INTRODUCCIÓN

1.1 Motivación

La motivación que persigue este Trabajo Final de Grado, es concluir mis estudios de grado presentando un proyecto de cálculo y diseño de dos naves industriales, una de ellas empleando rigidizadores de tipo cartela y la otra sin emplearlos para poder así hacer el estudio comparativo.

La elección de este proyecto se debe al interés generado al cursar asignaturas como Teoría de Estructuras, Estructuras de Hormigón Armado, Estructuras Metálicas, Construcción y Arquitectura y Proyectos.

Este proyecto ha sido supervisado por el profesor Javier Fernández Aceituno del área de Medios Continuos y Teoría de Estructuras y perteneciente al departamento de Ingeniería Mecánica y Minera de la Escuela Politécnica Superior de Linares (EPSL).

1.2 Alcance y objetivos del TFG

El alcance final del trabajo será que el alumno sea capaz de proyectar el mejor modelo de nave industrial: empleando rigidizadores o no empleándolos, siempre cumpliendo con la normativa vigente para su posterior construcción.

Para el cálculo y diseño de ambas naves, hemos hecho el uso del software “Autodesk Robot”, el cual es una herramienta fácil de manejar, intuitiva y muy completa.

Los objetivos que debemos cumplir con este trabajo son:

- Diseño y cálculo de la estructura y su optimización.
- Optimizar el proceso de producción.
- Evaluación de los materiales
- Uso de herramientas para el cálculo y diseño de la nave.
- Aprendizaje en la búsqueda de normativas vigentes.

1.3 Resumen

Este proyecto consiste en un estudio comparativo del uso de rigidizadores de tipo cartela en una nave industrial, utilizando simulaciones numéricas mediante el software Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2019.

Se realiza el diseño de una nave con cubierta a dos aguas, y de las cargas que actúan sobre ella, diferenciando acciones permanentes y acciones variables.

Una vez hechos los cálculos y obtenidos los resultados, se aplican las cargas en el mismo software. Se realizan comprobaciones por sección y estabilidad de los elementos que conforman la estructura.

Con dichos resultados, se realiza un dimensionamiento de ambas estructuras, una de ellas con el uso de cartelas, y la otra sin ellas.



Por último, se comparan los resultados obtenidos en ambos casos. La comparativa se realiza respecto a los diferentes resultados generados de forma individual sobre las estructuras.

En las conclusiones finales se demostrará a partir de los resultados previos, como aumenta la inercia con el uso de cartelas.



2 ESTADOS DEL ARTE

2.1 Estructuras industriales

2.1.1 Funcionalidad

Una estructura industrial es un “conjunto de componentes resistentes capaz de mantener sus formas y cualidades a lo largo de un determinado tiempo, bajo la acción de las cargas y agentes exteriores”.

Para resolver correctamente la estabilidad industrial de un edificio, es imprescindible entender el funcionamiento y la disposición de su estructura, las solicitaciones que le llegan y el material utilizado, con el objetivo de elegir los detalles más favorables y disposiciones constructivas óptimos.

Los materiales empleados en la construcción de un edificio industrial suelen ser metálicos, de hormigón o una mezcla de ambos. Aunque a veces, se puede recurrir al empleo de materiales compuestos para determinados elementos estructurales.

Las estructuras metálicas permiten tener luces mayores, que es un gran punto a favor para los locales comerciales, industrias, donde se requieran edificios sin pilares intermedios, así como para edificios de grandes alturas, sin pilares excesivamente gruesos, evitando ocupar grandes espacios.

2.1.2 Ventajas e inconvenientes del uso de una estructura metálica

Actualmente se emplea el acero para las estructuras industriales tiene ventaja sobre otra clase de materiales, como el hormigón. A continuación, vamos a enumerar algunas de sus propiedades más importantes:

- ✓ Resistencia. Una estructura metálica requiere de menor superficie/volumen para resistir el mismo peso que resistiría una estructura de hormigón.
- ✓ Rapidez. A la hora de su construcción requiere de menos tiempo, ya que la estructura es fabricada en un taller y mientras en el emplazamiento, se van adelantando trabajos de cimentación.
- ✓ Reutilización. Cuando nuestra estructura llega al final de su vida útil, podemos desmontarla para recuperar parte de la inversión del proyecto inicial.
- ✓ Peso. La cimentación que se emplea en una estructura metálica es más ligera que en una de hormigón.
- ✓ Comodidad. Requiere de menos espacio para las columnas, ya que es importante tener más espacio operativo en el interior de nuestra estructura.



A demás, también presentan algunas desventajas que hay que tener muy en cuenta a la hora de la construcción de la estructura. Las principales desventajas son:

- ✘ **Corrosión.** La humedad y algunos agentes externos con el paso del tiempo pueden afectar a la estructura. Para evitar este gran problema, antes del ensamblaje de ésta, se le aplica un tratamiento con pinturas anticorrosivas.
- ✘ **Fuego.** Una estructura metálica está construida de acero; el acero a altas temperaturas, colapsa.
- ✘ **Economía.** La estructura metálica requiere de una mayor inversión económica al principio. Pero más tarde, se compensa con el tiempo y mano de obra (que es más bajo que en una de hormigón).
- ✘ **Mano de obra.** Se requiere a personal cualificado que tenga experiencia con estructuras metálicas. En pocas palabras, la mano de obra es más cara, pero se necesita menos personal para llevar a cabo la obra.
- ✘ **Mantenimiento.** Después de construir nuestra estructura, hay un gasto adicional para realizar cada cierto tiempo un mantenimiento de ésta.

2.1.3 Elementos que componen una estructura de acero

- Placas de anclaje.

Estas placas son elementos estructurales que se utilizan como unión de los soportes metálicos a la cimentación.

El objetivo de estas placas es hacer que el cambio de acero a hormigón se realice sin ningún tipo de problema, es decir, sin que se sobrepasen las tensiones admisibles del hormigón.

La placa de anclaje debe estar unida al cimiento a través de unos pernos; al fraguar el cemento, se adhieren a la cimentación.

Las placas de anclaje que más utilizadas son:

- Placa de base.
- Cartelas de rigidez.
- Pernos de anclaje.



Figura 1. Placa base

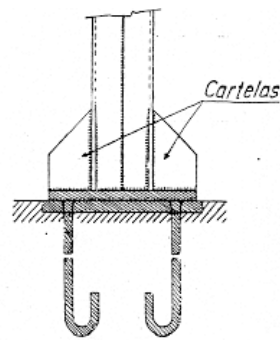


Figura 2. Cartelas de rigidez



Figura 3. Pernos de anclaje

- Arriostramientos.

Este elemento estructural tiene el objetivo de transmitir los esfuerzos por el agente externo, el viento. El viento frontal incide sobre el pórtico inicial/final, y estos esfuerzos se transmiten a las paredes laterales, y éstas finalmente lo transmitirán al suelo.

También tiene como objeto, limitar las longitudes de pandeo de los dinteles o cordones superiores de las vigas.

Existen diversos tipos de arriostramientos actualmente, pero nosotros nos centraremos en los más utilizados:

- Cruces de San Andrés:

Este tipo de arriostramiento consiste en dos tirantes, colocándolos en forma de aspa y que trabajan alternativamente a tracción. También pueden trabajar a compresión colocando barras.



Figura 4. Cruces de San Andrés

- Pilares.

Es una barra apoyada en posición vertical. Su función es soportar cargas o mismo peso de la misma estructura.

Los principales esfuerzos que soporta este elemento estructural, son de compresión y pandeo.

Existen varios tipos de pilares, pero los más utilizados son: IPN, UPN, IPE, HEA y HEB.



Figura 5. Perfiles más utilizados

- Uniones.

- Uniones atornilladas:



En este tipo de unión, los elementos utilizados son tornillos, tuercas y arandelas. Estos elementos deben estar normalizados y tener los mismos grados que el material de unión.



Figura 6. Unión atornillada

- Uniones soldadas:

Cuando un acero se considera soldable, es porque se puede conseguir la continuidad metálica de la unión y que ésta cumpla con todas las exigencias requeridas. Esto se puede conseguir aplicando la técnica adecuada.

El material que se usa a la hora de la soldadura tiene que ser el adecuado, comprobando las características mecánicas (el límite elástico, resistencia a tracción, deformación bajo la carga máxima...).



Figura 7. Unión mediante soldadura



- Vigas.

Las vigas son los elementos estructurales horizontales o que están ligeramente inclinadas como en las cubiertas, que reciben las cargas verticalmente y las transmiten a los apoyos. Es el elemento más importante, ya que, gracias a él, la estructura se mantiene en pie.

Este elemento estructural trabaja a flexión. Las cargas que una viga recibe, producen en sus secciones momento flector, esfuerzo cortante y torsión.

Las vigas de acero se clasifican en:

- Vigas simples:

Estas vigas son soportadas por apoyos simples, es decir, que en los extremos se pueden mover libremente.



Figura 8. Viga simple

- Vigas de atado:

Este tipo de viga se utiliza para unir los pilares hastiales con los intermedios. La viga de atado será arriostrada en los primeros vanos, para poder evitar la transaccionalidad de éstos.

Este elemento se encuentra en la cabeza de los pilares, colocado perpendicularmente a los pórticos principales. Ayudan a mejorar la rigidez de la estructura y limita la longitud de pandeo de los pilares.



Figura 9. Vigas de atado

- Vigas de sección variable y constante:

Una viga de sección variable es aquella en que su sección transversal varía en su longitud. Estas vigas, se utilizan para edificios con grandes luces, donde se colocan elementos acartelados en los extremos de éstas, con el objetivo de disminuir el momento en el centro e incrementándolo en los extremos. Hay varios tipos de vigas de sección variable, pero las más destacadas son las vigas acarteladas.

Las vigas acarteladas se definen como elementos estructurales que varían su sección en los extremos de la unión con las columnas, con el objetivo de aminorar las deflexiones y los momentos positivos cuando aumentan los negativos.

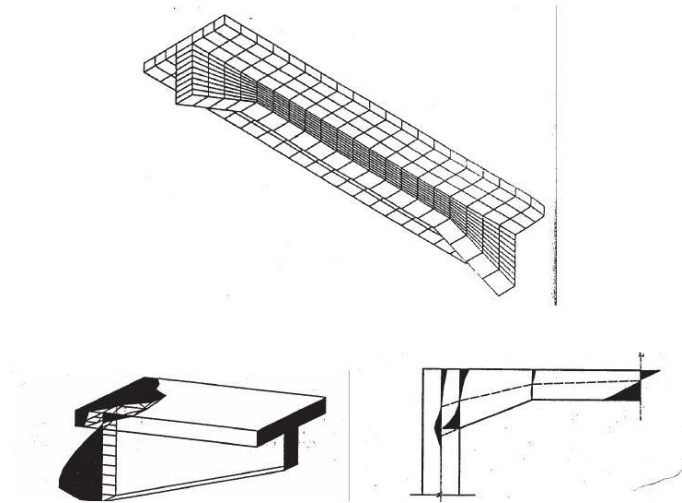


Figura 10. Viga acartelada

El estudio de estructuras de sección variable no tiene mucho protagonismo en la actualidad. Sin embargo, en la práctica profesional, con el objetivo de optimizar material, se presenta la necesidad de emplear este tipo de viga porque sirve para salvar grandes claros, como puentes, naves industriales y estructuras similares.

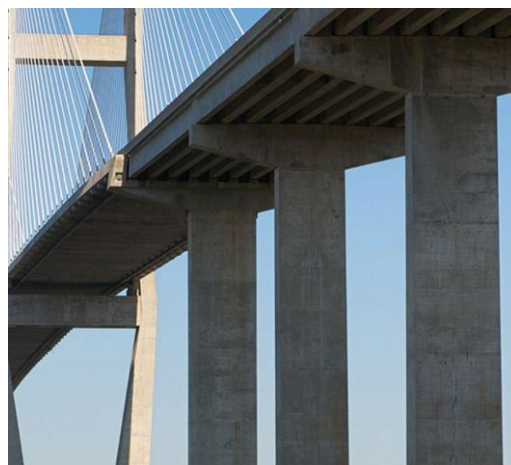


Figura 11. Puente con viga acartelada

Las vigas acarteladas son vigas con cartelas incorporadas. Nuestro estudio va a tratar las cartelas por separado, como un elemento estructural más.

Una viga de sección constante es el elemento que tiene la misma área y la misma inercia en toda su sección. Estos elementos están sometidos a corte y a flexión e incluso algunas veces a torsión.



Figura 12. Viga de sección variable



Figura 13. Viga de sección constante

El Trabajo de Fin de Grado va a tratar con vigas de sección constante. La primera estructura metálica va a ser diseñada sin el uso de rigidizadores y la segunda sí que los va a llevar, para poder saber cuáles son las diferencias entre ambas.

A continuación, nos vamos a centrar en las cartelas, que es el elemento estructural que vamos a estudiar en este proyecto.

2.2 Las cartelas

En ocasiones, en el cálculo de las vigas, se obtiene que los esfuerzos que ha de soportar ésta en su unión a la columna, son considerables.

Para absorber estos esfuerzos, bastaría sólo con aumentar la sección de acero en las zonas peligrosas. Esta solución no es siempre la más óptima, porque es más costosa. Es por ello, por lo que se recurre al uso de las cartelas.



La cartela, es una pieza de chapa metálica o acero, en forma de triángulo, que soldada a una barra o superficie, refuerza la unión de ésta con otras barras.



Figura 14. Cartelas

A continuación, vamos a enumerar los efectos que produce este elemento en una estructura:

- I. Aumenta los momentos negativos en los empotramientos.
- II. Disminuye el momento en el centro de la viga.
- III. Reduce el peso propio, dando lugar a momentos menores debidos a la carga.
- IV. Aumentan la resistencia de la viga a las grandes fuerzas cortantes que ha de resistir junto a los apoyos.

Como podemos observar, son ventajas que hay que tener en cuenta a la hora del cálculo en una estructura.

3 REQUISITOS DEL SISTEMA

El objetivo principal de este proyecto es la comparación de dos estructuras metálicas, una usando rigidizadores de tipo cartela y la otra no.

Esta comparación la haremos con la simulación mediante el programa Robot, una vez asignadas todas las cargas y calculada la estructura.

Para obtener resultados objetivos, evitaremos el uso de cargas adicionales sobre el edificio industrial durante su diseño. Sin embargo, si tendremos que tener en cuenta algunas acciones como la nieve, para poder así, obtener resultados que se acerquen más a la realidad.

A continuación, vamos a enumerar todos los componentes de nuestra nave, así como todas las cargas que actúan sobre ella. Finalmente, también obtendremos los resultados, comparación de éstos y dimensionamiento de cada estructura.

3.1 Tipo de cubierta

Hay diversos tipos de cubierta recogidos en la CTE, pero es necesario que nos centremos específicamente solo en un modelo, para poder comparar los resultados obtenidos sobre ésta ante las distintas situaciones de carga que veremos más adelante.

Hay varios tipos de cubiertas para una estructura metálica, pero los más utilizados en la actualidad son:

- Cubierta a un agua (Figura 15)
- Cubierta a dos aguas (Figura 16)
- Cubierta a cuatro aguas (Figura 17)
- Cubierta en dientes de sierra (Figura 18)



Figura 15.



Figura 16.



Figura 17.

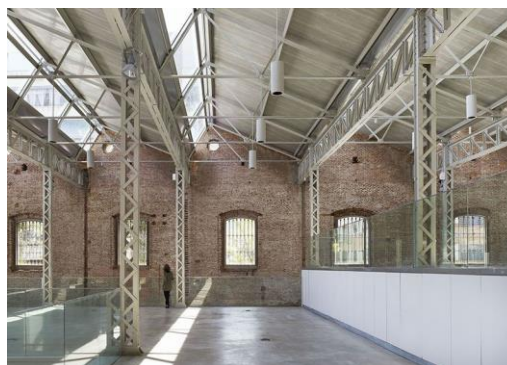


Figura 18.

Para hacer este proyecto, hemos elegido la cubierta a dos aguas. La elección de este tipo de cubierta es porque actualmente es la cubierta más utilizada, por lo que los resultados de nuestro estudio tendrán una mayor relación de uso con vistas al futuro.

Las dimensiones del diseño de la cubierta vendrán ya dadas por la geometría que tenga nuestra nave industrial. La altura y el ángulo de inclinación, dependerá de la diferencia entre la altura de los pilares y la cumbrera.

El material elegido para la cubierta, depende de factores externos e internos. Como factores externos podemos incluir la calefacción solar, la carga de viento y nieve entre otros. Como factores internos, tenemos las humedades, corrientes de aire internas, el ruido de la

maquinaria.... También hay que tener en cuenta la ubicación y el uso de nuestra estructura para tener cuenta los posibles factores anteriores.

En este proyecto no vamos a analizar qué tipo de cubierta utilizar. Eso sí, consideraremos el peso propio que tenga nuestra cubierta, independientemente de la composición.

3.2 Dimensiones de la estructura

A continuación, vamos a enumerar las dimensiones que hemos utilizado para nuestra estructura industrial:

Tabla 1. Dimensiones nave industrial

Dimensión	Valor
Longitud nave	40 m
Longitud vanos	5 m
Altura pilares	6 m
Altura total	8,68 m
Cumbrera	2,68 m
Luz pórtico	20 m
Ángulo cubierta	15°

Esta estructura está formada por 24 pilares (hastiales y centrales) y 18 vigas principalmente. Se encuentra dividida en vanos de 5 metros cada uno. También hemos usado arriostramientos, 24 vigas formando las Cruces de San Andrés, 16 vigas de atado, 4 vigas asociadas a las puertas y las cartelas.

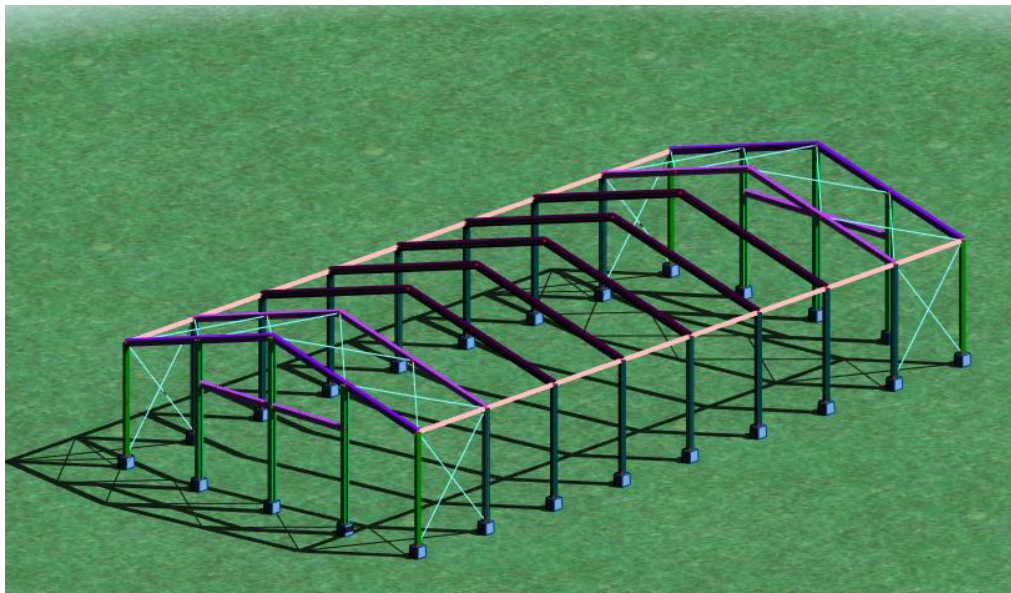


Figura 19. Estructura cubierta a dos aguas sin cartelas

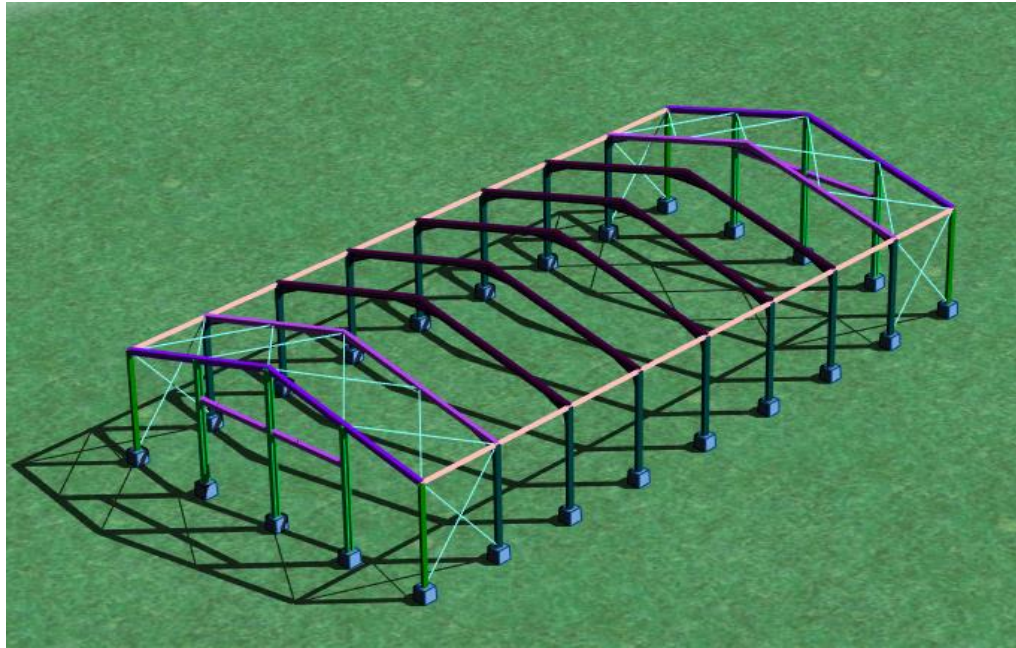


Figura 20. Estructura cubierta a dos aguas con cartelas

3.3 Ubicación edificación

La localización de este presente proyecto está situada en Jaén capital. Esta ciudad ocupa 426 km² y está situada entre la depresión Bética y la cordillera Subbética, muy próxima al río Guadalbullón. Tiene alrededor de 111932 habitantes y una altitud de 570 msnm.

Se encuentra rodeada de diversos municipios: Cazalilla, Mengíbar, Begíjar, Mancha Real, entre otros.



Figura 21. Municipios colindantes a Jaén capital

La ubicación exacta está en el Polígono Industrial Los Olivares, que se encuentra a las afueras de Jaén.



Figura 22. Polígono Industrial Los Olivares

El solar se encuentra fuera del casco urbano, en dicho polígono, cercada de la carretera Nacional 323. Está ubicada en la calle Escañuela.

Dicha parcela tiene una superficie de 2.850 m², 75 metros de longitud y 38 metros de anchura. El terreno está nivelado, por lo que se puede proceder a construir sin tener que hacer los trabajos de desmonte.



4 NORMATIVA UTILIZADA

A continuación, se pueden ver las normativas empleadas en el desarrollo de este nuestro proyecto.

Para hacer nuestra nave industrial nos hemos basado en el Documento Básico SE-EAE, para obtener todas las cargas aplicadas según el Código Técnico de Edificación.

4.1 Código Técnico de Edificación

Es el conjunto principal de normativas que regulan la construcción de edificios en España desde el año 2006. En él se establecen los requisitos básicos de seguridad y habitabilidad de las construcciones, siempre del lado de la seguridad de las personas y teniendo en cuenta el medioambiente.

A continuación, se ha citado el DB-SE-AE, Seguridad Estructural. Acciones en la edificación.

4.1.1 Acciones permanentes

Son aquellas que pueden tener una cierta variación durante el periodo de servicio de la estructura.

4.1.1.1 Peso propio

El peso propio es la carga producida por la gravedad en la masa de los elementos estructurales de la edificación.

4.1.1.2 Pretensado

La acción del pretensado se evaluará a partir de lo establecido en la Instrucción EHE. En este proyecto no se aplica.

4.1.1.3 Acciones del terreno

Las acciones procedentes del empuje del terreno, tanto las procedentes de su propio peso, como de otras acciones que actúan sobre él, o por sus desplazamientos o deformaciones. Se estudia según DB-SE-C. Como en este proyecto nos centramos en la estructura metálica, no lo tenemos en cuenta.

4.1.2 Acciones variables

Este tipo de acciones solo ocurren a veces, y no siempre con la misma magnitud y posición.

4.1.2.1 Sobrecarga de uso

Peso de todo lo que puede gravitar sobre el edificio por razón de su uso.

4.1.2.1.1 Valores de la sobrecarga

Los efectos de la sobrecarga de uso pueden simularse por la aplicación de cargas distribuidas uniformemente. Sin embargo, para las comprobaciones locales de capacidad portante, debe considerarse una carga concentrada actuando en cualquier punto de la zona.

Tabla 2. Valores característicos de las sobrecargas de uso.

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

- (1) Deben descomponerse en dos cargas concentradas de 10 kN separadas entre sí 1,8 m. Alternativamente dichas cargas se podrán sustituir por una sobrecarga uniformemente distribuida en la totalidad de la zona de 3,0 kN/m² para el cálculo de elementos secundarios, como nervios o viguetas, doblemente apoyados, de 2,0 kN/m² para el de losas, forjados reticulados o nervios de forjados continuos, y de 1,0 kN/m² para el de elementos primarios como vigas, ábacos de soportes, soportes o zapatas.
- (2) En cubiertas transitables de uso público, el valor es el correspondiente al uso de la zona desde la cual se accede.
- (3) Para cubiertas con inclinación entre 20° y 40°, el valor de q_k se determina con la interpolación lineal entre los valores correspondientes a las subcategorías G1 y G2.
- (4) El valor indicado se refiere a la proyección horizontal de la superficie de la cubierta.
- (5) Se entiende por cubierta ligera aquella cuya carga permanente debida únicamente a su cerramiento no excede de 1,00 kN/m².
- (6) Se puede adoptar un área tributaria inferior a la total de la cubierta, no menor que 10 m² y situada en la parte más desfavorable de la misma, siempre que la solución adoptada figure en el plan de mantenimiento del edificio.
- (7) Esta sobrecarga de uso no se considera concomitante con el resto de acciones variables.



4.1.2.1.2 Reducción de sobrecargas

Para el dimensionado de los elementos portantes horizontales (vigas, nervios de forjados, etc.) y de los elementos de enlace, la suma de las sobrecargas de una misma categoría de uso que actúen sobre él, puede reducirse multiplicando por un coeficiente de la tabla.

En este proyecto no hemos tenido que reducir ninguna sobrecarga, por lo que no hemos usado esta tabla.

Tabla 3. Coeficiente de reducción de sobrecargas.

Elementos verticales			Elementos horizontales			
Número de plantas del mismo uso			Superficie tributaria (m ²)			
1 ó 2	3 ó 4	5 ó más	16	25	50	100
1,0	0,9	0,8	1,0	0,9	0,8	0,7

4.1.2.2 Acciones sobre barandillas y elementos divisorios

Estructuras como barandillas, quitamiedos de terrazas, petos o antepechos, balcones o escaleras, deben resistir una fuerza horizontal distribuida de manera horizontal.

Tabla 4. Acciones sobre barandillas y elementos divisorios.

Categoría de uso	Fuerza horizontal [kN/m]
C5	3,0
C3, C4, E, F	1,6
Resto de los casos	0,8

Este apartado no es aplicable a nuestra estructura.

4.1.2.3 Viento

4.1.2.3.1 Generalidades

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

Las disposiciones de este Documento Básico no son aplicables a los edificios situados en altitudes superiores de 2.000 m. En estos casos, las presiones de viento se deben establecer a partir de datos empíricos disponibles.

En general, los edificios ordinarios no son sensibles a los efectos dinámicos del viento. Este Documento Básico no cubre las construcciones de esbeltez superior a 6, en las que si debe tenerse en cuenta dichos efectos.



4.1.2.3.2 Acción del viento

La fuerza del viento, en general, es una fuerza perpendicular a la superficie de cada punto expuesto, también conocido como presión estática, q_e :

$$q_e = q_b * c_e * c_p \quad (1)$$

Siendo:

q_b la presión dinámica.

c_e el coeficiente de expansión.

c_p el coeficiente eólico o de presión.

Estos valores son la base para poder hacer los cálculos sobre la carga de viento.

• Presión dinámica.

El valor básico de la velocidad puede obtenerse con la siguiente expresión:

$$q_b = 0,5 * \delta * V_b^2 \quad (2)$$

siendo δ la densidad del aire y V_b el valor básico de la velocidad del viento.

El valor básico de la velocidad del viento corresponde al valor característico de la velocidad media del viento a lo largo de un periodo de 10 minutos, tomada en una zona plana y desprotegida frente al viento a una altura de 10 m sobre el suelo. El valor característico de la velocidad del viento, queda definido como el valor cuya probabilidad anual de ser sobrepasado es de 0,02.

La densidad del aire depende, entre otros factores, de la altitud, de la temperatura ambiental y de la fracción de agua en suspensión. En general puede adoptarse el valor de $1,25 \text{ kg/m}^3$. En emplazamientos muy cercanos al mar, la densidad puede ser mayor debido a la acción del rocío.



Figura 23. Valor básico de la velocidad del viento, V_b

Para comprobaciones de estados límite de servicio, la velocidad máxima puede modificarse con el coeficiente de la tabla 4.4 según el periodo de retorno considerado, tomando para esa variable un tiempo igual al periodo de servicio con el que se proyecta el edificio.

Tabla 5. Corrección de la velocidad básica en función del periodo de servicio

Periodo de retorno (años)	1	2	5	10	20	50	200
Coefficiente corrector	0,41	0,78	0,85	0,90	0,95	1,00	1,08

• **Coefficiente de exposición.**

Para este valor tenemos que tener en cuenta varios parámetros; depende del grado de aspereza del entorno y la altura del punto considerado. También hay que tener en cuenta para el cálculo de este valor, los efectos de las turbulencias que se crean por el relieve y topografía del terreno. La altura del punto considerado, es la medida respecto a la rasante media de la fachada a barlovento.

Esta tabla sirve para alturas inferiores a 30 metros.

Tabla 6. Valores del coeficiente de exposición

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

Cuando tenemos una altura mayor de 30 metros, tenemos que obtener los valores a partir de una fórmula. Sin embargo, la altura tiene que oscilar entre 30 metros y 200 metros.

$$c_e = F * (F + 7 * k) \tag{3}$$

$$F = k * \ln(\max(z, Z)/L) \tag{4}$$

Siendo k, L, Z parámetros característicos de cada tipo de entorno, según la tabla 4.6.

Tabla 7. Coeficientes para tipos de entorno

Grado de aspereza del entorno	Parámetro		
	k	L (m)	Z (m)
I Borde del mar o de un lago, con una superficie de agua en la dirección del viento de al menos 5 km de longitud	0,156	0,003	1,0
II Terreno rural llano sin obstáculos ni arbolado de importancia	0,17	0,01	1,0
III Zona rural accidentada o llana con algunos obstáculos aislados, como árboles o construcciones pequeñas	0,19	0,05	2,0
IV Zona urbana en general, industrial o forestal	0,22	0,3	5,0
V Centro de negocios de grandes ciudades, con profusión de edificios en altura	0,24	1,0	10,0

• **Coeficiente eólico de naves y construcciones diáfanas.**

En naves y construcciones diáfanas, sin forjados que conecten las fachadas, la acción del viento debe individualizarse en cada elemento de superficie exterior. Cuando en al menos dos de los lados del edificio el área total de los huecos exceda el 30% del área total del lado considerado, la acción del viento se determina considerando la estructura como una marquesina o una pared libre.

A efectos de cálculo de la estructura, del lado de la seguridad se podrá utilizar la resultante en cada plano de fachada o cubierta. Para elementos estructurales como las correas, cerramientos o anclajes, deben utilizarse los valores correspondientes a las zonas en la que se encuentra ubicado dicho elemento.

Si el edificio presenta grandes huecos, aparte de generarse presiones exteriores, se generarán presiones interiores que luego se suman a las anteriores.

El coeficiente de presión interior, cp_i , se considera único en todos los parámetros interiores del edificio que delimitan la zona afectada por la fachada o cubierta donde se encuentran los huecos. Para su cálculo, en construcciones de una planta, se considera el coeficiente como la altura del punto medio el hueco, a menos que tengamos un hueco dominante, entonces el coeficiente será el correspondiente a la media de la altura de dicho hueco. Si la edificación tiene diferentes plantas se considera la media de la altura de la planta en estudio. Para tener un hueco dominante, su área debe ser por lo menos diez veces superior a la suma de esas áreas de los huecos restantes.

Cuando el área de abertura de una fachada sea el doble de las aberturas del resto de las fachadas del edificio, se tomará $cp_i = 0,75 * cp_e$; si es el triple $cp_i = 0,9 * cp_e$ siendo cp_e el coeficiente eólico de presión exterior. En casos intermedios, se interpolará. En otro caso se tomarán valores de la tabla 4.7.

Tabla 8. Coeficientes de presión interior

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

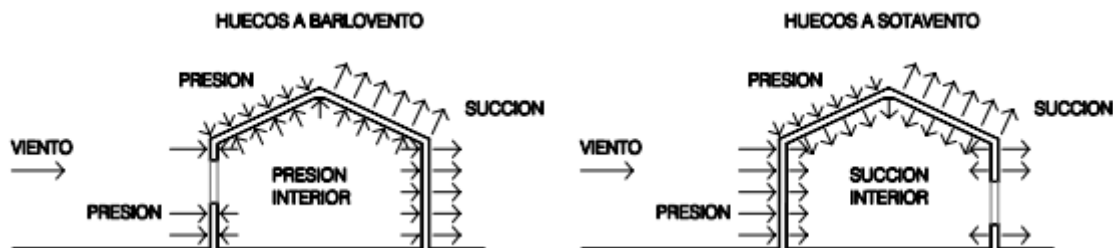


Figura 24. Presiones ejercidas por el viento en una construcción diáfana

El coeficiente de presión exterior o eólico, cp , dependen de la dirección relativa del viento, de la forma del edificio, de la posición del elemento considerado y de su área de influencia.

Nuestro proyecto trata de una estructura con una cubierta a dos aguas, por lo que solamente vamos a dejar indicadas sus respectivas tablas. Sin embargo, hay tablas para cubiertas planas, cubiertas a un agua, cubiertas a cuatro aguas, cubierta en diente de sierra, cubiertas simples, marquesinas a un agua, marquesinas a dos aguas, cubiertas cilíndricas y cubiertas esféricas.

En dichas tablas, se dan valores de coeficientes de presión para todas las diversas formas de construcciones, obtenidos como el pésimo de entre los del abanico de direcciones de viento definidas en cada caso. En todas ellas la variable A se refiere al área de influencia del elemento o punto considerado. El signo “ indica que el valor es idéntico al de la casilla

superior. Cuando se aportan dos valores de distinto signo separados, significa que la acción del viento en la zona considerada puede variar de presión a succión, y que deben de considerarse ambas posibilidades. En todas las tablas se puede interpolar de forma lineal para valores intermedios de las variables.

Para comprobaciones locales de elementos de fachada o cubierta, el área de influencia será la del elemento propio. Si la zona tributaria de dicho elemento se aplica en dos o más zonas de las que establecen las tablas, como es el caso de los elementos estructurales generales, el uso de coeficientes tabulados opera del lado de la seguridad.

Para elemento con área de influencia A, entre 1 m² y 10 m², el coeficiente de presión exterior se puede obtener mediante la siguiente expresión:

$$c_{pe,A} = c_{pe,1} + (c_{pe,10} - c_{pe,1}) * \log A \quad (5)$$

Siendo:

$c_{pe,10}$ coeficiente de presión exterior para elementos con un área de influencia $A \geq 10 \text{ m}^2$

$c_{pe,1}$ coeficiente de presión exterior para elementos con un área de influencia $A \leq 1 \text{ m}^2$

En caso de construcciones con forma distinta de las que hay establecidas, deberán proceder por analogía, considerando, que el volumen está formado por la construcción considerada y las medianeras.

Se permite el empleo de las tablas de coeficientes de presión de la norma EN 1991-1-1-4, tanto para formas cónicas no incluidas en este Documento como para coeficientes globales de fuerza de las que si se incluyen.

I. Parámetros verticales

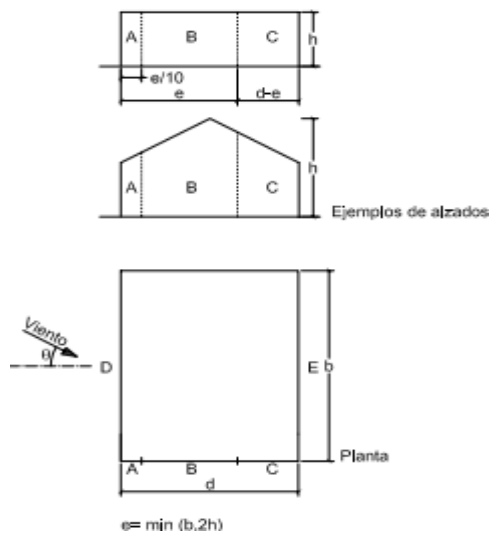


Tabla 9. Parámetros verticales

A (m ²)	h/d	Zona (según figura), $-45^\circ < \theta < 45^\circ$				
		A	B	C	D	E
≥ 10	5	-1,2	-0,8	-0,5	0,8	-0,7
	1	"	"	"	"	-0,5
	$\leq 0,25$	"	"	"	0,7	-0,3
5	5	-1,3	-0,9	-0,5	0,9	-0,7
	1	"	"	"	"	-0,5
	$\leq 0,25$	"	"	"	0,8	-0,3
2	5	-1,3	-1,0	-0,5	0,9	-0,7
	1	"	"	"	"	-0,5
	$\leq 0,25$	"	"	"	0,7	-0,3
≤ 1	5	-1,4	-1,1	-0,5	1,0	-0,7
	1	"	"	"	"	-0,5
	$\leq 0,25$	"	"	"	"	-0,3

Figura 25. Cotas parámetros verticales

II. Cubiertas planas

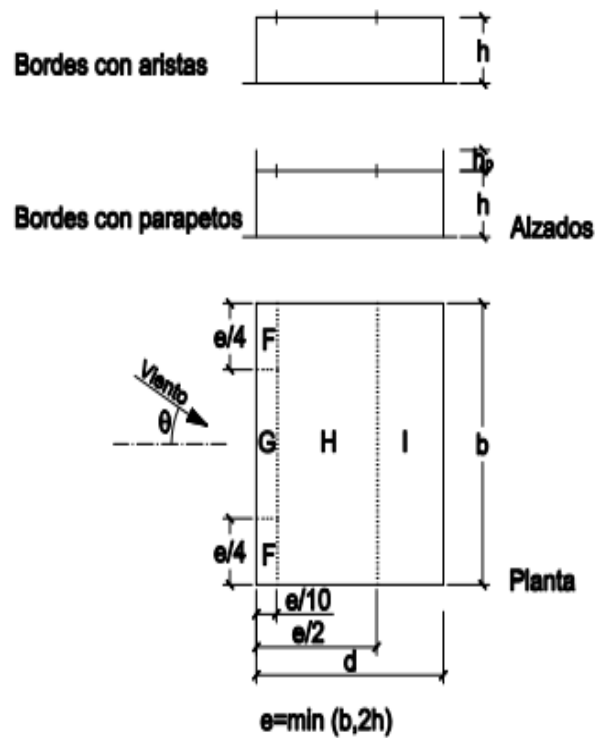


Figura 26. Cotas cubiertas planas

Tabla 10. Datos cubierta plana

h_p/h	A (m ²)	Zona (según figura), $-45^\circ < \theta < 45^\circ$			
		F	G	H	I
Bordes con aristas	≥ 10	-1,8	-1,2	-0,7	0,2 -0,2
	≤ 1	-2,5	-2,0	-1,2	0,2 -0,2
0,025	≥ 10	-1,6	-1,1	-0,7	0,2 -0,2
	≤ 1	-2,2	-1,8	-1,2	0,2 -0,2
Con parapetos 0,05	≥ 10	-1,4	-0,9	-0,7	0,2 -0,2
	≤ 1	-2,0	-1,6	-1,2	0,2 -0,2
0,10	≥ 10	-1,2	-0,8	-0,7	0,2 -0,2
	≤ 1	-1,8	-1,4	-1,2	0,2 -0,2

Cubiertas a un agua

a) Dirección del viento $-45^\circ \leq \theta \leq 45^\circ$

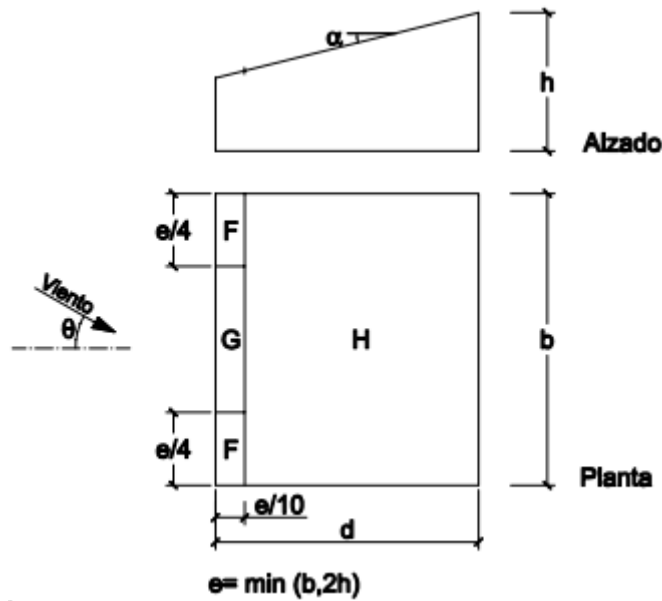


Figura 27. Cotas cubiertas a un agua 1

Tabla 11. Datos cubierta a un agua 1

Pendiente de la cubierta α	A (m ²)	Zona (según figura), $-45^\circ < \theta < 45^\circ$		
		F	G	H
5°	≥ 10	-1,7 +0,0	-1,2 +0,0	-0,6 +0,0
	≤ 1	-2,5 +0,0	-2,0 +0,0	-1,2 +0,0
15°	≥ 10	-0,9 0,2	-0,8 0,2	-0,3 0,2
	≤ 1	-2,0 0,2	-1,5 0,2	-0,3 0,2
30°	≥ 10	-0,5 0,7	-0,5 0,7	-0,2 0,4
	≤ 1	-1,5 0,7	-1,5 0,7	-0,2 0,4
45°	≥ 10	-0,0 0,7	-0,0 0,7	-0,0 0,6
	≤ 1	-0,0 0,7	-0,0 0,7	-0,0 0,6
60°	≥ 10	0,7	0,7	0,7
	≤ 1	0,7	0,7	0,7
75°	≥ 10	0,8	0,8	0,8
	≤ 1	0,8	0,8	0,8

b) Dirección del viento $135^\circ \leq \theta \leq 225^\circ$

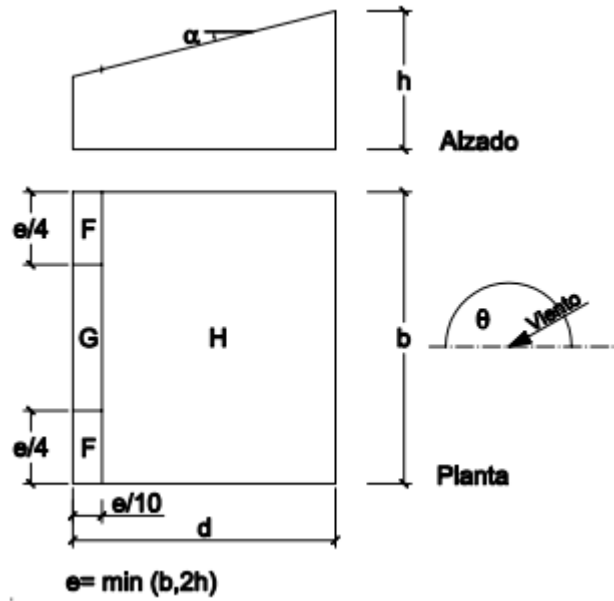


Figura 28. Cotas cubierta a un agua 2

Tabla 12. Datos cubierta a un agua 2

Pendiente de la cubierta α	A (m ²)	Zona (según figura), $135^\circ \leq \theta \leq 225^\circ$		
		F	G	H
5°	≥ 10	-2,3	-1,3	-0,8
	≤ 1	-2,5	-2,0	-1,2
15°	≥ 10	-2,5	-1,3	-0,9
	≤ 1	-2,8	-2,0	-1,2
30°	≥ 10	-1,1	-0,8	-0,8
	≤ 1	-2,3	-1,5	-0,8
45°	≥ 10	-0,6	-0,5	-0,7
	≤ 1	-1,3	-0,5	-0,7
60°	≥ 10	-0,5	-0,5	-0,5
	≤ 1	-1,0	-0,5	-0,5
75°	≥ 10	-0,5	-0,5	-0,5
	≤ 1	-1,0	-0,5	-0,5

c) Dirección del viento $45^\circ \leq \theta \leq 135^\circ$

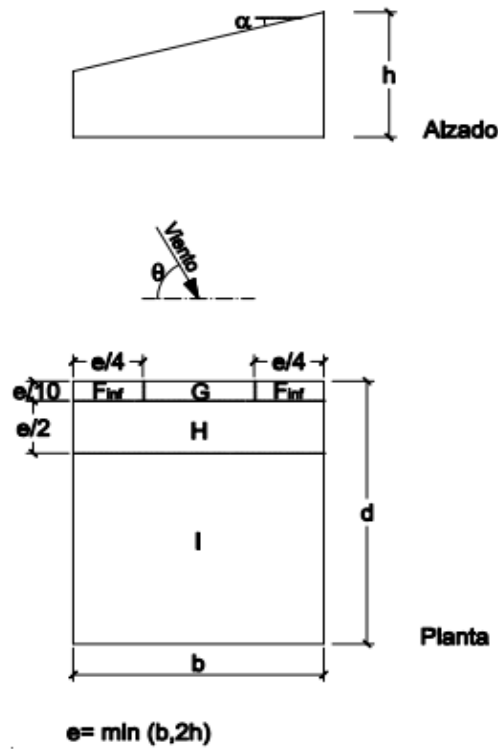


Figura 29. Cotas cubierta a un agua 3

Tabla 13. Datos cubierta a un agua 3

Pendiente de la cubierta α	A (m ²)	Zona (según figura), $45^\circ \leq \theta \leq 135^\circ$				
		F _{inf}	F _{sup}	G	H	I
5°	≥ 10	-2,1	-2,1	-1,8	-0,6	-0,5
	≤ 1	-2,4	-2,6	-2,0	-1,2	-0,5
15°	≥ 10	-1,6	-2,4	-1,9	-0,8	-0,7
	≤ 1	-2,4	2,9	-2,5	-1,2	-1,2
30°	≥ 10	-1,3	-2,1	-1,5	-1,0	-0,8
	≤ 1	-2,0	-2,9	-2,0	-1,3	-1,2
45°	≥ 10	-1,3	-1,5	-1,4	-1,0	-0,9
	≤ 1	-2,0	-2,4	-2,0	-1,3	-1,2
60°	≥ 10	-1,2	-1,2	-1,2	-1,0	-0,7
	≤ 1	-2,0	-2,0	-2,0	-1,3	-1,2
75°	≥ 10	-1,2	-1,2	-1,2	-1,0	-0,5
	≤ 1	-2,0	-2,0	-2,0	-1,3	-0,5

III. Cubierta a dos aguas

a) Dirección del viento $-45^\circ \leq \theta \leq 45^\circ$

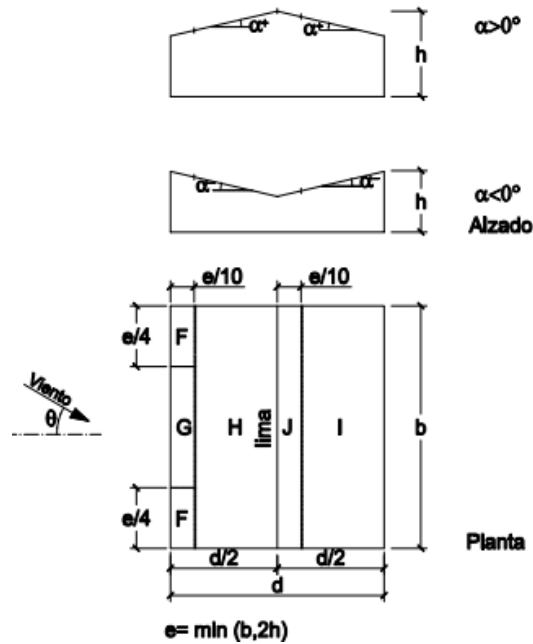


Figura 30. Cotas cubierta a dos aguas 1

Tabla 14. Datos cubierta a dos aguas 1

Pendiente de la cubierta α	A (m ²)	Zona (según figura)				
		F	G	H	I	J
-45°	≥ 10	-0,6	-0,6	-0,8	-0,7	-1
	≤ 1	-0,6	-0,6	-0,8	-0,7	-1,5
-30°	≥ 10	-1,1	-0,8	-0,8	-0,6	-0,8
	≤ 1	-2	-1,5	-0,8	-0,6	-1,4
-15°	≥ 10	-2,5	-1,3	-0,9	-0,5	-0,7
	≤ 1	-2,8	-2	-1,2	-0,5	-1,2
-5°	≥ 10	-2,3	-1,2	-0,8	0,2	0,2
	≤ 1	-2,5	-2	-1,2	-0,6	-0,6
5°	≥ 10	-1,7	-1,2	-0,6	-0,6	0,2
	≤ 1	+0,0	+0,0	+0,0	-0,6	-0,6
15°	≥ 10	-0,9	-0,8	-0,3	-0,4	-1
	≤ 1	0,2	0,2	0,2	+0,0	+0,0
30°	≥ 10	-0,5	-0,5	-0,2	-0,4	-0,5
	≤ 1	0,7	0,7	0,4	0	0
45°	≥ 10	-0,0	-0,0	-0,0	-0,2	-0,3
	≤ 1	0,7	0,7	0,6	+0,0	+0,0
60°	≥ 10	-0,0	-0,0	-0,0	-0,2	-0,3
	≤ 1	0,7	0,7	0,7	-0,2	-0,3
75°	≥ 10	0,8	0,8	0,8	-0,2	-0,3
	< 1	0,8	0,8	0,8	-0,2	-0,3

b) Dirección del viento $45^\circ \leq \theta \leq 135^\circ$

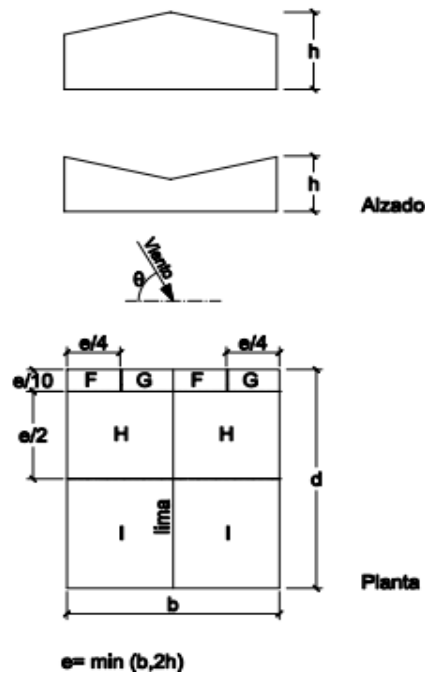


Figura 31. Cotas cubierta a dos aguas 2

Tabla 15. Datos cubierta a dos aguas 2

Pendiente de la cubierta α	A (m ²)	Zona (según figura), $-45^\circ \leq \theta \leq 45^\circ$			
		F	G	H	I
-45°	≥ 10	-1,4	-1,2	-1,0	-0,9
	≤ 1	-2,0	-2,0	-1,3	-1,2
-30°	≥ 10	-1,5	-1,2	-1,0	-0,9
	≤ 1	-2,1	-2,0	-1,3	-1,2
-15°	≥ 10	-1,9	-1,2	-0,8	-0,8
	≤ 1	-2,5	-2,0	-1,2	-1,2
-5°	≥ 10	-1,8	-1,2	-0,7	-0,6
	≤ 1	-2,5	-2,0	-1,2	-1,2
5°	≥ 10	-1,6	-1,3	-0,7	-0,6
	≤ 1	-2,2	-2,0	-1,2	-0,6
15°	≥ 10	-1,3	-1,3	-0,6	-0,5
	≤ 1	-2,0	-2,0	-1,2	-0,5
30°	≥ 10	-1,1	-1,4	-0,8	-0,5
	≤ 1	-1,5	-2,0	-1,2	-0,5
45°	≥ 10	-1,1	-1,4	-0,9	-0,5
	≤ 1	-1,5	-2,0	-1,2	-0,5
60°	≥ 10	-1,1	-1,2	-0,8	-0,5
	≤ 1	-1,5	-2,0	-1,0	-0,5
75°	≥ 10	-1,1	-1,2	-0,8	-0,5
	≤ 1	-1,5	-2,0	-1,0	-0,5

IV. Cubierta a cuatro aguas

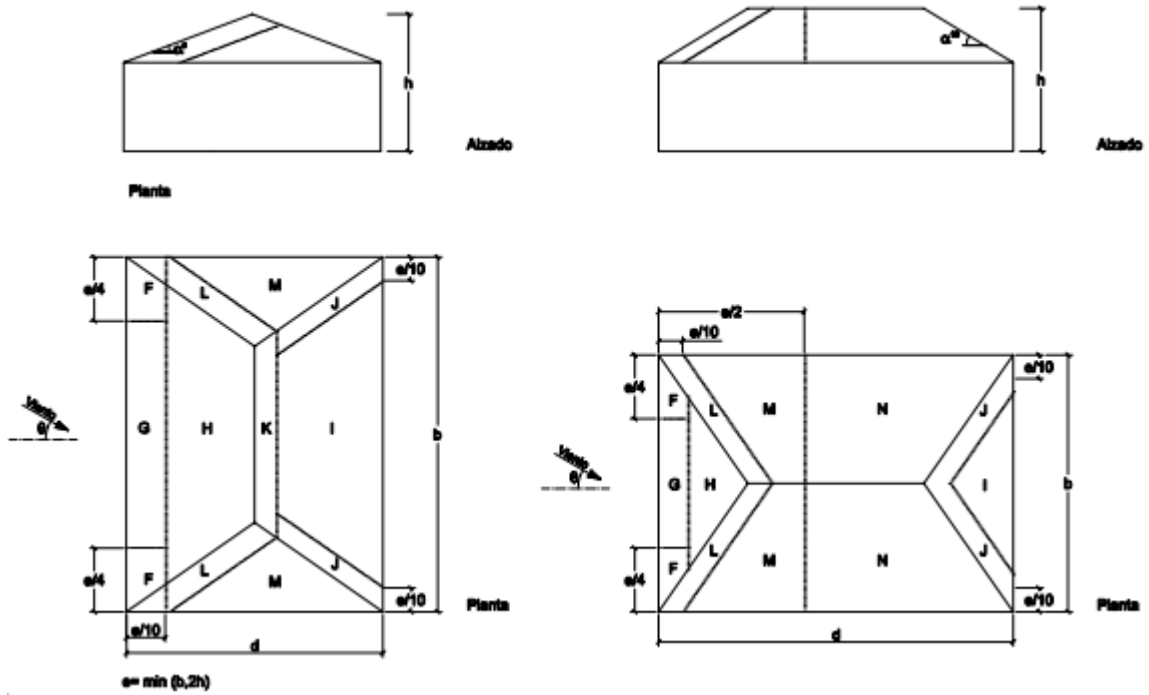


Figura 32. Cotas cubierta a cuatro aguas

Tabla 16. Datos cubierta a cuatro aguas

Pendiente de la cubierta α	A (m ²)	Zona (según figura)								
		F	G	H	I	J	K	L	M	N
5°	≥ 10	-1,7 +0,0	-1,2 +0,0	-0,6 +0,0	-0,3	-0,6	-0,6	-1,2	-0,6	-0,4
	≤ 1	-2,5 +0,0	-2,0 +0,0	-1,2 +0,0	-0,3	-0,6	-0,6	-2,0	-1,2	-0,4
15°	≥ 10	-0,9 +0,2	-0,8 +0,2	-0,3 +0,2	-0,5	-1,0	-1,2	-1,4	-0,6	-0,3
	≤ 1	-2,0 +0,2	-1,5 +0,2	-0,3 +0,2	-0,5	-1,5	-2,0	-2,0	-1,2	-0,3
30°	≥ 10	-0,5 +0,5	-0,5 +0,7	-0,2 +0,4	-0,4	-0,7	-0,5	-1,4	-0,8	-0,2
	≤ 1	-1,5 +0,5	-1,5 +0,7	-0,2 +0,4	-0,4	-1,2	-0,5	-2,0	-1,2	-0,2
45°	≥ 10	-0,0 +0,7	-0,0 +0,7	-0,0 +0,6	-0,3	-0,6	-0,3	-1,3	-0,8	-0,2
	≤ 1	-0,0 +0,7	-0,0 +0,7	-0,0 +0,6	-0,3	-0,6	-0,3	-2,0	-1,2	-0,2
60°	≥ 10	+0,7	+0,7	+0,7	-0,3	-0,6	-0,3	-1,2	-0,4	-0,2
	≤ 1	+0,7	+0,7	+0,7	-0,3	-0,6	-0,3	-2,0	-0,4	-0,2
75°	≥ 10	+0,8	+0,8	+0,8	-0,3	-0,6	-0,3	-1,2	-0,4	-0,2
	≤ 1	+0,8	+0,8	+0,8	-0,3	-0,6	-0,3	-2,0	-0,4	-0,2



4.1.2.4 Nieve

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

En cubiertas accesibles para personas o vehículos, deben considerarse las posibles acumulaciones debidas a redistribuciones artificiales de la nieve. Asimismo, deben tenerse en cuenta las condiciones constructivas particulares que faciliten la acumulación de nieve.

4.1.2.4.1 Determinación de la carga de nieve

En cubiertas planas de edificios de pisos situados en localidades de altitud inferior a 1.000 metros, es suficiente considerar una carga de nieve de $1,0 \text{ kN/m}^2$. En otros casos o en estructuras ligeras, sensibles a carga vertical, los valores pueden obtenerse como se indica a continuación.

Como valor de carga de nieve por unidad de superficie en proyección horizontal, q_n , puede tomarse:

$$q_n = \mu * s_k \quad (6)$$

Siendo:

μ coeficiente de forma de la cubierta según 4.1.2.4.3

s_k el valor característico de la carga de nieve sobre un terreno horizontal según 4.1.2.4.2

Cuando la construcción esté protegida de la carga del viento, el valor de carga de nieve podrá reducirse en un 20%. Si se encuentra en un emplazamiento fuertemente expuesto, el valor deberá aumentarse un 20%.

Para el cálculo de los elementos volados de la cubierta de edificios situados en altitudes superiores a 1.000 metros debe considerarse, además de la carga superficial de nieve, una carga lineal p_n , en el borde del elemento, debido a la formación de hielo, que viene dada por la expresión:

$$p_n = k * \mu^2 * s_k \quad (7)$$

Donde k es igual a 3 metros.

La carga que actúa sobre los elementos que impidan el deslizamiento de la nieve, se puede deducir a partir de la masa de nieve que puede deslizarse. A estos efectos se debe suponer que el coeficiente de rozamiento entre la cubierta y la nieve es nulo.

4.1.2.4.2 Carga de nieve sobre un terreno horizontal

El valor de la sobrecarga de nieve sobre un terreno horizontal, s_k , en las capitales de provincia y ciudades autónomas se pueden tomar de la siguiente tabla:

Tabla 17. Sobrecarga de nieve en capitales de provincia y ciudades autónomas

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

En otras localidades el valor puede deducirse del Anejo E, en función de la zona y de la altitud topográfica del emplazamiento de la obra.

El emplazamiento con altitudes superiores a las máximas tabuladas en el citado Anejo, como carga de nieve se adoptará la indicada por la ordenanza municipal, cuando exista, o se establecerá a partir de los datos empíricos disponibles.

El peso específico de la nieve acumulado es muy variable, pudiendo adoptarse 1,2 kN/m³ para la recién caída, 2,0 kN/m³ para la prensada o empapada y 4,0 kN/m³ para la mezcla con granizo.

4.1.2.4.3 Coeficiente de forma

El viento puede acompañar o seguir a las nevadas, lo que origina un depósito irregular de la nieve sobre las cubiertas. Por ello, el espesor de la capa de nieve puede ser diferente en cada faldón. Para la determinación del coeficiente de forma de cada uno de ellos, se aplican unas reglas.

En un faldón limitado inferiormente por cornisas o limatesas, y en el que no hay impedimento al deslizamiento de la nieve, el coeficiente de forma tiene el valor de 1 para cubiertas con inclinación menor o igual que 30° y 0 para cubiertas con inclinación de mayor o igual que 60°. Si hay impedimento, $\mu=1$ sea cual sea la inclinación.

En un faldón que limita inferiormente con una limahoya, lo que impide el deslizamiento de la nieve, se distinguen dos casos, pero no vamos a entrar en ellos.

5 ESTUDIO PRELIMNAR DEL ANÁLISIS DE VIGAS DE SECCIÓN VARIABLE

5.1 Introducción

Debido a la importancia que tienen las cartelas para el estudio de este proyecto, se ha considerado hacer este apartado para explicar y detallar cómo el programa Autodesk Robot ha considerado este elemento estructural en la nave industrial.

Para poder explicar el comportamiento de las cartelas en dicho software, vamos a proceder con un ejemplo genérico, bastante sencillo. Partiremos de una barra de acero, biapoyada. Los casos de carga que aplicaremos a dicha barra serán el peso propio y una carga de explotación.

Después, se le colocarán unas cargas a dicha barra de acero para más tarde poder calcular el dimensionado correcto.

A continuación, analizaremos los resultados que nos facilita el programa y más tarde haremos el mismo procedimiento, pero esta vez utilizando cartelas.

5.2 Ejemplo genérico sin el uso de cartelas

Comenzaremos con una viga, cuya longitud será 10 metros. Dicha barra estará biapoyada, y como hemos explicado anteriormente, tendremos dos casos de carga: peso propio y explotación. Se ha escogido un IPE 200 para este ejemplo genérico.

A continuación, le aplicaremos una carga uniforme de 10 kN/m, y calculamos para poder proceder a los resultados de tensiones normales máximas que nos ofrece el programa.

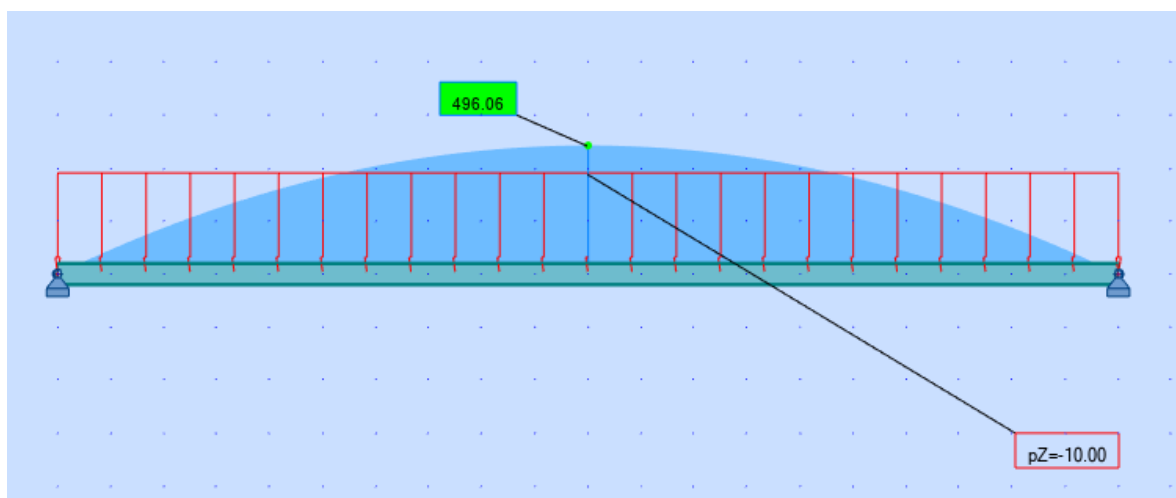


Figura 33. Ejemplo con carga uniforme sin cartelas

Como podemos observar en la figura 33, el diagrama de momentos que hemos obtenido no es constante y para poder analizar este ejemplo, tenemos que obtener un diagrama de momentos constante. Es decir, en vez de aplicar una carga uniforme en toda la barra, lo que haremos es aplicar momentos puntuales en cada apoyo., para que sea simétrica.

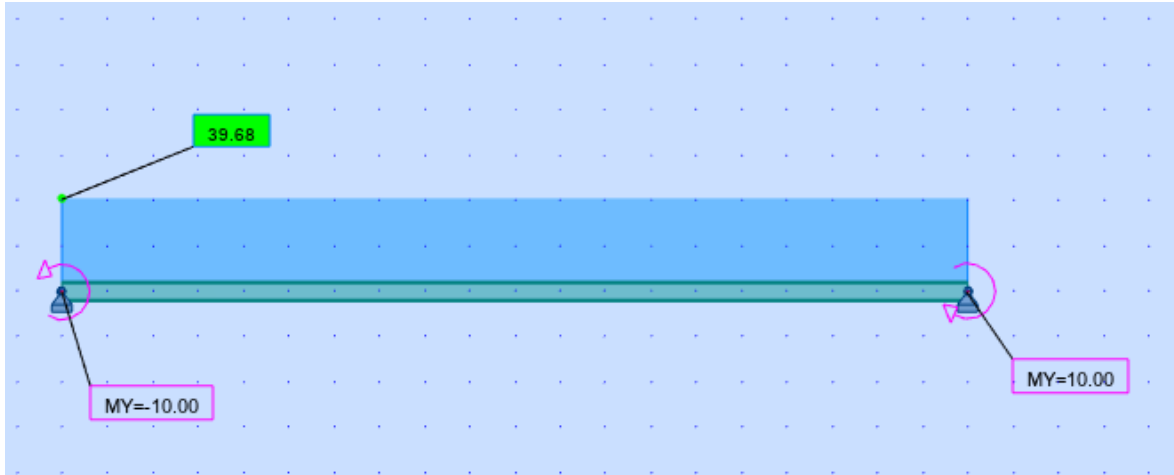


Figura 34. Ejemplo con momentos puntuales sin cartelas

Finalmente, ahora si tenemos un diagrama de momentos flectores constante. A continuación, haremos el mismo caso con cartelas.

5.3 Ejemplo genérico usando cartelas

Para este caso, vamos a utilizar las mismas dimensiones de las cartelas que utilizaremos en el estudio comparativo.

La interfaz de usuario 'Nuevo refuerzo' muestra los siguientes campos y opciones:

- Nombre: Refuerzo1
- Tipo de refuerzo: Pletina, Perfil
- Parámetros (cm):
 - Longitud (L): 0,15 x longitud de la barra
 - Altura (H): 1,00 x altura de la sección
 - Anchura (B): 1,00 x anchura de la sección
 - Espesor (Th1): 1,00 x espesor del alma
 - Espesor (Th2): 1,00 x espesor del ala
- Posición: Arriba, Arriba y abajo, Abajo
- Botones: Agregar, Cerrar, Ayuda

Figura 35. Dimensiones de las cartelas

Las cartelas serán del mismo perfil en que se encuentren incorporadas. La longitud de la cartela variará según la longitud que tenga la viga, es decir, la longitud de la cartela será 0,15 veces la longitud de la barra. La altura de la cartela será la altura que tenga el perfil dónde ésta esté incorporada.

Después de incorporar las cartelas a la viga biapoyada, se analiza el diagrama de momentos flectores que proporciona el software.



Figura 36. Ejemplo con cartelas

Observamos que, en el diagrama de momentos, es menor en los apoyos, debido al elemento estructural que estamos estudiando en el proyecto. Existe un error numérico en este diagrama, hay una pequeña discontinuidad, es por eso que parece que hay un pequeño salto; es un error del programa.

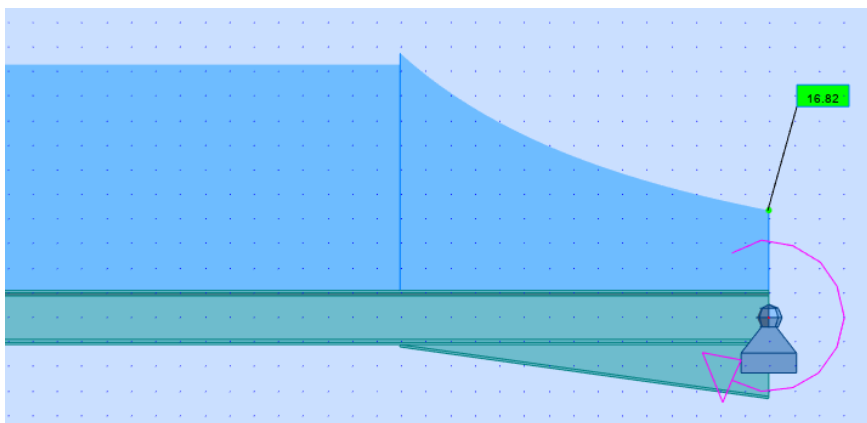


Figura 37. Error numérico en el diagrama de momentos flectores

A continuación, comprobaremos a resistencia. Creamos un grupo, asignamos la barra que estamos explicando en este ejemplo y dimensionamos por grupos. Esto lo haremos en el apartado 7, para todas las barras de la nave industrial.

Al comprobar a resistencia, el software nos avisa de que no tiene en cuenta las cartelas, ya que solamente calcula barra con inercia constante. Aun así, toma la inercia de la sección central de la viga, siempre para estar del lado de la seguridad.

Para que el programa si que tenga en cuenta el elemento estructural a estudiar, se han considerado una serie de arriostramientos en las barras que llevan cartelas. Para que si se tenga en cuenta este elemento y la estabilidad de éstas.

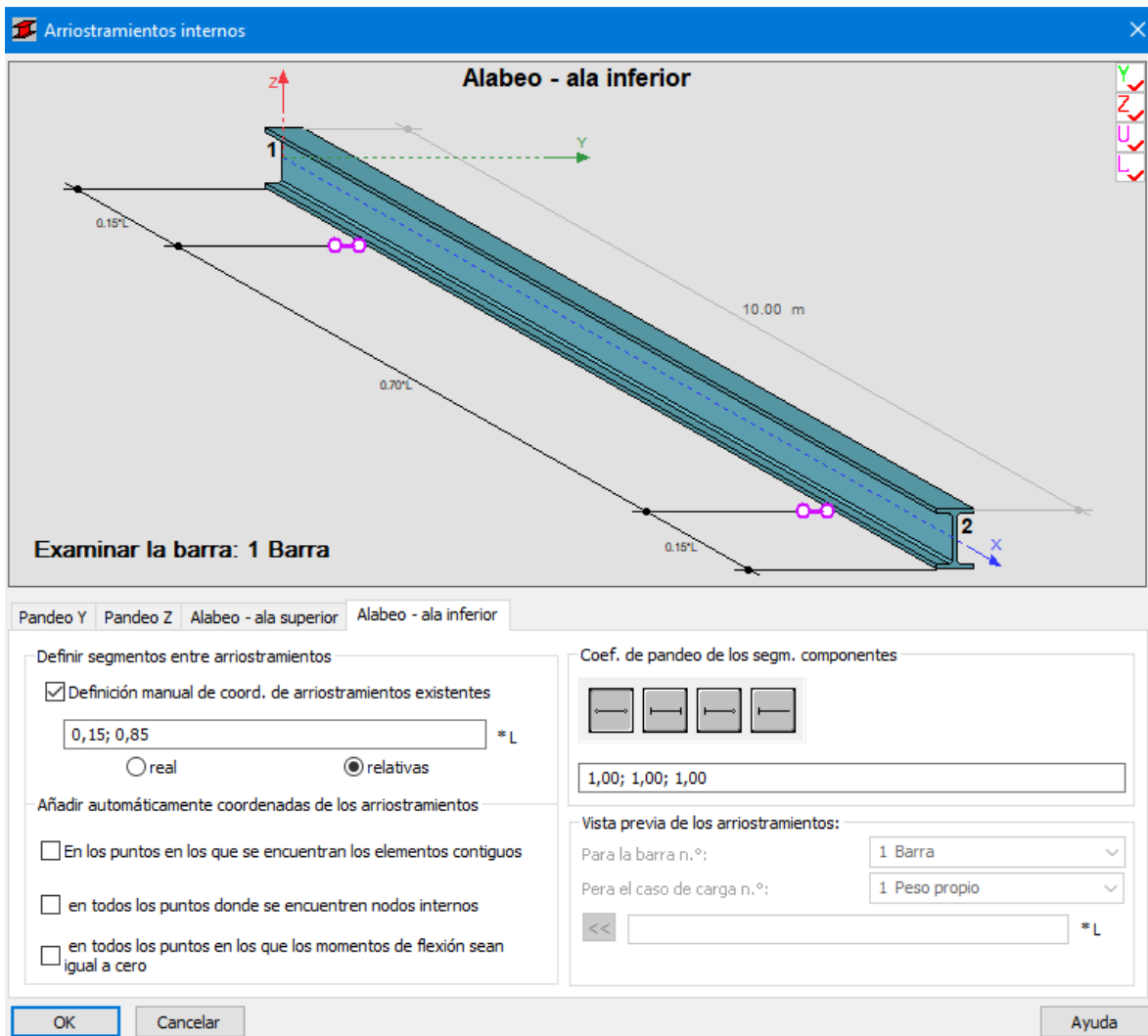


Figura 38. Arriostamiento del ala inferior de la viga

Al no tener en cuenta el software las cartelas, hay que hacer este procedimiento de arriostar las barras que si porten este elemento estructural a estudiar.



6 DISEÑO

6.1 Nave industrial

Hay diversos factores que hay que tener en cuenta a la hora del diseño de una nave industrial. Dichos factores influyen a su funcionamiento, directa o indirectamente. Se deben analizar todos los factores, para poder llegar al estado óptimo de estabilidad de la estructura.

La estabilidad de una estructura depende de que en el caso de que se altere la geometría o cualquier carga, se genere una reacción para llegar de nuevo a la posición inicial. Por eso a veces, se recurre al arriostramiento, porque la rigidez de una unión no está totalmente garantizada.

Para nuestro estudio, se van a analizar los siguientes factores, siempre relacionados con la completa estabilidad de la estructura metálica.

- Utilización.

La estructura debe estar diseñada acorde al empleo que se le vaya a dar a la nave. Es decir, si el empleo requiere el uso de puentes grúa u otros elementos, la estructura debería tener unos refuerzos en las zonas más críticas. Para el caso de nuestro estudio, no vamos a añadir elementos que produzcan sobreesfuerzos. En nuestra estructura metálica no hay ningún tipo de maquinaria.

- Localización.

Depende de la ubicación de la estructura, se definirán las cargas variables que afecten a nuestra nave. El diseño viene dado por las cargas externas que dependen de la ubicación.

6.1.1 Diseño nave industrial

Para las fachadas frontales de la nave, es decir, los pórticos hastiales (final e inicial), hay que tener en cuenta las acciones del viento frontal, por lo que se disponen tres pilares intermedios en los dichos pórticos, separados entre sí (cinco metros), que se encuentran empotrados en la base y apoyados en la cabeza.

No es preciso la instalación de equipos de climatización porque en la cubierta no se van desarrollar actividades. Finalmente se opta por el empleo de una cubierta a dos aguas, ya que es la más utilizada en la actualidad, con una separación entre pórticos de cinco metros.

Como la elección de la cubierta ha sido la de dos aguas, se han colocado Cruces de San Andrés en los pórticos hastiales, tanto en la cubierta como en los laterales colindantes. Se han añadido también vigas horizontales en las fachadas frontales para el peso del cerramiento sobre las puertas.

Finalmente, hemos añadido las cartelas, que es el elemento estructural en el que se centra nuestro estudio. Primero calcularemos las cargas de viento, nieve, sobrecarga de uso y peso propio para ambas, y después calcularemos las estructuras: la primera se hará sin el uso de cartelas, y la segunda si se aplicará dicho elemento.



Para que los cálculos de la estructura no sean demasiado complejos, hemos considerado no colocar más aperturas en la cubierta o fachadas. Por lo que hemos despreciado las presiones internas.

Ahora vamos a hablar de los arriostramientos usados en nuestro proyecto, ya que son elementos importantes a la hora del cálculo de la estructura para mejorar la rigidez de ésta.

6.1.2 Arriostramientos

Los arriostramientos son elementos estructurales secundarios en una estructura. Sin embargo, son de vital importancia.

Estos elementos se utilizan para darle estabilidad a la estructura, haciendo a su vez que no tenga desplazamientos o deformaciones. El principal objetivo de los arriostramientos transversales utilizados en vigas, es que tengan mayor estabilidad y que absorban los posibles desplazamientos que produzca la carga de viento. El arriostramiento hay que posicionarlo adecuadamente y estudiar la rigidez y estabilidad apropiadas en nuestro proyecto.

A demás, se suelen añadir arriostramientos laterales para absorber las fuerzas del viento en los muros frontales. Se utilizan como apoyo a las vigas donde apoyen las vigas de celosía que forman los arriostramientos de la cubierta con la altura de los faldones. Este tipo de arriostramiento se emplea en los extremos de la nave que tenga como máximo una longitud de 40 metros. Si dicha nave es superior a esta longitud, se añaden arriostramientos extra.

Existen varios tipos de arriostramientos actualmente, pero nuestra nave va a utilizar los siguientes:

- **Cruces de San Andrés:**

Quedaron definidas en el apartado 2.1.3

- **Correas:**

Son vigas que están colocadas en perpendicular al pórtico hastial. Este tipo de arriostramiento, recibe la carga del cerramiento y la transmite a los pórticos. Son elementos esenciales, ya que unen los pórticos y hacen también la función de soportar las chapas de la cubierta.

No hemos hecho un cálculo preciso de este elemento, pero si que se han aplicado las restricciones de este elemento en las vigas. Las correas se arriostran en las alas superiores de las vigas de cubierta, considerando el problema que conlleva el pandeo lateral.

Las correas deben ir colocadas a la misma distancia. En este proyecto la distancia es el 20% de la longitud de las vigas, por lo que tendremos en total 6 correas.



Figura 39. Correas

- **Cartelas:**

Quedaron definidas en el apartado 2.2. En la nave que añadamos este elemento estructural, se ponen las restricciones en el ala inferior de las vigas de los pórticos centrales (en los pórticos hastiales no se colocan cartelas).

Para este proyecto hemos arriostrado las vigas de la nave con cartelas un 15% de su longitud en cada extremo.

- **Vigas de atado:**

Quedaron definidas en el apartado 2.1.3

6.2 Obtención cargas de viento

A continuación, vamos a determinar la carga de viento para la nave industrial a partir del Código Técnico de la Edificación. El procedimiento a seguir para determinar la carga, se ha desarrollado anteriormente en el apartado 4.1.2.3.

Lo primero que tenemos que calcular es la presión estática, q_e . La obtenemos a partir de una ecuación. Para proceder, tenemos que analizar el coeficiente de exposición, presión dinámica del viento y el coeficiente eólico o de presión.

• **Presión dinámica del viento, q_b**

La expresión es la siguiente:

$$q_b = 0,5 * \delta * V_b^2 \quad (2)$$

La densidad del aire, δ , es una constante con el valor de $1,25 \text{ kg/m}^3$. El valor básico del viento es 26 m/s , porque estamos haciendo el estudio en Jaén y nos encontramos en la zona A.



Figura 40. Jaén capital.

$$q_b = 0,5 * 1,25 \text{ kg/m}^3 * 26 \text{ m/s} = 0,425 \text{ kN/m}^2$$

• **Coefficiente de exposición, c_e**

La fórmula es:

$$c_e = F * (F + 7 * k) \tag{3}$$

Para poder obtener la constante F, hay que utilizar otra expresión:

$$F = k * \ln\left(\frac{\max(z,Z)}{L}\right) \tag{4}$$

En la tabla 4.6 podemos obtener los datos de k, L y Z. Hay que tener en cuenta en grado de aspereza, que en nuestro es caso, es el grado IV ya que el entorno será una zona urbana en general, industrial o forestal.



Tabla 18. Parámetros entorno grado de aspereza IV

k	0,22
L (m)	0,3
Z (m)	5

$$F = 0,22 * \ln\left(\frac{\max(8,68; 1)}{0,3}\right) = 0,740$$

$$c_e = 0,740 * (0,740 + 7 * 0,22) = 1,6875$$

• Coeficiente eólico o de presión

Este valor debe ser calculado en todos los cerramientos que cubren a nuestra estructura. Tanto los parámetros verticales como para la cubierta a dos aguas.

A continuación, para el cálculo de los coeficientes de presión sobre la estructura, se divide cada paramento en una serie de zonas o áreas según el CTE.

Para los cálculos de los parámetros verticales se muestra la figura 4.8, y para la cubierta se muestra la figura 4.9. Se obtienen los siguientes resultados:

• Relaciones geométricas para los parámetros verticales:

Tabla 19. Parámetro vertical viento 0°

Viento dirección 1 – 0°	
d	20
h2	8,68
b	40
e	17,36
e/10	1,736
d-e	2,64
h/d	0,434
A	173,6



Tabla 20. Parámetro vertical viento 90°

Viento dirección 2 – 90°	
d	40
h1	8,68
b	20
e	17,36
e/10	1,736
d-e	22,64
h/d	0,217
A	347,2

- **Relaciones geométricas para los parámetros de cubierta:**

Tabla 21. Parámetros cubierta viento 0°

Viento dirección 1 – 0°	
α	15
h	8,68
b	40
d	20
e	17,36
d/2	10
e/4	4,34
e/10	1,736

Tabla 22. Parámetros cubierta viento 90°

Viento dirección 2 – 90°	
α	15
h	8,68
b	20
d	40
e	17,36
d/2	20
e/4	4,34
e/10	1,736

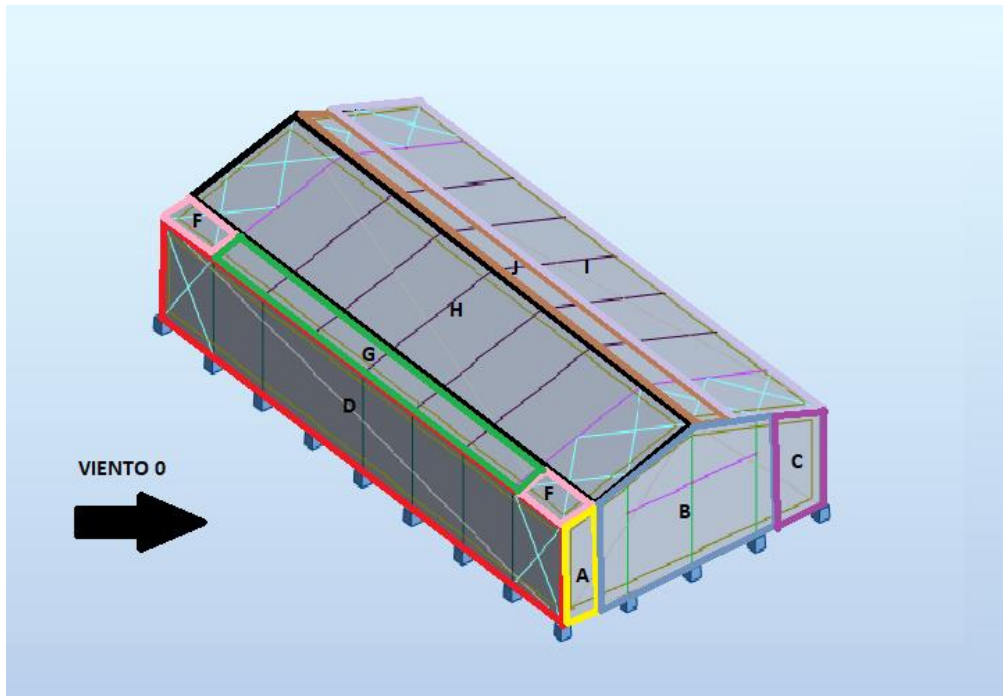


Figura 41. Áreas de aplicación estructura con viento a 0°

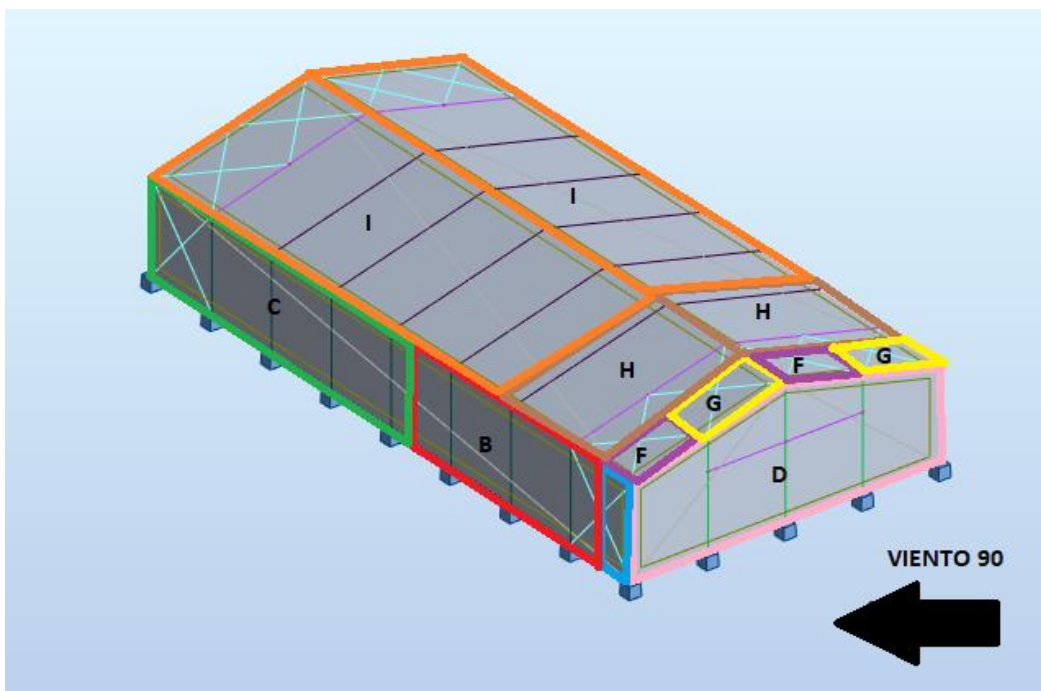


Figura 42. Áreas de aplicación estructura con viento a 90°



Los cálculos van a variar según la dirección del viento; se calculan por separado, una para la dirección. Hay que tener en cuenta la dirección 0° , que en el CTE lo encontramos como el ángulo comprendido entre -45° a 45° y la dirección de 90° que en el CTE lo encontramos entre 45° y 135° . En total tendremos tres hipótesis, una para 90° y dos para 0° .

•Áreas de influencia con parámetros verticales

Viento dirección 0°

Tabla 23. Resultados parámetros verticales viento 0°

h/d	ZONA				
	A	B	C	D	E
0,434	-1,2	-0,8	-0,5	0,725	-0,349

Viento dirección 90°

Tabla 24. Resultados parámetros verticales viento 90°

h/d	ZONA				
	A	B	C	D	E
0,15	-1,2	-0,8	-0,5	0,7	-0,3

•Parámetros de cubierta

Viento dirección 0° [$-45^\circ \leq \theta \leq 45^\circ$]

Tabla 25. Resultados parámetros cubierta viento 0°

α	ZONA				
	F	G	H	I	J
15°	-0,9	-0,8	-0,3	-0,4	-1
	0,2	0,2	0,2	0	0



Viento dirección 90° [$45^\circ \leq \theta \leq 135^\circ$]

Tabla 26. Resultados parámetros cubierta 90°

α	ZONA			
	F	G	H	I
15°	-1,3	-1,3	-0,6	-0,5

Una vez ya obtenidos los casos de carga de viento sobre nuestra estructura, procedemos a realizar las diferentes hipótesis donde se combinan las cargas obtenidas. En total, como se ha indicado antes, tendremos tres hipótesis: dos con el viento en dirección 0° y una en dirección 90°.

Con las diferentes hipótesis de carga se va a representar la presión estática sobre las diferentes áreas marcadas anteriormente, para poder más tarde, dividir las cargas entre los pilares y vigas, mediante la distancia tributaria de cada elemento estructural.

Para este procedimiento, necesitamos los cálculos previos de la presión dinámica, el coeficiente de exposición y el coeficiente eólico. Este último está compuesto por la suma del coeficiente de presión externo e interno. Sin embargo, para nuestro proyecto el coeficiente de presión interno es nulo, porque nuestra nave tiene huecos (puertas), pero estarán cerradas para los cálculos.

Las cargas que se van a mostrar a continuación, se describen según el área de los paramentos, para poder más tarde, reducir la carga que actúa sobre cada pilar o viga.

Para referirnos a cada elemento, en las figuras 5.3. y 5.4. se muestran las referencias utilizadas.

•Hipótesis 1 [$\theta=0^\circ$]

Tabla 27. Cargas secciones hipótesis 1 0°

SECCIÓN	Ancho (m)	Q (kN/m ²)
A	1,736	-0,856
B	18,264	-0,571
C	0	-0,357
D	40	0,517
E	40	-0,249
F	4,34	-0,642
G	31,32	-0,571
H	40	-0,214
I	40	-0,285
J	40	-0,714



Tabla 28. Cargas pilares H1 0°

Pilar	Carga lineal en dirección del viento	Carga lineal perpendicular al viento
1	1,4275	-1,92226
2		-2,855
3		-2,855
4		-2,855
5	-0,6225	-1,4275
6	-1,245	
7	-1,245	
8	-1,245	
9	-1,245	
10	-1,245	
11	-1,245	
12	-1,245	
13	-0,6225	-1,4275
14		-2,855
15		-2,855
16		-2,855
17	1,4275	-1,92226
18	2,855	
19	2,855	
20	2,855	
21	2,855	
22	2,855	
23	2,855	
24	2,855	



Tabla 29. Cargas vigas H1 0°

Viga	Carga lineal (F, G, J)	Carga lineal (H, I)
V1	-1,605	-0,535
V2	-1,785	-0,7125
V3	-2,98564	-1,07
V4	-3,57	-1,425
V5	-2,855	-1,07
V6	-3,57	-1,425
V7	-2,855	-1,07
V8	-3,57	-1,425
V9	-2,855	-1,07
V10	-3,57	-1,425
V11	-2,855	-1,07
V12	-3,57	-1,425
V13	-2,855	-1,07
V14	-3,57	-1,425
V15	-2,98564	-1,07
V16	-3,57	-1,425
V17	-1,605	-0,535
V18	-1,785	-0,7125

•Hipótesis 2 [$\theta=0^\circ$]

Tabla 30. Cargas secciones hipótesis 2 0°

SECCIÓN	Ancho (m)	Q (kN/m ²)
A	1,736	-0,856
B	18,264	-0,571
C	0	-0,357
D	40	0,517
E	40	-0,249
F	4,34	0,143
G	31,32	0,143
H	40	0,143
I	40	0
J	40	0

Tabla 31. Cargas pilares H2 0°

Pilar	Carga lineal en dirección del viento	Carga lineal perpendicular al viento
1	1,4275	-1,92226
2		-2,855
3		-2,855
4		-2,855
5	-0,6225	-1,4275
6	-1,245	
7	-1,245	
8	-1,245	
9	-1,245	
10	-1,245	
11	-1,245	
12	-1,245	
13	-0,6225	-1,4275
14		-2,855
15		-2,855



16		-2,855
17	1,4275	-1,92226
18	2,855	
19	2,855	
20	2,855	
21	2,855	
22	2,855	
23	2,855	
24	2,855	

Tabla 32. Cargas vigas H2 0°

Viga	Carga lineal (F, G, J)	Carga lineal (H, I)
V1	0,3575	0,3575
V2	0	0
V3	0,715	0,715
V4	0	0
V5	0,715	0,715
V6	0	0
V7	0,715	0,715
V8	0	0
V9	0,715	0,715
V10	0	0
V11	0,715	0,715
V12	0	0
V13	0,715	0,715
V14	0	0
V15	0,715	0,715
V16	0	0
V17	0,3575	0,3575
V18	0	0

**Hipótesis 1 [$\theta=90^\circ$]**

Tabla 33. Cargas secciones hipótesis 1 90°

SECCIÓN	Ancho (m)	Q (kN/m ²)
A	1,736	-0,856
B	15,624	-0,571
C	22,64	-0,357
D	20	0,5
E	20	-0,214
F	1,736	-0,928
G	1,736	-0,928
H	8,68	-0,428
I	29,584	-0,357

Tabla 34. Cargas pilares H1 90°

Pilar	Carga lineal en dirección del viento	Carga lineal perpendicular al viento
1	1,25	-1,92226
2	2,5	
3	2,5	
4	2,5	
5	1,25	-1,92226
6		-2,855
7		-2,855
8		-1,785
9		-1,785
10		-1,785
11		-1,785
12		-1,785
13	-0,535	-0,8925
14	-1,07	
15	-1,07	
16	-1,07	
17	-0,535	-0,8925



18	-1,785	
19	-1,785	
20	-1,785	
21	-1,785	
22	-1,785	
23	-2,855	
24	-2,855	

Tabla 35. Cargas vigas H1 90°

Vigas	Carga lineal (I, H)	Carga lineal (F)	Carga lineal (G)
V1	-0,326992	-1,611008	-1,611008
V2	-0,326992	-1,611008	-1,611008
V3	-2,14		
V4	-2,14		
V5	-1,992036		
V6	-1,992036		
V7	-1,785		
V8	-1,785		
V9	-1,785		
V10	-1,785		
V11	-1,785		
V12	-1,785		
V13	-1,785		
V14	-1,785		
V15	-1,785		



V16	-1,785		
V17	-0,8925		
V18	-0,8925		

6.3 Obtención resto de cargas

Aparte de las cargas de la acción del viento, hay que tener en cuenta algunas más que actúan sobre nuestra estructura.

A la hora de calcular las cargas, hay que tener en cuenta tanto las cargas permanentes como las cargas variables. Dentro de las cargas variables vamos a ver el peso propio, sobrecarga de uso, peso del cerramiento de la puerta y la carga de nieve.

6.3.1 Peso propio

La hipótesis de peso propio de este proyecto que estamos llevando a cabo, será una carga uniforme sobre la cubierta a dos aguas de $0,25 \text{ kN/m}^2$. Esta carga uniforme se transmitirá a los pórticos a través de las correas que hay en cubierta. El valor de la carga será igual en los pórticos hastiales inicial y final, y la mitad en los pórticos centrales.

Cuando hacemos la aplicación de las cargas sobre la nave industrial en el software Autodesk Robot Structural Analysis, se colocan las cargas según el ancho tributario correspondiente a cada viga de cubierta: en los pórticos hastiales hay una distancia de 2,5 metros y en los pórticos centrales hay una distancia de 5 metros.

Las cargas que apliquemos en el software se van a dibujar en sentido negativo en el eje Z. Tendremos los siguientes valores:

- Para los pórticos hastiales que los hemos denominado V1, V2, V17 y V18, tendremos:

$$PP_{\text{hastiales}} = 0,25 * 2,5 = 0,625 \text{ kN/m}$$

- Para los pórticos centrales que los hemos denominado V3, V4, V5, V6, V7, V8, V9, V10, V11, V12, V13, V14, V15 y V16, tendremos:

$$PP_{\text{centrales}} = 0,25 * 5 = 1,25 \text{ kN/m}$$



6.3.2 Sobrecarga de uso

En la sección ya vista 4.1.2.1.1, en la Tabla 4.1, basado en el DB SE-AE, establece que, en las estructuras con cubiertas ligeras sobre correas, sin forjado, accesibles únicamente para conservación, la sobrecarga será de $0,4 \text{ kN/m}^2$.

Como con el peso propio, en los pórticos centrales es el doble que en los pórticos inicial y final. Los valores serían los siguientes:

- Para los pórticos hastiales que los hemos denominado V1, V2, V17 y V18, tendremos:

$$SU_{\text{hastiales}} = 0,4 * 2,5 = 1 \text{ kN/m}$$

- Para los pórticos centrales que los hemos denominado V3, V4, V5, V6, V7, V8, V9, V10, V11, V12, V13, V14, V15 y V16, tendremos:

$$SU_{\text{centrales}} = 0,4 * 5 = 2 \text{ kN/m}$$

6.3.3 Carga de nieve

Esta carga se va a calcular como se ha citado en el apartado 4.1.2.4.1, se determina la carga de nieve por unidad de superficie, q_n , con la fórmula expresada en ese mismo apartado.

En el apartado 4.1.2.4.2, en la tabla 4.10, se debe de escoger el valor de sobrecarga de nieve. Nuestra estructura está ubicada en Jaén capital, que se encuentra a una altura de 570 metros, por lo que tendremos un valor de $s_k = 0,4 \text{ kN/m}^2$.

La acción de la nieve cae sobre la cubierta a dos aguas, la cual transmite esta misma carga a través de las correas, hacia las vigas que forman los pórticos. Estas cargas serán aplicadas en todos los pórticos.

La carga vendrá definida por:

$$q = q_n * \cos\alpha = \mu * s_k * \cos\alpha = 1 * 0,4 * \cos(15^\circ) = 0,386 \text{ kN/m}^2$$

El coeficiente de forma, μ , es 1 porque la cubierta es menor de 30° .

Sin embargo, hay que tener en cuenta las distribuciones de nieve posibles en nuestro proyecto, que se obtienen por el transporte de ésta bajo los efectos de la acción del viento.

En total, tendremos tres hipótesis de nieve, la primera de ella con una carga igual en las dos vertientes de la cubierta a dos aguas, y las otras dos hipótesis con una carga reducida a la mitad en una de las vertientes y completa en la otra vertiente.



6.3.4 Peso cerramiento puerta

Para el diseño de la estructura metálica, se ha considerado poner dos puertas para que la nave quede totalmente simétrica. Cada una de las puertas está colocada en los pórticos frontales.

El peso de cerramiento se distribuye a lo largo de dos vigas horizontales, que se colocan sobre ambas puertas y éstas se unen con los pilares hastiales centrales de la fachada. Como hemos explicado anteriormente, las puertas estarán cerradas en todo momento al aplicar las cargas de viento para no tener en cuenta las presiones internas.

El valor del peso de cerramiento ha sido seleccionado mediante el conocido proveedor TECNYCOTA. Consultando los valores para una placa prefabricada de hormigón para cerramientos de una nave industrial. El valor de la placa prefabricada es 200 Kg/m^2 .

A continuación, se calcula la carga en función de la altura que queda por encima de la puerta:

$$PCerramiento = 200 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^2} * 3,68\text{m} = 736 \frac{\text{Kg}}{\text{m}} = 7,448 \text{ kN/m}$$

6.3.5 Resumen cargas

En el siguiente cuando, a modo resumen, podemos ver el valor de todas las cargas, excepto la de viento, sobre la nave industrial:

Tabla 36. Resumen acciones permanentes y nieve

		Pórticos de fachada		Pórticos centrales	
		Izquierdo	Derecho	Izquierdo	Derecho
PESO PROPIO	PP	0,625	0,625	1,25	1,25
SOBRECARGA DE USO	SU	1	1	2	2
NIEVE	N1	0,965	0,965	1,93	1,93
	N2	0,965	0,483	1,93	0,965
	N3	0,483	0,965	0,965	1,93
PESO CERRAMIENTO PUERTA		7,448			



7 DISEÑO Y APLICACIÓN DE CARGAS EN EL SOFTWARE

Este apartado trata el diseño 3D de la nave industrial descrita en las secciones anteriores, así como de los arriostramientos. Se aplicarán las restricciones oportunas, así como las cargas variables y permanentes y la configuración necesaria para cada elemento. El objetivo es obtener una estructura lo más parecida a un caso real en la actualidad.

7.1 Diseño 3D nave industrial

Para el diseño de la nave, hay que tener en cuenta las dimensiones de ésta. Sus dimensiones vienen expresadas en la tabla 3.1.

En la sección 3.1, podemos ver el diseño completo de ambas naves: la primera con cartelas y la segunda sin ellas. A continuación, se realiza el modelaje mediante el software Autodesk Robot Analysis Profesional 2019.

El primer paso es diseñar las líneas de construcción acorde con las medidas especificadas. Antes de colocar las barras, previamente hay que definir el tipo de perfil que se adjudicará a cada una de ellas.

Nuestra estructura metálica usa perfiles IPE para las vigas de la cubierta, porque son perfiles mucho más ligeros que otros. Las vigas de cubierta trabajan mejor a flexión en un solo eje, ya que tienen la inercia muy grande en el eje Y.

Para los pilares, asignamos el perfil HEA. Este tipo de perfil tiene mayor rendimiento que los perfiles IPE o IPN, mejor comportamiento a torsión y mayor carga crítica por tener los dos momentos de inercia seccionales más en equilibrio.

En las vigas de atado se usarán perfiles HEA y en las Cruces de San Andrés redondos de acero.

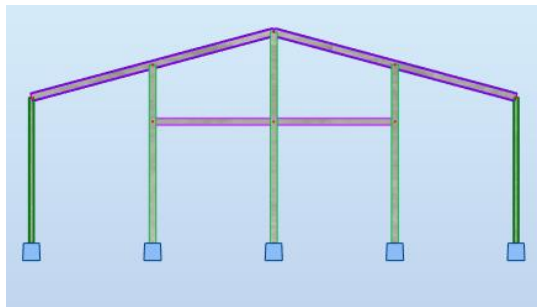
Inicialmente se van asignar perfiles que se creen convenientes. Sin embargo, luego se dimensionará la estructura y se modificarán dichos perfiles. Los perfiles utilizados en este proyecto son de acero S275.

Una vez asignados los perfiles iniciales, vamos colocando las barras y empotrando los extremos de cada columna, representando la cimentación de la nave industrial. Además, se establecen las uniones entre las distintas barras de las cruces de San Andrés, que serán rótulas con libertad de rotación en los ejes que forman el plano que las contiene.

A continuación, mostraremos las vistas principales de ambas naves.

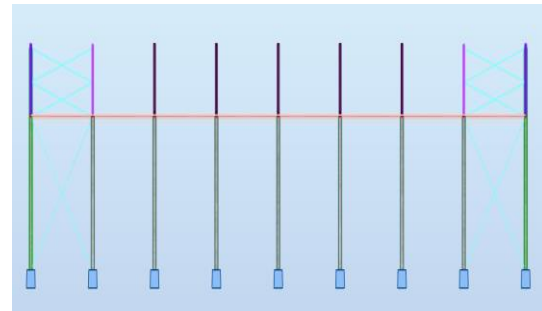
- **Nave industrial sin cartelas**

Alzado



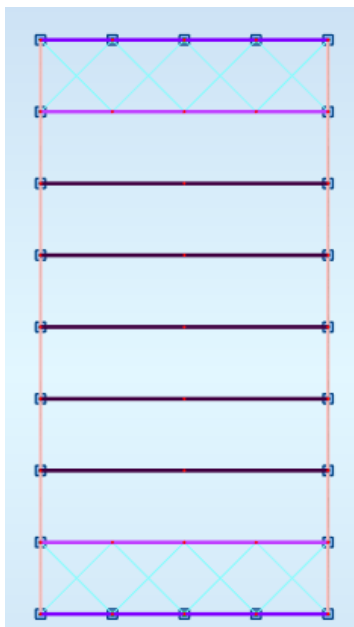
Alzado nave industrial

Perfil



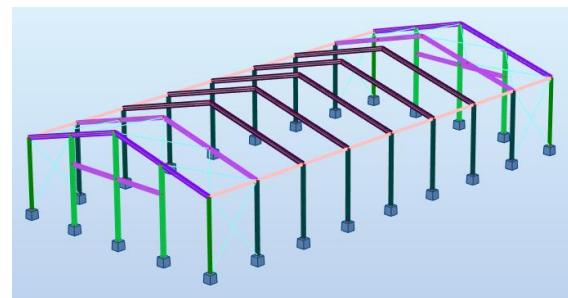
Perfil nave industrial

Planta



Planta nave industrial

Proyección isométrica

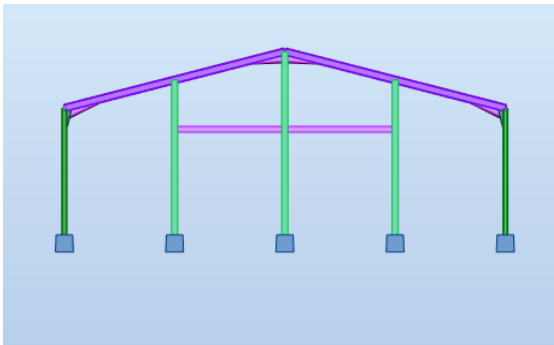


Isométrica nave industrial

Figura 43. Vistas estructura metálica sin cartelas

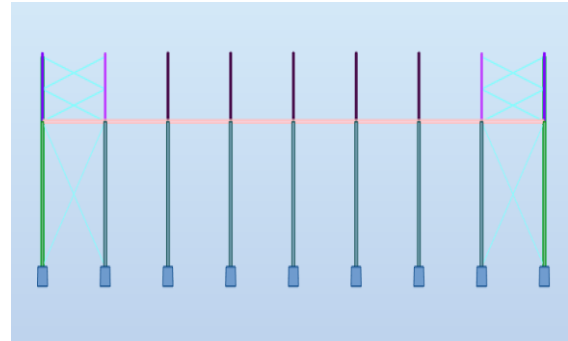
- **Nave industrial con cartelas**

Alzado



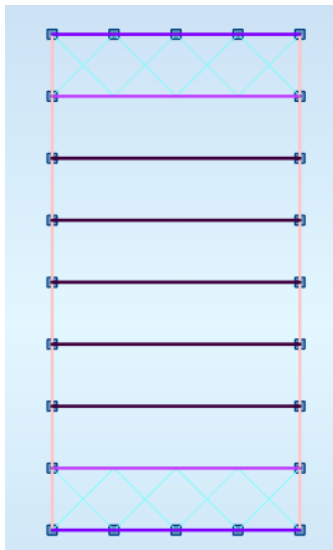
Alzado nave industrial

Perfil



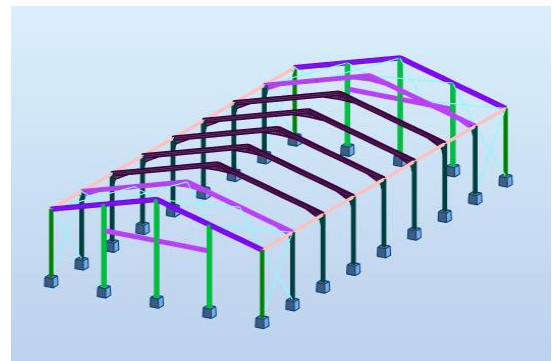
Perfil nave industrial

Planta



Planta nave industrial

Proyección isométrica



Isométrica nave industrial

Figura 44. Vistas estructura metálica con cartelas

Añadiendo el cerramiento a la estructura, quedaría así:

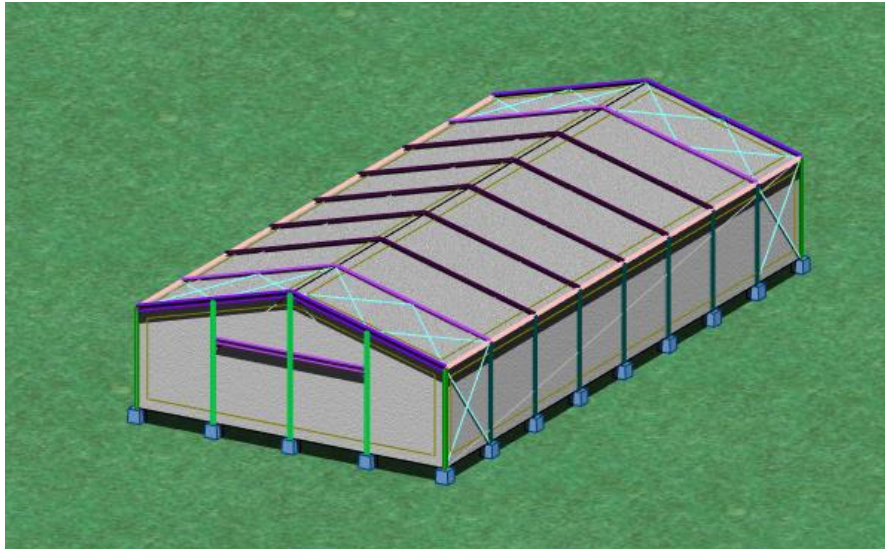


Figura 45. Cerramiento de la estructura metálica

La orientación de las vigas y columnas de la estructura metálica, se realiza colocando la cara exterior del ala o patín, alineada con el propio cerramiento. De esta manera se consigue que los pilares hastiales tengan una mayor resistencia a la acción del viento.

El resto de pilares, su orientación permitirá soportar las cargas de cubierta sobre el eje fuerte. Los tres pilares centrales frontales, se encuentran girados 90° respecto de los demás.

7.2 Aplicación de cargas en el software Robot Autodesk

Una vez que la estructura está diseñada, se puede completar aplicando todas las cargas calculadas previamente en los apartados anteriores.

Estas cargas son las mismas para la cubierta con cartelas que para la cubierta sin cartelas. Ambos casos requieren de la creación de cargas para poder calcular el resultado óptimo en nuestro estudio.

Lista de casos definidos:

Número	Nombre del caso	Naturaleza
➔ 1	PESO PROPIO	Peso propio
2	SOBRECARGA DE USO	Categoría H
3	NIEVE H1	nieve
4	NIEVE H2	nieve
5	NIEVE H3	nieve
6	VIENTO H1 0°	viento
7	VIENTO H2 0°	viento
8	VIENTO H3 90°	viento
9	PESO CERRAMIENTO PUERTA	Peso propio

Figura 46. Casos de carga según el CTE

A continuación, vamos a pasar a ver las cargas aplicadas, pero previamente veremos como hemos designado cada barra de la estructura.

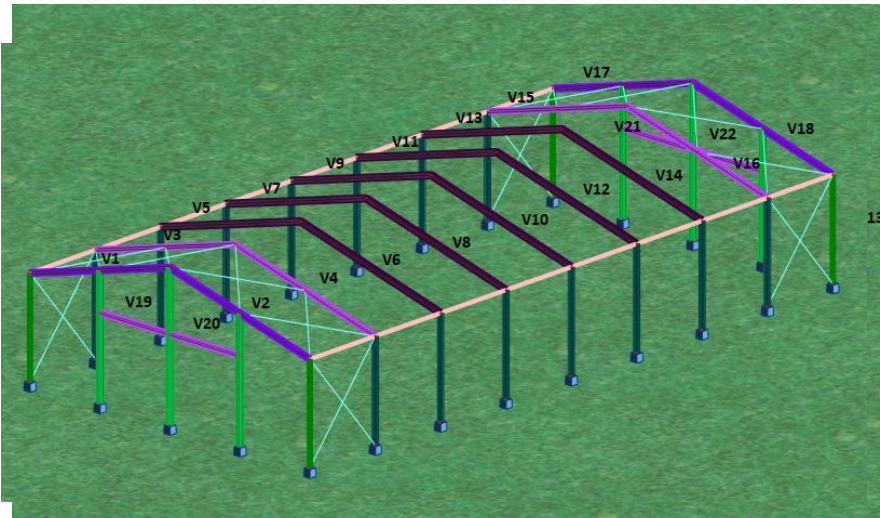


Figura 47. Numeración pilares de la nave industrial

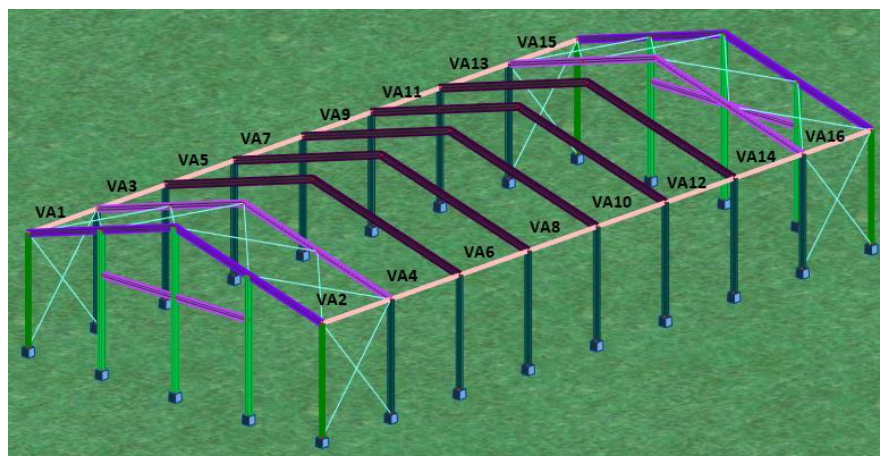


Figura 48. Numeración vigas de la nave industrial

Ahora que ya sabemos cómo hemos designado a cada barra, ya podemos aplicar las cargas sobre la nave industrial:

- **Peso propio:** Tal y como se ha calculado previamente en el apartado 5.3.1.

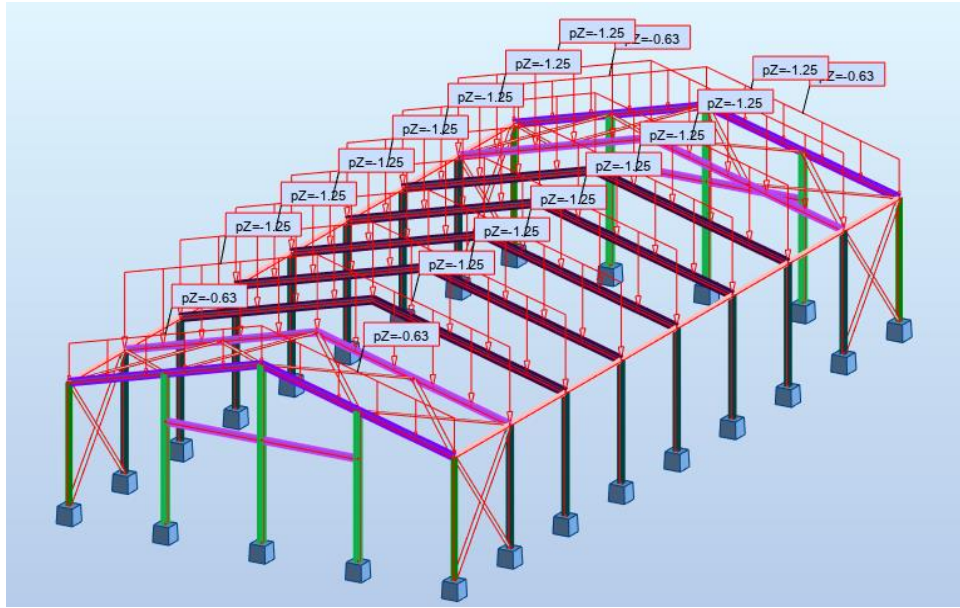


Figura 49. Aplicaciones cargas peso propio

- **Sobrecarga de uso:** Calculado previamente en el apartado 5.3.2.

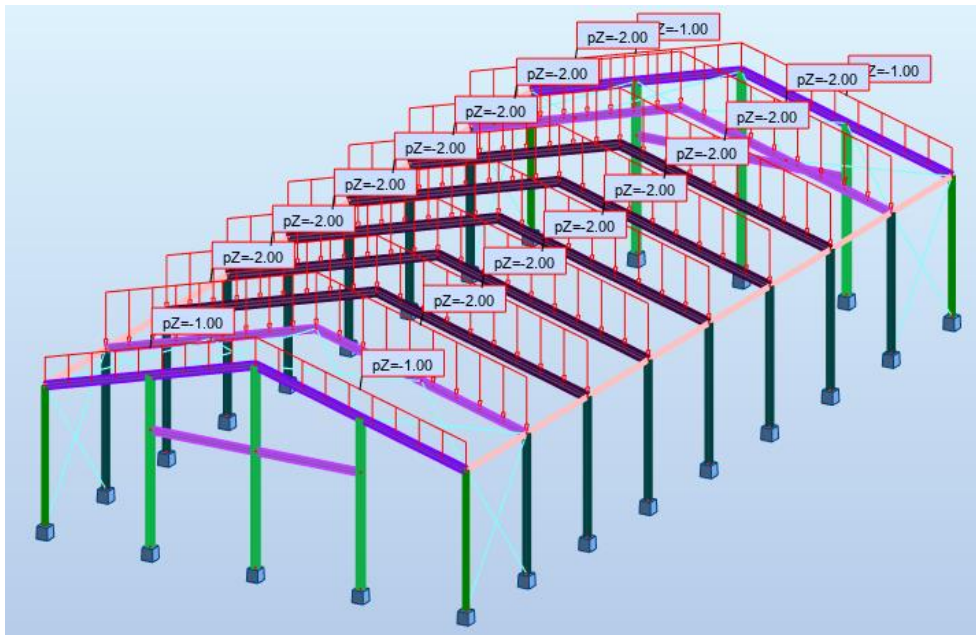


Figura 50. Aplicaciones cargas sobrecarga de uso

• **Nieve:** Se han desarrollado los cálculos en el apartado 5.3.3. Para esta carga tenemos tres hipótesis:

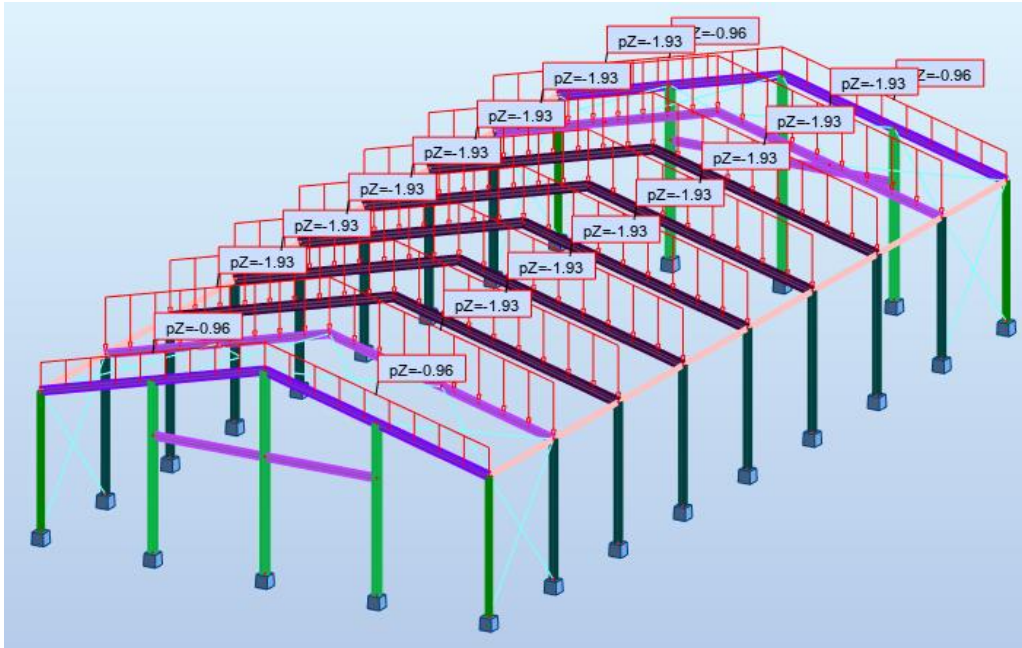


Figura 51. Aplicación cargas de nieve H1

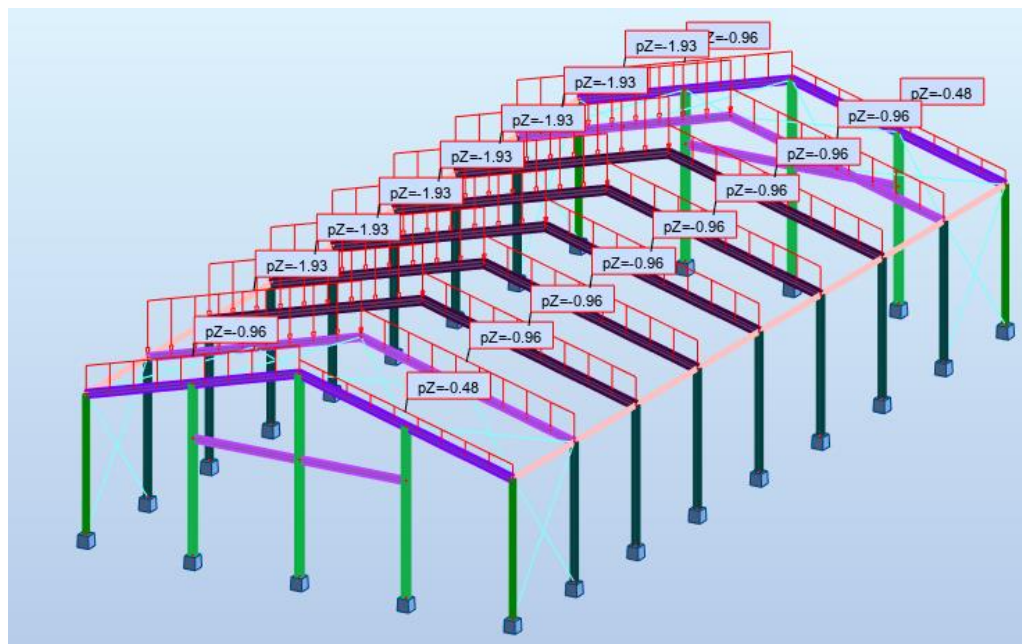


Figura 52. Aplicación cargas de nieve H2

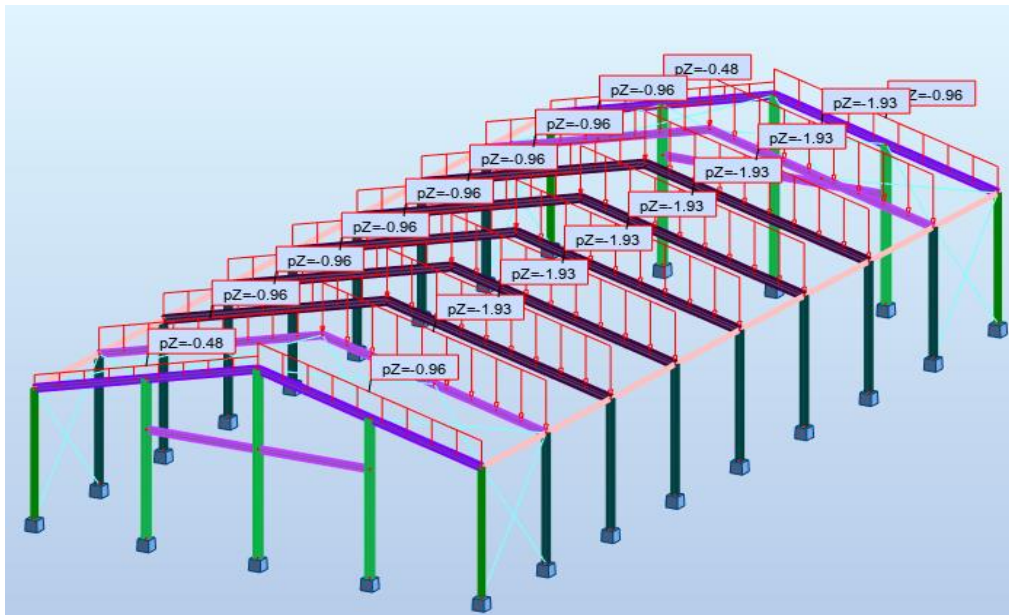


Figura 53. Aplicación cargas de nieve H3

• **Viento:** Ya calculadas todas las hipótesis de viento en el apartado 5.2, y con las figuras 5.4 y 5.5, se puede ver el área de aplicación. A continuación, se mostrarán las tres hipótesis, dos de ellas a 0° y la última a 90° .

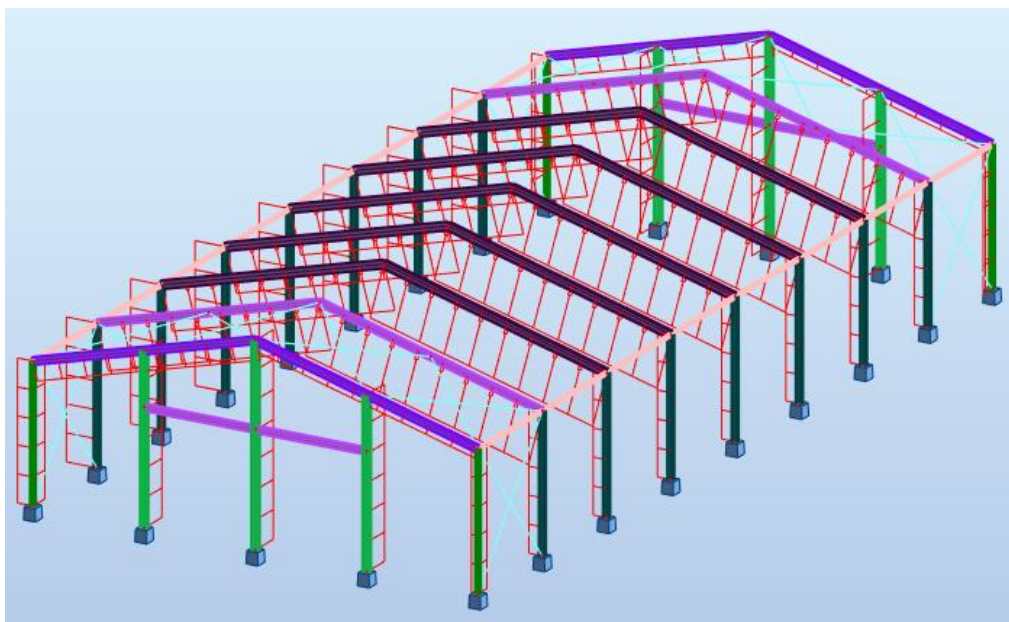


Figura 54. Aplicación cargas de viento H1

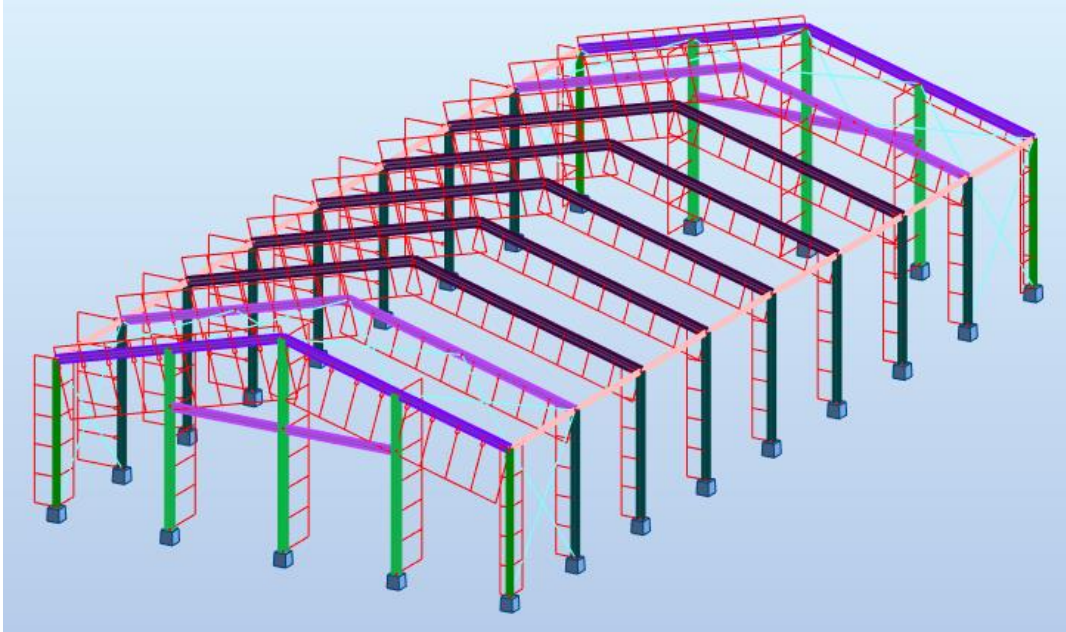


Figura 55. Aplicación cargas de viento H2

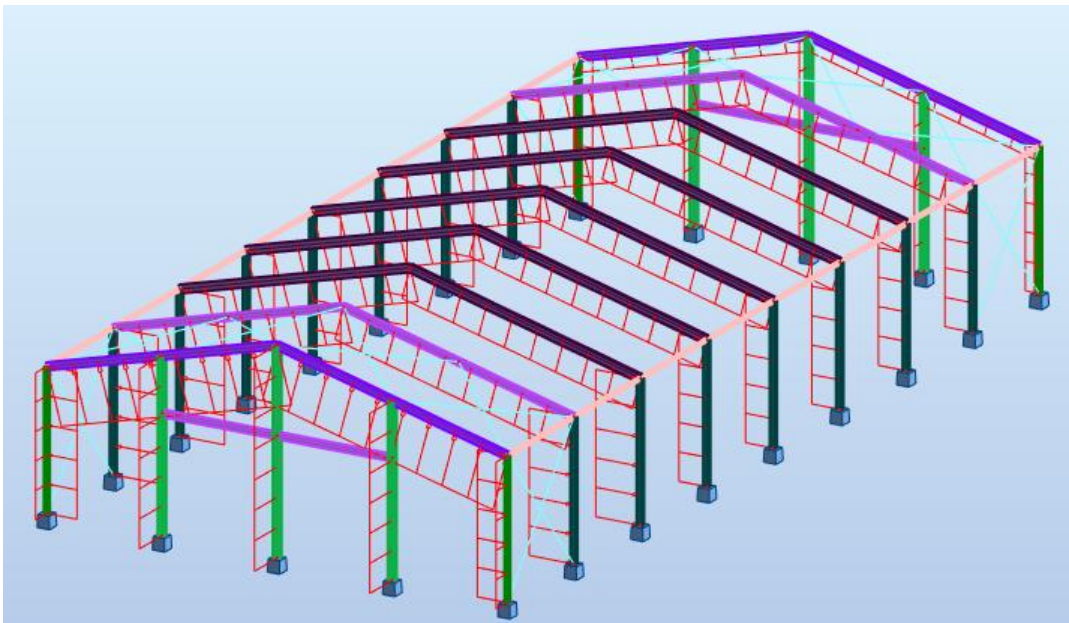


Figura 56. Aplicación cargas de viento H3

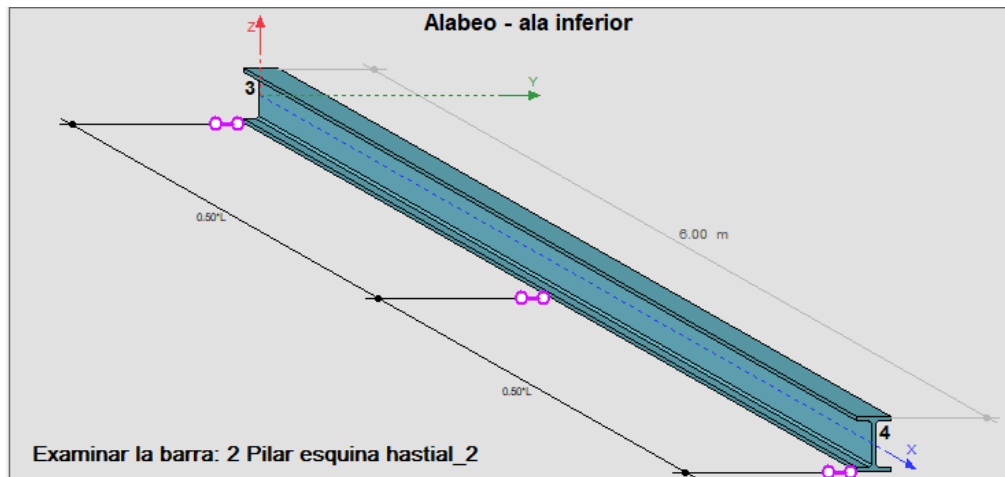


Figura 58.Arriostamiento grupo 1

7.3.2 Grupo 2, pilares fachada

Este grupo recoge los pilares 2, 3, 4, 14, 15 y 16 (Figura 6.11).

Estos pilares están orientados según la dirección del viento, el plano Y en este caso es el plano lateral, por lo que se ha considerado la estructura traslacional. Sin embargo, en el plano Z no se ha considerado debido al cerramiento de la estructura.

Además, se ha considerado el pandeo lateral estándar, por si los momentos son importantes.

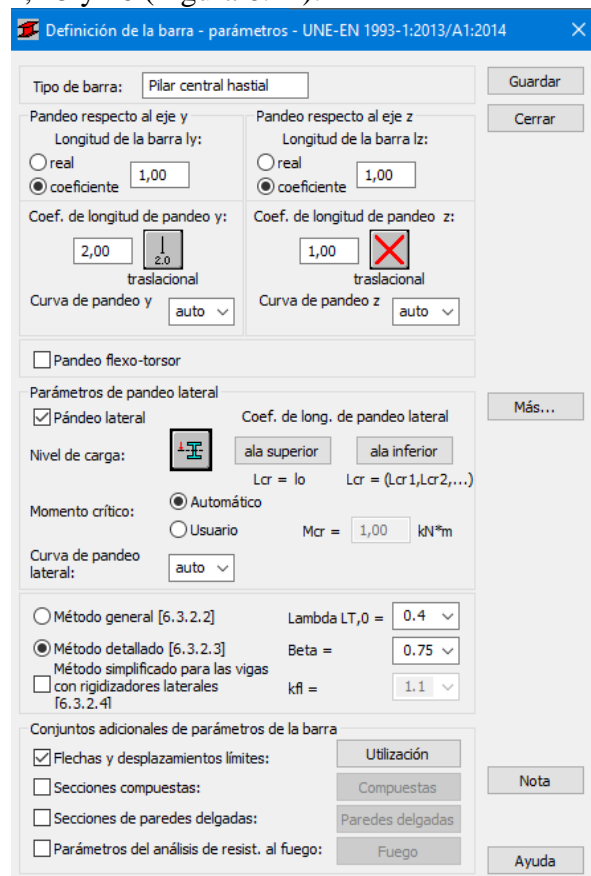


Figura 59.Definición parámetros grupo 2

7.3.3 Grupo 3, vigas de atado

Este grupo incluye las vigas desde VA1 a VA16 (Figura 6.13).

Este grupo va a tener, sobre todo, esfuerzos de tracción-compresión, por lo que las longitudes de pandeo serán normales, porque están biarticuladas con los pilares. La unión a dichos pilares no debe ser muy rígida, por lo que se harán mediante puntos de soldadura.

Debido a este tipo de unión, evitamos que las vigas sufran esfuerzos demasiado elevados a flexión. Por este motivo no se calcula el pandeo lateral.

Figura 60. Definición parámetros grupo 3

7.3.4 Grupo 4, vigas de la puerta

Recoge las vigas V19, V20, V21 y V22 (Figura 6.12).

Este tipo de viga está sometido a flexión, por lo que en este caso si revisamos el pandeo lateral. No trabaja a compresiones, por lo que el pandeo no se revisa.

Figura 61. Definición parámetros grupo 4

7.3.5 Grupo 5, viga fachada

Recoge las vigas de la cubierta V1, V2, V17 y V18 (Figura 6.12).

En el plano Y se limita el pandeo porque como podemos observar, tenemos las cruces de San Andrés y los propios pilares hastiales.

Por otro lado, en el eje Z, sea considerado 0.7, condición empotrado-articulado. En este grupo, hay que tener en cuenta la influencia de las correas, pero solo arriostran por uno de los lados de la viga. Esto quiere decir, que existe la posibilidad de pandeo, ya que tenemos en este punto bastantes uniones. Es por esta razón por la que, aunque es poco probable que ocurra, se valora el pandeo desde el lado de la seguridad.

Los efectos más notorios vendrán dados por el pandeo lateral, que también han sido considerados.

Definición de la barra - parámetros - UNE-EN 1993-1:2013/A1:2014

Tipo de barra: Guardar

Pandeo respecto al eje y: real coeficiente Longitud de la barra ly:

Pandeo respecto al eje z: real coeficiente Longitud de la barra lz:

Coef. de longitud de pandeo y: traslacional

Coef. de longitud de pandeo z: traslacional

Curva de pandeo y: Curva de pandeo z:

Pandeo flexo-torsor

Parámetros de pandeo lateral

Pándeo lateral Coef. de long. de pandeo lateral

Nivel de carga: ala superior ala inferior

Lcr = lo Lcr = lo

Momento crítico: Automático Usuario Mcr = kN*m

Curva de pandeo lateral:

Método general [6.3.2.2] Lambda LT,0 =

Método detallado [6.3.2.3] Beta =

Método simplificado para las vigas con rigidizadores laterales [6.3.2.4] kfl =

Conjuntos adicionales de parámetros de la barra

Flechas y desplazamientos límites: Utilización

Secciones compuestas: Compuestas

Secciones de paredes delgadas: Paredes delgadas

Parámetros del análisis de resist. al fuego: Fuego

Más... Nota Ayuda

Figura 62. Definición parámetros grupo 5

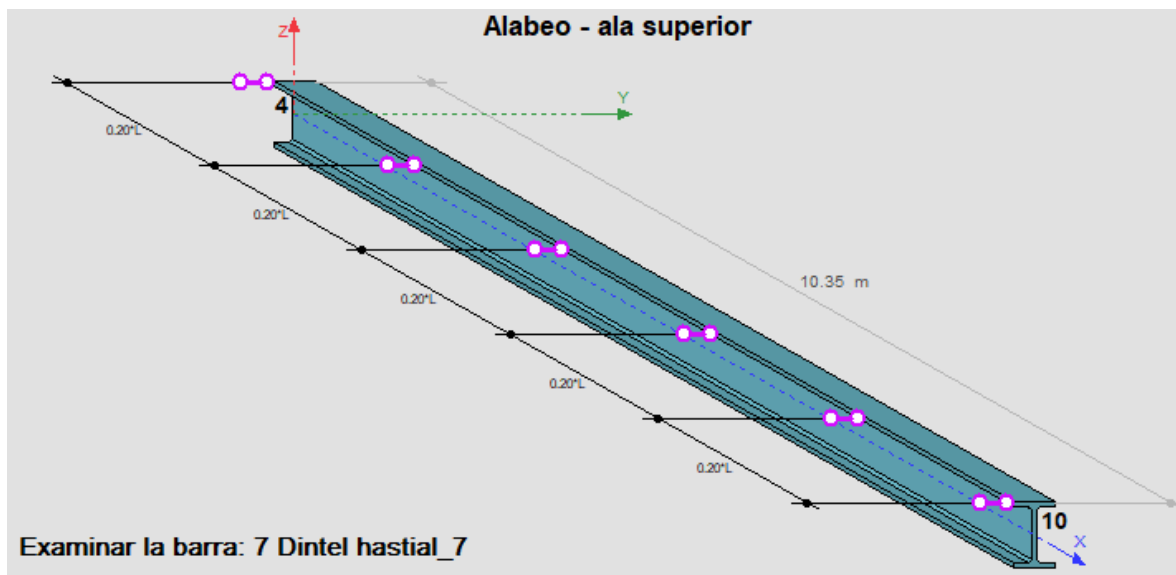


Figura 63. Arriostramientos grupo 5

7.3.6 Grupo 6, vigas intermedias

En primer lugar, veremos el grupo sin el uso de cartelas, y a continuación, usando este elemento estructural.

7.3.6.1 Estructura sin cartelas

Recoge las vigas de la cubierta a dos aguas, desde V3 a V16 (Figura 6.12).

Estas vigas se encuentran principalmente a flexión, por lo que la inestabilidad más notoria será el pandeo lateral. Para este apartado en concreto solamente estarán arriostradas por las correas en las alas superiores de la viga.

Hemos visto oportuno considerar el pandeo, ya que, debido a la inclinación de este elemento estructural, podría aparecer un axil de compresión. Hay que tener en cuenta siempre el problema del pandeo, aunque estemos desde el lado de la seguridad.

Para dicho problema con el pandeo, el eje Z queda totalmente arriostrado por las correas en cubierta, porque limitan de alguna manera, la longitud de pandeo del citado eje. Sin embargo, las correas de cubierta no tienen ninguna influencia en el eje Y, por lo que el coeficiente de pandeo es 1,0, es decir, biarticulado.

Figura 64. Definición parámetros grupo 6

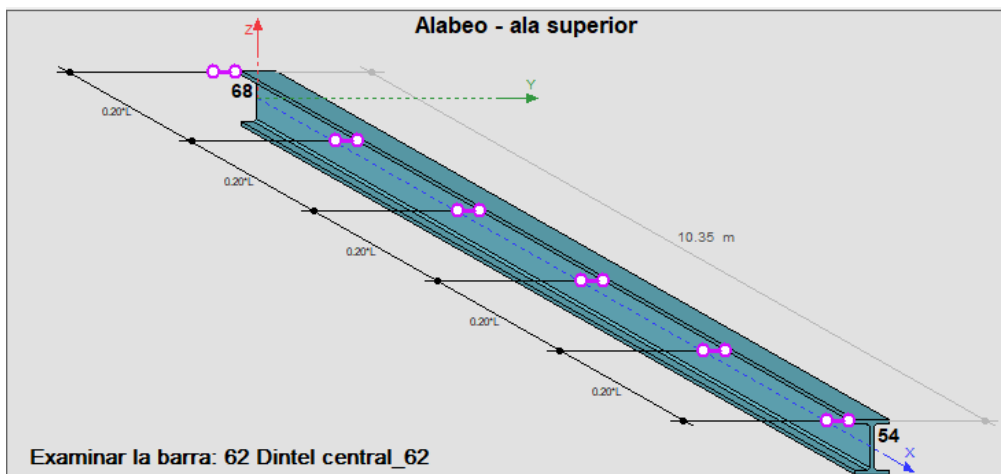


Figura 65. Arriostramiento sin cartelas grupo 6

7.3.6.2 Estructura con cartelas

Recoge las vigas de la cubierta a dos aguas, desde V3 a V16 (Figura 6.12).

Es la descripción para este caso es igual que el anterior, apartado 6.3.6.1, pero aquí, para el pandeo lateral, la viga queda arriostrada en el ala superior por las correas y en el ala inferior por queda arriostrada también en la longitud de las propias cartelas.

La definición de parámetros sería exactamente igual que el caso anterior (Figura 6.29), lo que la viga quedaría arriostrada tanto por el ala superior, como por la inferior.

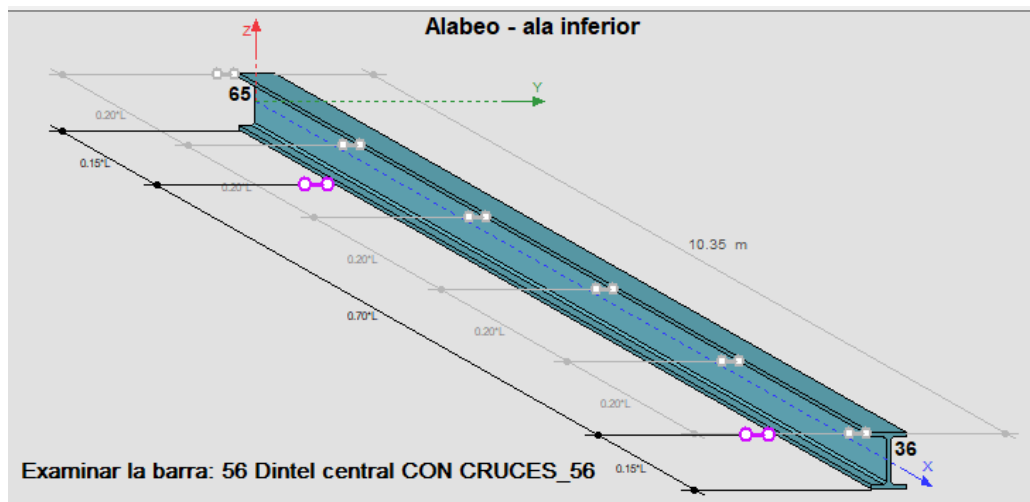


Figura 66.Arriostramiento con cartelas grupo 6

7.3.7 Grupo 7, pilares intermedios

A continuación, veremos la nave usando cartelas, y seguidamente sin este elemento.

7.3.7.1 Estructura sin cartelas

Recoge los pilares laterales de nuestra nave desde el pilar 6 al 12 y del 18 al 24 (Figura 6.11).

En el plano del pórtico, su propio eje Y, determinamos que es una estructura traslacional. Y como hemos comentado en otros apartados, hay que ponerse del lado de la seguridad, por lo que consideramos estos pilares como sistema empotrado-libre, con un coeficiente de pandeo 2.0.

Sin embargo, para eje Z, no consideramos pandeo, ya que disponemos del cerramiento. Por otro lado, sí que tenemos en cuenta el pandeo lateral con una longitud normal en sus alas, tanto inferiores como superiores, sin nada que arriostre en este caso.

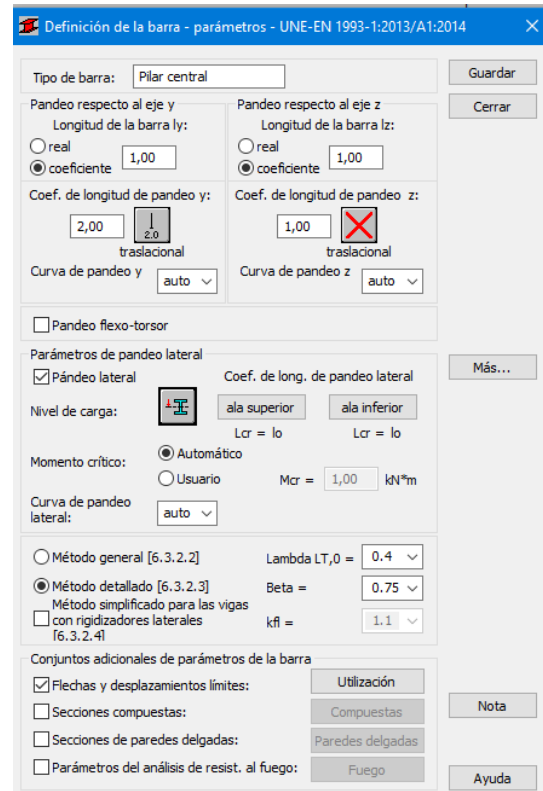


Figura 67. Definición parámetros grupo 7

7.3.7.2 Estructura con cartelas

Recoge los pilares laterales de la nave industrial desde el pilar 6 al 12 y del 18 al 24 (Figura 6.11).

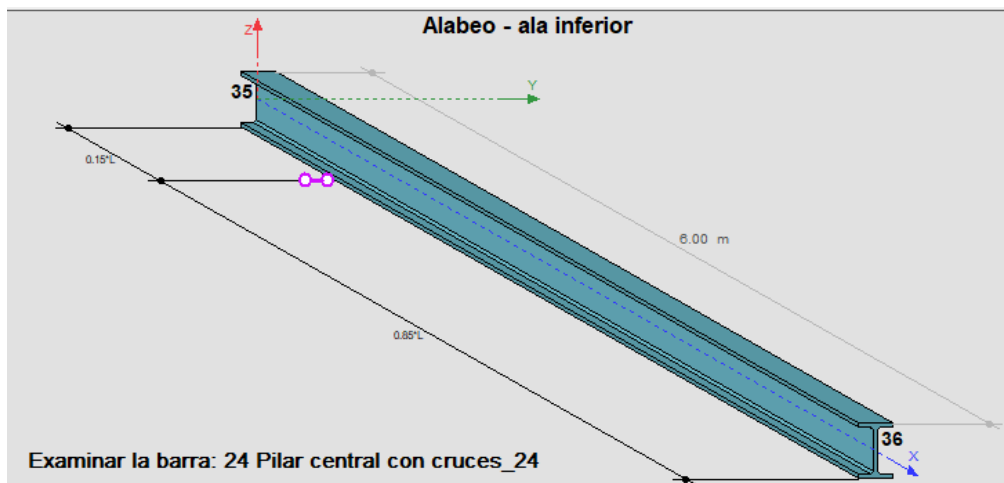


Figura 68. Arriostramiento con cartelas grupo 7

7.3.8 Grupo 8, Cruces de San Andrés

Recoge las barras que se conforman las Cruces de San Andrés (Figura 6.11).

Para este elemento estructural, tan solo hará la comprobación a nivel de sección, porque este elemento no trabaja a pandeo. Si existen compresiones, será la otra barra en cruz la que estará traccionada.

Definición de la barra - parámetros - UNE-EN 1993-1:2013/A1:2014

Tipo de barra: Guardar

Pandeo respecto al eje y: Longitud de la barra ly: real coeficiente 1,00

Pandeo respecto al eje z: Longitud de la barra lz: real coeficiente 1,00

Coef. de longitud de pandeo y: traslacional

Coef. de longitud de pandeo z: traslacional

Curva de pandeo y: Curva de pandeo z:

Pandeo flexo-torsor

Parámetros de pandeo lateral

Pándeo lateral Coef. de long. de pandeo lateral

Nivel de carga: $L_{cr} = l_0$ $L_{cr} = (L_{cr1}, L_{cr2}, \dots)$

Momento crítico: Automático Usuario $M_{cr} = 1,00$ kN*m

Curva de pandeo lateral:

Método general [6.3.2.2] $\Lambda_{LT,0} = 0,4$

Método detallado [6.3.2.3] $\beta = 0,75$

Método simplificado para las vigas con rigidizadores laterales [6.3.2.4] $k_{fi} = 1,1$

Conjuntos adicionales de parámetros de la barra

Flechas y desplazamientos límites: Utilización

Secciones compuestas: Compuestas

Secciones de paredes delgadas: Paredes delgadas

Parámetros del análisis de resist. al fuego: Fuego

Más... Nota Ayuda

Figura 69. Definición parámetros grupo 8



8 DIMENSIONAMIENTO NAVES INDUSTRIALES

El software que estamos utilizando, Autodesk Robot Structural Analysis, dimensiona automáticamente las estructuras. En primer lugar, se ha analizado el diseño de la estructura metálica sin el uso de las cartelas, y seguidamente, usándolas, para poder comparar ambas naves. Ambas naves industriales tienen la misma geometría y las mismas cargas aplicadas, lo único en lo que se diferencian es en el tipo de elementos empleados en cada una de ellas. Como hemos comentado anteriormente, en una usamos los rigidizadores de tipo cartela y en la otra no.

Para ambos casos se han obtenido las distintas combinaciones de carga posibles. Además, el propio software se encarga de registrar la combinación más desfavorable para cada elemento estructural usado en la nave.

En los apartados anteriores, hemos diferenciado varios tipos de grupos y hemos obtenido 8 en total. El programa ha asignado una combinación de carga específica para cada grupo, para poder producir la peor situación en la que podemos encontrar a nuestra estructura, porque siempre hay que estar del lado de la seguridad.

El objetivo de este dimensionado es que cada grupo pueda soportar la carga menos favorable posible, de manera que, si puede soportar esa combinación, en el caso de que ocurra, podrá superar cualquier otra situación que se plantee.

A continuación, se refleja la tabla con cada uno de los grupos y el respectivo dimensionamiento acordado en el software:

Tabla 37. Dimensionado de grupos

GRUPO	DISEÑO SIN CARTELAS	DISEÑO CON CARTELAS
PILARES EXTERIORES	HEA 220	HEA 220
PILARES FACHADA	HEA 280	HEA 260
VIGAS DE ATADO	HEA 100	HEA 100
VIGAS CERRAMIENTO PUERTA	IPE 220	IPE 200
VIGAS FACHADA	IPE 400	IPE 400
VIGAS INTERMEDIAS	IPE 500	IPE 330
PILARES INTERMEDIOS	HEA 260	HEA 240
CRUCES DE SAN ANDRÉS	D2	D2

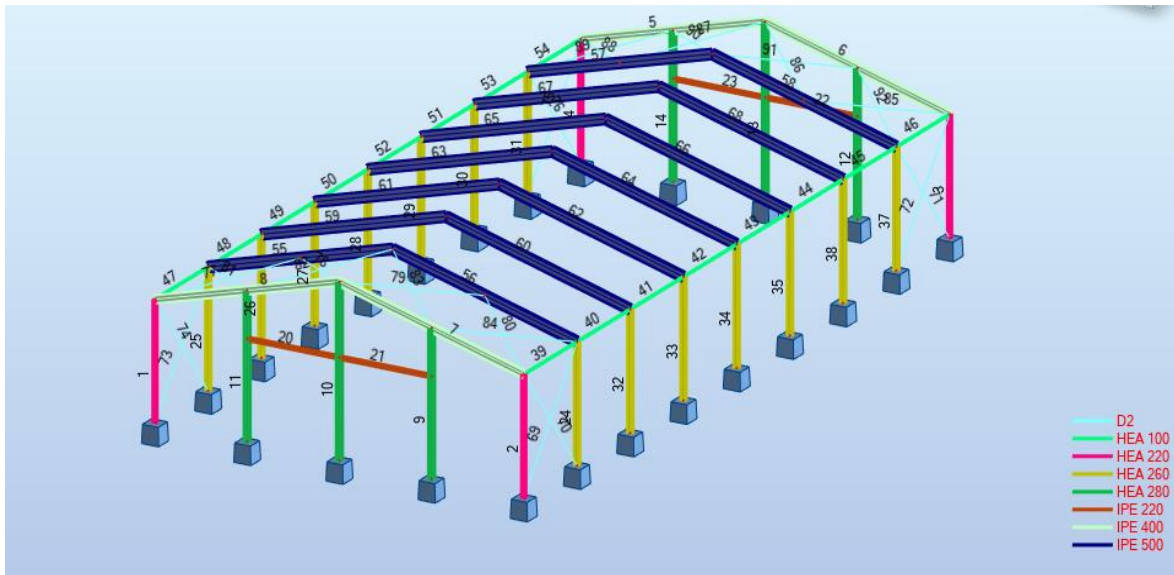


Figura 70. Diseño nave industrial sin cartelas

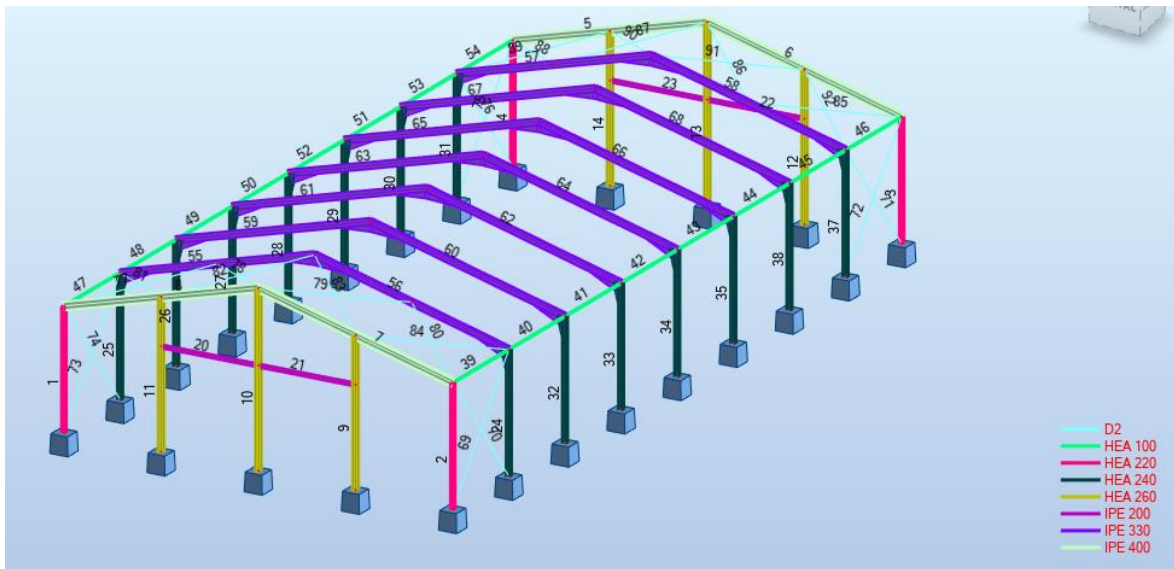


Figura 71. Diseño nave industrial con cartelas

9 VERIFICACIONES A ESTADOS LÍMITES

A continuación, se mostrarán las comprobaciones de todos los elementos estructurales que conforman nuestra nave industrial. Para poder llegar hasta aquí, previamente se propusieron una serie de perfiles. Más tarde, tras su dimensionamiento adecuado, se comprobó que alguno de los perfiles propuestos no cumplía según las cargas aplicadas. Es por eso que, se ha hecho un dimensionamiento en el cual se muestran todos los elementos diseñados satisfactoriamente.

9.1 Verificación de Estado Límite no empleando cartelas

Las verificaciones de las barras en la estructura metálica, mediante el Código Técnico de la Edificación son:

Barra	Perfil	Material	Lay	Laz	Solicit.	Caso
1 Barra_1	HEA 220	S 275	130.87	76.20	0.64	10 ELU /2/
2 Pilar esquina ha	HEA 220	S 275	130.87	76.20	0.76	10 ELU /2/
3 Pilar esquina ha	HEA 220	S 275	130.87	76.20	0.83	10 ELU /10/
4 Pilar esquina ha	HEA 220	S 275	130.87	76.20	0.64	10 ELU /2/
5 Dintel hastial_5	IPE 400	S 275	31.28	131.05	0.76	10 ELU /2/
6 Dintel hastial_6	IPE 400	S 275	31.28	131.05	0.84	10 ELU /10/
7 Dintel hastial_7	IPE 400	S 275	31.28	131.05	0.76	10 ELU /2/
8 Dintel hastial_8	IPE 400	S 275	31.28	131.05	0.76	10 ELU /2/
9 Pilar central ha	HEA 280	S 275	123.81	104.89	0.49	10 ELU /35/
10 Pilar central h	HEA 280	S 275	146.42	124.04	0.64	10 ELU /35/
11 Pilar central h	HEA 280	S 275	123.81	104.89	0.49	10 ELU /35/
12 Pilar central h	HEA 280	S 275	123.81	104.89	0.49	10 ELU /35/
13 Pilar central h	HEA 280	S 275	146.42	124.04	0.64	10 ELU /35/
14 Pilar central h	HEA 280	S 275	123.81	104.89	0.49	10 ELU /35/
20 Viga puerta_2	IPE 220	S 275	54.86	201.79	0.68	10 ELU /35/
21 Viga puerta_2	IPE 220	S 275	54.86	201.79	0.68	10 ELU /35/
22 Viga puerta_2	IPE 220	S 275	54.86	201.79	0.68	10 ELU /35/
23 Viga puerta_2	IPE 220	S 275	54.86	201.79	0.68	10 ELU /35/
24 Pilar central c	HEA 260	S 275	109.35	92.31	0.81	10 ELU /2/
25 Pilar central c	HEA 260	S 275	109.35	92.31	0.81	10 ELU /2/
26 Pilar central_2	HEA 260	S 275	109.35	92.31	0.81	10 ELU /2/
27 Pilar central_2	HEA 260	S 275	109.35	92.31	0.81	10 ELU /2/
28 Pilar central_2	HEA 260	S 275	109.35	92.31	0.81	10 ELU /2/
29 Pilar central_2	HEA 260	S 275	109.35	92.31	0.81	10 ELU /2/
30 Pilar central_3	HEA 260	S 275	109.35	92.31	0.81	10 ELU /2/
31 Pilar central c	HEA 260	S 275	109.35	92.31	0.81	10 ELU /2/
32 Pilar central_3	HEA 260	S 275	109.35	92.31	0.81	10 ELU /2/
33 Pilar central_3	HEA 260	S 275	109.35	92.31	0.81	10 ELU /2/
34 Pilar central_3	HEA 260	S 275	109.35	92.31	0.81	10 ELU /2/
35 Pilar central_3	HEA 260	S 275	109.35	92.31	0.81	10 ELU /2/
37 Pilar central c	HEA 260	S 275	109.35	92.31	0.81	10 ELU /2/
38 Pilar central_3	HEA 260	S 275	109.35	92.31	0.81	10 ELU /2/
39 Vigas de atad	HEA 100	S 275	123.30	199.19	0.08	10 ELU /43/
40 Vigas de atad	HEA 100	S 275	123.30	199.19	0.07	10 ELU /44/
41 Vigas de atad	HEA 100	S 275	123.30	199.19	0.04	10 ELU /44/

Figura 72.Verificación barras parte 1 ELU



UNE-EN 1993-1:2013/A1:2014 - Verificación de las barras (ELU) 1A14 20A35 37A92

Resultados Mensajes

Barra	Perfil	Material	Lay	Laz	Solicit.	Caso
40 Vigas de atad	HEA 100	S 275	123.30	199.19	0.07	10 ELU /44/
41 Vigas de atad	HEA 100	S 275	123.30	199.19	0.04	10 ELU /44/
42 Vigas de atad	HEA 100	S 275	123.30	199.19	0.03	10 ELU /44/
43 Vigas de atad	HEA 100	S 275	123.30	199.19	0.03	10 ELU /44/
44 Vigas de atad	HEA 100	S 275	123.30	199.19	0.03	10 ELU /44/
45 Vigas de atad	HEA 100	S 275	123.30	199.19	0.04	10 ELU /35/
46 Vigas de atad	HEA 100	S 275	123.30	199.19	0.02	10 ELU /52/
47 Vigas de atad	HEA 100	S 275	123.30	199.19	0.08	10 ELU /43/
48 Vigas de atad	HEA 100	S 275	123.30	199.19	0.07	10 ELU /44/
49 Vigas de atad	HEA 100	S 275	123.30	199.19	0.04	10 ELU /44/
50 Vigas de atad	HEA 100	S 275	123.30	199.19	0.03	10 ELU /44/
51 Vigas de atad	HEA 100	S 275	123.30	199.19	0.03	10 ELU /44/
52 Vigas de atad	HEA 100	S 275	123.30	199.19	0.03	10 ELU /44/
53 Vigas de atad	HEA 100	S 275	123.30	199.19	0.03	10 ELU /44/
54 Vigas de atad	HEA 100	S 275	123.30	199.19	0.02	10 ELU /52/
55 Dintel central	IPE 500	S 275	50.68	240.45	0.77	10 ELU /2/
56 Dintel central	IPE 500	S 275	50.68	240.45	0.77	10 ELU /2/
57 Dintel central	IPE 500	S 275	50.68	240.45	0.77	10 ELU /2/
58 Dintel central	IPE 500	S 275	50.68	240.45	0.77	10 ELU /2/
59 Dintel central_	IPE 500	S 275	50.68	240.45	0.77	10 ELU /2/
60 Dintel central_	IPE 500	S 275	50.68	240.45	0.77	10 ELU /2/
61 Dintel central_	IPE 500	S 275	50.68	240.45	0.77	10 ELU /2/
62 Dintel central_	IPE 500	S 275	50.68	240.45	0.77	10 ELU /2/
63 Dintel central_	IPE 500	S 275	50.68	240.45	0.77	10 ELU /2/
64 Dintel central_	IPE 500	S 275	50.68	240.45	0.77	10 ELU /2/
65 Dintel central_	IPE 500	S 275	50.68	240.45	0.77	10 ELU /2/
66 Dintel central_	IPE 500	S 275	50.68	240.45	0.77	10 ELU /2/
67 Dintel central_	IPE 500	S 275	50.68	240.45	0.77	10 ELU /2/
68 Dintel central_	IPE 500	S 275	50.68	240.45	0.77	10 ELU /2/
69 cruces de Sa	D2	S 275	1562.05	1562.05	0.03	10 ELU /55/
70 cruces de Sa	D2	S 275	1562.05	1562.05	0.03	10 ELU /44/
71 cruces de Sa	D2	S 275	1562.05	1562.05	0.03	10 ELU /44/
72 cruces de Sa	D2	S 275	1562.05	1562.05	0.03	10 ELU /55/
73 cruces de Sa	D2	S 275	1562.05	1562.05	0.03	10 ELU /55/
74 cruces de Sa	D2	S 275	1562.05	1562.05	0.03	10 ELU /44/

Nota de cálc. Cerrar

Ayuda

Solicitud

Análisis Mapa

Puntos de cálculo
 división: n = 3
 extremos: ninguno
 adicionales: ninguno

Figura 73.Verificación barras parte 2 ELU

74 cruces de Sa	D2	S 275	1562.05	1562.05	0.03	10 ELU /44/
75 cruces de Sa	D2	S 275	1562.05	1562.05	0.03	10 ELU /55/
76 cruces de Sa	D2	S 275	1562.05	1562.05	0.03	10 ELU /44/
77 cruces de Sa	D2	S 275	1439.38	1439.38	0.04	10 ELU /53/
78 cruces de Sa	D2	S 275	1439.38	1439.38	0.04	10 ELU /53/
79 cruces de Sa	D2	S 275	1439.38	1439.38	0.04	10 ELU /54/
80 cruces de Sa	D2	S 275	1439.38	1439.38	0.04	10 ELU /54/
81 cruces de Sa	D2	S 275	1439.38	1439.38	0.05	10 ELU /52/
82 cruces de Sa	D2	S 275	1439.38	1439.38	0.01	10 ELU /37/
83 cruces de Sa	D2	S 275	1439.38	1439.38	0.01	10 ELU /47/
84 cruces de Sa	D2	S 275	1439.38	1439.38	0.05	10 ELU /52/
85 cruces de Sa	D2	S 275	1439.38	1439.38	0.03	10 ELU /50/
86 cruces de Sa	D2	S 275	1439.38	1439.38	0.03	10 ELU /50/
87 cruces de Sa	D2	S 275	1439.38	1439.38	0.02	10 ELU /53/
88 cruces de Sa	D2	S 275	1439.38	1439.38	0.02	10 ELU /53/
89 cruces de Sa	D2	S 275	1439.38	1439.38	0.03	10 ELU /48/
90 cruces de Sa	D2	S 275	1439.38	1439.38	0.01	10 ELU /37/
91 Cruces de Sa	D2	S 275	1439.38	1439.38	0.01	10 ELU /47/
92 Cruces de Sa	D2	S 275	1439.38	1439.38	0.03	10 ELU /52/

Figura 74.Verificación barras parte 3 ELU



UNE-EN 1993-1:2013/A1:2014 - Verificación de las barras (ELS) 1A14 20A35 37A68

Resultados Mensajes

Barra	Perfil	Material	Ratio(uy)	Caso (uy)	Ratio(uz)	Caso (uz)	Ratio(vx)	Caso (vx)	Ratio(vy)	Caso (vy)
1 Barra_1	HEA 220	S 275	-	-	-	-	0.51	7 VIENTO H2 0°	0.01	13 ELS /27/
2 Pilar esquina ha	HEA 220	S 275	-	-	-	-	0.31	13 ELS /6/	0.01	13 ELS /27/
3 Pilar esquina ha	HEA 220	S 275	-	-	-	-	0.39	13 ELS /10/	0.01	8 VIENTO H3 90°
4 Pilar esquina ha	HEA 220	S 275	-	-	-	-	0.29	13 ELS /2/	0.01	8 VIENTO H3 90°
5 Dintel hastial_5	IPE 400	S 275	0.05	7 VIENTO H2 0°	0.17	13 ELS /10/	-	-	-	-
6 Dintel hastial_6	IPE 400	S 275	0.05	7 VIENTO H2 0°	0.16	13 ELS /2/	-	-	-	-
7 Dintel hastial_7	IPE 400	S 275	0.07	7 VIENTO H2 0°	0.21	7 VIENTO H2 0°	-	-	-	-
8 Dintel hastial_8	IPE 400	S 275	0.07	7 VIENTO H2 0°	0.17	8 VIENTO H3 90°	-	-	-	-
9 Pilar central ha	HEA 280	S 275	-	-	-	-	0.18	13 ELS /24/	0.18	7 VIENTO H2 0°
10 Pilar central h	HEA 280	S 275	-	-	-	-	0.16	13 ELS /24/	0.30	8 VIENTO H3 90°
11 Pilar central h	HEA 280	S 275	-	-	-	-	0.27	7 VIENTO H2 0°	0.18	8 VIENTO H3 90°
12 Pilar central h	HEA 280	S 275	-	-	-	-	0.24	13 ELS /24/	0.09	13 ELS /19/
13 Pilar central h	HEA 280	S 275	-	-	-	-	0.16	13 ELS /24/	0.16	13 ELS /20/
14 Pilar central h	HEA 280	S 275	-	-	-	-	0.21	7 VIENTO H2 0°	0.09	13 ELS /19/
20 Viga puerta_2	IPE 220	S 275	0.07	13 ELS /18/	0.12	13 ELS /1/	-	-	-	-
21 Viga puerta_2	IPE 220	S 275	0.07	13 ELS /18/	0.12	13 ELS /1/	-	-	-	-
22 Viga puerta_2	IPE 220	S 275	0.07	13 ELS /18/	0.12	13 ELS /1/	-	-	-	-
23 Viga puerta_2	IPE 220	S 275	0.07	13 ELS /18/	0.12	13 ELS /1/	-	-	-	-
24 Pilar central c	HEA 260	S 275	-	-	-	-	0.36	13 ELS /10/	0.01	13 ELS /27/
25 Pilar central c	HEA 260	S 275	-	-	-	-	0.37	6 VIENTO H1 0°	0.01	13 ELS /27/
26 Pilar central_2	HEA 260	S 275	-	-	-	-	0.41	6 VIENTO H1 0°	0.01	13 ELS /27/
27 Pilar central_2	HEA 260	S 275	-	-	-	-	0.41	6 VIENTO H1 0°	0.01	13 ELS /27/
28 Pilar central_2	HEA 260	S 275	-	-	-	-	0.41	6 VIENTO H1 0°	0.01	8 VIENTO H3 90°
29 Pilar central_2	HEA 260	S 275	-	-	-	-	0.41	6 VIENTO H1 0°	0.01	8 VIENTO H3 90°
30 Pilar central_3	HEA 260	S 275	-	-	-	-	0.41	6 VIENTO H1 0°	0.01	8 VIENTO H3 90°
31 Pilar central c	HEA 260	S 275	-	-	-	-	0.37	6 VIENTO H1 0°	0.01	8 VIENTO H3 90°
32 Pilar central_3	HEA 260	S 275	-	-	-	-	0.36	13 ELS /10/	0.01	13 ELS /27/
33 Pilar central_3	HEA 260	S 275	-	-	-	-	0.37	13 ELS /10/	0.01	13 ELS /27/
34 Pilar central_3	HEA 260	S 275	-	-	-	-	0.37	13 ELS /10/	0.01	13 ELS /27/
35 Pilar central_3	HEA 260	S 275	-	-	-	-	0.37	13 ELS /10/	0.01	8 VIENTO H3 90°
37 Pilar central c	HEA 260	S 275	-	-	-	-	0.37	13 ELS /10/	0.01	8 VIENTO H3 90°
38 Pilar central_3	HEA 260	S 275	-	-	-	-	0.37	13 ELS /10/	0.01	8 VIENTO H3 90°

Nota de cálc. Cerrar Ayuda

Solicitud: Análisis Mapa

Puntos de cálculo: división: n = 3; extremos: ninguno; adicionales: ninguno

Figura 75.Verificación barras parte 1 ELS

UNE-EN 1993-1:2013/A1:2014 - Verificación de las barras (ELS) 1A14 20A35 37A68

Resultados Mensajes

Barra	Perfil	Material	Ratio(uy)	Caso (uy)	Ratio(uz)	Caso (uz)	Ratio(vx)	Caso (vx)	Ratio(vy)	Caso (vy)
37 Pilar central c	HEA 260	S 275	-	-	-	-	0.37	13 ELS /10/	0.01	8 VIENTO H3 90°
38 Pilar central_3	HEA 260	S 275	-	-	-	-	0.37	13 ELS /10/	0.01	8 VIENTO H3 90°
39 Vigas de atad	HEA 100	S 275	0.02	13 ELS /23/	0.05	13 ELS /18/	-	-	-	-
40 Vigas de atad	HEA 100	S 275	0.05	8 VIENTO H3 90°	0.02	13 ELS /27/	-	-	-	-
41 Vigas de atad	HEA 100	S 275	0.01	8 VIENTO H3 90°	0.01	13 ELS /2/	-	-	-	-
42 Vigas de atad	HEA 100	S 275	0.00	7 VIENTO H2 0°	0.01	13 ELS /27/	-	-	-	-
43 Vigas de atad	HEA 100	S 275	0.00	13 ELS /18/	0.01	13 ELS /27/	-	-	-	-
44 Vigas de atad	HEA 100	S 275	0.01	13 ELS /18/	0.01	13 ELS /27/	-	-	-	-
45 Vigas de atad	HEA 100	S 275	0.03	13 ELS /18/	0.01	13 ELS /2/	-	-	-	-
46 Vigas de atad	HEA 100	S 275	0.01	13 ELS /19/	0.05	13 ELS /18/	-	-	-	-
47 Vigas de atad	HEA 100	S 275	0.02	13 ELS /23/	0.07	13 ELS /18/	-	-	-	-
48 Vigas de atad	HEA 100	S 275	0.05	8 VIENTO H3 90°	0.02	13 ELS /27/	-	-	-	-
49 Vigas de atad	HEA 100	S 275	0.01	8 VIENTO H3 90°	0.01	13 ELS /19/	-	-	-	-
50 Vigas de atad	HEA 100	S 275	0.00	7 VIENTO H2 0°	0.01	13 ELS /27/	-	-	-	-
51 Vigas de atad	HEA 100	S 275	0.00	13 ELS /18/	0.01	13 ELS /27/	-	-	-	-
52 Vigas de atad	HEA 100	S 275	0.00	13 ELS /18/	0.01	13 ELS /27/	-	-	-	-
53 Vigas de atad	HEA 100	S 275	0.02	13 ELS /18/	0.01	13 ELS /2/	-	-	-	-
54 Vigas de atad	HEA 100	S 275	0.02	13 ELS /23/	0.07	13 ELS /18/	-	-	-	-
55 Dintel central	IPE 500	S 275	0.01	7 VIENTO H2 0°	0.15	13 ELS /2/	-	-	-	-
56 Dintel central	IPE 500	S 275	0.01	7 VIENTO H2 0°	0.15	13 ELS /2/	-	-	-	-
57 Dintel central	IPE 500	S 275	0.01	7 VIENTO H2 0°	0.16	13 ELS /10/	-	-	-	-
58 Dintel central	IPE 500	S 275	0.01	7 VIENTO H2 0°	0.15	13 ELS /2/	-	-	-	-
59 Dintel central	IPE 500	S 275	0.00	6 VIENTO H1 0°	0.15	13 ELS /2/	-	-	-	-
60 Dintel central	IPE 500	S 275	0.00	13 ELS /21/	0.15	13 ELS /2/	-	-	-	-
61 Dintel central	IPE 500	S 275	0.00	7 VIENTO H2 0°	0.16	13 ELS /10/	-	-	-	-
62 Dintel central	IPE 500	S 275	0.00	7 VIENTO H2 0°	0.15	13 ELS /2/	-	-	-	-
63 Dintel central	IPE 500	S 275	0.00	13 ELS /23/	0.16	13 ELS /10/	-	-	-	-
64 Dintel central	IPE 500	S 275	0.00	7 VIENTO H2 0°	0.15	13 ELS /2/	-	-	-	-
65 Dintel central	IPE 500	S 275	0.00	13 ELS /22/	0.16	13 ELS /10/	-	-	-	-
66 Dintel central	IPE 500	S 275	0.00	13 ELS /18/	0.15	13 ELS /2/	-	-	-	-
67 Dintel central	IPE 500	S 275	0.00	6 VIENTO H1 0°	0.16	13 ELS /10/	-	-	-	-
68 Dintel central	IPE 500	S 275	0.00	13 ELS /21/	0.15	13 ELS /2/	-	-	-	-

Nota de cálc. Cerrar Ayuda

Solicitud: Análisis Mapa

Puntos de cálculo: división: n = 3; extremos: ninguno; adicionales: ninguno

Figura 76.Verificación barras parte 2 ELS

9.2 Verificación de Estado Límite empleando cartelas

Las verificaciones de las barras en la estructura metálica, mediante el Código Técnico de la Edificación son:

Barra	Perfil	Material	Lay	Laz	Solicit.	Caso
1 Barra_1	HEA 220	S 275	130.87	76.20	0.66	10 ELU /51/
2 Pilar esquina ha	HEA 220	S 275	130.87	76.20	0.76	10 ELU /2/
3 Pilar esquina ha	HEA 220	S 275	130.87	76.20	0.88	10 ELU /10/
4 Pilar esquina ha	HEA 220	S 275	130.87	76.20	0.64	10 ELU /2/
5 Dintel hastial_5	IPE 400	S 275	31.28	131.05	0.82	10 ELU /2/
6 Dintel hastial_6	IPE 400	S 275	31.28	131.05	0.96	10 ELU /10/
7 Dintel hastial_7	IPE 400	S 275	31.28	131.05	0.82	10 ELU /2/
8 Dintel hastial_8	IPE 400	S 275	31.28	131.05	0.82	10 ELU /2/
9 Pilar central ha	HEA 260	S 275	133.77	112.93	0.61	10 ELU /35/
10 Pilar central h	HEA 260	S 275	158.20	133.55	0.80	10 ELU /35/
11 Pilar central h	HEA 260	S 275	133.77	112.93	0.61	10 ELU /35/
12 Pilar central h	HEA 260	S 275	133.77	112.93	0.61	10 ELU /35/
13 Pilar central h	HEA 260	S 275	158.20	133.55	0.80	10 ELU /35/
14 Pilar central h	HEA 260	S 275	133.77	112.93	0.61	10 ELU /35/
20 Viga puerta_2	IPE 200	S 275	60.54	223.65	0.94	10 ELU /35/
21 Viga puerta_2	IPE 200	S 275	60.54	223.65	0.94	10 ELU /35/
22 Viga puerta_2	IPE 200	S 275	60.54	223.65	0.94	10 ELU /35/
23 Viga puerta_2	IPE 200	S 275	60.54	223.65	0.94	10 ELU /35/
24 Pilar central c	HEA 240	S 275	111.87	99.78	0.99	10 ELU /2/
25 Pilar central c	HEA 240	S 275	111.87	99.78	0.94	10 ELU /2/
26 Pilar central_2	HEA 240	S 275	111.87	99.78	0.94	10 ELU /2/
27 Pilar central_2	HEA 240	S 275	111.87	99.78	0.94	10 ELU /2/
28 Pilar central_2	HEA 240	S 275	111.87	99.78	0.94	10 ELU /2/
29 Pilar central_2	HEA 240	S 275	111.87	99.78	0.94	10 ELU /2/
30 Pilar central_3	HEA 240	S 275	111.87	99.78	0.94	10 ELU /2/
31 Pilar central c	HEA 240	S 275	111.87	99.78	0.94	10 ELU /2/
32 Pilar central_3	HEA 240	S 275	111.87	99.78	1.00	10 ELU /2/
33 Pilar central_3	HEA 240	S 275	111.87	99.78	1.00	10 ELU /2/
34 Pilar central_3	HEA 240	S 275	111.87	99.78	1.00	10 ELU /2/
35 Pilar central_3	HEA 240	S 275	111.87	99.78	1.00	10 ELU /2/
37 Pilar central c	HEA 240	S 275	111.87	99.78	0.99	10 ELU /2/
38 Pilar central_3	HEA 240	S 275	111.87	99.78	1.00	10 ELU /2/
39 Vigas de atad	HEA 100	S 275	123.30	199.19	0.08	10 ELU /43/
40 Vigas de atad	HEA 100	S 275	123.30	199.19	0.07	10 ELU /47/

Figura 77.Verificación barras parte 1 ELU



UNE-EN 1993-1:2013/A1:2014 - Verificación de las barras (ELU) 1A14 20A35 37A92

Resultados Mensajes

Barra	Perfil	Material	Lay	Laz	Solicit.	Caso
39 Vigas de atad	HEA 100	S 275	123.30	199.19	0.08	10 ELU /43/
40 Vigas de atad	HEA 100	S 275	123.30	199.19	0.07	10 ELU /47/
41 Vigas de atad	HEA 100	S 275	123.30	199.19	0.04	10 ELU /46/
42 Vigas de atad	HEA 100	S 275	123.30	199.19	0.03	10 ELU /46/
43 Vigas de atad	HEA 100	S 275	123.30	199.19	0.03	10 ELU /46/
44 Vigas de atad	HEA 100	S 275	123.30	199.19	0.03	10 ELU /46/
45 Vigas de atad	HEA 100	S 275	123.30	199.19	0.07	10 ELU /47/
46 Vigas de atad	HEA 100	S 275	123.30	199.19	0.02	10 ELU /40/
47 Vigas de atad	HEA 100	S 275	123.30	199.19	0.08	10 ELU /43/
48 Vigas de atad	HEA 100	S 275	123.30	199.19	0.07	10 ELU /45/
49 Vigas de atad	HEA 100	S 275	123.30	199.19	0.04	10 ELU /45/
50 Vigas de atad	HEA 100	S 275	123.30	199.19	0.03	10 ELU /45/
51 Vigas de atad	HEA 100	S 275	123.30	199.19	0.03	10 ELU /45/
52 Vigas de atad	HEA 100	S 275	123.30	199.19	0.03	10 ELU /45/
53 Vigas de atad	HEA 100	S 275	123.30	199.19	0.04	10 ELU /15/
54 Vigas de atad	HEA 100	S 275	123.30	199.19	0.02	10 ELU /52/
55 Dintel central	IPE 330	S 275	66.84	290.99	0.96	10 ELU /2/
56 Dintel central	IPE 330	S 275	66.84	290.99	0.59	10 ELU /47/
57 Dintel central	IPE 330	S 275	66.84	290.99	0.96	10 ELU /2/
58 Dintel central	IPE 330	S 275	66.84	290.99	0.59	10 ELU /47/
59 Dintel central	IPE 330	S 275	66.84	290.99	0.96	10 ELU /2/
60 Dintel central	IPE 330	S 275	66.84	290.99	0.56	10 ELU /47/
61 Dintel central	IPE 330	S 275	66.84	290.99	0.96	10 ELU /2/
62 Dintel central	IPE 330	S 275	66.84	290.99	0.56	10 ELU /47/
63 Dintel central	IPE 330	S 275	66.84	290.99	0.96	10 ELU /2/
64 Dintel central	IPE 330	S 275	66.84	290.99	0.56	10 ELU /47/
65 Dintel central	IPE 330	S 275	66.84	290.99	0.96	10 ELU /2/
66 Dintel central	IPE 330	S 275	66.84	290.99	0.56	10 ELU /47/
67 Dintel central	IPE 330	S 275	66.84	290.99	0.96	10 ELU /2/
68 Dintel central	IPE 330	S 275	66.84	290.99	0.56	10 ELU /47/
69 cruces de Sa	D2	S 275	1562.05	1562.05	0.04	10 ELU /55/
70 cruces de Sa	D2	S 275	1562.05	1562.05	0.03	10 ELU /44/
71 cruces de Sa	D2	S 275	1562.05	1562.05	0.03	10 ELU /14/
72 cruces de Sa	D2	S 275	1562.05	1562.05	0.03	10 ELU /55/

Nota de cálc. Cerrar Ayuda

Solicitud
Análisis Mapa

Puntos de cálculo
división: n = 3
extremos: ninguno
adicionales: ninguno

Figura 78.Verificación barras parte 2 ELU

71 cruces de Sa	D2	S 275	1562.05	1562.05	0.03	10 ELU /14/
72 cruces de Sa	D2	S 275	1562.05	1562.05	0.03	10 ELU /55/
73 cruces de Sa	D2	S 275	1562.05	1562.05	0.04	10 ELU /55/
74 cruces de Sa	D2	S 275	1562.05	1562.05	0.03	10 ELU /44/
75 cruces de Sa	D2	S 275	1562.05	1562.05	0.03	10 ELU /55/
76 cruces de Sa	D2	S 275	1562.05	1562.05	0.03	10 ELU /14/
77 cruces de Sa	D2	S 275	1439.38	1439.38	0.04	10 ELU /42/
78 cruces de Sa	D2	S 275	1439.38	1439.38	0.04	10 ELU /42/
79 cruces de Sa	D2	S 275	1439.38	1439.38	0.06	10 ELU /41/
80 cruces de Sa	D2	S 275	1439.38	1439.38	0.06	10 ELU /41/
81 cruces de Sa	D2	S 275	1439.38	1439.38	0.07	10 ELU /41/
82 cruces de Sa	D2	S 275	1439.38	1439.38	0.02	10 ELU /37/
83 cruces de Sa	D2	S 275	1439.38	1439.38	0.02	10 ELU /49/
84 cruces de Sa	D2	S 275	1439.38	1439.38	0.05	10 ELU /42/
85 cruces de Sa	D2	S 275	1439.38	1439.38	0.04	10 ELU /41/
86 cruces de Sa	D2	S 275	1439.38	1439.38	0.05	10 ELU /41/
87 cruces de Sa	D2	S 275	1439.38	1439.38	0.02	10 ELU /42/
88 cruces de Sa	D2	S 275	1439.38	1439.38	0.02	10 ELU /42/
89 cruces de Sa	D2	S 275	1439.38	1439.38	0.05	10 ELU /41/
90 cruces San A	D2	S 275	1439.38	1439.38	0.02	10 ELU /37/
91 cruces San A	D2	S 275	1439.38	1439.38	0.02	10 ELU /49/
92 cruces San A	D2	S 275	1439.38	1439.38	0.03	10 ELU /42/

Figura 79.Verificación barras parte 3 ELU



UNE-EN 1993-1:2013/A1:2014 - Verificación de las barras (ELS) 1A14 20A35 37A68

Resultados Mensajes

Barra	Perfil	Material	Ratio(uy)	Caso (uy)	Ratio(uz)	Caso (uz)	Ratio(vx)	Caso (vx)	Ratio(vy)	Caso (vy)
1 Barra_1	HEA 220	S 275	-	-	-	-	0.60	7 VIENTO H2 0°	0.01	13 ELS /28/
2 Pilar esquina ha	HEA 220	S 275	-	-	-	-	0.35	13 ELS /7/	0.01	13 ELS /29/
3 Pilar esquina ha	HEA 220	S 275	-	-	-	-	0.47	13 ELS /24/	0.01	13 ELS /28/
4 Pilar esquina ha	HEA 220	S 275	-	-	-	-	0.37	7 VIENTO H2 0°	0.01	13 ELS /29/
5 Dintel hastial_5	IPE 400	S 275	0.06	13 ELS /23/	0.18	13 ELS /11/	-	-	-	-
6 Dintel hastial_6	IPE 400	S 275	0.06	13 ELS /23/	0.17	13 ELS /4/	-	-	-	-
7 Dintel hastial_7	IPE 400	S 275	0.09	13 ELS /23/	0.22	7 VIENTO H2 0°	-	-	-	-
8 Dintel hastial_8	IPE 400	S 275	0.09	13 ELS /23/	0.17	8 VIENTO H3 90°	-	-	-	-
9 Pilar central ha	HEA 260	S 275	-	-	-	-	0.27	13 ELS /24/	0.19	13 ELS /27/
10 Pilar central h	HEA 260	S 275	-	-	-	-	0.24	13 ELS /24/	0.33	13 ELS /27/
11 Pilar central h	HEA 260	S 275	-	-	-	-	0.35	7 VIENTO H2 0°	0.19	13 ELS /27/
12 Pilar central h	HEA 260	S 275	-	-	-	-	0.33	13 ELS /24/	0.17	6 VIENTO H1 0°
13 Pilar central h	HEA 260	S 275	-	-	-	-	0.24	13 ELS /24/	0.31	6 VIENTO H1 0°
14 Pilar central h	HEA 260	S 275	-	-	-	-	0.29	7 VIENTO H2 0°	0.17	6 VIENTO H1 0°
20 Viga puerta_2	IPE 200	S 275	0.09	6 VIENTO H1 0°	0.17	13 ELS /1/	-	-	-	-
21 Viga puerta_2	IPE 200	S 275	0.09	6 VIENTO H1 0°	0.17	13 ELS /1/	-	-	-	-
22 Viga puerta_2	IPE 200	S 275	0.09	6 VIENTO H1 0°	0.17	13 ELS /1/	-	-	-	-
23 Viga puerta_2	IPE 200	S 275	0.09	6 VIENTO H1 0°	0.17	13 ELS /1/	-	-	-	-
24 Pilar central c	HEA 240	S 275	-	-	-	-	0.52	13 ELS /10/	0.01	13 ELS /29/
25 Pilar central c	HEA 240	S 275	-	-	-	-	0.56	6 VIENTO H1 0°	0.01	13 ELS /28/
26 Pilar central_2	HEA 240	S 275	-	-	-	-	0.68	6 VIENTO H1 0°	0.01	13 ELS /28/
27 Pilar central_2	HEA 240	S 275	-	-	-	-	0.68	6 VIENTO H1 0°	0.01	13 ELS /28/
28 Pilar central_2	HEA 240	S 275	-	-	-	-	0.68	6 VIENTO H1 0°	0.01	8 VIENTO H3 90°
29 Pilar central_2	HEA 240	S 275	-	-	-	-	0.68	6 VIENTO H1 0°	0.01	8 VIENTO H3 90°
30 Pilar central_3	HEA 240	S 275	-	-	-	-	0.68	6 VIENTO H1 0°	0.01	8 VIENTO H3 90°
31 Pilar central c	HEA 240	S 275	-	-	-	-	0.56	6 VIENTO H1 0°	0.01	8 VIENTO H3 90°
32 Pilar central_3	HEA 240	S 275	-	-	-	-	0.58	13 ELS /11/	0.01	13 ELS /29/
33 Pilar central_3	HEA 240	S 275	-	-	-	-	0.59	13 ELS /11/	0.01	13 ELS /29/
34 Pilar central_3	HEA 240	S 275	-	-	-	-	0.59	13 ELS /11/	0.01	13 ELS /29/
35 Pilar central_3	HEA 240	S 275	-	-	-	-	0.59	13 ELS /11/	0.01	8 VIENTO H3 90°
37 Pilar central c	HEA 240	S 275	-	-	-	-	0.54	13 ELS /10/	0.01	8 VIENTO H3 90°
38 Pilar central_3	HEA 240	S 275	-	-	-	-	0.59	13 ELS /11/	0.01	8 VIENTO H3 90°
39 Vigas de atad	HEA 100	S 275	0.02	13 ELS /20/	0.05	13 ELS /18/	-	-	-	-
40 Vigas de atad	HEA 100	S 275	0.06	6 VIENTO H1 0°	0.02	13 ELS /27/	-	-	-	-

Nota de calc. Cerrar Ayuda

Solicitud: Análisis Mapa

Puntos de cálculo: división: n = 3; extremos: ninguno; adicionales: ninguno

Figura 80.Verificación barras parte 1 ELS

UNE-EN 1993-1:2013/A1:2014 - Verificación de las barras (ELS) 1A14 20A35 37A68

Resultados Mensajes

Barra	Perfil	Material	Ratio(uy)	Caso (uy)	Ratio(uz)	Caso (uz)	Ratio(vx)	Caso (vx)	Ratio(vy)	Caso (vy)
34 Pilar central_3	HEA 240	S 275	-	-	-	-	0.59	13 ELS /11/	0.01	13 ELS /29/
35 Pilar central_3	HEA 240	S 275	-	-	-	-	0.59	13 ELS /11/	0.01	8 VIENTO H3 90°
37 Pilar central c	HEA 240	S 275	-	-	-	-	0.54	13 ELS /10/	0.01	8 VIENTO H3 90°
38 Pilar central_3	HEA 240	S 275	-	-	-	-	0.59	13 ELS /11/	0.01	8 VIENTO H3 90°
39 Vigas de atad	HEA 100	S 275	0.02	13 ELS /20/	0.05	13 ELS /18/	-	-	-	-
40 Vigas de atad	HEA 100	S 275	0.06	6 VIENTO H1 0°	0.02	13 ELS /27/	-	-	-	-
41 Vigas de atad	HEA 100	S 275	0.02	6 VIENTO H1 0°	0.01	13 ELS /32/	-	-	-	-
42 Vigas de atad	HEA 100	S 275	0.00	13 ELS /23/	0.01	13 ELS /29/	-	-	-	-
43 Vigas de atad	HEA 100	S 275	0.00	6 VIENTO H1 0°	0.01	13 ELS /29/	-	-	-	-
44 Vigas de atad	HEA 100	S 275	0.02	6 VIENTO H1 0°	0.01	13 ELS /29/	-	-	-	-
45 Vigas de atad	HEA 100	S 275	0.06	6 VIENTO H1 0°	0.01	13 ELS /2/	-	-	-	-
46 Vigas de atad	HEA 100	S 275	0.02	13 ELS /20/	0.05	13 ELS /18/	-	-	-	-
47 Vigas de atad	HEA 100	S 275	0.02	13 ELS /25/	0.07	13 ELS /18/	-	-	-	-
48 Vigas de atad	HEA 100	S 275	0.05	13 ELS /23/	0.02	13 ELS /27/	-	-	-	-
49 Vigas de atad	HEA 100	S 275	0.02	13 ELS /24/	0.01	13 ELS /20/	-	-	-	-
50 Vigas de atad	HEA 100	S 275	0.00	13 ELS /23/	0.01	13 ELS /28/	-	-	-	-
51 Vigas de atad	HEA 100	S 275	0.01	13 ELS /11/	0.01	13 ELS /20/	-	-	-	-
52 Vigas de atad	HEA 100	S 275	0.00	6 VIENTO H1 0°	0.01	13 ELS /28/	-	-	-	-
53 Vigas de atad	HEA 100	S 275	0.04	6 VIENTO H1 0°	0.01	13 ELS /2/	-	-	-	-
54 Vigas de atad	HEA 100	S 275	0.02	13 ELS /25/	0.07	13 ELS /18/	-	-	-	-
55 Dintel central	IPE 330	S 275	0.02	13 ELS /23/	0.27	13 ELS /11/	-	-	-	-
56 Dintel central	IPE 330	S 275	0.02	13 ELS /23/	0.28	6 VIENTO H1 0°	-	-	-	-
57 Dintel central	IPE 330	S 275	0.01	13 ELS /23/	0.28	13 ELS /11/	-	-	-	-
58 Dintel central	IPE 330	S 275	0.01	13 ELS /23/	0.28	6 VIENTO H1 0°	-	-	-	-
59 Dintel central	IPE 330	S 275	0.01	13 ELS /20/	0.29	13 ELS /11/	-	-	-	-
60 Dintel central	IPE 330	S 275	0.02	0.7*4 + 1*6	0.31	6 VIENTO H1 0°	-	-	-	-
61 Dintel central	IPE 330	S 275	0.00	13 ELS /24/	0.30	13 ELS /11/	-	-	-	-
62 Dintel central	IPE 330	S 275	0.00	0.7*4 + 1*6	0.32	6 VIENTO H1 0°	-	-	-	-
63 Dintel central	IPE 330	S 275	0.00	0.7*5 + 1*7	0.30	13 ELS /11/	-	-	-	-
64 Dintel central	IPE 330	S 275	0.00	13 ELS /24/	0.32	6 VIENTO H1 0°	-	-	-	-
65 Dintel central	IPE 330	S 275	0.00	13 ELS /20/	0.30	13 ELS /11/	-	-	-	-
66 Dintel central	IPE 330	S 275	0.00	0.7*4 + 1*6	0.32	6 VIENTO H1 0°	-	-	-	-
67 Dintel central	IPE 330	S 275	0.01	13 ELS /20/	0.30	13 ELS /11/	-	-	-	-
68 Dintel central	IPE 330	S 275	0.02	0.7*4 + 1*6	0.31	6 VIENTO H1 0°	-	-	-	-

Nota de calc. Cerrar Ayuda

Solicitud: Análisis Mapa

Puntos de cálculo: división: n = 3; extremos: ninguno; adicionales: ninguno

Figura 81.Verificación barras parte 2 ELS

10 COMPARATIVA EN KG DE ACERO

Podemos observar en la tabla 8.1., los diferentes tipos de perfiles utilizados tanto como para la nave industrial con cartelas, como para la que no las contiene. Existe una diferencia significativa en el dimensionamiento entre ambas estructuras metálicas.

Antes de llegar a las conclusiones finales de nuestro proyecto, vamos a realizar una comparativa en Kg de acero y en precio, para valorar la diferencia entre ambas naves. Los pesos de cada perfil utilizado en nuestro estudio se han obtenido de un distribuidor llamado INCAFE 2000, que es una empresa dedicada a la construcción de estructuras metálicas y de las primeras en ofrecer ventas online. El valor económico también viene dado por esta empresa. Sin embargo, el precio se va a sacar de la Base de Costes de la Construcción de Andalucía, porque son costes menos elevados que los proporcionados por la empresa INCAFE 2000.

10.1 Nave industrial sin cartelas

Tabla 38. Tipo de barras

GRUPO	PERFIL	LONGITUD BARRA (m)		NÚMERO DE BARRAS
1	HEA 220	6		4
2	HEA 280	7,34	8,68	6
3	HEA 100	5		16
4	IPE 220	5		4
5	IPE 400	10,35		4
6	IPE 500	10,35		14
7	HEA 260	6		14
8	D2	7,20	7,81	24

Tabla 39. Peso INCAFE 2000 y precios BBKA

PERFIL	PESO (Kg/m)	PRECIO (€/Kg)
HEA 100	17,12	0,83
HEA 220	51,76	0,83
HEA 260	69,91	0,83
HEA 280	78,31	0,83
IPE 220	26,86	0,74
IPE 400	67,96	0,74
IPE 500	92,97	0,74
D2	2,57	1,00

Tabla 40. Cálculo de peso y precio por grupo de barras

GRUPO	LONGITUD TOTAL DEL MATERIAL	PESO TOTAL (Kg)	PRECIO TOTAL (€)
1	24	1242,24	1031,06
2	46,72	3658,6432	3036,67
3	80	1369,6	1136,77
4	20	537,2	397,53
5	41,4	2813,544	2082,02
6	144,9	13471,353	9968,80
7	84	5872,44	4874,13
8	177,68	456,6376	456,64
TOTAL	618,7	28824,0578	22487,61

10.2 Nave industrial con cartelas

Tabla 41. Tipo de barras

GRUPO	PERFIL	LONGITUD BARRA (m)		NÚMERO DE BARRAS
1	HEA 220	6		4
2	HEA 260	7,34	8,68	6
3	HEA 100	5		16
4	IPE 200	5		4
5	IPE 400	10,35		4
6	IPE 330	10,35		14
7	HEA 240	6		14
8	D2	7,20	7,81	24

Tabla 42. Peso INCAFE y precio BBKA

PERFIL	PESO (Kg/m)	PRECIO (€/Kg)
HEA 100	17,12	0,83
HEA 220	51,76	0,83
HEA 240	61,81	0,83
HEA 260	69,91	0,83
IPE 200	22,96	0,74
IPE 330	50,33	0,74
IPE 400	67,96	0,74
D2	2,57	1,00

Tabla 43. Cálculo de peso y coste por grupo de barras sin cartelas incorporadas

GRUPO	LONGITUD TOTAL DEL MATERIAL	PESO TOTAL (Kg)	PRECIO TOTAL (€)
1	24	1242,24	1031,06
2	46,72	3266,20	2710,95
3	80	1369,6	1136,77
4	20	459,2	339,81
5	41,4	2813,54	2082,02
6	144,9	7292,817	5396,69
7	84	5192,04	4309,39
8	177,68	456,638	456,64
TOTAL	618,7	22092,275	17462,73

• Cálculo de peso y coste de las cartelas

A continuación, se mostrará el procedimiento que hemos tenido en cuenta a la hora de calcular el peso y el coste de las cartelas.

Para ello, se ha utilizado el software AutoCAD, para explicar cómo se ha calculado este elemento.

Las vigas y pilares intermedias llevan cartelas. La longitud y la altura de las cartelas dependen de la barra a la que vayan incorporadas. Las vigas intermedias tienen una longitud de 10,35 metros y los pilares intermedios una longitud de 6 metros.

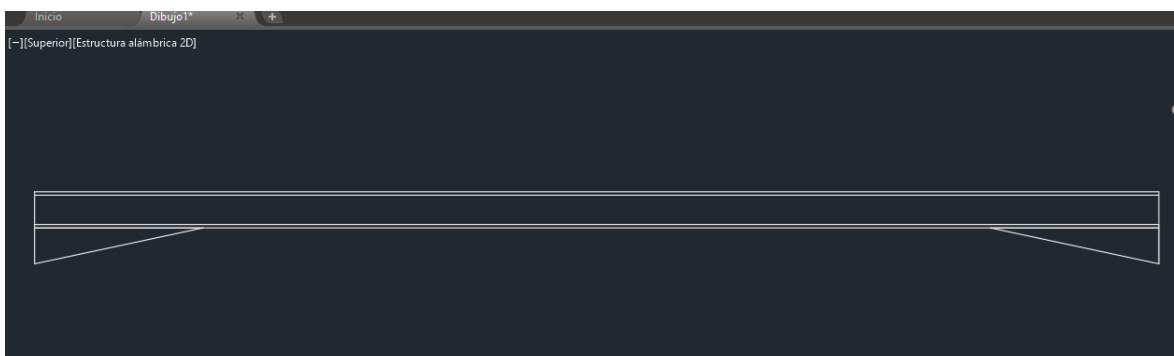


Figura 82. Boceto 2D de viga intermedia acartelada

Primero se va a calcular la cartela asociada a la viga intermedia. Se plantea que la suma de dos cartelas sería exactamente un 15% de lo que mide la viga en cuestión. Es decir, si una viga intermedia IPE 330 pesa 50,33 Kg/m, podríamos calcular cuánto pesaría para ese porcentaje de viga. De esta manera, podemos calcular cuánto pesan, y el coste que tendrían.

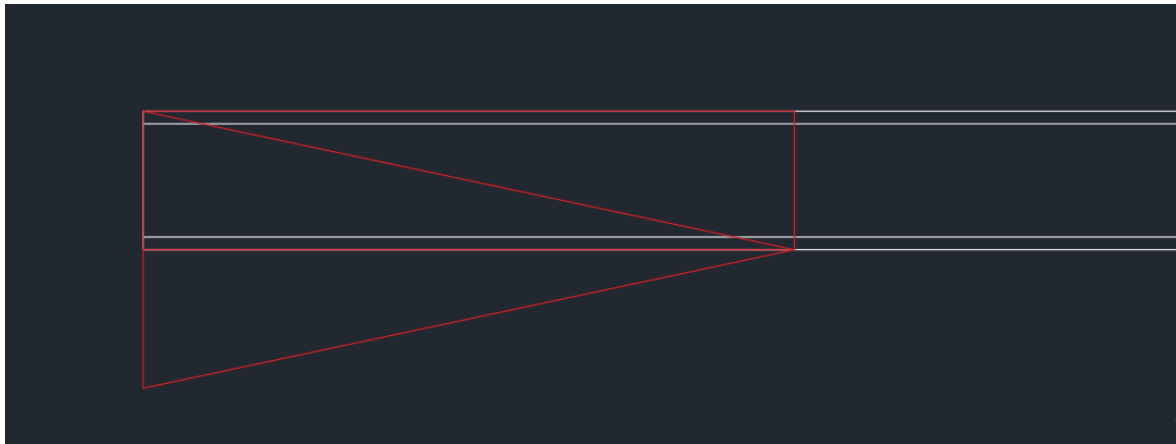


Figura 83. Boceto 2D explicación dimensión cartelas

Se haría el mismo procedimiento explicado en el párrafo anterior para el cálculo de las cartelas que se encuentran en los pilares intermedios.

- Cálculo para las cartelas de vigas intermedias.

Cada viga intermedia lleva incorporado dos cartelas; si tenemos 14 vigas intermedias, habrá 28 cartelas con este tipo de perfil.

Partimos de que, para dos cartelas, es un 0,15 de la longitud de la viga, y la viga mide 10,35 metros.

Por lo que la longitud total de cartelas es 21,735 metros. Estas cartelas son del perfil IPE 330. En las tablas anteriores se identificaba el peso por unidad de longitud y el coste por peso de cada perfil que constituye la estructura metálica.

Peso total: 1093,92 Kg
Coste total: 809,5€

- Cálculo para las cartelas de pilares intermedios.

Cada pilar intermedio sólo lleva una cartela; si tenemos 14 pilares intermedios, habrá 14 cartelas incorporadas en total en este grupo.

En este caso, la longitud del pilar es 6 metros. Es decir, la longitud total de las cartelas será 6,3 metros. Estas cartelas son del perfil HEA 240.

Peso total: 389,403 Kg
Coste total: 323,2 €

Finalmente, podemos saber cuánto peso y coste nos supondría incorporar cartelas a la estructura metálica.

Tabla 44. Cálculo peso y coste de las cartelas

	LONGITUD TOTAL (m)	PESO TOTAL (Kg)	COSTE TOTAL (€) *
CARTELA 1 (IPE 330)	21,735	1093,92	809,5
CARTELA 2 (HEA 240)	6,3	389,403	323,2
TOTAL	28,035	1483,323	1132,7

(*) En el coste total no va incluida la mano de obra que conlleva la soldadura de las cartelas a la estructura.

- **Precio de la estructura metálica con cartelas incorporadas**

Sólo quedaría sumar el coste y peso de la tabla 43 con el coste y peso de la tabla 44.

-Coste total con cartelas: 18595,43€

-Peso total con cartelas: 23575,598 Kg

10.3 Comparación de resultados

Tabla 45. Cuadro resumen peso y precio

	ESTRUCTURA SIN CARTELAS	ESTRUCTURA CON CARTELAS
PESO TOTAL DE LA ESTRUCTURA(Kg)	28824,0578	23575,598
COSTE TOTAL DE LA ESTRUCTURA (€)	22487,61	18595,43

- **Diferencia de peso y coste.**

Hay una ligera diferencia entre el peso y coste de la estructura sin cartelas con la estructura que si porta cartelas.

- Diferencia de peso: **5248,46 Kg**

- Diferencia de coste: **3892,18 €**

- **Porcentaje relativo de la diferencia en peso y coste.**

Para entender mejor la diferencia entre ambas estructuras, se procede a calcular el porcentaje relativo de diferencia en peso y coste.



- % diferencia en peso: **18,21%**
- % diferencia en coste: **17,31%**



11 CONCLUSIONES

Para finalizar este proyecto, después de mostrar los resultados del estudio comparativo entre una estructura metálica con rigidizadores tipo cartela y otra estructura que no los lleva mediante el programa Robot Structural Analysis Profesional 2020, se ha podido demostrar que existe una diferencia entre ambas naves industriales. Gracias a los resultados obtenidos, nos permitirá saber cuál es la mejor opción a elegir si este proyecto se hiciera en un futuro.

En este apartado, vamos a estudiar los resultados obtenidos en los apartados definidos anteriormente.

Hemos podido observar, que a la hora de realizar el dimensionado por grupos de los elementos que constituyen cada estructura, se puede percibir que los perfiles son mayores en el caso de la estructura sin cartelas, por lo que el dimensionamiento es mayor en este caso.

Las diferencias entre ambos dimensionados de grupos no son excesivas, las más notables son las vigas intermedias, que, en la estructura sin cartelas, los perfiles son de mayor dimensión.

En el capítulo anterior, se ha hecho una valoración tanto económica, como tanto en peso en kg, para saber cómo sería la construcción de la estructura metálica que constituye la nave industrial. En este estudio no se han tenido en cuenta cerramientos, puertas, cimentaciones o cualquier otro elemento constructivo, que evidentemente son necesarios para la construcción de susodicha, pero que, para ambas naves, tanto la que lleva cartelas, como la que no, serían iguales y dado que estamos haciendo un estudio comparativo, no resulta de interés.

En los resultados obtenidos en el apartado 10, podemos ver que hay un ahorro tanto económico, como en peso en kg de acero. En kg de acero tenemos un ahorro de 5248,46 Kg, y económicamente se ahorra 3892,18 €. Es decir, un 18,21% menos en peso y un 17,21% menos en coste en la estructura metálica con cartelas. En el cálculo del coste de la estructura metálica con cartelas no se ha tenido en cuenta la mano de obra de soldadura de las cartelas a las vigas y pilares, por lo que, el ahorro en coste variará ligeramente en la realidad. Es decir, la estructura metálica dimensionada con cartelas, permite realizar el ahorro dicho anteriormente en material y en coste.



12 BIBLIOGRAFÍA

- [1] *Documento Básico Seguridad Estructural Acciones en la edificación*, Abril 2009.
- [2] *EAE, Instrucción de Acero Estructural*, 2011.
- [3] *Estudio comparativo de la acción climática de viento en cubiertas industriales utilizando CTE y simulaciones numéricas*. Francisco Antonio Aguilera Jiménez, Septiembre 2009.
- [4] *Documento Básico Seguridad Estructural (DB-SE)*.
- [5] *Estructuras metálicas, ventajas y desventajas* [en línea] [fecha de consulta: 13 de Diciembre de 2021] Disponible en:
<https://www.robersonolaya.com/2019/07/02/estructuras-metalicas-ventajas-y-desventajas/>
- [6] *Elementos de una estructura metálica* [en línea] [fecha de consulta: 15 de Diciembre de 2021] Disponible en:
<https://www.libreingenieriacivil.com/2020/01/configuraciones-estructurales.html>
- [7] *Documento Básico Seguridad estructural (DB-SE)*
- [8] <https://www.incafe2000.com/Esp>
- [9] Base de costes de la Construcción de Andalucía (BCCA)