



UNIVERSIDAD DE JAÉN
Escuela Politécnica Superior de Linares

Trabajo Fin de Grado

**ESTUDIO COMPARATIVO DE LA
ACCIÓN CLIMÁTICA DE VIENTO EN
CUBIERTAS INDUSTRIALES
UTILIZANDO CTE Y SIMULACIONES
NUMÉRICAS**

Alumno: Francisco Antonio Aguilera Jiménez

Tutor: Prof. D. Javier Fernández Aceituno
Depto.: Ingeniería Mecánica y Minera

Septiembre, 2020

INDICE

1.	Introducción	5
1.1	Motivación	5
1.2	Objetivos del TFG	6
1.3	Resumen.....	7
2.	Estado del arte	8
2.1	Introducción	8
2.2	Código Técnico de la Edificación	8
2.2.1	Acciones permanentes	8
2.2.1.1	Peso propio	8
2.2.1.2	Pretensado	8
2.2.1.3	Acciones del terreno.....	8
2.2.2	Acciones variables	8
2.2.2.1	Sobrecarga de uso.....	8
2.2.2.2	Reducción de sobrecargas	10
2.2.2.3	Acciones sobre barandillas y elementos divisorios	10
2.2.3	Viento	11
2.2.3.1	Generalidades	11
2.2.3.2	Acción del viento	11
2.2.4	Nieve.....	20
2.2.4.1	Determinación de la carga de nieve	20
2.2.4.2	Carga de nieve sobre un terreno horizontal	21
2.2.4.3	Coeficiente de forma	22
2.3	Fundamentos Teóricos.....	23
2.3.1	Control de sección	23
2.3.2	Control de estabilidad	24
2.4	Autodesk Robot Structural Analysis Professional simulador de viento	25
3.	Comparativa CTE y Eurocódigo	27
3.1	Introducción	27
3.2	Formulación de la fuerza del viento.....	27
3.3	Rugosidad del terreno	29
3.4	Velocidad referencia del viento	31
3.5	Coeficiente de exposición	32
3.6	Presión dinámica de cálculo	34
3.7	Coeficiente de presión exterior.....	34
3.8	Factor estructural $C_s C_d$	34

3.9 Conclusiones	34
4. Requisitos del sistema.....	36
4.1 Tipo de cubierta	36
4.2 Dimensiones estructura	37
4.3 Ubicación edificación	38
5. Diseño.....	39
5.1 Nave industrial	39
5.1.1 Arriostramientos	39
5.1.2 Diseño nave industrial.....	42
5.2 Obtención cargas de viento	43
5.3 Obtención resto de cargas	53
5.3.1 Peso propio	53
5.3.2 Sobrecarga de eso	53
5.3.3 Nieve.....	54
5.3.4 Peso cerramiento puerta.....	54
5.3.5 Resumen cargas	55
6. Diseño y aplicación de carga en software.....	56
6.1 Diseño 3D nave industrial	56
6.2 Aplicación de cargas.....	62
6.2.1 Coeficiente de desviación de la generación de cargas para la simulación de viento 72	
6.3 Definición de grupos	75
6.3.1 Grupo 1º, vigas centrales	76
6.3.2 Grupo 2º, vigas centrales con cruces de San Andrés	77
6.3.3 Grupo 3º, vigas de fachada	78
6.3.4 Grupo 4º, vigas cerramiento puerta	79
6.3.5 Grupo 5º, pilares centrales.....	79
6.3.6 Grupo 6º, pilares centrales con cruces de San Andrés	80
6.3.7 Grupo 7º, pilares de fachada en las esquinas	81
6.3.8 Grupo 8º, pilares fachada hastiales.....	82
6.3.9 Grupo 9º, vigas de atado.....	83
6.3.10 Grupo 10º, cruces de San Andrés.....	84
7. Combinaciones de cargas y dimensionamiento.....	85
7.1 Combinación de acciones.....	85
7.2 Casos de carga CTE.....	88
7.2.1 Combinación de carga más desfavorable para grupo 1º, vigas centrales.....	90

7.2.2	Combinación de carga más desfavorable para grupo 2º, vigas centrales cruces San Andrés	90
7.2.3	Combinación de carga más desfavorable para grupo 3º, vigas fachada.....	90
7.2.4	Combinación de carga más desfavorable para grupo 4º, viga cerramiento puerta	91
7.2.5	Combinación de carga más desfavorable para grupo 5º, pilares centrales.....	91
7.2.6	Combinación de carga más desfavorable para grupo 6º, pilares centrales cruces San Andrés	91
7.2.7	Combinación de carga más desfavorable para grupo 7º, pilares fachada esquinas	92
7.2.8	Combinación de carga más desfavorable para grupo 8º, pilares fachada hastiales	92
7.2.9	Combinación de carga más desfavorable para grupo 9º, vigas de atado	92
7.2.10	Combinación de carga más desfavorable para grupo 10º, cruces de San Andrés...	93
7.3	Casos de carga simulación	94
7.3.1	Combinaciones de carga más desfavorable para grupo 1º, vigas centrales	97
7.3.2	Combinaciones de carga más desfavorable para grupo 2º, vigas centrales con cruces de San Andrés	97
7.3.3	Combinaciones de carga más desfavorable para grupos 3º, vigas fachada	97
7.3.4	Combinaciones de carga más desfavorable para grupo 4º, vigas cerramiento puerta	98
7.3.5	Combinaciones de carga más desfavorable para grupo 5º, pilares centrales	98
7.3.6	Combinaciones de carga más desfavorable para grupo 6º, pilares centrales con cruces de San Andrés	98
7.3.7	Combinaciones de carga más desfavorable para grupo 7º, pilares fachada esquina	99
7.3.8	Combinaciones de carga más desfavorable para grupo 8º, pilares fachada hastiales	99
7.3.9	Combinaciones de carga más desfavorable para grupo 9º, vigas de atado.....	100
7.3.10	Combinaciones de carga más desfavorable para grupo 10º, cruces de San Andrés	100
7.4	Dimensionamiento naves industriales.....	100
8.	Resultados y comparativa	102
8.1	Verificación Estados Límite	102
8.1.1	Cargas de viento CTE	102
8.1.2	Cargas de viento Simulación	104
8.2	Resultados carga de viento CTE	106
8.2.1	Deformaciones CTE Viento 0º H1.....	106
8.2.2	Tensiones CTE Viento 0º H1	108
8.2.3	Deformaciones CTE Viento 90º H1.....	109
8.2.4	Tensiones CTE Viento 90º H1	111

8.3	Resultados carga de viento simulación	112
8.3.1	Deformaciones Simulación Viento Y-	112
8.3.2	Tensiones Simulación Viento Y-	114
8.3.3	Deformaciones Simulación Viento X+	115
8.3.4	Tensiones Simulación Viento X+	117
8.4	Comparativa en Kg de acero	119
9.	Conclusiones.....	122
10.	Planos	126
11.	Anexos	0
11.1	Anexo 1. Cálculo carga de viento CTE en Excel	0
12.	Bibliografía	8

1. Introducción

1.1 Motivación

La acción del viento sobre las edificaciones tiene un papel fundamental en el diseño de las mismas. La complejidad en la descripción del comportamiento turbulento del viento, así como la dificultad para obtener métodos de cuantificación de la carga sobre la estructura a partir de la velocidad característica del viento, han sido tradicionalmente los mayores obstáculos en las sucesivas actualizaciones de la normativa de acciones.

En la actualidad, debido a la mejora constante de software de simulación, se han conseguido obtener resultados mucho más precisos, solventando los mayores obstáculos de las normativas pasadas.

A partir de dicha mejora en los software de simulación, nace la necesidad de comprobar la relación entre dichos resultados y los obtenidos a través de la normativa actual. Por lo que, la motivación principal de este proyecto es, investigar y conocer si utilizando un software de simulación nos encontramos desde el lado de la seguridad, o no, y en qué medida, respecto el Código Técnico de la Edificación, en su Documento Básico “Acciones de la Edificación” CTE-DB-AE. Siendo esta la normativa actual más importante de nuestro país, donde se recogen dichas acciones.

Una vez conocida la posición de unos resultados respecto a otros, será posible analizar la variación entre ellos, si es que la hubiere. Así como comprobar si las simulaciones mediante software arrojan resultados útiles, o por el contrario, insuficientes.

De igual forma, es importante conocer la posición de los resultados obtenidos a través del CTE, respecto las simulaciones que se puedan realizar para una misma cubierta, ya que dichos perfiles turbulentos de viento serán mas fidedignos a la realidad.

1.2 Objetivos del TFG

- En este proyecto se va a realizar, en primer lugar, el estudio del Documento Básico de Seguridad Estructural en Acciones en la Edificación. Así como llevar a cabo una comparativa respecto al Eurocódigo 1, apartado 1 – 4 denominado acciones del viento.
- En segundo lugar, se realizará un prediseño de la nave industrial, definiendo su estructura, eligiendo el tipo de cubierta y dimensiones.
- A continuación, se obtendrán los cálculos de las cargas de viento aplicadas sobre toda la nave industrial a partir de la información encontrada en el Código Técnico de la Edificación, CTE. Además del resto de acciones permanentes de uso común para este tipo de edificaciones diáfanas.
- Posteriormente, se realizará el diseño de la nave industrial en el software Autodesk Robot Structural Analysis Profesional 2020. Diseño sobre el cual se aplicarán las cargas obtenidas del CTE, así como las simulaciones de viento semejantes al modelo descrito por el CTE. Donde se desarrollarán los fundamentos teóricos utilizados por el software computacional en el cálculo de cargas de viento.
- Una vez aplicadas todas las cargas de viento, se considerarán las cargas permanentes y excepcionales que también actúan sobre la nave industrial.
- A continuación, podremos obtener las combinaciones de cargas necesarias, como los Estados Límite Últimos y los Estados Límite de Servicio. A partir de dichas combinaciones de carga posibles, se obtendrán los casos más desfavorables que nos permitirán realizar el dimensionamiento de la estructura.
- Dicho dimensionamiento nos permitirá realizar una comparativa de la variación económica y en Kg de Acero necesarios para cada estructura.
- Finalmente, se presentarán las conclusiones y comparativa de resultados para los dos dimensionamientos realizados. Uno de ellos, correspondiente con los casos de carga más desfavorable a partir de las cargas de viento obtenidas de los cálculos presentados en el CTE. Y el otro, correspondiente al caso de carga más desfavorable cuando se considera de las cargas de viento que se obtienen a partir de la simulación de viento mediante el software ya citado.

1.3 Resumen

Este proyecto consiste en un estudio comparativo de las cargas de viento sobre la cubierta de una nave industrial, utilizando el Código Técnico de la Edificación y simulaciones numéricas. Mediante el software Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2020.

Se realiza el diseño estructural de una nave con cubierta a dos aguas, y de las cargas que actúan sobre ella, diferenciando acciones permanentes y acciones variables. Dentro de las acciones variables, se encuentra el viento, principal carga en estudio de este proyecto.

Para las cargas de viento obtenidas del CTE, se realiza un análisis comparativo de este procedimiento respecto al estipulado por el Eurocódigo, el cual nos permite valorar el nivel de seguridad de sus resultados. Respecto las cargas de viento obtenidas mediante simulaciones numéricas con el software, también se realiza una análisis y optimización del proceso.

Una vez valorados dichos cálculos y obtenidos sus resultados, se aplican las cargas en el mismo software, se crean las combinaciones de carga necesarias según el ELU y ELS. Se realizan las comprobaciones por sección y estabilidad de los elementos que conforman la estructura, tal y como indica la EAE, instrucción de acero estructural aplicable al cálculo de la estructura metálica del edificio industrial, en sus artículos 34 y 35 (entre otros).

Con dichos resultados, se realiza un dimensionamiento de ambas estructuras, una de ellas con las cargas de viento generadas por el CTE, y la otra con las cargas de viento generadas por la simulación numérica.

Por último, se comparan los resultados arrojados en ambos casos. La comparativa se realiza en las diferentes etapas del estudio. Respecto la obtención de las cargas de viento, respecto los resultados generados de forma individual sobre las estructuras. Y por último, respecto las combinaciones de las mismas y dimensionamiento necesario para cada nave.

En las conclusiones finales se demostrará a partir de los resultados previos, como el CTE se encuentra desde el lado de la seguridad en el cálculo de cargas de viento, así como en el diseño de las estructuras. Y se mostrará las posibles optimizaciones que pueden realizarse de dichos resultados.

2. Estado del arte

2.1 Introducción

Se ha utilizado el Documento básico SE-AE Seguridad Estructural Acciones en la edificación como guía para la obtención de las cargas aplicadas sobre la cubierta de la nave industrial según el Código Técnico de la Edificación.

Debido a que el campo de aplicación de dicho documento consiste en, determinar las acciones sobre las edificaciones, permitiendo la verificación del cumplimiento de los requisitos de seguridad estructural, como capacidad portante y estabilidad, así como la aptitud de servicio.

Dentro de las acciones producidas sobre la edificación, se dividen en diferentes tipos:

2.2 Código Técnico de la Edificación

2.2.1 Acciones permanentes

2.2.1.1 Peso propio

El peso propio a tener en cuenta es el de todos aquellos elementos que forman la edificación. Siendo para el caso en estudio, una nave industrial, dichos elementos aquellos que inequívocamente vayan soportados por la estructura, como por ejemplos, los cerramientos.

2.2.1.2 Pretensado

Estas acciones se evaluarán a partir de lo establecido en la Instrucción EHE.

2.2.1.3 Acciones del terreno

Aquellas derivadas del empuje del terreno, tanto las procedentes de su peso como otras acciones que actúan sobre él, debidas a desplazamientos y deformaciones. Su evaluación se llevará a cabo según lo establecido en el DB-SE-C.

2.2.2 Acciones variables

2.2.2.1 Sobrecarga de uso

Toda aquel peso que puede gravitar sobre el edificio por razón de su uso. Por ejemplo, equipos pesados, acumulación de materiales, etc.

Valores de la sobrecarga: Los efectos de la sobrecarga pueden simularse por la aplicación de una carga distribuida uniformemente. Mientras que para las comprobaciones locales de la capacidad portante, debe considerarse una carga concentrada actuando en cualquier punto de la zona.

Tabla 2.1. Valores característicos sobrecargas de uso

Categoría de uso		Subcategoría de uso	Carga uniforme [kN/m ²]	Carga concentrada [kN]
A	Zona residenciales	Viviendas y zonas de A1 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
		Zonas sin obstáculos que impiden el libre movimiento de las personas como vestíbulos	5	4
		de edificios públicos, administrativos, hoteles; salas de exposición de museos; etc.		
		C4 Zonas destinadas a gimnasio actividades físicas.	5	7
D	Zonas comerciales	C5 Zonas de aglomeración (salas de conciertos, estadios, etc)	5	4
		D1 Locales comerciales	5	4
E	Zonas de tráfico y de aparcamiento para vehículos ligeros (peso total < 30kN)	D2 Supermercados, hipermercados o grandes superficies	5	7
F	Cubiertas transitables accesibles solo privadamente ⁽²⁾		1	2
G	Cubiertas accesibles únicamente para conservación ⁽³⁾	Cubiertas con inclinación inferior a 20°	1 ⁽⁴⁾⁽⁶⁾	2
		Cubiertas ligeras sobre correa (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 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 una inclinación entre 20° y 40°, el valor de q_k se determina por 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 1kN/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.
-

2.2.2.2 Reducción de sobrecargas

Para el dimensionado de elementos horizontales la suma de las sobrecargas de una misma categoría de uso que actúen sobre él, puede reducirse al multiplicarla por un coeficiente. Pero para el diseño desarrollado en este proyecto, no ha sido necesario aplicar ningún tipo de reducción por sobrecarga.

2.2.2.3 Acciones sobre barandillas y elementos divisorios

Considera la estructura propia de barandillas, petos, antepechos, miradores, etc. cuyo valor viene tabulado, mostrado a continuación:

Tabla 2.2. Coeficiente reducción sobrecargas

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

2.2.3 Viento

2.2.3.1 Generalidades

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

Este documento resulta útil cuando se estudian localizaciones con una altitud de máximo 2.000 m. Si la altitud del edificio es superior, será necesario recurrir a los datos empíricos disponibles.

Por lo general, los edificios ordinarios no resultan sensibles a los efectos dinámicos del viento. Además, el documento Básico que constituye la normativa, no cubre las edificaciones cuya esbeltez sea superior a 6 metros, sobre las cuales sí debe tenerse en cuenta dichos efectos.

2.2.3.2 Acción del viento

La acción del viento, generalmente, viene definida como una fuerza perpendicular a la superficie expuesta a dicha acción, también puede considerarse una presión estática. Representada por q_e y cuya expresión es:

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

Siendo: q_b la presión dinámica del viento, C_e el coeficiente de exposición y C_p el coeficiente eólico o de presión. Estos tres valores son fundamentales para el cálculo de la acción del viento, a continuación se profundiza al detalle en su cálculo.

✓ Presión dinámica del viento (q_b)

Cuyo valor viene determinado por la localización geográfica donde se ubica la edificación. Para ello se utiliza la siguiente expresión:

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

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

El valor de la densidad del aire depende, entre otros factores, de la temperatura ambiental y de la fracción de agua en suspensión, se ha adoptado $1,25 \text{ kg/m}^3$. Es posible que en emplazamientos con localización muy cercana al mar, debido a la presión atmosférica y la temperatura, la densidad podría ser mayor.

El valor básico de la velocidad del viento corresponde con un valor característico de la velocidad media a lo largo de un periodo de 10 minutos, tomado en una zona plana y desprotegida frente a la acción del viento, con una altura de 10 metros sobre el nivel del suelo. Según el Código Técnico de la Edificación, se divide el territorio en Español en 3 zonas, cuyas

velocidad básicas de viento son, de 0,42 kN/m² para la zona A, 0,45 kN/m² para la zona B, y 0,52 kN/m² en la zona C.

Se pueden localizar las diferentes zonas sobre el siguiente mapa:

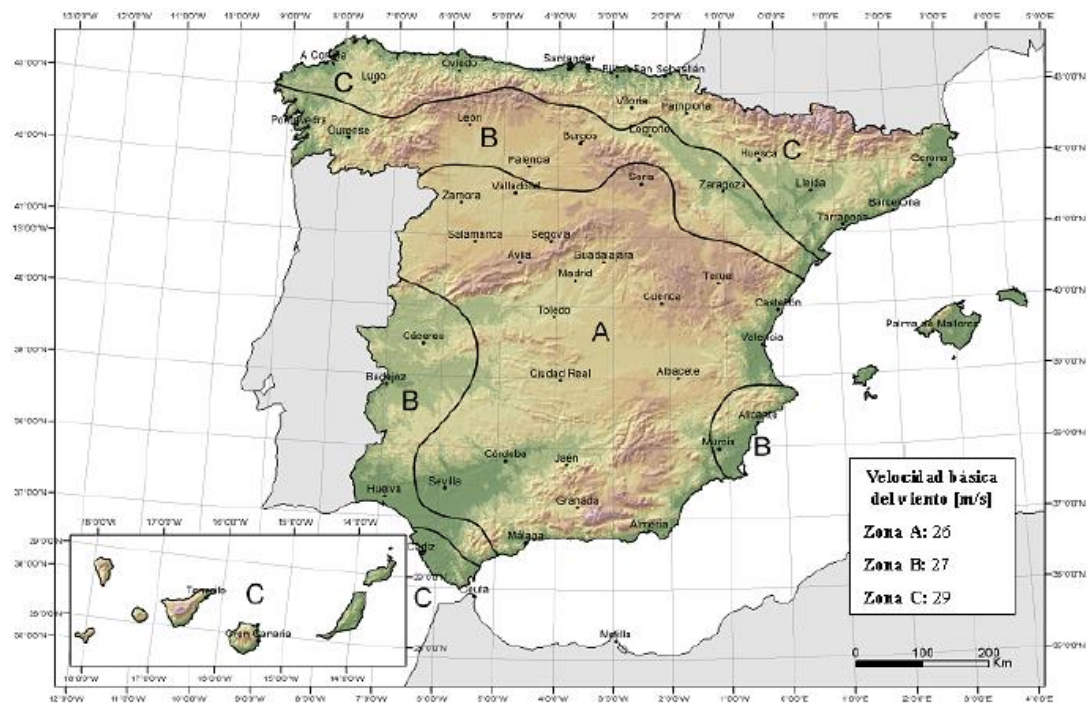


Figura 2.1 Valor básico de la velocidad del viento, V_b

Para comprobaciones de los estados límite de servicio, la velocidad básica indicada en párrafos anteriores puede modificarse con el coeficiente de la Tabla 2.3, donde dependiendo el periodo considerado, toma para esa variable un tiempo igual al periodo de servicio con el que se está proyectando la edificación.

Tabla 2.3. Corrección velocidad básica en función periodo de servicio

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

✓ **Coeficiente de exposición (C_e)**

Valor dependiente de la altura del punto considerado, así como del grado de aspereza del entorno donde se encuentre ubicada la edificación. Aunque a partir de las 8 plantas de altura, se toma un valor fijo de 2.

Para el cálculo de dicho valor de exposición, se deben de tener en cuenta las turbulencias ocasionadas por el relieve y la topografía del terreno. Considerando la altura como la media respecto a la rasante media de la fachada a barlovento. Se utiliza la siguiente tabla para elegir el valor óptimo, para alturas de hasta 30 metros.

Tabla 2.4. Valores del coeficiente de exposición C_e

Grado de aspereza del entorno		Altura del punto considerado (m)							
		3	6	9	12	15	18	24	30
I	Borde del mar o de un lago, con una superficie de agua en la dirección del viento de al menos 5km de longitud	2,4	2,7	3,0	3,1	3,3	3,4	3,5	3,7
II	Terreo 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 negocios 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

Para edificaciones que se encuentren situadas cerca de un acantilado o pendientes escarpadas con ángulos mayores de 40°, dicha altura será medida desde la base de dicho accidente topográfico. En el Código Técnico de la Edificación solo se recogen alturas de acantilado o escarpas inferiores a 50 metros.

Para alturas superiores a 30 metros e inferiores a 200, los valores se obtienen a través de las siguientes expresiones:

$$C_e = F \cdot (F + 7 \cdot k) \quad (3)$$

$$F = k \cdot \ln (\max (z, Z) / L) \quad (4)$$

Siendo k, L, Z parámetros característicos para cada tipo de entorno, según la tabla 2.4:

Tabla 2.5 Coeficiente para tipo 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 5km de longitud	0,156	0,003	1,0
II	Terreo 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 o de presión (C_p)**

Depende de la forma y orientación de la superficie respecto al viento, así como de la situación del punto respecto a los bordes de esa superficie. Indicando un valor negativo, succión.

El coeficiente eólico será diferente si se calcula para edificios de pisos o para naves y construcciones diáfanas, tal y como viene presentado en el Código Técnico de la Edificación. Para este proyecto, tan solo resulta de interés el cálculo del coeficiente para naves industriales, por lo tanto tan solo se va a desarrollar el cálculo para este tipo de edificaciones.

✓ **Coeficiente eólico de naves y construcciones diáfanas**

De esta forma son denominadas las edificaciones sin forjados, que conectan las fachadas. La acción del viento debe individualizarse en cada elemento de la superficie exterior. Cuando en al menos dos de los lados de la edificación (fachada o cubierta) 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 pared libre.

A efectos del cálculo de la estructura, desde el punto de vista de la seguridad, se podrá utilizar la resultante en cada plano de fachada o cubierta. A continuación, se recoge el más desfavorable en cada punto debido a las diferentes direcciones del viento. Para algunos elementos, como correas, paneles de cerramiento o anclajes, sus efectos locales son obtenidos utilizando los valores correspondientes a dicha zona o zonas donde se encuentra ubicado el elemento.

En caso de que la edificación presente grandes huecos, la acción del viento generará tanto presiones externas como internas, sumando estas a las exteriores.

El coeficiente de presión interior, C_{pi} , se considera único en todos los paramentos interiores del edificio que delimitan la zona afectada por la fachada o cubierta donde se ubican los mayores huecos. Para determinar la presión interior, en edificaciones de una única planta, se considera como coeficiente de exposición aquel que corresponde con la altura del punto medio del hueco, a excepción de que exista un hueco dominante, en cuyo caso el coeficiente de exposición será el correspondiente a la altura media de la planta analizada. Para que un hueco sea considerado dominante, su área debe ser al menos diez veces mayor que la suma de las áreas de los huecos restantes.

Para el caso en el cual el área de la abertura de una fachada sea el doble de las aberturas en las fachadas restantes, se tomará $C_{pi} = 0,75C_{pe}$, si es el triple será $C_{pi} = 0,9C_{pe}$, siendo C_{pe} el coeficiente eólico de presión exterior. Pudiéndose interpolar linealmente para los casos intermedios. Y para casos fuera de estas condiciones, se tomarán los valores de la tabla 2.5:

Tabla 2.6. coeficientes de presión interior

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

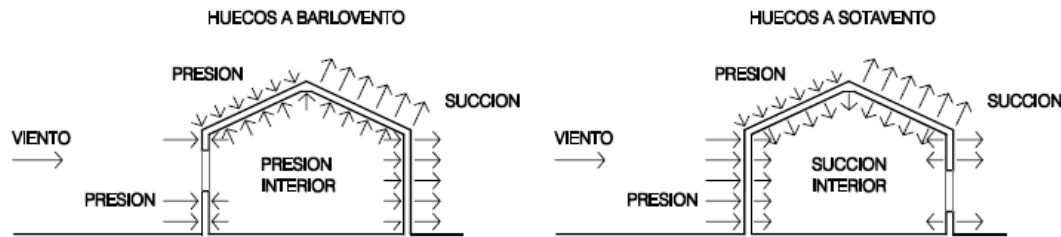


Figura 2.2 Presiones ejercidas por el viento en una construcción diáfana

Tal y como se ha explicado, el coeficiente de presión exterior depende de la dirección relativa del viento, de la forma de la edificación, de la posición del elemento en estudio y de su área de influencia.

Debido a que existen diversas formas simples de construcciones, se consideran en el Código Técnico de la Edificación las situaciones más desfavorables de entre todos los posibles.

Es importante considerar en el procedimiento de cálculo mostrado a continuación. En todos los casos existen diferentes variables, denominadas con letras, cada una de ellas representa el 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 diferente signo, se refiere a que la acción de viento en la zona considerada puede variar de presión a succión, por lo que deben considerarse ambas posibilidades. En todas las tablas puede interpolarse linealmente para obtener valores intermedios de las variables.

Para comprobaciones locales de los elementos que forman la fachada o cubierta, el área de influencia será la propia para cada elemento. Es decir, si la zona tributaria de un elemento abarca dos o más zonas de las establecidas en las tablas, como es el caso de elementos estructurales generales, el uso de los coeficientes tabulados opera del lado de la seguridad, sin realizar duplicidad de los valores de dicha acción de viento.

Sobre elementos cuya área de influencia A , está entre 1 m^2 y 10 m^2 , el coeficiente de presión exterior se puede obtener mediante la siguiente expresión:

$$C_{pe,A} = C_{pe,1} + (C_{pe,10} - C_{pe,1}) \cdot \log_{10} A \quad (5)$$

siendo:

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

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

En caso de construcciones con forma diferente de las recogidas por el CTE, se debe proceder por analogía, es decir, considerando si fuera preciso, 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 normativa EN 1991-1-4, tanto para las formas canónicas no recogidas por el CTE, como para los coeficientes globales de fuerza de las que si están incluidas.

I. Parámetros verticales

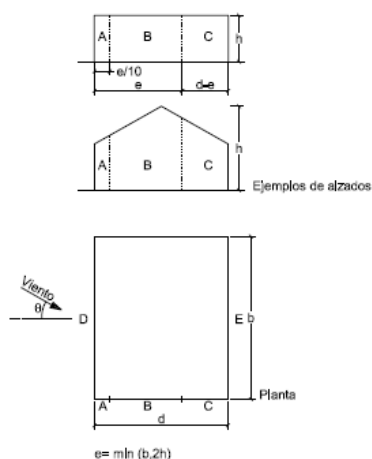


Tabla 2.7. Parámetros verticales

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	-1
	1	"	"	"	"	-1
	$\leq 0,25$	"	"	"	0,7	-1
5	5	-1,3	-0,9	-0,5	0,9	-1
	1	"	"	"	"	-1
	$\leq 0,25$	"	"	"	0,8	-1
2	5	-1,3	-1,0	-0,5	0,9	-1
	1	"	"	"	"	-1
	$\leq 0,25$	"	"	"	0,7	-1
≤ 1	5	-1,4	-1,1	-0,5	1,0	-1
	1	"	"	"	"	-1
	$\leq 0,25$	"	"	"	"	-1

Figura 2.3. Cotas parámetros verticales

II. Cubiertas planas

Tabla 2.8. Datos cubiertas planas

	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
		≤ 1	-2,5	-2,0	-1,2	-0,2
Con parapetos	0,025	≥ 10	-1,6	-1,1	-0,7	0,2
		≤ 1	-2,2	-1,8	-1,2	-0,2
	0,05	≥ 10	-1,4	-0,9	-0,7	0,2
		≤ 1	-2,0	-1,6	-1,2	-0,2
	0,10	≥ 10	-1,2	-0,8	-0,7	0,2
		≤ 1	-1,8	-1,4	-1,2	-0,2

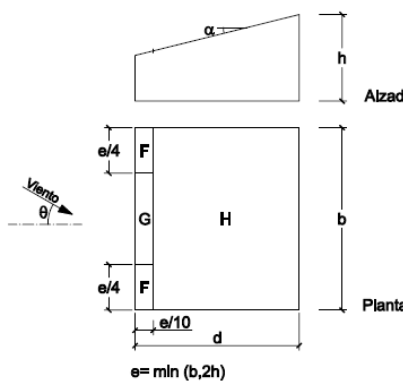
Nota: Se considerarán cubiertas planas aquellas con una pendiente no superior a 5°

Figura 2.4. Cotas cubiertas planas

III. Cubierta a un agua

1. Dirección del viento $-45^\circ \leq \theta \leq 45^\circ$

Tabla 2.9. Datos cubierta a un agua 1

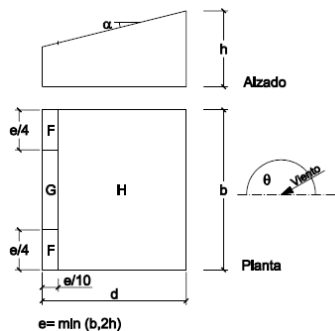


Pendiente de la cubierta α	A (m ²)	Zona (según figura), $-45^\circ < \theta < 45^\circ$		
		F	G	H
5°	≥ 10	-1,7	-1,2	-0,6
	≤ 1	+0,0	+0,0	+0,0
		-2,5	-2,0	-1,2
15°	≥ 10	+0,0	+0,0	+0,0
	≤ 1	-0,9	-0,8	-0,3
		0,2	0,2	0,2
30°	≥ 10	-2,0	-1,5	-0,3
	≤ 1	0,2	0,2	0,2
		-0,5	-0,5	-0,2
45°	≥ 10	0,7	0,7	0,4
	≤ 1	-1,5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

Figura 2.5. Cotas cubierta a un agua 1

2. Dirección del viento $135^\circ \leq \theta \leq 225^\circ$

Tabla 2.10. Datos cubierta a un agua 2

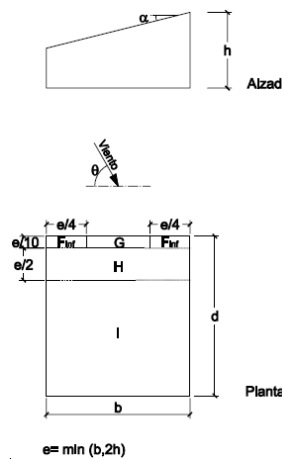


Pendiente de la cubierta α	A (m ²)	Zona (según figura), $135^\circ \leq \theta \leq 225^\circ$		
		F	G	H
5°	≥ 10	-2,3	-1,3	-0,8
	≤ 1	-2,5	-2,0	-1,2
15°	≥ 10	-2,5	-1,3	-0,9
	≤ 1	-2,8	-2,0	-1,2
30°	≥ 10	-1,1	-0,8	-0,8
	≤ 1	-2,3	-1,5	-0,8
45°	≥ 10	-0,6	-0,5	-0,7
	≤ 1	-1,3	-0,5	-0,7
60°	≥ 10	-0,5	-0,5	-0,5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

Figura 2.6. Cotas Cubierta a un agua 2

3. Dirección del viento $45^\circ \leq \theta \leq 135^\circ$

Tabla 2.11. Datos cubierta a un agua 3



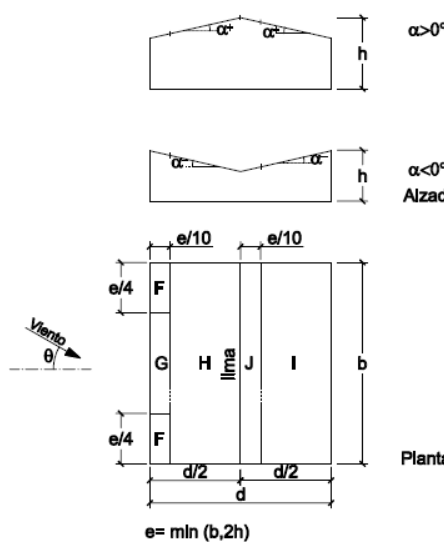
Pendiente de la cubierta α	A (m ²)	Zona (según figura), $45^\circ \leq \theta \leq 135^\circ$				
		F _{inf}	F _{sup}	G	H	I
5°	≥ 10	-2,1	-2,1	-1,8	-0,6	-0,5
	≤ 1	-2,4	-2,6	-2,0	-1,2	-0,5
15°	≥ 10	-1,6	-2,4	-1,9	-0,8	-0,7
	≤ 1	-2,4	2,9	-2,5	-1,2	-1,2
30°	≥ 10	-1,3	-2,1	-1,5	-1,0	-0,8
	≤ 1	-2,0	-2,9	-2,0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

Figura 2.7. Cotas
Cubierta a un agua 3

IV. Cubierta a dos aguas

1. Dirección del viento $-45^\circ \leq \theta \leq 45^\circ$

Tabla 2.12. Datos cubierta 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	0,2	0,2
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	0,7	0,7	0,7	-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

Figura 2.8. Cotas
cubierta dos aguas 1

2. Dirección del viento $45^\circ \leq \theta \leq 135^\circ$

Tabla 2.13. Datos cubierta dos aguas 2

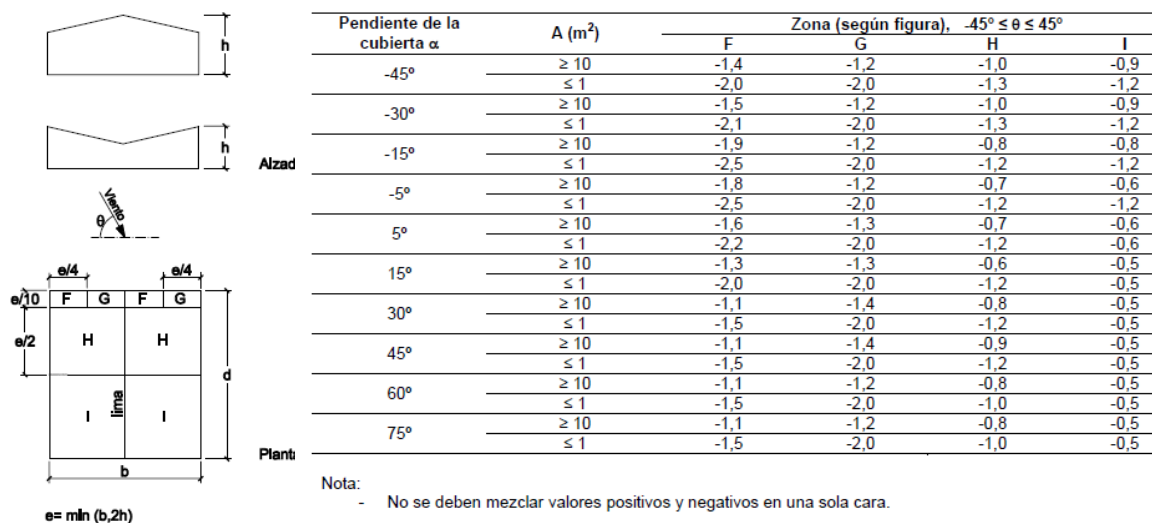


Figura 2.9. Cotas cubierta dos aguas 2

V. Cubierta a cuatro aguas

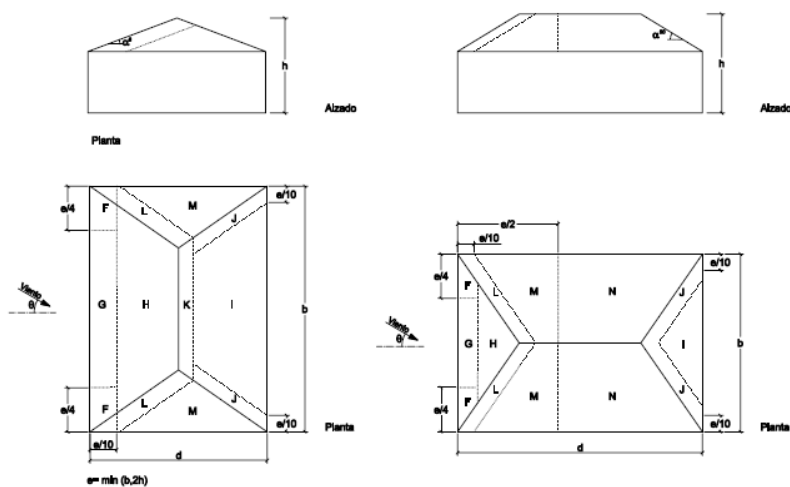


Figura 2.10. Cotas cubierta cuatro aguas

Tabla 2.14. Datos cubierta 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

Nota:

- La pendiente de la cubierta a barlovento resulta dominante para los coeficientes de presión.

2.2.4 Nieve

La distribución e intensidad de la carga de nieve sobre una edificación en conjunto, o sobre una cubierta en particular, depende principalmente de la climatología de la ubicación, tipo de precipitaciones, relieve del entorno, forma del edificio o cubierta, efectos del viento, y los intercambios térmicos en los parámetros exteriores.

En este apartado, se va a considerar además de las hipótesis para el depósito natural de la nieve, posibles acumulaciones debidas a redistribuciones artificiales de la nieve. Además, deben tenerse en cuenta las condiciones constructivas que faciliten la acumulación de nieve.

2.2.4.1 Determinación de la carga de nieve

Los casos de edificios de pisos situados en ubicaciones cuya altitud es inferior a 1.000 metros, es suficiente considerar una carga de nieve de 1 kN/m². Existen otros casos o estructuras ligeras, más sensibles a la carga vertical, cuyos valores se obtienen tal y como se indica a continuación.

Para valor de carga de nieve por unidad de superficie en proyección horizontal, q_m , puede considerarse:

$$q_n = \mu \cdot S_k \quad (6)$$

siendo:

μ el coeficiente de forma de la cubierta.

S_k el valor característico de la carga de nieve sobre un terreno horizontal.

Cuando la edificación se encuentre protegida de la acción del viento, el valor de carga de la nieve podrá verse reducido en un 20%. Sin embargo, si por el contrario se encuentra muy expuesto, el valor deberá aumentarse en un 20%.

Cuando se tienen elementos volados en la cubierta de una construcción cuyas altitudes son superiores a los 1.000 metros, debe considerarse, además de la carga superficial de la nieve, una carga lineal p_n , en el borde del elemento, debida a la formación de hielo, la cual viene dada por la expresión (siendo $k = 3$ metros):

$$P_n = k \cdot \mu^2 \cdot S_k \quad (7)$$

La carga que actúa sobre elementos que impiden el deslizamiento de la nieve, se puede obtener a partir de la cantidad de nieve que pueda deslizarse. Por lo que, a estos efectos, debemos suponer que el coeficiente de rozamiento entra la nieve y la cubierta es nulo.

2.2.4.2 Carga de nieve sobre un terreno horizontal

El valor de la sobrecarga que pueda producirse debido a la nieve sobre un terreno horizontal, S_k , se encuentra tabulado para las diferentes capitales de provincia y ciudades autónomas, en la siguiente tabla 2.14.

Tabla 2.15. 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	0	0,2	Huelva	0	0,2	Salamanca	780	0,5
Almería	0	0,2	Huesca	470	0,7	San Sebastián	0	0,3
Ávila	1.130	1,0	Jaén	570	0,4	Santander	0	0,3
Badajoz	180	0,2	León	820	1,2	Segovia	1.000	0,7
Barcelona	0	0,4	Lérida	150	0,5	Sevilla	10	0,2
Bilbao	0	0,3	Logroño	380	0,6	Soria	1.090	0,9
Burgos	860	0,6	Lugo	470	0,7	Tarragona	0	0,4
Cáceres	440	0,4	Madrid	660	0,6	Tenerife	0	0,2
Cádiz	0	0,2	Málaga	0	0,2	Teruel	950	0,9
Castellón	0	0,2	Murcia	40	0,2	Toledo	550	0,5
Ciudad Real	640	0,6	Ourense	130	0,4	Valencia	0	0,2
Córdoba	100	0,2	Oviedo	230	0,5	Valladolid	690	0,4
Coruña	0	0,3	Palencia	740	0,4	Vitoria	520	0,7

Cuenca	1.010	1,0	Palma de Mallorca	0	0,2	Zamora	650	0,4
Gerona	70	0,4	Palmas	0	0,2	Zaragoza	210	0,5
Granada	690	0,5	Pamplona	450	0,7	Ceuta y Melilla	0	0,2

Para ver los valores de otras localidades, se pueden deducir a partir del Anejo E, DB SE-AE, del CTE, en función de la zona y de la altitud topográfica del emplazamiento donde se ubica la edificación.

En caso de tener una localización donde la altitud sea superior a la tabulada en el anejo citado anteriormente, será necesario recurrir a los valores indicados por la ordenanza municipal, siempre y cuando exista, si no, se utilizarán datos empíricos.

El peso específico de la acumulación de nieve es muy variable, dependiendo del tipo de nieve que se este analizando. Para nieve recién caída, se utiliza $1,2 \text{ kN/m}^2$, para nieve prensada o empapada es 2 kN/m^2 , mientras que para nieve mezclada con granizo se usa 4 kN/m^2 .

2.2.4.3 Coeficiente de forma

La nieve puede venir acompañada de viento, lo que produce un depósito irregular de la misma sobre las cubiertas. Es decir, el espesor de la capa de nieve puede ser diferente para cada faldón. Para determinar el coeficiente de forma de cada uno de ellos, se aplican de forma sucesiva una serie de reglas.

Si el faldón está limitado inferiormente por cornisas o limatesas, y no existe impedimento al deslizamiento de la nieve, el coeficiente toma el valor de 1 para cubierta cuya inclinación es menor o igual a 30° , y 0 para cubiertas cuya inclinación es igual o mayor a 60° . Para valores intermedios se realiza una interpolación. Sin embargo, si existe algún tipo de impedimento, se tomará el valor de 1, independientemente de cual sea la inclinación de la cubierta. En caso de tener una limahoya en su parte inferior, supondrá un análisis específico para ello, pero este caso no se presenta en el diseño de este proyecto.

Se deben considerar las diferentes distribuciones asimétricas de la nieve, debidas al transporte de la misma por el efecto del viento. Se reduce a la mitad el coeficiente de forma en las partes en que la acción sea favorable.

2.3 Fundamentos Teóricos

A continuación se van a comentar resumidamente los principales fundamentos teóricos necesarios de conocer a la hora de analizar el dimensionamiento de los elementos que constituyen la estructura de la nave industrial. Aunque este dimensionamiento será realizado mediante el software Autodesk Robot Structural Analysis Profesional 2020, se basa en los procedimientos desarrollados en la EAE, Instrucción de Acero Estructural [2].

Los componentes de la estructura diseñada en este proyecto son analizados respecto al control de su sección y el control de su estabilidad, de forma individual para cada elemento.

Las comprobaciones mencionadas están basadas en la EAE [2], la cual ha sido desarrollada a partir del Eurocódigo. Entre sus diferencias, una de ellas consiste en el método final para determinar el esfuerzo, ya que mientras la EAE realiza una diferencia de esfuerzos, entre el obtenido y el crítico para dicha sección, el Eurocódigo realiza el cociente entre ambos, con un resultado igual o menor a uno.

2.3.1 Control de sección

El control de sección consiste en analizar la capacidad resistente de todas las secciones transversales de las vigas o pilares que componen la estructura, es decir, todos los elementos que constituyen la edificación. En el caso de este proyecto, la nave industrial.

Se calculan los diferentes esfuerzos que ocurren a lo largo de los elementos, y se analizan aquellas secciones donde ocurren algunos de los esfuerzos máximos, con los restantes de la misma sección.

Se selecciona el valor de mayor magnitud para cada uno de los esfuerzos analizados. Y una vez obtenidos, se revisan todas las comprobaciones estipuladas en la EAE, comprobando de manera individual si se produce compresión, flexión o cortante. E igual de forma combinada.

Las comprobaciones a realizar son las siguientes:

- Esfuerzo axial de tracción
- Esfuerzo axial de compresión
- Momento flector
- Esfuerzo cortante
- Torsión
- Interacción de esfuerzos
 - ✓ Flexión y cortante
 - ✓ Flexión y esfuerzo axial
 - ✓ Flexión, cortante y esfuerzo axial

Todas las comprobaciones viene desarrolladas matemáticamente en el Artículo 34 de la EAE [2].

2.3.2 Control de estabilidad

Una vez obtenida la capacidad resistente de la sección de cada elemento, se realiza el control de estabilidad. El cual consiste en comprobar si debido a los esfuerzos bajo los que está sometido el elemento, y considerando las dimensiones del mismo, tanto como esbeltez y condiciones de sustentación que lo definen, las cuales podrían ser empotramiento, articulación, etc. se produce algún tipo de inestabilidad.

Para realizar dicha comprobación, se analiza el pandeo, que viene producido por la compresión, o el pandeo lateral, que viene producido por la flexión. También se comprueba la combinación de la flexión y un el axil de compresión, denominado flexo – compresión. Además de otros fenómenos como abolladura del alma, pandeo a torsión, flexo – torsión, etc.

Todas las comprobaciones realizadas en el análisis del control de estabilidad sobre un elemento, realizadas según el EAE [2], son las siguientes:

- Elementos sometidos a compresión
- Elementos sometidos a flexión
- Elementos sometidos a compresión y flexión
- Elementos planos rigidizados longitudinalmente
- Abolladura del alma a cortante
- Resistencia del alma a cargas concentradas transversales
- Interacción
- Abolladura del alma inducida por el ala comprimida
- Rigidizadores

Todas las comprobaciones viene desarrolladas matemáticamente en el Artículo 35 de la EAE [2].

2.4 Autodesk Robot Structural Analysis Professional simulador de viento

El software Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2020 es el elegido para realizar el diseño de la nave industrial, las cargas aplicadas al mismo, y las simulaciones de viento. Debido a que este software cuenta con un módulo de simulación de viento que permite a los usuarios diseñar cargas de viento en un túnel de viento virtual.

Cuenta con una interfaz intuitiva que permite aplicar flujos de viento a cualquier estructura y conseguir sus resultados muy rápido, los cuales permiten visualizar las presiones sobre las superficies o cargas de viento aplicadas. Permitiendo posteriormente un análisis en detalle de sus resultados, así como un dimensionamiento de los elementos que constituyen la estructura.

Calcula modelos simples o complejos, mediante el método de elementos finitos. Con sus herramientas para auto – mallado de elementos finitos, algoritmos no lineales, y una amplia colección de normas de diseño internacionales de acero, madera y hormigón. Análisis por el método de elementos finitos (MEF).

El programa incluye una herramienta dinámica de fluidos computacional (CFD), aplicable a todos los tipos de estructuras, que permite a los usuarios someter rápidamente sus modelos a un flujo de viento simulado alrededor de una estructura y generar automáticamente las cargas de viento.

Las herramientas de viento ofrecidas por este software, permiten testar los efectos del viento de una forma rápida. Tan solo es necesario definir la dirección y velocidad del viento (velocidad constante o un perfil de capa límite), o presión. Además, permite una modificación de los datos de forma rápida, así como obtener todas las casuísticas que se quieran. También se puede especificar el nivel del suelo, y los elementos que están expuestos al viento.

En práctica, el simulador del túnel de viento del software permite al usuario la visualización de mapas de presiones sobre las superficies y sus contornos, produciendo como resultado las cargas de viento aplicadas sobre la estructura en estudio.

Autodesk ha realizado un estudio [2] donde compara la precisión de las simulaciones del software en comparación con un túnel de viento real. También se analizó la influencia del tiempo de simulación sobre los resultados finales.

Para una geometría estructural específica, se aplicaron las mismas cargas de viento en un túnel de viento real, y en una simulación de viento con el software. Los resultados obtenidos son muy parecidos, aunque existen áreas en barlovento o sotavento donde los resultados de viento simulados presentan pequeñas diferencias, es decir, hay valores de presión un poco mayores o menores en ubicaciones muy específicas.

Sin embargo, estas pequeñas variaciones pueden ser corregidas mediante un refinamiento de la malla. Aunque si se quiere refinar la malla, los cálculos para ellos se complican, lo cual requiere mucho tiempo y mayores conocimientos de mallado, lo cual

supone un punto contrario respecto al objetivo inicial del software de obtener resultados para simulaciones de viento lo más rápido posibles.

Por otra parte, un incremento de los tiempos de simulación permite una mayor precisión de los resultados. Uno de los parámetros disponibles para modificar por el usuario al diseñar la simulación es el **factor de desviación para la generación de cargas**.

Dicho factor ha sido desarrollado y optimizado para la casuística de este proyecto en el apartado 6.2.1.

Cuanto más pequeño se ajuste este valor, significa que se pide al software una mayor precisión en la convergencia de los resultados, lo cual supone un mayor tiempo de cálculo. En los resultados obtenidos mediante las pruebas realizadas por Autodesk, se consiguen pequeñas mejoras con valores más precisos tanto en barlovento como en sotavento.

A continuación, se muestra la comparativa entre los resultados del túnel de viento, la simulación con un factor de desviación de la generación de cargas del 0,5% (valor por defecto del software) y uno del 0,2%. Para el factor de desviación por defecto el tiempo de simulación de la estructura es de 12.89 segundos (gráfica roja), mientras que para el factor de desviación con valor 0.2%, el tiempo correspondiente es de 24 segundos (gráfica azul).

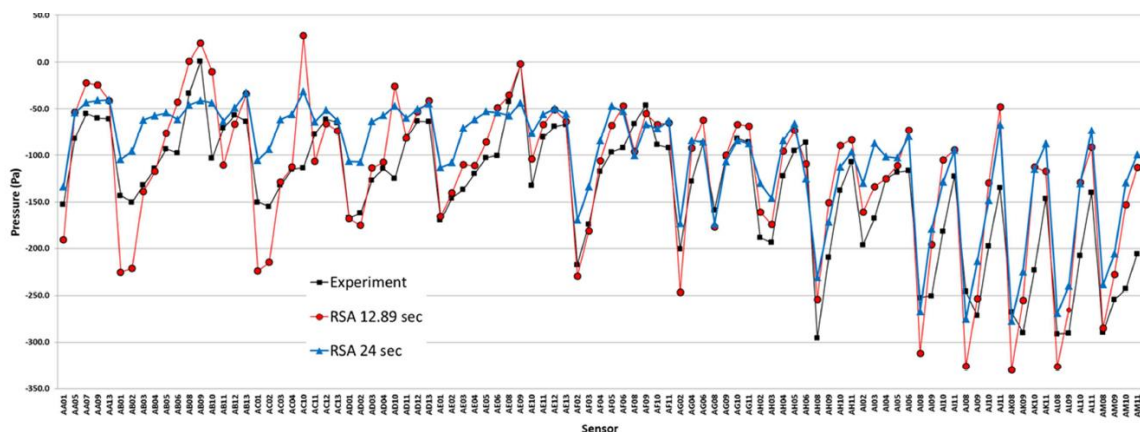


Figura 2.11. Comparativa factor de desviación para la generación de cargas de viento mediante simulación en Autodesk Robot Structural Analysis

Se puede apreciar la pequeña mejora de los resultados, aunque sigue estando lejos de la realidad en determinados puntos. Estos resultados tan solo son para una de las caras de la edificación en estudio, ocurre lo mismo para el resto de caras.

3. Comparativa CTE y Eurocódigo

3.1 Introducción

El análisis de esta comparativa ha sido obtenido del Informe de la Construcción Vol. 64, 527, 381.390, julio-septiembre 2012.

Este análisis comparativo ha sido incluido ya que resulta de vital importancia conocer la situación del Código Técnico de la Edificación, en comparación con el Eurocódigo, debido a las diferentes modificaciones que se han hecho de esta normativas con el transcurso de los años. Pudiendo analizar correctamente los diferentes resultados que se obtienen a los largo de este proyecto. Así como poder identificar el origen de los mismos y valorar si benefician a la seguridad de la edificación o no.

En 1975 se inician los trámites para desarrollar el programa de Euro códigos, mediante el cual se elaboraría un extenso paquete normativo para el proyecto de estructuras. Entre los principales objetivos de este programa, se encuentra incluida la acción del viento en el “Eurocódigo 1: Acciones en estructuras. Parte 1-4: Acciones generales. Acciones de viento” o EC-1.

A nivel internacional, en cuanto a cargas de viento, el Eurocódigo se ha posicionado como una de las normas más avanzadas frente a otras como la americana ASCE 7, la canadiense NBCC o la japonesa AIJ.

Como fase final del proyecto Euro códigos, todas las normas nacionales técnicamente divergentes debían anularse antes de finales de marzo de 2010. En esta línea, a nivel nacional se publicó en 2006, el Código Técnico de la Edificación o CTE, actualizado por última vez en 2009 según la Orden VIV/984/2009, BOE 23 de abril de 2009, que supuso una destacada evolución respecto a la normativa anterior, la Norma Básica de la Edificación – Acciones en la Edificación de 1988.

En este apartado, se expone un análisis comparativo orientado, desde un punto de vista práctico, mediante el cual se analizan las posibles diferencias detectadas en el CTE respecto a EC-1, en lo referido a la obtención de la acción del viento.

3.2 Formulación de la fuerza del viento

La formulación usada en el CTE tiene su origen en los métodos desarrollados en el EC-1.

La fuerza global actuante sobre una estructura se define según la siguiente expresión (según EC-1) :

$$F_V = C_S \cdot C_d \cdot q_P \cdot (Z_e) \cdot c_p \cdot A_{ref} \quad (8)$$

factor estructural C_S C_d cuantifica el efecto, en las acciones de viento, de la ocurrencia no simultánea de picos de presión sobre la superficie (C_S factor de escala) así como de las vibraciones estructurales motivadas por la turbulencia del flujo (C_d factor dinámico).

La presión dinámica de pico $q_p(z)$ se puede expresar como el producto entre la presión dinámica básica y el coeficiente de exposición.

$$q_p(z) = C_e(z) q_b = C_e(z) (1/2 \rho v_b^2) \quad (9)$$

coeficiente de exposición relaciona la presión dinámica básica (sólo dependiente del clima de la zona) con la presión dinámica de pico o de cálculo, dependiente de la rugosidad del terreno (C_t), de la topografía de la zona (C_0) y de la turbulencia del viento (I_v).

$$C_e(z) = \frac{q_p(z)}{q_b} = \frac{[1+7I_v(z)][\frac{1}{2}\rho v_m^2(z)]}{(\frac{1}{2}\rho v_b^2)} = \left\{ k_r^2 \left[\ln^2\left(\frac{z}{z_0}\right) + 7 \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) \right] \right\} \quad (10)$$

Siendo ρ la densidad del aire, I_v la intensidad de la turbulencia, y $V_m(z)$ la velocidad media del viento a una altura Z . Dichos valores se obtienen a través de la siguientes expresiones:

$$I_v(z) = \frac{k_z}{\ln\left(\frac{z}{z_0}\right) C_0(z)} \quad (11)$$

$$V_m(z) = C_r(z) \cdot C_0(z) \cdot V_b \quad (12)$$

Siendo $V_b = C_{dir} \cdot C_{season} \cdot V_{b,0}$

Donde k_z es el factor de turbulencia, Z_0 la longitud de rugosidad, V_b la velocidad básica de referencia del viento (independiente de la altura), k_r es el factor del terreno, y $V_{b,0}$ el valor fundamental de la velocidad básica del viento.

factor direccional (C_{dir}) y el estacional (C_{season}) consideran la influencia de la orientación respecto al viento de la edificación y la estacionalidad de la estructura.

Por lo tanto, la expresión de la fuerza del viento resulta:

$$F_V = C_s C_d \left\{ k_r^2 \left[\ln^2\left(\frac{z}{z_0}\right) + 7 \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) \right] \right\} \left(\frac{1}{2} \rho v_b^2 \right) C_p A_{ref} \quad (13)$$

Mientras que, en el CTE, la carga de viento F que actúa sobre una estructura se cuantifica a partir de la siguiente expresión:

$$F_V = C_e \cdot q_b \cdot C_p \cdot A \quad (14)$$

Siendo C_e el coeficiente de exposición, y F el factor de rugosidad, ambos se obtienen a partir de las ecuaciones [3] y [4].

Si se agrupan las ecuaciones, resulta:

$$F_V = \left\{ k^2 \left[\ln^2\left(\frac{z}{L}\right) + 7 \ln\left(\frac{z}{L}\right) \right] \right\} \left(\frac{1}{2} \rho v_b^2 \right) C_p A \quad (15)$$

Por lo que si realiza una comparación de ambas normativas, se presenta:

Tabla 3.1. Fuerza del viento

	Presión dinámica básica del viento	Coefficiente de exposición	Coefficiente de arrastre	Área expuesta al viento	Efectos dinámicos y de escala
EC-1	$\left(\frac{1}{2}\rho v_{b,0}^2\right)$	$k_r^2 \left[\ln^2 \left(\frac{z}{z_0} \right) + 7 \ln \left(\frac{z}{z_0} \right) \right]$	C_p ó C_f	A_{ref}	$C_s C_d$
CTE	$\left(\frac{1}{2}\rho v_b^2\right)$	$k^2 \left[\ln^2 \left(\frac{z}{L} \right) + 7 \ln \left(\frac{z}{L} \right) \right]$	C_p	A	-

El factor de efectos dinámicos y de escala no se utilizan en el CTE, es decir, se considera implícitamente un valor de unidad para ellos. De esta forma, queda fijado un nivel estándar de influencia de estos esfuerzos. Esto puede penalizar el valor de la fuerza del viento, en ciertos casos, ya que en ocasiones $C_s C_d$ es inferior a la unidad.

3.3 Rugosidad del terreno

La rugosidad del terreno permite obtener, en función del terreno, la carga de viento sobre la edificación o elemento estructural. Dicha rugosidad, viene caracterizada por el valor de la longitud de rugosidad Z_0 , modificando el perfil de velocidades a bajar alturas en función de la cantidad de obstáculos presentes.

El Eurocódigo define la siguientes cinco categorías:

Tabla 3.2. Parámetros terreno según categorías EC-1

Nombre categoría	Descripción del terreno	Z_0	Z_{min}
Categoría 0	Mar abierto o zona costera expuesta al más abierto.	0,003	1
Categoría I	Lagos o áreas planas y horizontales con vegetación despreciable sin obstáculos.	0,01	1
Categoría II	Áreas con vegetación baja (hierba) y obstáculos aislados, con separación mayor de 20 veces la altura de los obstáculos.	0,05	2

Categoría III	Áreas con cobertura de vegetación uniforme o edificación con obstáculos aislados de separación máxima 20 veces la altura de los obstáculos.	0,3	5
Categorías IV	Áreas en las que al menos un 15% de la superficie está cubierta por edificios cuya altura media supera los 15 m.	1	10

Para el CTE, las categorías también son llamadas grados de aspereza, también son cinco categorías, pero en esta ocasión van numeradas de I a V.

Tabla 3.3. Parámetros terreno según categorías CTE

Nombre categoría	Descripción del terreno	Z_0	Z_{min}	k
Categoría 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.	0,003	1	0,156
Categoría II	Terreno rural llano sin obstáculos ni arbolado de importancia.	0,01	1	0,17
Categoría III	Zona rural accidentada o llana con algunos obstáculos aislados, como árboles o construcciones pequeñas.	0,05	2	0,19
Categoría IV	Zona urbana en general, industrial o forestal.	0,3	5	0,22
Categoría V	Centro de negocios de grandes ciudades, con profusión de edificios en altura.	1	10	0,24

Las categorías para los grados de aspereza adoptadas por el CTE, proceden del EC-1. Aunque se han modificado las descripciones de estas para ajustarse al ámbito edificatorio. Pero estas nuevas descripciones, en ocasiones, pueden ocasionar incongruencia en su interpretación subjetiva. Por ejemplo, para una “Zona urbana en general” (Categoría IV del CTE), fácilmente puede ser un “Área en la que al menos un 15% de la superficie esté cubierta por edificios cuya altura media supera los 15 metros” (Categoría IV en el EC-1), por lo que se estaría haciendo una caracterización distinta del mismo entorno y, por lo tanto, se obtendrían resultados diferentes para unos valores finales de la carga de viento.

El coeficiente que considera estos efectos es el factor de rugosidad, denominado C_r en el EC-1 y con F en el CTE.. Ambos dependen de Z_0 , Z_{min} y del factor del terreno, denominado k_r para EC-1 y como k en el CTE. La diferencia entre ellos es, que este factor solo se puede calcular explícitamente en EC-1, mientras que en el CTE se encuentra tabulado (Tabla 2.5).

3.4 Velocidad referencia del viento

La velocidad de referencia del viento depende del clima de cada región, es un elemento característico agrupado en diferentes categorías, según cada zona.

Cada normativa categoriza de diferentes formas las velocidades del territorio. En el caso del CTE, el mapa de velocidades de referencia del viento se divide en tres regiones (Figura 2.1), cuyas velocidades son 26, 27 y 29 m/s.

Para cuantificar la precisión de estos perfiles de velocidad, se compararán con los datos oficiales de la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET).

Para comparar dichos valores, primero se elige una región concreta del territorio, posteriormente se eligen las estaciones meteorológicas que proporcionen una velocidad máxima media del viento en 10 min, y con un tamaño muestral menos de 10 años. Y por último, se eligen las distribuciones estadísticas que mejor se ajusten al comportamiento de las tormentas de viento.

Dado que el análisis profundo de dicha comparación no es el objetivo de este proyecto, se procede a presentar los resultados de ambos valores de velocidades, de forma que se puede apreciar la magnitud y posición de los perfiles de velocidades según el CTE en comparación con los datos reales del terreo. Se ha utilizado el análisis del viento realizado por el estudio [3], para mostrar en un caso real la teoría desarrollada, han elegido la región de Murcia:

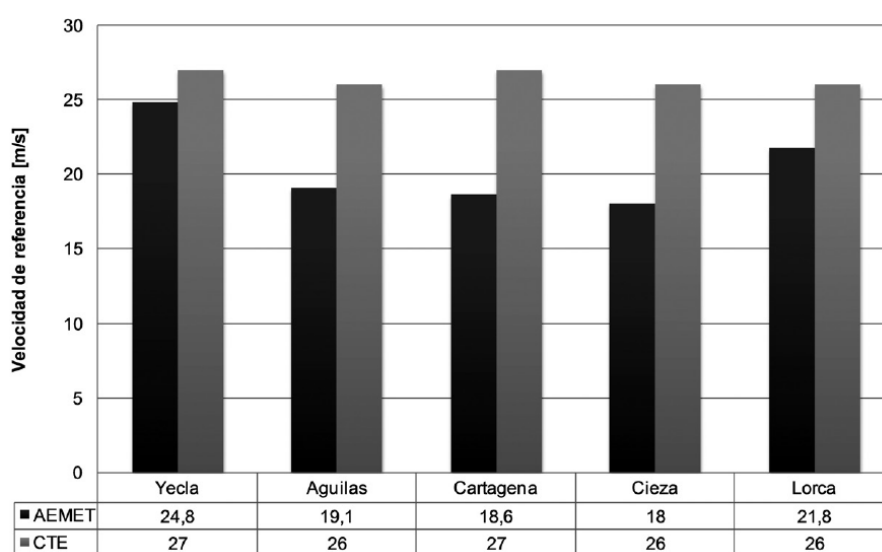


Figura 3.1. Comparativa velocidades

Como se puede apreciar, los valores propuestos por el CTE son conservadores respecto a los obtenidos mediante las mediciones en las estaciones, AEMET. Lo cual indica que aunque se haya realizado una simplificación significativa del mapa de viento, los valores elegidos por el CTE se encuentran desde el lado de la seguridad en el dimensionamiento de las edificaciones frente a dichas cargas.

3.5 Coeficiente de exposición

Según el EC-1, el coeficiente de exposición se ha definido utilizando los valores del factor del terreno redondeado al cuarto decimal. Para valores desde $z = 0$ hasta $z = 100$ m. Dicho coeficiente se presenta en una gráfica para las cinco categorías definidas por el Eurocódigo, se muestra en la Figura 2.12.

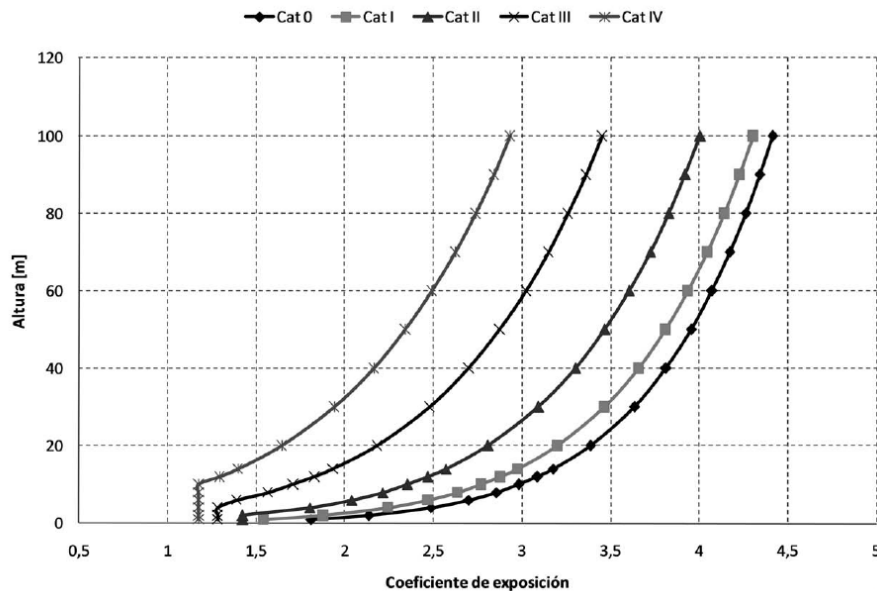


Figura 3.2. Coeficiente exposición en función de la altura

Cuando se combina el coeficiente de exposición con la presión dinámica básica, y en función de las dimensiones relativas del edificio analizado, el apartado 7.2.2 del EC-1 propone distintas distribuciones del perfil de presiones. El valor de la altura de referencia Z_e es diferente para cada caso, y depende del tramo de elevación al que se aplique, disminuyendo la carga de viento sobre la fachada respecto al perfil uniforme utilizado en el CTE.

Según el CTE, para calcular el valor del coeficiente de exposición, se hace exactamente igual al EC-1, con la excepción de la altura de referencia Z_e , ya que esta es constante para cualquier valor de Z e igual a la altura total del edificio.

El CTE no aporta, a diferencia del EC-1, una expresión para obtener el valor de k , si no que se presenta tabulada en la Tabla 2.16, con cuatro de sus cinco valores redondeados al segundo decimal. El valor correspondiente al apartado V, está redondeado por exceso, cuando debería ser por defecto.

Para obtener el valor del coeficiente de exposición según el CTE, hay dos posibles métodos: (i) empleando las expresiones [3] [4], o (ii) utilizando la Tabla 2.3 (cuyos valores son válidos para unas alturas de hasta 30 metros).

Si se comparan los resultados obtenidos para el coeficiente de terreno K según el CTE y el EC-1 (redondeado a 4 y a 2 decimales) se obtiene:

Tabla 3.4. Factor k del terreno, CTE y CE-1

CTE	EC-1	Factor del terreno (k)		
		CTE	EC-1 (4 decimales)	EC-2 (2 decimales)
I	0	0,156	0,1560	0,16
II	I	0,17	0,1697	0,17
III	II	0,19	0,1900	0,19
IV	III	0,22	0,2154	0,22
V	IV	0,24	0,2343	0,23

Para comprobar la situación de los valores obtenidos mediante el CTE en comparación con el EC-1, se obtienen las diferencias porcentuales del coeficiente de exposición de cada categoría, en función de las diferentes alturas. Se han estudiado tres alturas diferentes, correspondientes con las típicas construcciones (nave industrial, edificio de 5 plantas y edificio de 25 plantas):

Tabla 3.5. Incremento porcentual coeficiente exposición CTE respecto EC-1

Descripción categoría terreno	CTE	EC-1	Nave	Edificio	Edificio
			industrial h=6m	5 plantas h=17,5m	25 plantas h=100m
Borde de mar (1)	I	0	0,00	0,00	0,00
Terreno rural llano Sin obstáculos aislados (2)	II	I	0,35	0,35	0,35
Zona rural con Obstáculos aislados (3)	III	II	0,00	0,00	0,00
Superficie boscosa, Pequeña zonas urbanas (4)	IV	III	4,32	4,32	4,32
Centro de grandes ciudades (5)	V	IV	4,92	4,92	4,92

Las escasas diferencias surgidas por el CTE se deben al número de decimales utilizado en la obtención del factor del terreno k y al hecho de redondear por exceso la categoría V del CTE en lugar de por defecto.

3.6 Presión dinámica de cálculo

Las expresiones de la presión dinámica de cálculo son iguales para ambas normativas, ecuación (8). Tanto la velocidad de referencia como el coeficiente de exposición que aparecen en la expresión, están referenciados a la rugosidad del terreno. De manera que, comparando los valores entre el EC-1 y el CTE, se obtienen los mismos resultados que los obtenidos en la Tabla 2.18.

3.7 Coeficiente de presión exterior

Ambas normativas presentan los mismos valores como coeficientes de presión que afectan a todas las superficies exteriores de la construcción. Cada valor definido por su superficie particular, y dependiendo de su valor de área del elemento indicado. Aunque el CTE no contempla la reducción de hasta un 15% como máximo de las fuerzas sobre parámetros verticales a barlovento y a sotavento debido a la falta de correlación de presiones.

3.8 Factor estructural $C_s C_d$

Este factor, solo aparece en EC-1, se utiliza para considerar los efectos dinámicos del viento. Sus valores están comprendidos entre 0,85 (para estructuras de altas frecuencias, con rachas no sostenidas) y 1,15 (para bajas frecuencias, con rachas continuas), aunque de forma simplificada se toma el valor unidad para la mayoría de los casos. Así es como lo considera el CTE.

3.9 Conclusiones

El Código Técnico de la Edificación se fundamenta, principalmente, en los mismos métodos y formulaciones para cuantificar las cargas de viento que el Eurocódigo. Sin embargo, se han encontrado ciertas divergencias en la aplicación de los métodos desarrollados por la norma europea, principalmente son simplificaciones que producen variaciones de las cargas finales de viento.

- Las categorías V del CTE y IV del EC-1 son equivalente, ya que ambas tienen la misma caracterización matemática, pero su descripción es diferente, lo cual podría llevar a diferentes interpretaciones de su definición.
- Los efectos dinámicos $C_s C_d$ considerados del valor de la unidad en el CTE, podría suponer una reducción de la carga del viento de entre un 3 y un 11,5%, dependiendo de la edificación analizada.
- Para una edificación cuya altura corresponda con $h > 2b$, siendo h la altura total y b la base de la fachada sobre la que incide el viento, el cálculo del coeficiente de exposición, produce un perfil de altura de referencia no uniforme con la altura, incrementando la carga del viento del CTE más de un 10% respecto al del EC-1.

- El valor de los perfiles de velocidades de referencia establecidos por el CTE, presentan una variación respecto un análisis exhaustivo del terreno, usando estaciones de viento.
- Sería conveniente proporcionar el factor del terreno k del CTE redondeado al cuarto decimal, ya que redondeado al segundo decimal, produce variaciones respecto del EC-1 en las categorías IV y V. Respectivamente de 4,32% y del 4,92%.

El análisis profundo de estas comparaciones no es objetivo principal de este proyecto, pero es importante conocer la variación del CTE respecto el EC-1. Podrían encontrarse unas variaciones de hasta un 20% en los pilares de la nave industrial que se estudia.

4. Requisitos del sistema

Se recuerda que los objetivos de este proyecto son las comparación de las acciones del viento con cargas obtenidas del CTE frente a las cargas obtenidas por la simulación del software. Por lo tanto el diseño de la nave industrial debe favorecer la obtención de resultados objetivos, es decir, se evitará durante el diseño el uso de elementos que puedan generar cargas adicionales sobre la estructura.

Sin embargo, si se consideran determinadas acciones permanente o de nieve, imprescindibles para obtener unos resultados reales.

A continuación, se realiza un diseño de todos los elementos que componen la nave industrial, así como todas las cargas que actúan sobre ella, y por último unos cálculos de resultados, comparación de los mismos entre ambos casos y dimensionamiento de cada modelo.

4.1 Tipo de cubierta

Entre los tipos de cubierta recogidos en el CTE, es necesario centrar el análisis específicamente en un modelo, y usar dicha elección con unas dimensiones fijas, como objeto de análisis para la comparación de los resultados obtenidos sobre la misma ante diferentes situaciones de carga.

Entre los tipos, se encuentran: cubierta a un agua, cubierta a dos aguas, cubierta a cuatro aguas, cubierta en dientes de sierra y cubierta múltiple. Siendo la elección de este proyecto, la cubierta a dos aguas, debido a que este diseño es el más utilizado, por lo tanto los resultados de este proyecto tendrán una mayor relación de uso a futuro.

Las dimensiones de la cubierta vendrán definidas por la geometría de la estructura, siendo las dimensiones en el plano horizontales iguales a la anchura y longitud de la nave industrial. La altura de la cubierta, así como el ángulo de inclinación de la misma, depende de la altura existente entre los pilares y la cumbrera.

El material de la cubierta depende tanto de factores externos, como son; la calefacción solar, el ruido que pueda generar la lluvia o el granizo, y la carga de viento o nieve. Como de factores internos, como: humedades por condensación de vapor de agua en la pared o techo, corrientes de aire dentro del edificio, exceso de calor o frío en la edificación, o el ruido que se genere con la maquinaria. Estos son solo algunos posibles factores, pero dependiendo del uso y ubicación de la nave, dichos factores pueden ser muy diferentes. Por lo tanto, no es material de este proyecto el análisis del tipo de cubierta a elegir. Simplemente será considerado un peso propio medio que represente la influencia de la cubierta, independientemente de su composición interna.

4.2 Dimensiones estructura

Las dimensiones que se han utilizado para el diseño de la estructura de la nave industrial son:

Tabla 4.1. Dimensiones nave industrial

Dimensión	Valor
Longitud nave	35 m
Longitud vanos	5 m
Altura pilares	8 m
Altura total	10 m
Cumbrera	2 m
Luz pórtico	20 m
Ángulo cubierta	11.31°

A la hora de establecer las dimensiones de la estructura, se ha tenido en cuenta evitar el uso de juntas de dilatación. Ya que para longitudes de nave superiores a 40 metros, en ocasiones, es necesario el uso de un pórtico doble con junta de dilatación incorporada. Por lo que con una longitud de 35 metros, existe margen suficiente para evitar el uso de dichos elementos.

La estructura estará compuesta por 22 pilares y 16 vigas principalmente. Dividida por vanos de 5 metros en todas su caras. Con el objetivo de arriostrar la estructura, mejorando su rigidez y resistencia, se han añadido 32 vigas de San Andrés, 15 vigas de atado y cartelas donde han sido necesarias.

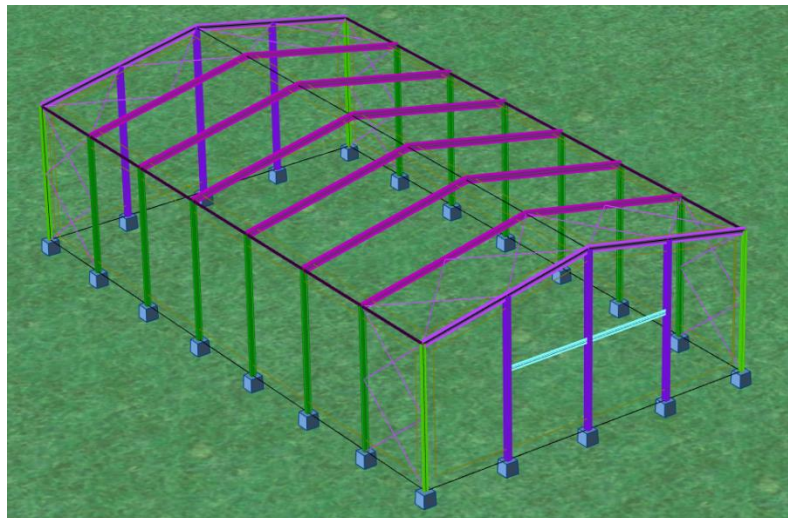


Figura 4.1. Estructura cubierta a dos aguas

4.3 Ubicación edificación

Debido a que este proyecto se centra en los efectos de las cargas del viento sobre una nave industrial, se ha considerado apropiado la elección de una ubicación que ofrezca unas condiciones de viento lo suficientemente fuertes como para obtener unos resultados lo más significativos posibles.

Según el Código Técnico de la Edificación, la velocidad de referencia del viento sobre el territorio Español viene definida por el mapa de la Figura 2.1.

Se ha seleccionado una ubicación en Zona C, entre ellas ha sido: Tarifa, Cádiz. Emplazamiento característico por sus fuertes ráfagas de viento en determinadas estaciones de año, donde resulta de vital importancia un estudio de las cargas del viento sobre cualquier edificación, frente a los efectos de otro tipo de cargas.

Si revisamos el histórico de datos recogido por el AEMET [1] en dicha ubicación, tenemos los siguientes resultados, Figura 4.1, para los periodos anuales 2016 hasta 2019:

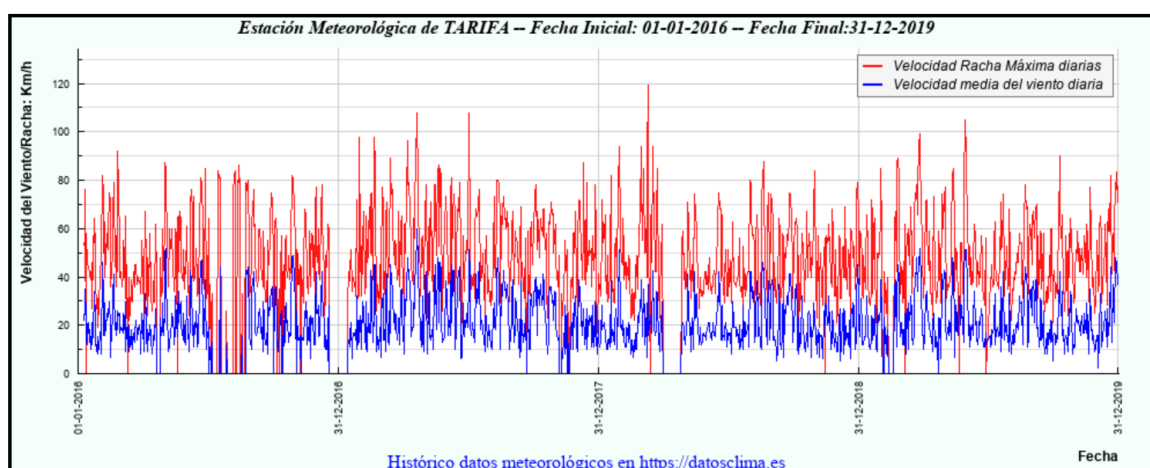


Figura 4.2. Gráficos de viento AEMET 2016-2019

Vemos que existe algunos picos puntuales con velocidades de viento superiores a 29 m/s (104,4 km/h), como por ejemplo el día 11/03/2018, a las 07:40, donde se registró el valor máximo de 33,1 m/s (119,16 km/h). Es decir, cabría pensar que pueden presentarse puntualmente cargas con velocidad de viento básica superiores a las recogidas en el CTE, y esto ocurre debido a que para que el valor de velocidad máxima sea válido para el CTE debe de haber sido recogido bajo una determinadas condiciones. Tal y como se explica en el apartado 3.4, las estaciones meteorológicas utilizadas serán aquellas que proporcionen una velocidad máxima media del viento en 10 min, y con un tamaño muestral menos de 10 años. Por lo tanto, sabemos que existen valores máximos puntualmente superiores al estimado por el CTE, que no quedan recogidos dentro de este.

Por otro lado, se ha realizado la elección del grado de aspereza del entorno, según la Tabla 2.3. Se ha seleccionado un grado II: “Terreno rural llano sin obstáculos ni arbolado de importancia”. A un grado de aspereza menor, indicamos una mayor exposición de la edificación ante las cargas de viento.

5. Diseño

5.1 Nave industrial

Durante el diseño de una nave industrial se deben de considerar distintos factores que influyen en mayor o menor medida a su funcionamiento. Todos los posibles factores, se analizan con el objetivo de encontrar la estabilidad de la edificación.

La estabilidad de una edificación depende de que en el posible caso de cualquier alteración de la geometría o de las cargas teóricas, se generen fuerzas suficientes como para recuperar su posición primitiva. Cuando la rigidez de una unión viga-soporte no está garantizada, debe recurrirse al arriostramiento.

Para nuestro caso, se han analizado los siguientes factores con el propósito de optimizar la estabilidad del diseño.

- **Utilización:** Dependiendo del empleo al que se vaya a destinar la nave industrial, su estructura debe de estar diseñada acorde a ello. Por ejemplo, si su empleo requiere el uso de sistemas de climatización, puente grúa, u otros elementos, la estructura debe tener refuerzos en la zonas más críticas para compensar las acciones de dichos elementos. Para el caso de este proyecto, no resulta de interés añadir elementos que nos produzcan dichos efectos. Además, se busca una base de partida lo más generalista posible, con la intención de realizar una comparativa ajena a la influencia de estos elementos. Por lo tanto, el diseño realizado no contempla ningún tipo de maquinaria sobre la estructura.

- **Localización:** Mediante la cual se definen las cargas variables que puedan producirse sobre la estructura o cerramiento. Este diseño viene principalmente determinado por las cargas externas a la edificación que, por supuesto, dependen de la ubicación.

Durante el diseño de la estructura que compone la nave industrial, se han añadido una serie de elementos con el objetivo de mejorar la rigidez de la misma. Para ello se ha hecho uso de los siguiente arriostramientos.

5.1.1 Arriostramientos

Los arriostramientos se consideran elementos secundarios en la estructura, sin embargo, su aplicación resulta conveniente para que el comportamiento del conjunto estructural sea el adecuado, restringiendo la traslacionalidad. Además, los arriostramientos transversales utilizados en vigas ayudan a reducir las longitudes de pandeo lateral.

En edificaciones industriales, como es el caso de este proyecto, los arriostramientos tienen como función principal la absorción de los empujes longitudinales provocados por las fuerzas del viento sobre las paredes frontales.

De manera específica para el análisis de este proyecto, se destacan los arriostramientos en cubierta. Constituidos por pequeños tirantes de redondo o pletina. Los cuales se combinan con los cordones superiores de los dinteles y las correas. Estos elementos

suelen presentarse como cruces de San Andrés, los cuales constituyen unos entramados en los planos de cubierta, capaces de absorber empujes del viento, a la vez que limitan las longitudes de pandeo de los dinteles o cordones superiores de las vigas.

Para optimizar la efectividad de estos elementos, los entramados arriostrantes se suelen colocar en los módulos extremos de la nave o en sus contiguos y a parte cada tres o cuatro módulos, evitando la coincidencia de un tramo arriostrado con la posición de rótulas.

También tenemos los arriostramientos laterales. Estos son los principales encargados de absorber las acciones del viento sobre los muros frontales. Estos arriostramientos laterales se suelen utilizar en los extremos para naves de hasta 40 metros. Si la nave es superior a esta longitud, además se añaden arriostramientos extra cada cuatro o cinco módulos.

Existen muchos tipos de arriostramientos en la actualidad. Para este proyecto se han utilizado los siguientes:

- **Cruces de San Andrés:** Es el tipo de arriostramiento más simple, consiste en 2 tirantes que pueden trabajar alternativamente en tracción. Existen otras posibilidades que precisan barras, que pueden trabajar alternativamente a compresión.



Figura 5.1. Cruz San Andrés fachada



Figura 5.2. Cruz San Andrés cubierta

▪ **Cartela:** Pieza de chapa metálica o acero con forma triangular que soldada a una superficie o barra se utiliza para reforzar la unión de ésta con otras barras, formando un ángulo recto.

Las vigas acarteladas se definen como elementos estructurales que varían de sección en los extremos de la unión con las columnas, con la finalidad de aumentar las resistencia de la sección en las zonas donde los momentos son mayores.

El efecto principal de las cartelas es aumentar la inercia de la sección y por consiguiente, mejorar su resistencia ante los momentos mayores que se dan en las uniones empotradas.



Figura 5.3. Cartelas

- **Vigas de atado:** Los pilares intermedios entre los hastiales se unen mediante una viga perimetral de atado, que será arriostrada en los primeros vanos, para conseguir atar las cabezas de los pilares, evitando la transaccionalidad de los mismos en el plano de fachada lateral.

Las vigas de atado son perpendiculares a los pórticos principales, situadas en la cabeza de los pilares. Ayudando a mejorar la rigidez del edificio en la dirección de su eje longitudinal, al mismo tiempo que limita la longitud de pandeo de los pilares.



Figura 5.4. Vigas atado estructura

Con este sistema, la configuración de los pilares de los pórticos interiores en el plano de fachada lateral se puede considerar empotrado apoyado, es decir, su coeficiente de pandeo será $\beta=0,7$.

- **Correas:** Las correas son componentes del sistema estructural de la cubierta de las naves industriales. Se trata de elementos esenciales, ya que su misión es unir los pórticos y también repartir las cargas en el techo. Al mismo tiempo, cumplen la función de soporte de los paneles o chapas de la cubierta.

Para llevar a cabo el cometido para el que están diseñadas, se colocan sobre las vigas de los pórticos, en sentido longitudinal y a una distancia uniforme. Estas piezas son fundamentales para el diseño de espacios lo más amplios posibles, soportan las cargas y las transmiten a los pórticos armados a través del apoyo o ejón de las vigas principales. Además, con un preso propio mínimo se consiguen valores estáticos óptimos. De esta forma, se consigue un elevado rendimiento.



Figura 4.5. Correas en cubierta

5.1.2 Diseño nave industrial

Las fachadas frontales del edificio se plantean de forma que puedan absorber las acciones del viento frontal que se van a aplicar sobre ellas. Para ello se opta por disponer 3 pilares intermedios en los pórticos de fachada (separados 5 metros) empotrados en la base y apoyados en la cabeza con las vigas de fachada.

Debido que la luz de la nave no es excesivamente grande (35 metros) y que en la cubierta no se van a desarrollar actividades, y no se requiere la instalación de equipos de climatización, se opta por emplear un sistema estructural compuesto por pórticos a dos aguas, acorde con el tipo de cubierta que se ha elegido previamente, con una separación entre pórticos de 5 metros.

Siendo la elección de la cubierta, a dos aguas. Se han colocado cruces de San Andrés en los módulos extremos de la nave, tanto en el plano base de la cubierta, como en los laterales colindantes de cada fachada. Además, se ha añadido una viga horizontal en la fachada frontal, para sostener el peso del cerramiento sobre la puerta de la nave.

Por razones de simplificación, no se han considerado más aperturas en las fachadas o cubiertas. De manera que se consiguen despreciar las presiones internas en la construcción diáfana.

Más adelante, en el apartado 5.1, se realiza el diseño 3D de la nave que se ha descrito, con todos sus componentes y arriostramientos.

5.2 Obtención cargas de viento

A continuación, se van a determinar las cargas de viento a partir del Código Técnico de la Edificación. El procedimiento de cálculo que se muestra en este apartado, ha sido desarrollado teóricamente en la sección 2.2.3 de esta memoria.

Se utilizan las dimensiones de la Tabla 3.1.

Para conocer el valor de la acción del viento, se debe conocer el valor de la presión estática q_e mediante la Ecuación (1). Para poder obtener su valor, primero es necesario calcular la presión dinámica del viento (2), el coeficiente de exposición (3) (4) y el coeficiente eólico o de presión.

✓ Presión dinámica del viento, q_b

A partir de la Formula (2): $q_b = 0,5 \cdot \delta \cdot V_b^2$

La densidad del aire es $1,25 \text{ kg/m}^3$. El valor básico de la velocidad del viento es 29 m/s , debido a que la ubicación de la edificación es Tarifa, Cádiz. Basado en la Imagen 2.1, se muestra la ubicación exacta de la edificación. Se puede ver como dicha zona corresponde con la zona C de velocidades.



Figura 5.10. Ubicación Tarifa, Cádiz

Siendo el valor de la presión dinámica del viento:

$$q_b = 0,5 \cdot 1,25 \text{ kg/m}^3 \cdot (29 \text{ m/s})^2 = 0,526 \text{ kN/m}^2 \quad (16)$$

✓ **Coefficiente de exposición, C_e**

Para obtener el valor del coeficiente de exposición, se utilizan las Ecuaciones (3) y (4), ya que la altura es inferior a 200 metros.

Como se ha descrito previamente, se ha elegido un grado de aspereza II, por lo que los parámetros son:

Tabla 5.1. Coeficiente entorno para grado aspereza II

Grado aspereza	k	L (m)	Z (m)
II	0,17	0,01	1,0

$$F = 0,17 \cdot \ln(\max(1/8)/0,01) = 1,136 \quad (17)$$

$$C_e = 1,136 \cdot (1,136 + 7 \cdot 0,17) = 2,644 \quad (18)$$

✓ **Coefficiente eólico o de presión,**

Este coeficiente debe ser calculado en todos los cerramientos externos que cubren la estructura. Paramentos verticales para las cuatro fachadas de la nave, y la cubierta a dos aguas.

Tal y como se muestra en el apartado 2.2.3.2 Acción del viento, basado en el CTE, para el cálculo de los coeficientes de presión sobre los diferentes paramentos que componen la estructura, se divide cada paramento en una serie de áreas según las relaciones geométricas que se muestran para cada caso.

Para los paramentos verticales, se muestra la Figura 2.3 , y para las cubiertas a dos aguas la Figura 2.8 y Figura 2.9. Se obtienen los siguientes resultados:

Relaciones geométricas para los paramentos verticales:

Tabla 5.2. Parámetros vertical viento 0°

Viento dirección 1 - 0°	
d:	20
h2:	10
b:	35
e:	20
e/10:	2
d-e:	0

Tabla 5.3. Parámetro vertical viento 90°

Viento dirección 2 - 90°	
d:	35
h1:	10
b:	20
e:	20
e/10:	2
d-e:	15

h/d:	0,5
A:	200

h/d:	0,286
A:	350

Relaciones geométricas para los paramentos de cubierta:

Tabla 5.4. Parámetros cubierta viento 0°

Viento dirección 1 (0°)	
α (°):	11,31
h:	10
b:	35
d:	20
e:	20
d/2:	10
e/4:	5
e/10:	2

Tabla 5.5. Parámetros cubierta viento 90°

Viento dirección 2 (90°)	
α (°):	11,31
h:	10
b:	20
d:	35
e:	20
e/2:	10
e/4:	5
e/10:	2

Según los resultados obtenidos para los valores presentados, se utilizan las Tabla 2.6, Tabla 2.11 y Tabla 2.12 para calcular el valor de los coeficientes de presión sobre cada área en la que se ha dividido el paramento.

Siendo las áreas en las que se divide, depende de la dirección del viento:

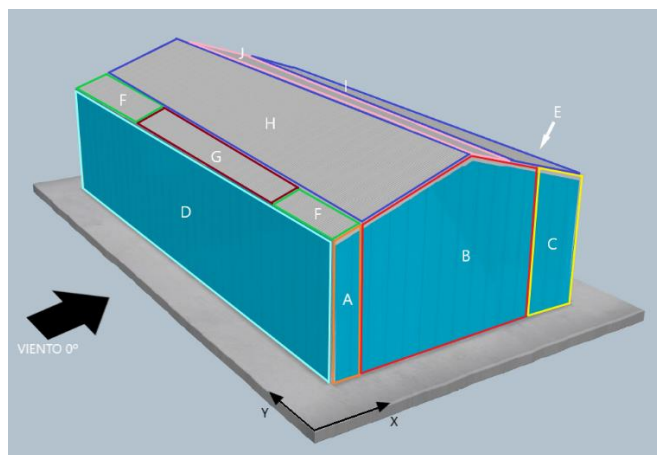


Figura 5.11. Áreas cargas viento 0°

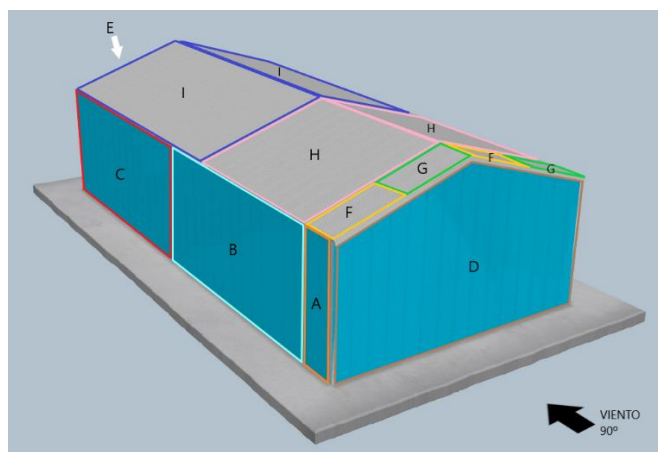


Figura 5.12. Áreas cargas viento 90°

Dependiendo de cuál sea la dirección del viento, las cargas sobre los paramentos van a ser diferentes. Por esta razón se llevan a cabo cálculos independientes, uno por cada dirección del viento. El número de casos se limita tan solo a dos hipótesis, con el viento perpendicular a la fachada frontal y a la fachada lateral, en el eje longitudinal de la nave. Además, para la cubierta, se consideran dos tramos de ángulo en la dirección del viento, el primero entre -45° y 45° , y otro tramo con el viento entre 45° y 135° .

Paramentos verticales:

Viento dirección 0°

Tabla 5.6. Resultados parámetros verticales viento 0°

A	h/d	Zona				
		A	B	C	D	E
10	0,286	-1,200	-0,800	-0,500	0,733	-0,367

Viendo dirección 90°

Tabla 5.7. Resultados parámetros verticales viento 90°

A	h/d	Zona				
		A	B	C	D	E
10	0,286	-1,200	-0,800	-0,500	0,705	-0,310

Paramentos de cubierta:Dirección del viento 0° [$-45^\circ \leq \theta \leq 45^\circ$]

Tabla 5.8. Resultados parámetros cubierta viento 0°

Pendiente de la cubierta α	A (m ²)	Zona				
		F	G	H	I	J
11,31	≥ 10	-1,195	-0,948	-0,411	-0,474	-0,557
		0,126	0,126	0,126	-0,221	-0,221
	≤ 1	-2,185	-1,685	-0,632	-0,474	-0,873
		0,126	0,126	0,126	-0,221	-0,221

Dirección del viento 90° [$45^\circ \leq \theta \leq 135^\circ$]

Tabla 5.9. Resultados parámetros cubierta viento 90°

Pendiente de la cubierta α	A (m ²)	Zona			
		F	G	H	I
11,31	≥ 10	-1,411	-1,300	-0,637	-0,537
	≤ 1	-2,074	-2,000	-1,200	-0,537

Una vez obtenidas los diferentes casos de carga de viento sobre la nave industrial, se proceden a realizar una serie de hipótesis donde se combinan las cargas obtenida. Un total de 3 hipótesis, dos con el viento en dirección 0°, y una con viento en dirección 90°.

Con las hipótesis de carga se va a representar la presión estática sobre las áreas en las que se ha dividido cada paramento, para posteriormente dividir dichas cargas entre los pilares y vigas que forman la estructura, a través de distancia tributaria de cada elemento.

Para ello, necesitaremos todos los valores previamente calculados, presión dinámica del viento, coeficiente de exposición y coeficiente eólico o de presión. Este último compuesto por la sumatoria del coeficiente de presión externo y el interno, pero para el caso de este proyecto, el coeficiente de presión interno es nulo, como ya se ha explicado previamente. Por lo tanto las cargas sobre los elementos mencionados son los siguientes:

Las cargas mostradas a continuación, se presentan según las áreas de los paramentos, para posteriormente reducirse a la carga que actúa sobre cada pilar o viga de la estructura. En las Figuras 6.14 y 6.15, se muestran las referencias utilizadas en las tablas para referirse a cada elemento.

✓ **Hipótesis 1° [$\theta = 0^\circ$]**

Tabla 5.10. Cargas secciones hipótesis 1 0°

SECCIÓN	Ancho (m)	q (kN/m ²)
A	2	-1,667
B	20	-1,112
C	0	-0,695
D	35	1,019
E	35	-0,510
F	5	-1,661
G	25	-1,317
H	35	-0,571
I	35	-0,658
J	35	-0,774

Tabla 5.11. Cargas piales hipótesis 1 0°

Pilar	Carga lineal dirección el viento	Carga lineal perpendicular al viento
1	2,548	-3,891
2	5,095	
3	5,095	
4	5,095	
5	5,095	
6	5,095	
7	5,095	
8	2,548	-3,891
9	-1,274	-2,779

Tabla 5.12. Cargas vigas hipótesis 1 0°

Viga	Carga lineal (2m) (F, G, J)	Carga lineal (8m) (H, I)
V1	-4,152	-1,427
V2	-7,444	-2,854
V3	-6,584	-2,854
V4	-6,584	-2,854
V5	-6,584	-2,854
V6	-6,584	-2,854
V7	-7,444	-2,854
V8	-4,152	-1,427
V9	-1,936	-1,646

10	-2,548		V10	-3,871	-3,292
11	-2,548		V11	-3,871	-3,292
12	-2,548		V12	-3,871	-3,292
13	-2,548		V13	-3,871	-3,292
14	-2,548		V14	-3,871	-3,292
15	-2,548		V15	-3,871	-3,292
16	-1,274	-2,779	V16	-1,936	-1,646
17		-5,558			
18		-5,558			
19		-5,558			
20		-5,558			
21		-5,558			
22		-5,558			

✓ **Hipótesis 2° [$\theta = 0^\circ$]**

Tabla 5.13. Cargas secciones hipótesis 2 0°

SECCIÓN	Ancho (m)	q (kN/m²)
A	2	-1,667
B	20	-1,112
C	0	-0,695
D	35	1,019
E	35	-0,510
F	5	0,175
G	25	0,175
H	35	0,175
I	35	-0,308
J	35	-0,308

Tabla 5.14. Cargas pilares hipótesis 2 0°

Pilar	Carga lineal dirección del viento	Carga lineal perpendicular al viento
1	2,548	-3,891
2	5,095	
3	5,095	
4	5,095	
5	5,095	
6	5,095	
7	5,095	
8	2,548	-3,891
9	-1,274	-2,779
10	-2,548	
11	-2,548	
12	-2,548	
13	-2,548	
14	-2,548	
15	-2,548	
16	-1,274	-2,779
17		-5,558
18		-5,558
19		-5,558
20		-5,558
21		-5,558
22		-5,558

Tabla 5.15. Cargas vigas hipótesis 2 0°

Viga	Carga lineal (2m) (F, G, J)	Carga lineal (8m) (H, I)
V1	0,438	0,438
V2	0,877	0,877
V3	0,877	0,877
V4	0,877	0,877
V5	0,877	0,877
V6	0,877	0,877
V7	0,877	0,877
V8	0,438	0,438
V9	-0,769	-0,769
V10	-1,538	-1,538
V11	-1,538	-1,538
V12	-1,538	-1,538
V13	-1,538	-1,538
V14	-1,538	-1,538
V15	-1,538	-1,538
V16	-0,769	-0,769

✓ **Hipótesis 2° [$\theta = 90^\circ$]**

Tabla 5.16. Cargas secciones hipótesis 2 90°

SECCIÓN	Ancho (m)	q (kN/m ²)
A	2	-1,667
B	18	-1,112
C	15	-0,695
D	20	0,979
E	20	-0,430
F	2	-1,960
G	2	-1,806
H	10	-0,885
I	23	-0,746

Tabla 5.17. Cargas pilares hipótesis 2 90°

Pilar	Carga lineal dirección del viento	Carga lineal perpendicular al viento
1	-1,075	-1,737
2		-3,474
3		-3,474
4		-4,516
5		-5,558
6		-5,558
7		-5,558
8	2,448	-3,891
9	-1,075	-1,737
10		-3,474

Tabla 5.18. Cargas vigas hipótesis 2 90°

Viga	Carga lineal (I, H)	Carga lineal (F)	Carga lineal (G)
V1	-1,865		
V2	-3,730		
V3	-3,730		
V4	-3,730		
V5	-3,730		
V6	-4,356		
V7	-4,425		
V8	-0,443	-3,921	-3,613
V9	-1,865		
V10	-3,730		

11		-3,474	V11	-3,730		
12		-4,516	V12	-3,730		
13		-5,558	V13	-3,730		
14		-5,558	V14	-4,356		
15		-5,558	V15	-4,425		
16	2,448	-3,891	V16	-0,443	-3,921	-3,613
17	-2,151					
18	-2,151					
19	-2,151					
20	4,897					
21	4,897					
22	4,897					

5.3 Obtención resto de cargas

Tal y como se ha explicado previamente, aunque el objetivo primordial de este proyecto sea obtener las consecuencias que producen las cargas de viento sobre la cubierta de la nave industrial, existen otro tipo de cargas que actúan sobre la edificación, y no pueden ignorarse.

Se va a hacer la aproximación de suponer continuas las cargas que transmiten las correas a los pórticos. Esta aproximación se hará extensible a todas las hipótesis (sobrecarga de eso, viento, nieve, etc).

Acciones permanentes y variables. Las que se van a considerar son, el peso propio de la estructura y cubierta, la sobrecarga de uso y la carga de nieve.

5.3.1 Peso propio

Se establece un hipótesis de peso propio en la que se asigna una carga uniforme sobre la cubierta de $0,25 \text{ kN/m}^2$. Esta carga se transmite a los pórticos a través de las correas de cubierta. En este caso se va a suponer que las correas de cubierta están apoyadas en los pórticos a lo largo de los 35 metros de longitud de la nave, sin que haya continuidad entre las correas de vanos contiguos. De esta forma la carga en todos los pórticos centrales es la misma y justo el doble que en los pórticos finales.

Por lo tanto, cuando se realiza la aplicación de las cargas sobre la estructura a través del software Autodesk Robot Structural Analysis, se colocan las cargas según el ancho tributario de cada viga, que como se ha mencionado será, la misma en todos los pórticos centrales (5 metros) y justo la mitad en los pórticos de fachada (2,5 metros).

Con valor de $1,25 \text{ kN/m}$ en sentido negativo de la dirección Z, para los pórticos centrales, formados por las vigas desde V2 hasta V7 y desde V10 hasta V15, Figura 6.16. Mientras que tiene un valor de $0,625 \text{ kN/m}$, redondeado a $0,63 \text{ kN/m}$ en sentido negativo de la dirección Z, para los pórticos de fachada, constituidos por las vigas V1, V9, V8 y V16, Figura 6.16.

5.3.2 Sobrecarga de uso

En la sección 2.2.2.1, Tabla 2.1 de esta memoria, basado en el DB SE-AE, se establece que en cubiertas ligeras sobre correas (sin forjado), accesibles únicamente para conservación, la sobrecarga es de $0,4 \text{ kN/m}^2$. Sin embargo, en la llamada (7) de la misma tabla, se indica que dicha sobrecarga de uso no se considera concomitante con el resto de acciones variables.

Del mismo modo que en la hipótesis de Peso Propio, el valor en los pórticos finales es justo la mitad que en los pórticos centrales.

Esta carga se aplica de forma equivalente a la anterior sobre la estructura a través del software que se está usando. Con unos valores de, 2 kN/m sobre los pórticos centrales, compuesto por las vigas desde V2 hasta V7 y desde V10 hasta V15, Figura 6.16. Y un valor de 1 kN/m para los pórticos de fachada, constituidos por las vigas V1, V9, V8 y V16, Figura 4.13.

5.3.3 Nieve

Se aplica la sección 2.2.4, apartado 2.2.4.1 donde se establece la carga de nieve por unidad de superficie en una proyección horizontal, q_n con la Formula [6].

En la sección 2.2.4.2, tabla 2.14 con los datos obtenidos del DB SE-AEA, se establece que el valor de sobrecarga de nieve sobre un terreno horizontal, en Cádiz, es de $S_k = 0,2 \text{ kN/m}^2$.

La acción de la nieve cae sobre la cubierta, la cual transmite la carga a través de las correas, hacia las vigas que constituyen los pórticos. Al igual que con las acciones permanentes ya analizadas, las correas cubren la misma función en este caso.

Dado que los elementos encargados de soportar dichas acciones son las vigas, en el diseño mediante software de estas cargas, estas se aplican a lo largo de la longitud del pórtico y no existen resaltos en la cubierta, la carga vendrá definida por:

$$q = q_n \cdot \cos\alpha = \mu \cdot S_k \cdot \cos\alpha = 1 \cdot 0,2 \cdot \cos(11,31^\circ) = 0,196 \text{ kN/m}^2 \quad (19)$$

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

Se ha de tener en cuenta las posibles distribuciones asimétricas de nieve, debidas al transporte de esta por el efecto del viento, reduciendo a la mitad el factor de forma en las partes en que la acción sea favorable. De este modo aparecen tres hipótesis de nieve. La primera con una carga igual en las dos vertientes de la cubierta a dos aguas, y las otras dos con una carga reducida a la mitad en una de las vertientes y completa en la opuesta.

5.3.4 Peso cerramiento puerta

Para el diseño de la nave industrial se ha considerado tan solo una puerta principal colocada en la fachada frontal de la estructura. Perpendicular a X-. El valor del peso del cerramiento es de 7,5 kN en sentido negativo del eje Z global.

Dicha carga se ubica sobre dos vigas horizontales, encima de la puerta principal, que se unen de forma empotrada con los pilares hastiales de la fachada. La puerta situada bajo estas vigas, se encuentra anclada a los pilares hastiales.

El anclaje de la puerta en esa posición, permite considerar la superficie de fachada como un único paramento. Además, dicha puerta se considerará cerrada durante la aplicación de las diferentes cargas de viento, tanto las obtenidas mediante CTE, como las de la simulación. Por lo tanto no se consideran presiones internas del viento en la nave industrial.

El valor seleccionado para el peso, se ha basado en los valores típicos utilizados para un cerramiento tipo sándwich. Se ha seleccionado un valor promedio entre diferentes proveedores online.

5.3.5 Resumen cargas

En el siguiente cuadro resumen se recogen las cargas, excepto la de viento, que se han considerado sobre la nave industrial:

Tabla 5.19. Resumen acciones permanentes y nieve

		Pórticos centrales		Pórticos Fachada	
		V2-V7	V10-V15	V1-V8	V9-V16
Peso Propio	PP	1,25	1,25	0,625	0,625
Sobrecarga de uso	SU	2,00	2,00	1,00	1,00
Nieve	N1	0,98	0,98	0,49	0,49
	N2	0,98	0,49	0,49	0,245
	N3	0,49	0,98	0,245	0,49

	Vigas V17 y V18
Peso cerramiento puerta	7,5

6. Diseño y aplicación de carga en software

En esta sección se va a realizar el diseño 3D de la nave industrial descrita en los apartados previos, así como de sus arriostramientos. Además, se aplicaran todas las restricciones de movimiento necesarias, aplicación de cargas y configuración particular de cada elemento cuando sea necesario. El objetivo es obtener una estructura lo más parecida posible al caso real.

6.1 Diseño 3D nave industrial

En la sección 4.1 se ha desarrollado el diseño completo de la nave industrial. A continuación se realiza un modelaje mediante el software Autodesk Robot Structural Analysis Profesional 2020.

Las dimensiones se adoptan de la tabla 3.1. Se diseñan unas líneas de construcción acorde a las dimensiones especificadas. Pero previo a trazar las barras que componen la estructura, deben definirse los perfiles que van a utilizarse.

Se usan perfil HEA para todas las columnas de la nave industrial. El perfil HEA, pertenece a la familia de perfiles HE, siendo más ligeros que otros de la misma familia. Tienen buen comportamiento a torsión y una carga crítica notablemente superior, respecto perfiles IPE o IPN, por tener los dos momentos de inercia seccionales más equilibrados. Esto significa, que son elementos apropiados para trabajar a flexión esviada o pilares a compresión, como es el caso de este proyecto.

Para las vigas que forman los pórticos de la cubierta, se utilizan perfiles IPE. Estos han sido seleccionados respecto a los HEA, ya que aunque presentan una menor resistencia, su reducción de peso es mucho más significativa, y por lo tanto, muy apropiado para su uso en una cubierta. Además, estos perfiles trabajan mejor a flexión en un único eje, debido a que tienen un momento de inercia muy elevado en uno de sus ejes, siendo este su eje fuerte, el Y. Y dado que los pórticos van a estar principalmente sometidos a flexión en el eje Y, resultan muy convenientes de usar.

Inicialmente se van a utilizar unas dimensiones de perfiles aproximadas, que posteriormente se verán modificados cuando se realice el dimensionamiento de la estructura frente a las combinaciones de carga aplicadas. Todos los perfiles son Acero S275.

Además, se han utilizado perfiles IPE más pequeños para las vigas de atado, y redondos de acero para las cruces de San Andrés.

Una vez definidos todos los tipos de barra usados, se puede proceder a trazar las líneas que definen las barras, asignando el perfil correspondiente para cada una. Además se establecen empotramientos totales en los extremos inferiores de cada columna, representando la cimentación de la nave industrial. Se establecen las uniones entre las distintas barras de las cruces de San Andrés como rótulas con libertad de rotación en los ejes que forman el plano que las contiene.

Siendo el resultado de la estructura que forma la nave industrial, el siguiente mostrado en sus vistas principales e isométrica. Figura 5.1, 5.2, 5.3 y 5.4

Alzado

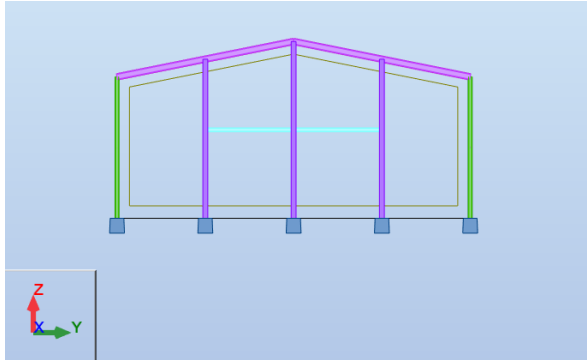


Figura 6.1. Alzado nave industrial

Perfil



Figura 6.2. Perfil nave industrial

Planta

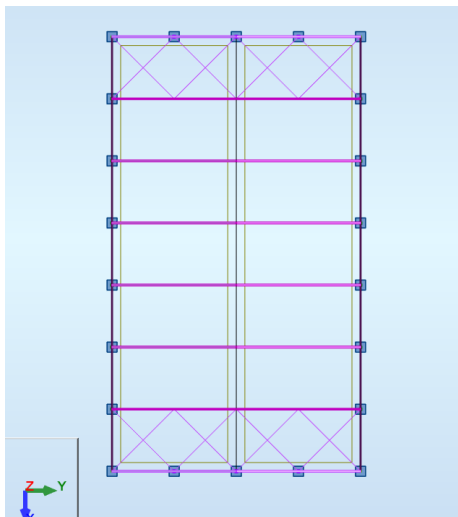


Figura 6.3. Planta nave industrial

Proyección Isométrica

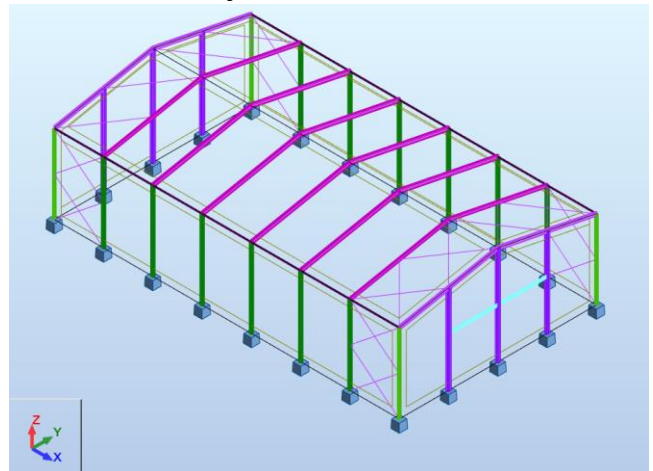


Figura 6.4. Isométrica nave industrial

Añadiendo el cerramiento a la estructura diseñada, se presenta:

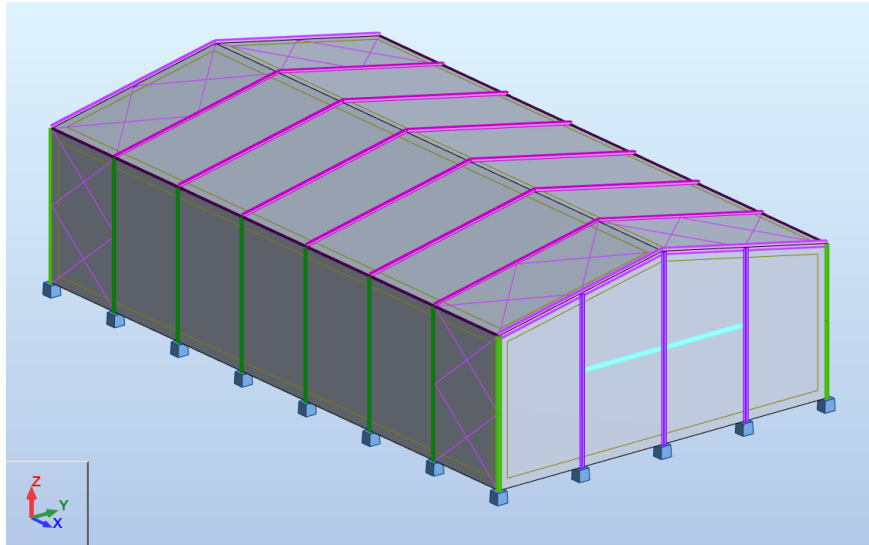


Figura 6.5. Cerramientos nave industrial

La orientación de las columnas y vigas, se realiza colocando la cara exterior del ala o patín, alineada con el cerramiento que la contiene.

De esta forma, se consigue que los pilares hastiales presenten una mayor resistencia a las acciones de viento, con el ala perpendicular a las acciones del viento, resisten sobre su eje fuerte. Mientras que el resto de pilares, dicha orientación permitirá soportar las cargas de cubierta sobre su eje fuerte nuevamente. Los 6 pilares hastiales, 3 en cada fachada frontal, se encuentran girados 90° respecto al resto.

Por otro lado, los arriostramientos añadidos para mejorar la estabilidad de la estructura, tal y como se han explicado en el apartado 4.1.1, se muestran a continuación:

✓ **Cruces de San Andrés:** Se han añadido visiblemente a la estructura, formados por tubos redondos de 2 centímetros de diámetro. Tanto en fachadas laterales como en cubierta. Solo en los módulos extremos colindantes con las fachadas frontales.

Para que estos arriostramientos puedan cumplir su función, hay que evitar que las cargas de viento a través del cerramiento recaigan posteriormente sobre ellos, para ello se han descuidado los elementos respecto la distribución por zonas de influencia, detalle en Figura 6.7.

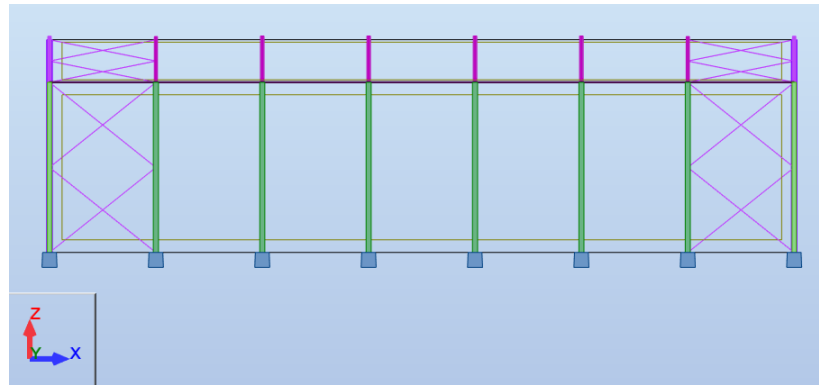


Figura 6.6. Diseño cruces San Andrés

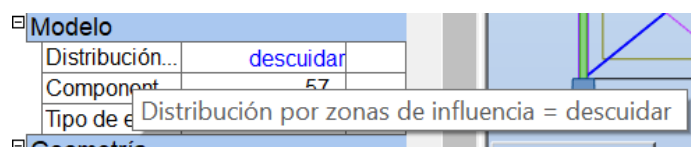


Figura 6.7. Descuidar efecto cargas sobre cruces de San Andrés

✓ **Vigas de atado:** Perfiles IPE 100, individualmente conectan las cabezas de las columnas. Se coloran con su alma en el plano horizontal (XY), es decir, su patín es paralelo a la fachada que cubre el lateral de la edificación.

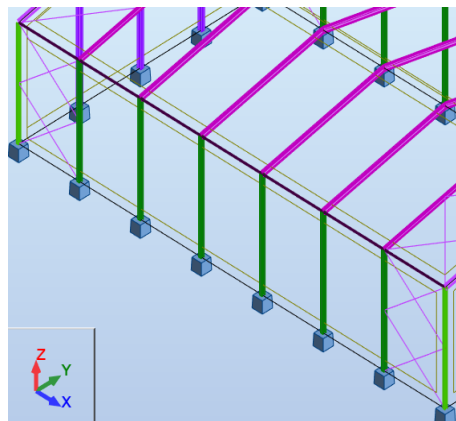


Figura 6.8. Diseño vigas de atado

✓ **Cartelas:** Para la aplicación de estos elementos sobre la estructura, en lugar de añadir los arriostramientos, se añadirán directamente las restricciones que producen estos elementos sobre el resto de la estructura.

En este caso, se elige este método ya que no es materia de este proyecto el cálculo de la unión entre cartelas y vigas o columnas. Además, tampoco se ha considerado el aumento de inercia que supone. Es decir, tan solo se han tenido en cuenta de cara a la inestabilidad de

pandeo lateral. Con ello, conseguimos situar nuestro diseño desde el lado de la seguridad, ya que los elementos tendrán una inercia menor a la real del perfil en ese tramo. Pero se sigue considerando respecto los efectos de pandeo lateral, ya que son los efectos más desfavorables para un elemento de este tipo sometido a flexión.

Por lo tanto, sobre las vigas que forman los pórticos de la cubierta, se van a aplicar dichas restricciones de arriostramiento.

Lo que se ha realizado es una modificación del coeficiente de longitud de alabeo del ala inferior de todas aquellas vigas que tienen cartelas añadidas. A continuación se muestra como se ha añadido los segmentos arriostrados para un 15% de su longitud total en ambos extremos de la viga, es decir 1,53 metros en cada extremo

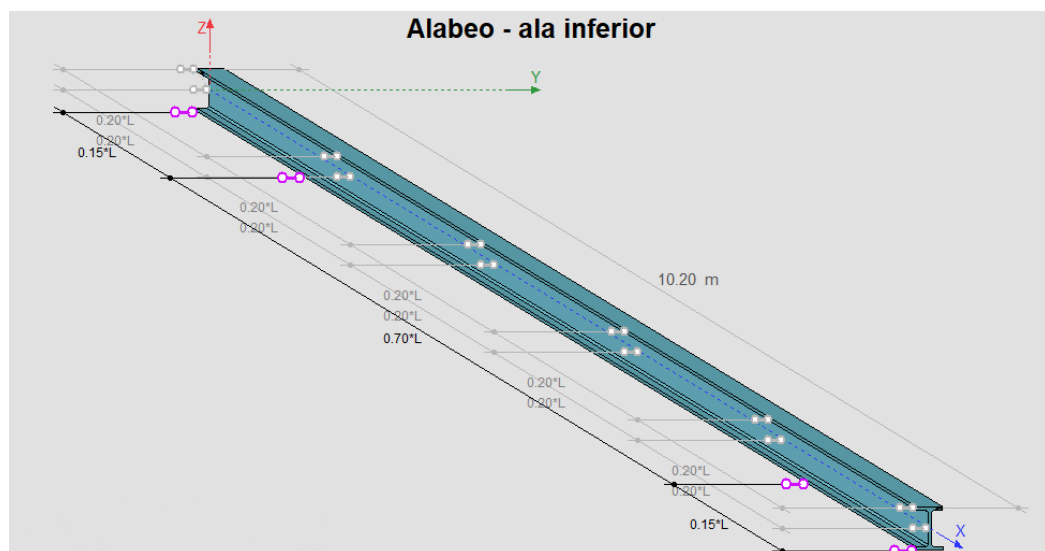


Figura 6.9. Diseño efectos cartelas

Pandeo Y Pandeo Z Alabeo - ala superior **Alabeo - ala inferior**

Definir segmentos entre arriostramientos

☒ Definición manual de coord. de arriostramientos existentes

0,00; 0,15; 0,85; 1,00 * L

☐ real ☒ relativas

Figura 6.10. Posición efectos cartelas sobre la vig

✓ **Correas:** Estos arriostramientos se aplican de la misma forma que las cartelas. Debido a que no se ha realizado un cálculo específico de ellas, cuyo cálculo debería de hacerse a flexión compuesta.

Sin embargo, si se han tenido en cuenta los efectos del anclaje de las correas a los dinteles, o vigas IPE. De tal manera que arriostran las vigas en sus alas superiores, tal y como se muestra en la Figura 6.11. Es decir, se ha considerado su efecto para el pandeo lateral.

A distancia equitativa entre ellas, paralelas entre sí, y extendidas a lo largo del eje longitudinal de la cubierta. Distanciadas un 20% de la longitud total de la viga, lo cual son una correa cada 2,04 metros, un total de 6 correas.

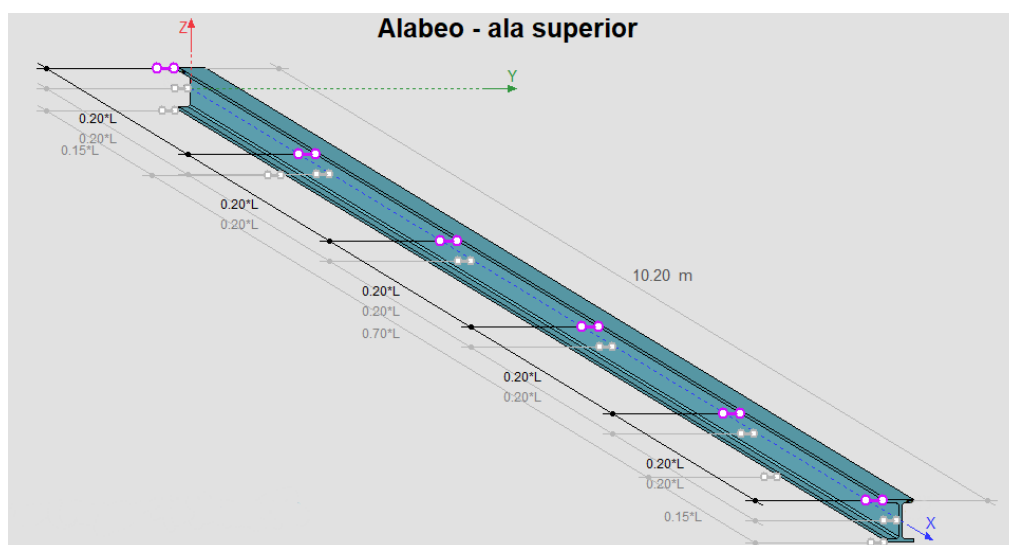


Figura 6.11. Diseño efectos correas sobre viga

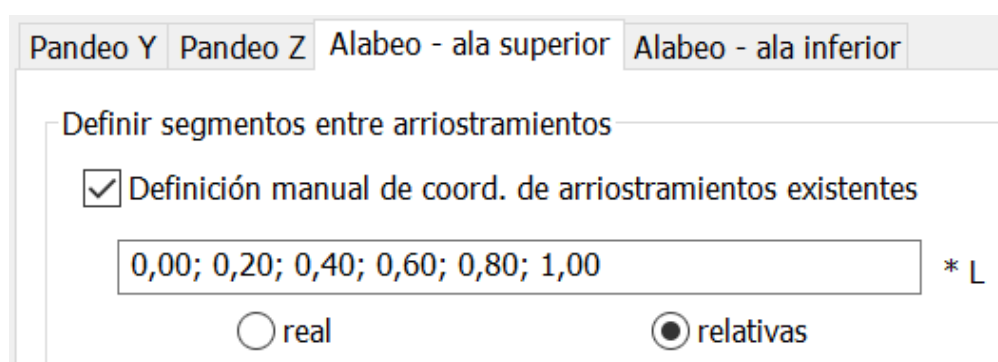


Figura 6.12. Posición efectos correas sobre la viga

Una vez se han definido todos los elementos de la estructura, se puede aplicar el cerramiento de la misma, para conseguir la nave industrial en estudio. Con el cerramiento se utilizará una polilínea con la cual podremos marcar el contorno del mismo. Este cerramiento no llevará ningún espesor y/o peso asociado. Como se ha explicado en el apartado 3.1, se busca

evitar la influencia de elementos específicos sobre los resultados. Sin embargo, en las acciones de Peso Propio ya se han considerado los efectos de esta sobre la estructura.

6.2 Aplicación de cargas

Una vez diseñada la estructura diáfana completamente, se puede proceder con la aplicación de cargas calculadas en el apartado 4.2.

En primer lugar, recordar el objetivo de este proyecto como introducción a los siguientes apartados. Comparativa entre las cargas de viento obtenidas por el Código Técnico de la Edificación y las cargas de viento generadas en una simulación de viento automática del software Autodesk Robot Structural Analysis Profesional 2020.

Por lo tanto, vamos a modelar dos configuraciones de carga diferentes, donde ambos tendrán ciertas cargas en común y otras diferentes, siendo estas últimas las cargas de viento. Y las cargas comunes son las de peso propio, sobrecarga de uso, e hipótesis de nieve.

Ambos modelos requieren de crear casos de carga que contengan las cargas aplicadas. Cada caso de carga debe estar configurado apropiadamente para el tipo de carga que vaya a contener.

Lista de casos definidos:

Número	Nombre del caso	Naturaleza
1	PERM1	Peso propio
2	Carga permanente cubierta	Peso propio
3	Sobrecarga de uso	Categoría H
4	NIEVE H1	nieve <1000
5	NIEVE H2	nieve <1000
6	NIEVE H3	nieve <1000
7	Viento 0° H1	viento
8	Viento 0° H2	viento
9	Viento 90° H1	viento
10	Peso cerramiento puerta	Peso propio

Figura 6.13. Casos de carga para modelos con acciones del viento según CTE

Lista de casos definidos:

Número	Nombre del caso	Naturaleza
1	PERM1	Peso propio
2	Carga permanente cubierta	Peso propio
3	Sobrecarga de uso	Categoría H
4	NIEVE H1	nieve <1000
5	NIEVE H2	nieve <1000
6	NIEVE H3	nieve <1000
7	Carga sobre puerta fachada	Peso propio
18	Simulación de viento X+ 29 m/s	viento
19	Simulación de viento X+Y+ 29 ...	viento
20	Simulación de viento Y+ 29 m/s	viento
21	Simulación de viento X-Y+ 29 ...	viento
22	Simulación de viento X- 29 m/s	viento
23	Simulación de viento X-Y- 29 m/s	viento
24	Simulación de viento Y- 29 m/s	viento
25	Simulación de viento X+Y- 29 ...	viento

Figura 6.14. Casos de carga para modelo con acciones del viento según simulaciones

A continuación se desglosan las cargas aplicadas en cada caso. Dado que previamente se han obtenido las cargas, se definen la nomenclatura de vigas y columnas elegida:

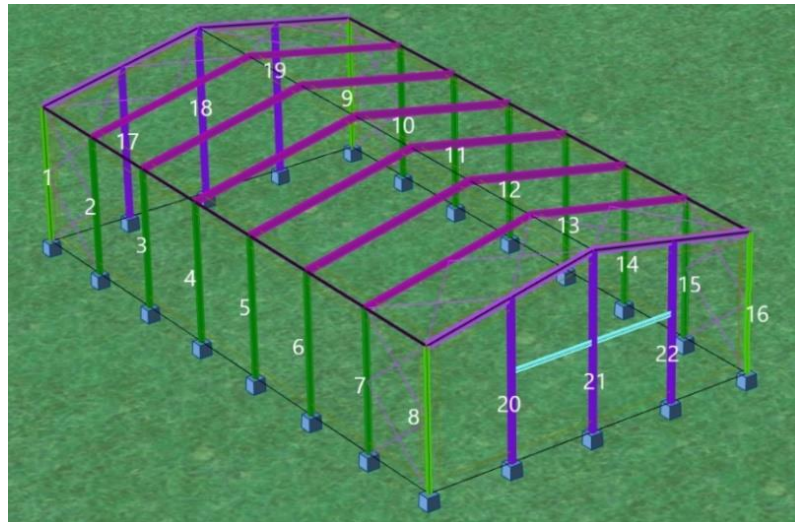


Figura 6.15. Nomenclatura pilares estructura

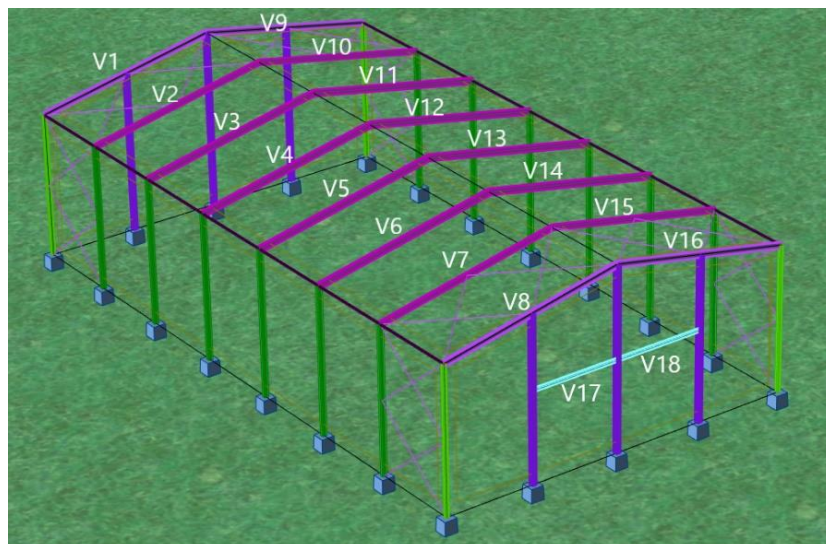


Figura 6.16. Nomenclatura vigas estructura

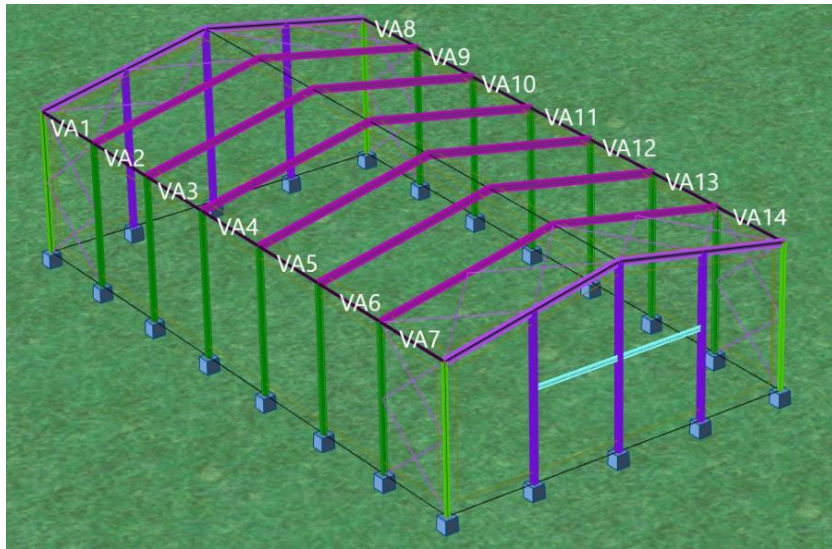


Figura 6.17. Nomenclatura vigas atado estructura

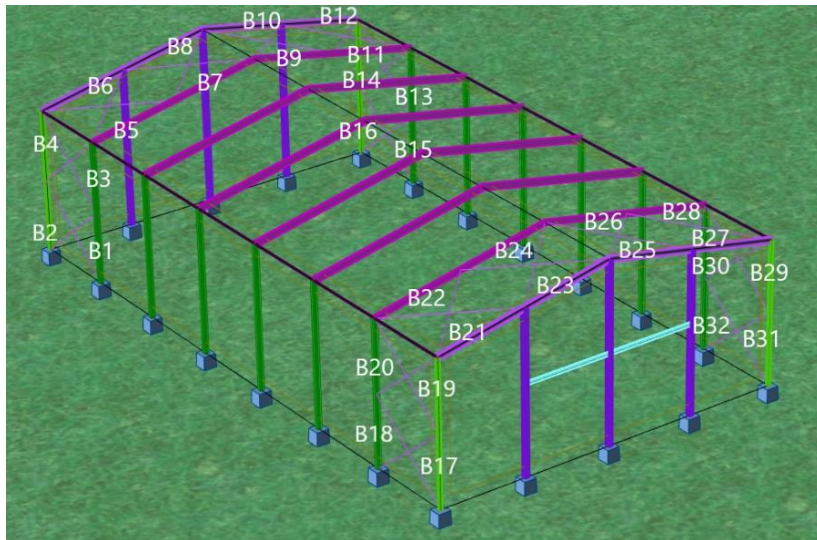


Figura 6.18. Nomenclatura cruces San Andrés estructura

Por lo tanto, ahora si se pueden aplicar las cargas sobre la nave industrial, añadiendo cada una de ellas dentro de su caso de carga correspondiente:

✓ **Peso Propio:** Tal y como se ha calculado en el apartado 4.3.1:

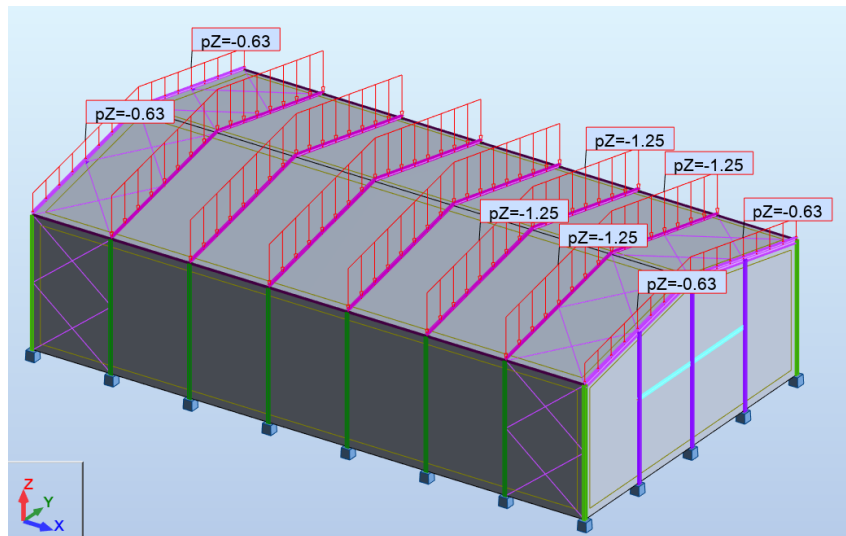


Figura 6.19. Aplicaciones cargas de Peso Propio

✓ **Sobrecarga de uso:** Tal y como se ha desarrollado en el apartado 4.3.2:

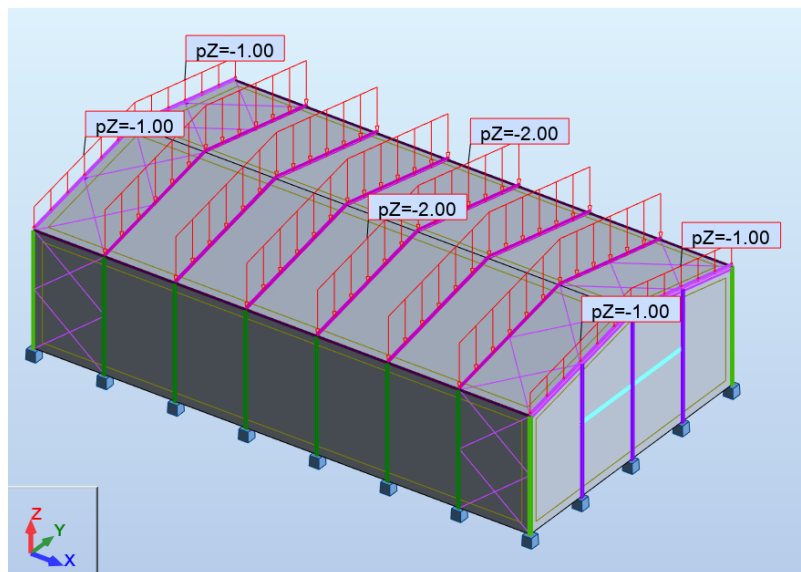


Figura 6.20. Aplicación cargas sobrecarga de uso

✓ **Nieve:** Para este caso de carga, se presentan tres hipótesis diferentes. Desarrollo del cálculo en el apartado 4.3.3:

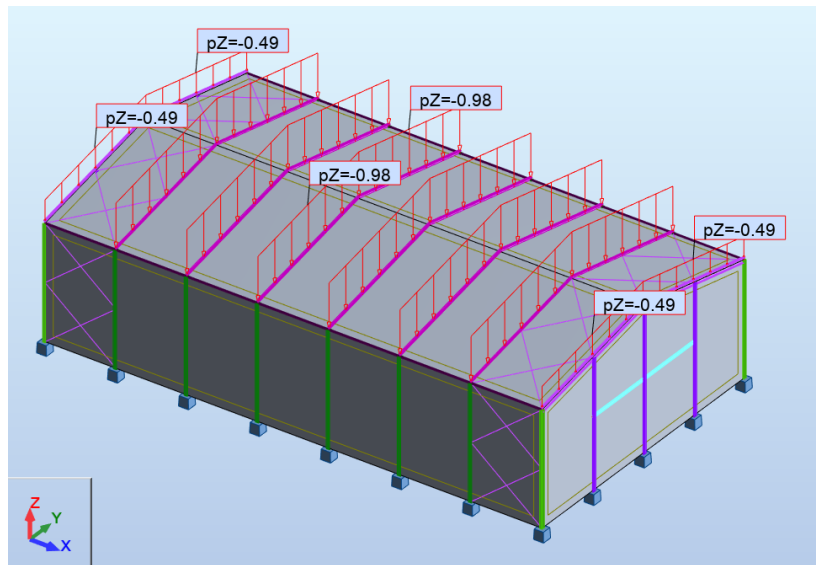


Figura 6.21. Aplicación cargas de nieve distribución hipótesis 1

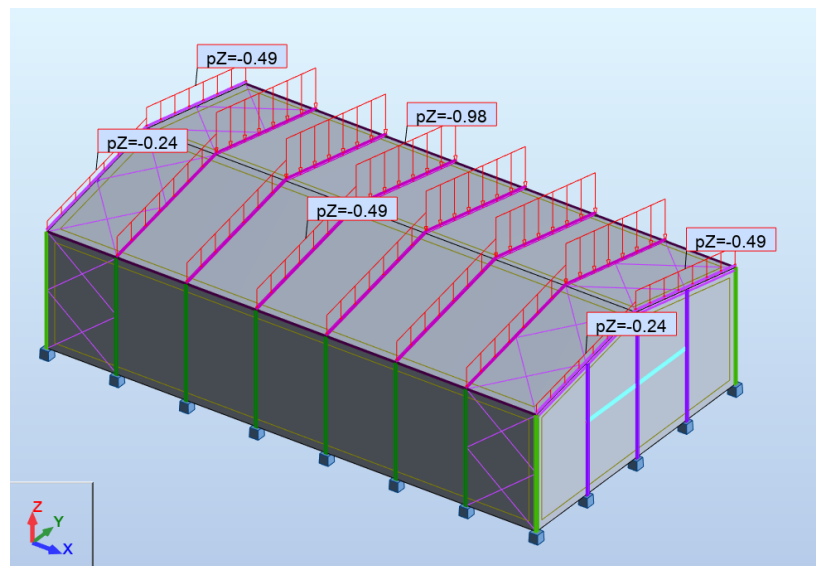


Figura 6.22. Aplicación cargas de nieve distribución hipótesis 2

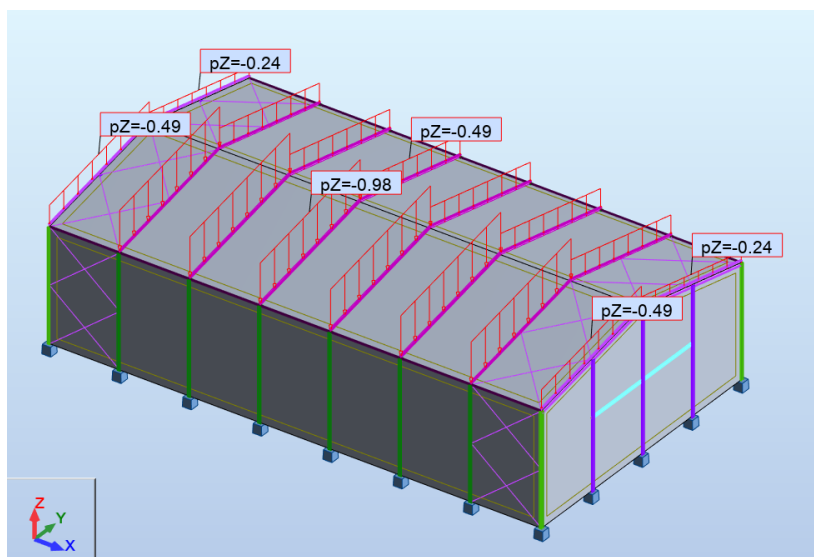


Figura 6.23. Aplicación cargas de nieve distribución hipótesis 3

✓ **Viento CTE:** Valores de cargas obtenidos en el apartado 4.2. Considerando las áreas sobre los paramentos de la nave las siguientes:

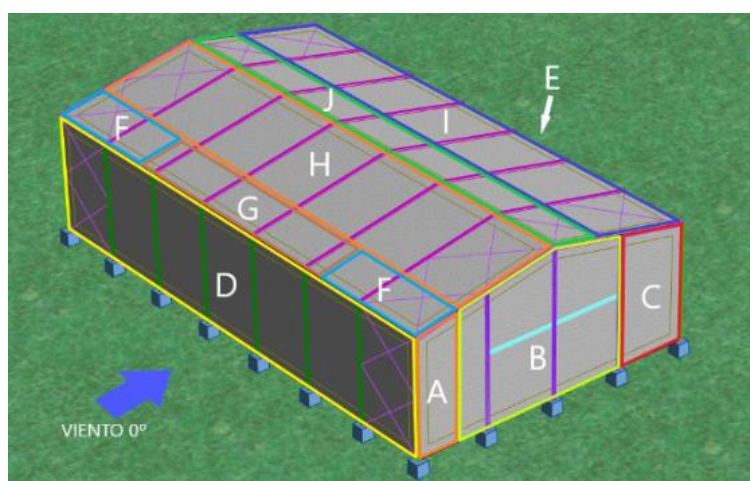


Figura 6.24. Áreas aplicación cargas viento 0°

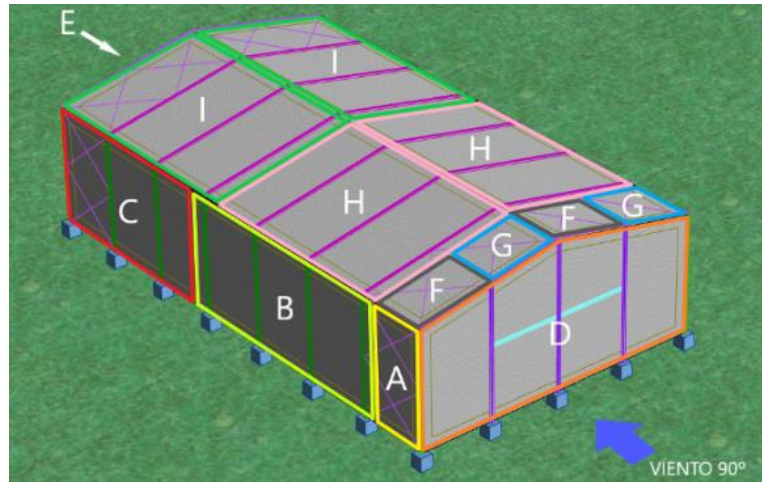


Figura 6.25. Áreas aplicación cargas viento 90°

Las cargas aplicadas son:

En este caso, el valor de cada carga no ha sido añadido, ya que son diferentes para cada área (Figura 6.22 y 6.23), divididas en pilares y columnas resulta un gran cantidad de datos. Por lo tanto, por motivo de facilitar la lectura de las mismas, se han eliminado las etiquetas con los valores.

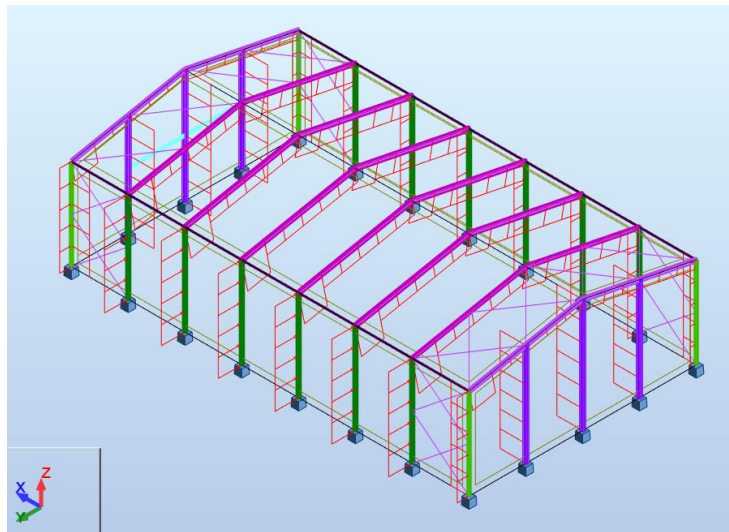


Figura 6.26. Cargas viento hipótesis 1°

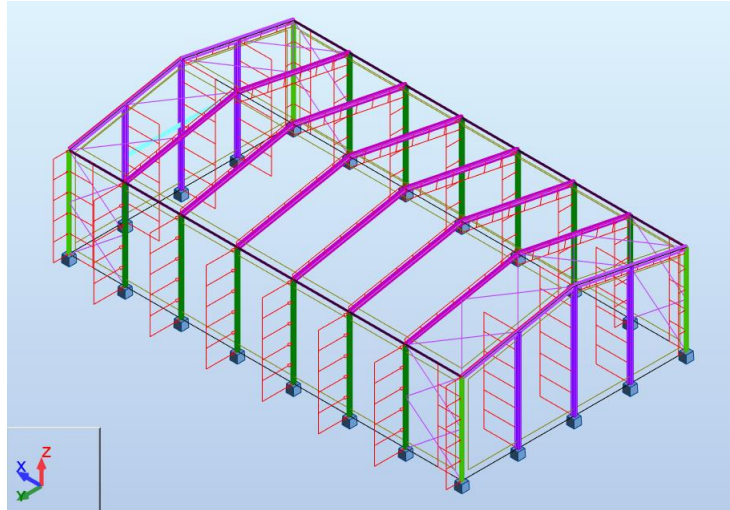


Figura 6.27. Cargas viento hipótesis 2º

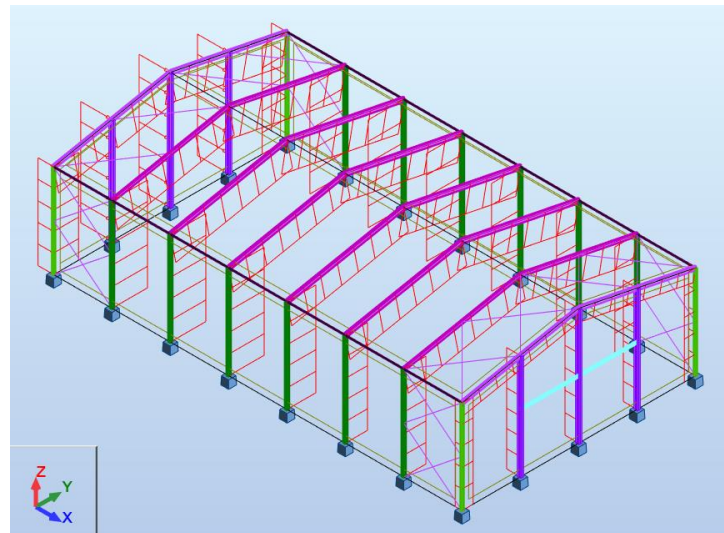


Figura 6.28. Cargas viento hipótesis 3º

✓ **Viento simulaciones:** En este caso, se ha realizado una generación automática de cargas de viento. Se han seleccionado todos los ángulos de ataque posibles.

Se establece una velocidad de viento de 29 m/s, igual que la seleccionada a partir de los perfiles de viento establecidos por el CTE. Los elementos expuestos al viento que se han seleccionado son todos los cerramientos de fachada y cubiertas que cierran la nave industrial.

El coeficiente de desviación de la generación de cargas se deja establecido por defecto, 0,5%. Aunque la influencia de dicho valor resulta significativa, se desarrollado en el apartado 6.2.1.

Los resultados obtenidos para los valores comentados son los siguientes:

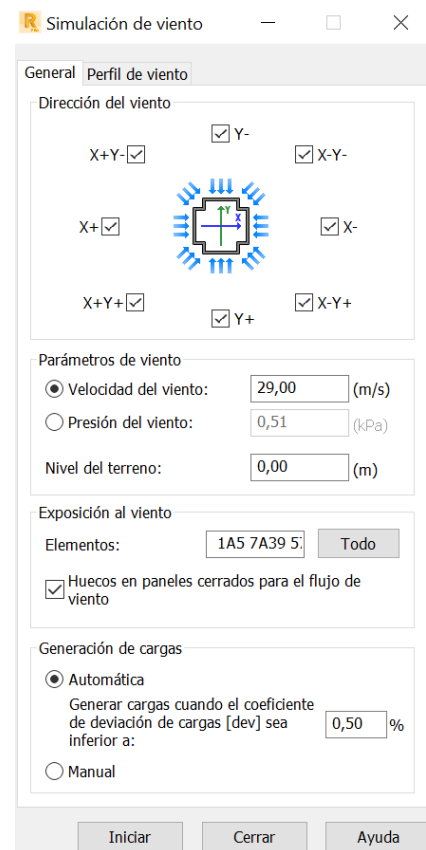


Figura 6.29. Configuración simulación de viento

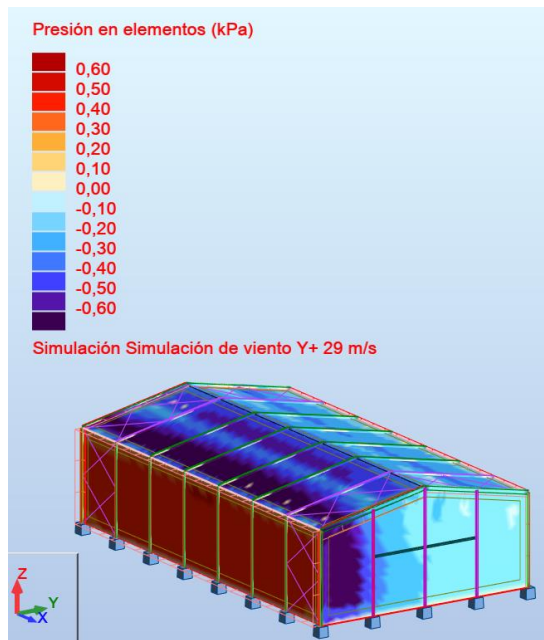


Figura 6.30. Simulación viento
dirección Y+

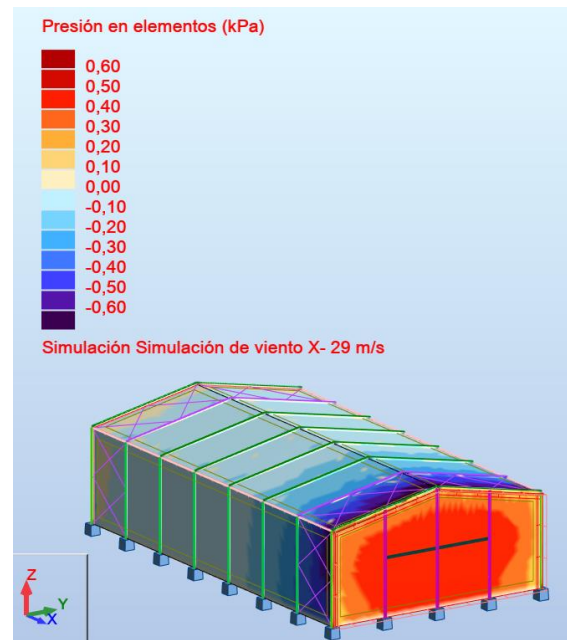


Figura 6.31. Simulación viento
dirección X-

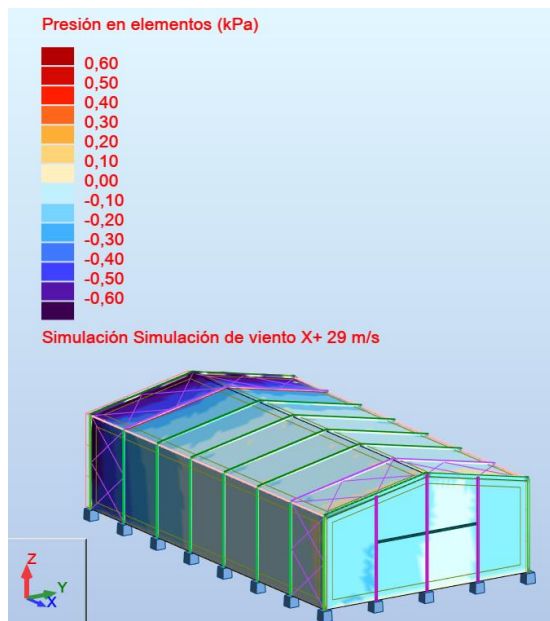


Figura 6.32. Simulación viento
Dirección X+

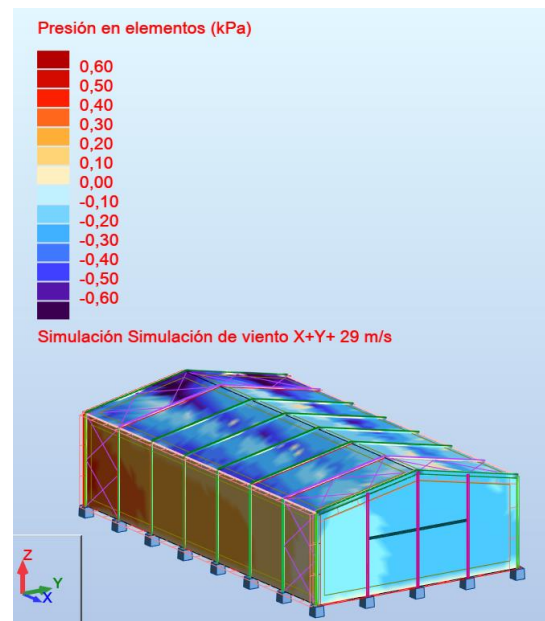


Figura 6.33. Simulación viento
Dirección X+Y+

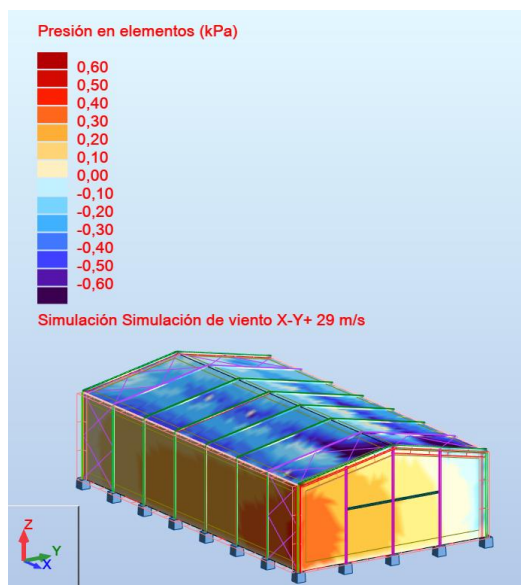


Figura 6.34. Simluación viento
dirección X-Y+

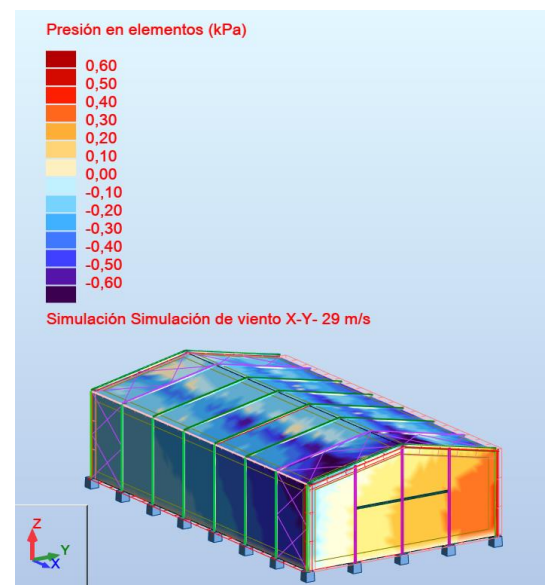


Figura 6.35. Simulación viento
dirección X-Y-

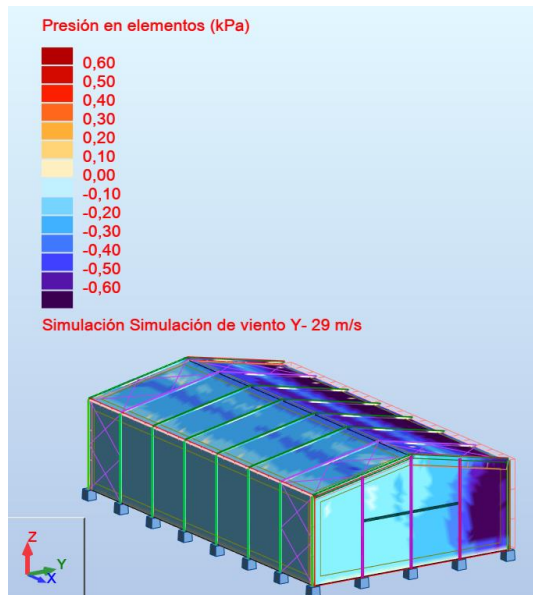


Figura 6.36. Simulación viento
dirección Y-

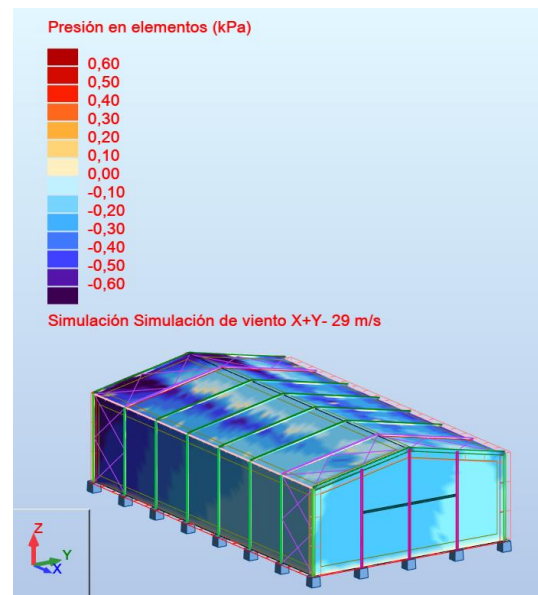


Figura 6.37. Simulación viento
dirección X+Y-

6.2.1 Coeficiente de desviación de la generación de cargas para la simulación de viento

Los resultados mostrados en las figuras desde 6.30. hasta 6.37. corresponden a un coeficiente de desviación en la generación de las cargas de viento para la velocidad de viento especificada de 0,5%. Sin embargo este valor puede modificarse.

Autodesk Robot Structural Analysis calcula las fuerzas del viento sobre las superficies de la nave a través del principio de la hidrodinámica de Bernoulli.

En primer lugar, calcula el valor de la presión dinámica para un fluido de flujo incompresible:

$$q = \frac{1}{2} \rho v^2 \quad (20)$$

Siendo:

q = presión dinámica

ρ = densidad del aire

v = velocidad del aire

Una vez obtenida la presión dinámica, se puede obtener la fuerza en los tres ejes principales globales. Para ello se realiza el producto de la presión dinámica por la superficie total de las áreas cuya normal se encuentra en la dirección del viento para esas mismas tres direcciones principales. Es decir, las áreas que forman las superficie del producto serán aquellas cuya normal se encuentre en la misma dirección que la del eje en estudio.

Una vez obtenidas las fuerzas, y dado que los productos de la operación son valores dinámicos, no se obtiene una solución única, sino que se debe realizar una interacción hasta alcanzar una convergencia específica.

Dicha convergencia viene determinada por el factor de desviación de la generación de cargas (DF, del inglés deviation factor).

La comparativa realizada para alcanzar la convergencia, será para un número n de interacciones. La diferencia entre la fuerza para la interacción n menos la $n-1$. Cuando dicha diferencia se encuentra justo por debajo del valor del factor de desviación de generación de cargas establecido, para las tres direcciones principales, el software generará las cargas de viento correspondiente.

$$\Delta F_{xviento} = \max(|F_{(n)xviento} - F_{(n-1)xviento}|) \quad (21)$$

$$\Delta F_{yviento} = \max(|F_{(n)yviento} - F_{(n-1)yviento}|) \quad (22)$$

$$\Delta F_{zviento} = \max(|F_{(n)zviento} - F_{(n-1)zviento}|) \quad (23)$$

Si la convergencia se obtiene muy rápido, el software realiza un mínimo de 10 interacciones, independientemente de si se alcanza antes el DF establecido.

Para este proyecto, se ha realizado una simulación con un DF de 0,2%. A continuación se muestran los efectos de dicho reajuste del coeficiente. Se muestran las fuerzas aplicadas bajo las dirección principales de carga de viento, en sentido positivo:

Viento X+ con DF 0.5%

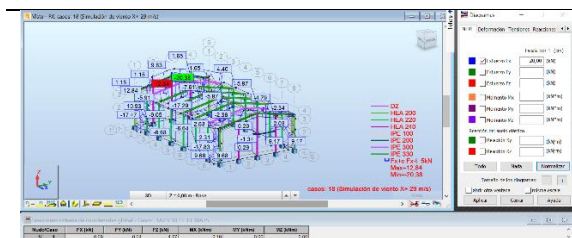


Figura 6.38. Fuerzas F_x 0.5% DF

Viento X+ con DF 0.2%

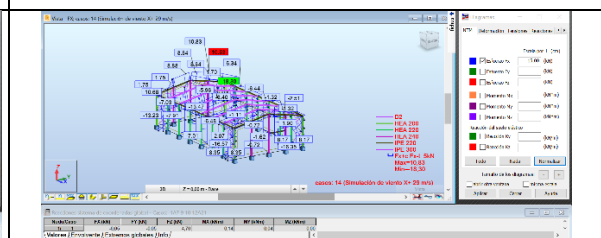


Figura 6.39. Fuerzas F_x 0.2% DF

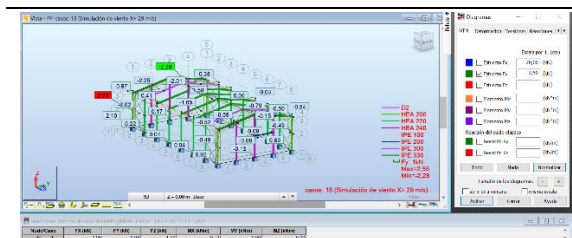


Figura 6.40. Fuerzas F_y 0.5% DF

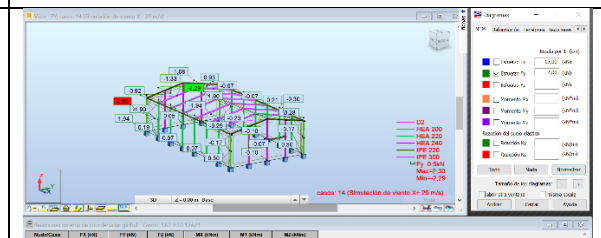


Figura 6.41. Fuerza F_y 0.2% DF

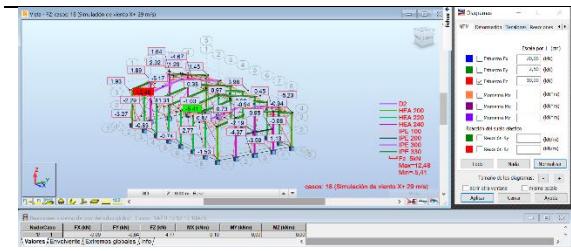


Figura 6.42. Fuerza F_z 0.5% DF

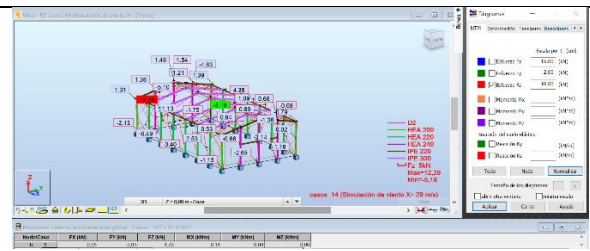


Figura 6.43. Fuerza F_z 0.2% DF

Viento Y+ con DF 0.5%

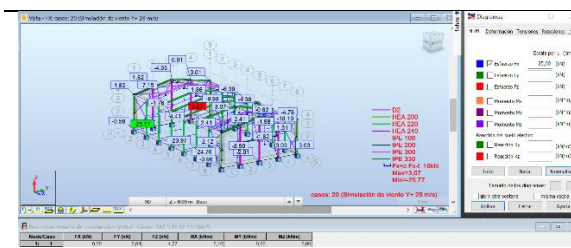


Figura 6.44. Fuerzas F_x 0.5%DF

Viento Y+ con DF 0.2%

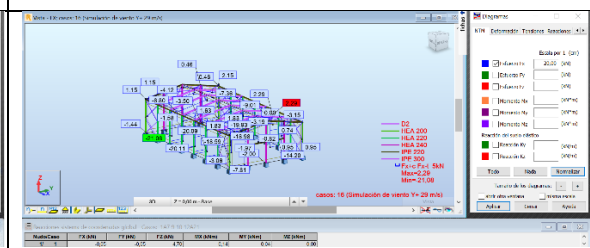


Figura 6.45. Fuerzas F_x 0.2% DF

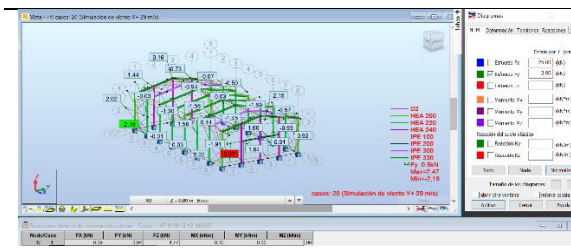


Figura 6.46. Fuerzas F_y 0.5% DF

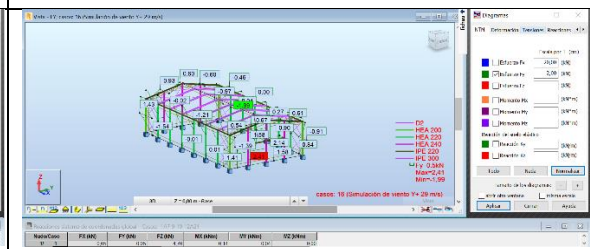


Figura 6.47. Fuerzas F_y 0.2% DF

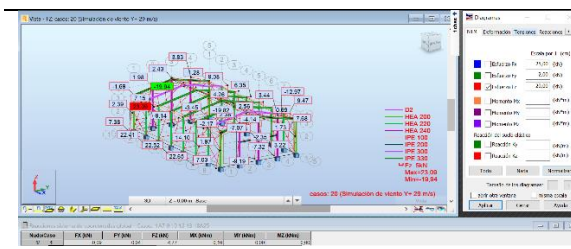


Figura 6.48. Fuerza F_z 0.5% DF

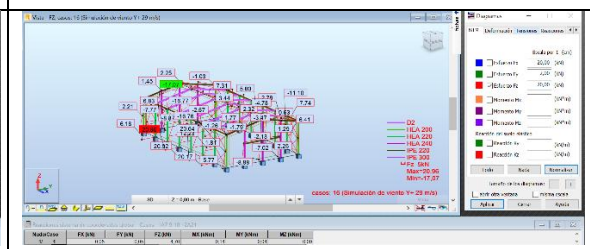


Figura 6.49. Fuerza F_z 0.2% DF

Como se aprecia en las figuras, al reducir el valor del factor de desviación de la generación de cargas, se obtienen fuerzas menores con una variación de:

$$0.5\text{kN} \leq \Delta F \leq 5\text{kN}$$

Las variaciones de fuerza no son iguales en todas las direcciones, pero se puede ver que de forma general, al reducir el valor de convergencia, se reducen las fuerzas generadas. Además, cuando más pequeño sea el coeficiente de generación de variación de cargas, más

preciso será el valor final respecto al real si la nave se introdujera en un túnel de viento real. Y por lo tanto, más próximo a las cargas reales bajo las que estará sometido en la ubicación de su construcción.

De igual forma que se ha producido una reducción de las fuerzas, también lo hacen las deformaciones de la estructura. Sin embargo, se han dimensionado ambas naves y dado que la diferencia entre ellas es pequeña, los perfiles utilizados han sido los mismos. Por lo que no hay necesidad de hacer distinción entre ellos en los resultados finales de este proyecto.

Para el resto de este proyecto, se van a utilizar las cargas de viento con un DF de 0.2%, ya que son más próximas a la realidad. Pero si se usarán los resultados con $DF = 0.5\%$, serían válidos a pesar de la pérdida de precisión en las simulaciones, pues se estaría desde el lado de la seguridad.

6.3 Definición de grupos

Todos los elementos que componen la estructura metálica de la nave industrial se han clasificado en distintos grupos, que nos permiten establecer una serie de características para todas las barras del mismo grupo. En total se han creado 10 grupos distintos, y aunque entre algunos de ellos las variaciones son pequeñas, se ha querido realizar de esta forma para poder tener una mejor valoración sobre la influencia de determinados arriostramientos utilizados.

Se considera que durante la construcción de la nave se realizaría un seguimiento exhaustivo de las uniones y orientaciones de los elementos, de manera que los efectos considerados a continuación se cumplan. Es importante mencionar, que esta configuración no es la única posible, ya que dependiendo de su montaje y tipo de unión, el comportamiento de la combinación de elementos puede cambiar. El criterio de diseño más importante que se ha considerado como prioridad en este proyecto, es que nuestra estructura esté desde el lado de la seguridad.

A continuación se definen todos los grupos y sus características:

6.3.1 Grupo 1º, vigas centrales

Recoge las vigas de cubierta desde V3 hasta V6 y desde V11 hasta V14 (Figura 6.16).

Estas vigas se encuentran sometidas principalmente a flexión, por lo que su inestabilidad más común será a pandeo lateral. Para esta situación, se ha considerado que las alas superiores están arriostradas por las correas, mientras que las alas inferiores quedan arriostradas en la longitud de las cartelas.

También se ha considerado pandeo de forma genérica, ya que debido a la inclinación de las vigas, podría aparecer un pequeño axil de compresión. Resulta interesante considerar el pandeo aunque esté muy desde el lado de la seguridad.

Para el pandeo, se ha considerado que el eje Z está arriostrado por las correas, ya que estas limitan, en cierto modo, las longitudes de pandeo de dicho eje. Mientras que en el eje Y, las correas no tienen influencia alguna, se ha considerado coeficiente de pandeo 1. Es decir, biarticulado, como caso general.

Figura 6.38. Definición parámetros grupo 1º

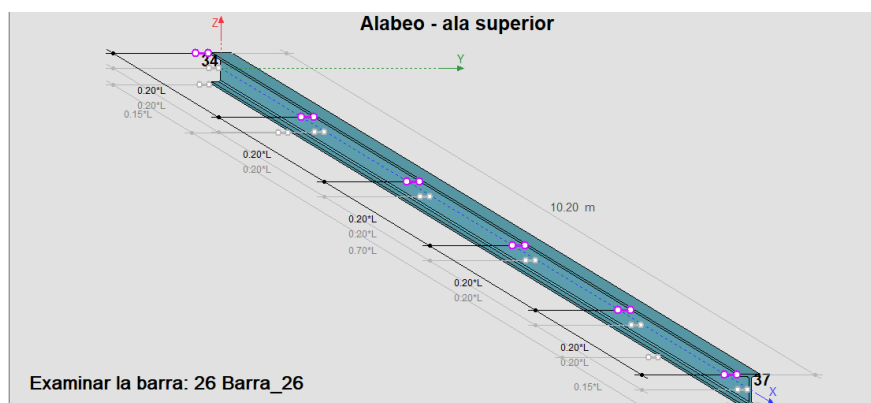


Figura 6.39. Arriostramientos grupo 1º

6.3.2 Grupo 2º, vigas centrales con cruces de San Andrés

Recoge las vigas de cubierta V2, V7, V10 y V15 (Figura 6.16).

Este grupo es muy igual al anterior, salvo por la presencia de las cruces de San Andrés que arriostran en el eje Y de la viga.

Tanto en pandeo como pandeo lateral, se arriostran las vigas en el eje Y. Es decir, la longitud de pandeo se reduce a la mitad. La unión entre ambos elementos se considera soldadura a tope, de manera que bloquee el movimiento.

Aquí se ha considerado, para el coeficiente de pandeo en el eje Y, los efectos del arriostramiento de la cruz de san Andrés, en el ala inferior. Y para el pandeo en Y igual, ya que se reduce la longitud de pandeo a la mitad.

El resto de consideraciones son iguales al grupo 1.

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

Tipo de barra:

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

Coef. de longitud de pandeo y:  traslacional

Curva de pandeo y:

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

Coef. de longitud de pandeo z:  traslacional

Curva de pandeo z:

☐ Pandeo flexo-torsor

Parámetros de pandeo lateral

☒ Pándeo lateral

Nivel de carga: 

$L_{cr} = (L_{cr1}, L_{cr2}, \dots)$ $L_{cr} = (L_{cr1}, L_{cr2}, \dots)$

Momento crítico: ☒ Automático ☐ Usuario $M_{cr} =$ kN^*m

Curva de pandeo lateral:

☐ Método general [6.3.2.2] $\Lambda_{bLT,0} =$

☒ Método detallado [6.3.2.3] $\beta =$

☐ Método simplificado para las vigas con rigidizadores laterales [6.3.2.4] $k_{fl} =$

Conjuntos adicionales de parámetros de la barra

☒ Flechas y desplazamientos límites:

☐ Secciones compuestas:

☐ Secciones de paredes delgadas:

☐ Parámetros del análisis de resist. al fuego:

Figura 6.40. Definición
parámetros grupo 2º

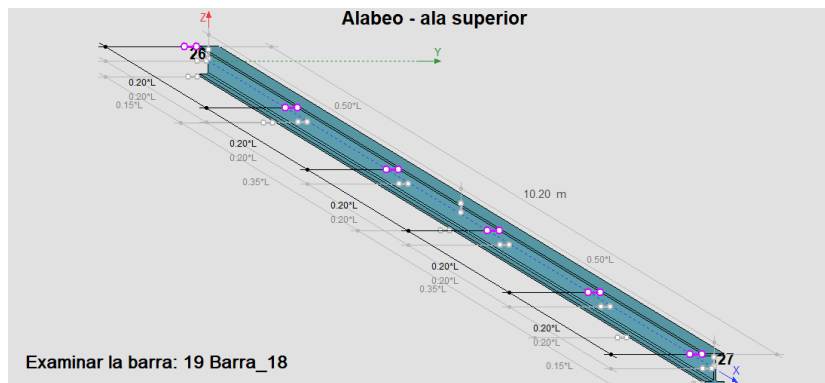


Figura 6.41. Arriostramientos grupo 2º

6.3.3 Grupo 3º, vigas de fachada

Recoge las vigas de cubierta V1, V8, V9 y V16 (Figura 6.16).

Se ha diferenciado este grupo respecto el anterior ya que además de la viga de san Andrés, se encuentran los pilares hastiales, lo cual limita mucho más la longitud de pandeo en el mismo plano, el Y.

Sin embargo, en el eje Z, se ha considerado 0.7, condición de empotrado – articulado. Debido a que no se puede considerar la influencia de las correas igual que antes, pues estas solo arriostran hacia uno de los lados de la viga. Es decir, se considera que podría aparecer pandeo, pero de forma reducida, ya que tiene bastante uniones. Con esta configuración, se valora el pandeo, aunque es poco probable que ocurra, por lo que estamos desde el lado de la seguridad.

Los efectos más significativos serán producidos por el pandeo lateral, los cuales también han sido considerados, siguiendo las mismas configuraciones que en los grupos anteriores.

Figura 6.42. Definición parámetros grupo 3º

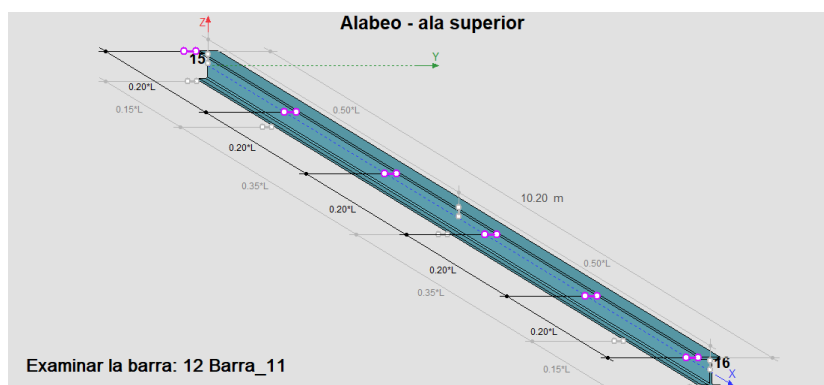


Figura 6.43. Arriostramientos grupo 3º

6.3.4 Grupo 4º, vigas cerramiento puerta

Recoge las vigas de cubierta V17 y V18. (Figura 6.16).

Viga sometida principalmente a flexión, por lo que se revisa a pandeo lateral. Y dado que no sufre compresiones, no se revisa a pandeo.

Figura 6.44. Definición parámetros grupo 4º

6.3.5 Grupo 5º, pilares centrales

Recoge los pilares laterales desde 3 hasta 6 y desde 11 hasta 14 (Figura 6.15).

El pilar central se considera estructura traslacional en el plano del pórtico, eje Y. Por lo que como tal, de forma común y desde el lado de la seguridad, se considera un elemento empotrado – libre, coeficiente de pandeo 2. Y en el plano lateral no se considera porque el cerramiento lo evita. Pero dado que estos pilares van a estar sometidos a flexo – compresión se tiene también en cuenta la inestabilidad por pandeo lateral con longitudes de pandeo de las alas superiores e inferiores normales, dado que no hay arriostramientos en estos elementos.

Si no tuviéramos cerramientos, gracias a las vigas de atado, el coeficiente de longitud de pandeo en Z sería de 0.7, ya que estas limitan el movimiento uniendo las cabezas de los pilares entre sí. Pero como además de las vigas de atado, se tiene el cerramiento, se limita su pandeo totalmente.

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

Tipo de barra:

Guardar Cerrar

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

Coef. de longitud de pandeo y: 2,00 traslacional

Curva de pandeo y: auto

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

Coef. de longitud de pandeo z: 1,00 traslacional

Curva de pandeo z: auto

☐ Pandeo flexo-torsor

Parámetros de pandeo lateral

☒ Pándeo lateral

Nivel de carga: ala superior ala inferior

Momento crítico: ☒ Automático ☐ Usuario Mcr = 1,00 kN*m

Curva de pandeo lateral: auto

☐ 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] kfi = 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 6.45. Definición parámetros grupo 5º

6.3.6 Grupo 6º, pilares centrales con cruces de San Andrés

Recoge los pilares laterales 2, 7, 10 y 15 (Figura 6.15).

La diferencia de estos respecto los anteriores, son las influencia de las cruces de san Andrés. Aunque el efecto de estos arriostramientos no supone una gran diferencia sobre los pilares. Se ha considerado interesante dividirlo en otro grupo para asegurarnos del grado de influencia de estos sobre los pilares al aplicarle las diferentes cargas y simulaciones.

El resto de parámetros es igual que los pilares del grupo anterior.

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

Tipo de barra:

Guardar Cerrar

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

Coef. de longitud de pandeo y: 2,00 traslacional

Curva de pandeo y: auto

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

Coef. de longitud de pandeo z: 1,00 traslacional

Curva de pandeo z: auto

☐ Pandeo flexo-torsor

Parámetros de pandeo lateral

☒ Pándeo lateral

Nivel de carga: ala superior ala inferior

Momento crítico: ☒ Automático ☐ Usuario Mcr = 1,00 kN*m

Curva de pandeo lateral: auto

☐ 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] kfi = 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 6.46. Definición parámetros grupo 6º

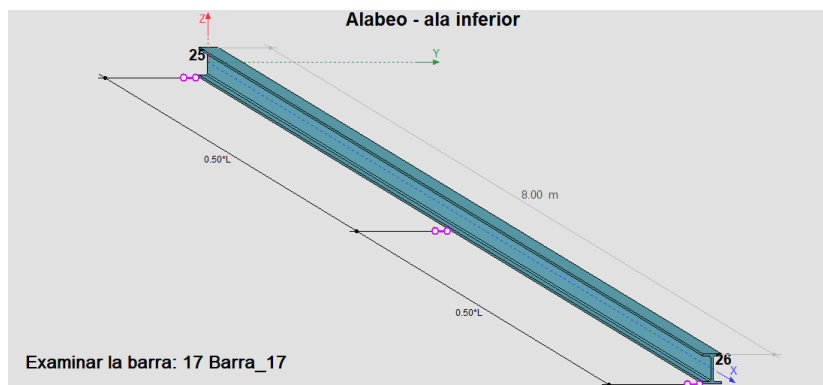


Figura 6.47. Arriostramientos grupo 6º

6.3.7 Grupo 7º, pilares de fachada en las esquinas

Recoge los pilares de las esquinas 1, 8, 9 y 16 (Figura 6.15).

Para este grupo, no se considera el pandeo en Z, aunque el cerramiento este solo en un lado, debió a la influencia de la cruz de San Andrés.

Además se ha considerado pandeo lateral, aunque sea un pilar, ya que en las naves industriales, los pilares están sometidos, además de a esfuerzo axil, a flexo – compresión dado que los momentos son importantes el ser estructuras diáfanas, así que sería lógico tener en cuenta la posibilidad de que ese momento sea tan grande que produzca pandeo lateral antes que pandeo, o la combinación de ambos, que es lo que realmente se está considerando.

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

Tipo de barra: **Pilar fachada esquina**

Guardar

Cerrar

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: 2,00 ☐ translacional

Coef. de longitud de pandeo z: 1,00 ☒ translacional

Curva de pandeo y: auto

Curva de pandeo z: auto

☐ Pandeo flexo-torsor

Parámetros de pandeo lateral

☒ Pádeo lateral

Nivel de carga: ☐ ala superior ☒ ala inferior

Coef. de long. de pandeo lateral: Lcr = lo Lcr = (Lcr1, Lcr2,...)

Momento crítico: ☒ Automático ☐ Usuario Mcr = 1,00 kN*m

Curva de pandeo lateral: auto

☐ 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] kfi = 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 6.48. Definición parámetros grupo 7º

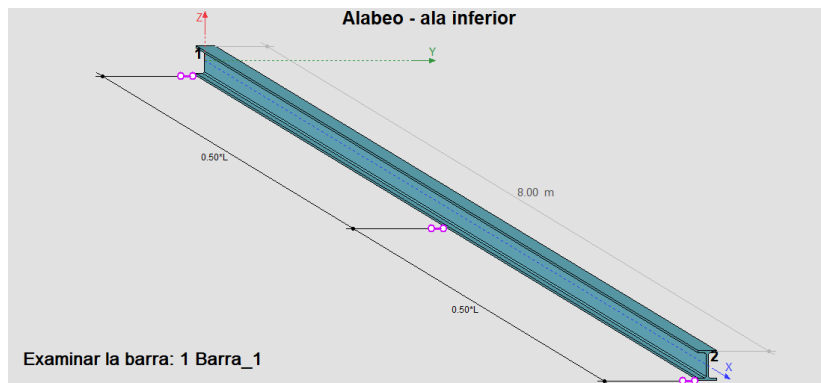


Figura 6.49. Arriostramientos grupo 7º

6.3.8 Grupo 8º, pilares fachada hastiales

Recoge los pilares de fachada desde 17 al 19 y del 20 al 22 (Figura 6.15).

Estos pilares están orientados según la dirección del viento, el plano Y en este caso es el plano lateral, por lo cual se ha considerado la estructura traslacional desde el lado más desfavorable. Mientras que el plano Z no se ha considerado, debido al cerramiento.

Además se valor el pandeo lateral estándar por si los momentos son importantes.

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

Tipo de barra: **Pilar Hastial**

Guardar Cerrar

Pandeo respecto al eje y

Longitud de la barra ly:

☐ real ☒ coeficiente

Coef. de longitud de pandeo y:

Curva de pandeo y:

Pandeo respecto al eje z

Longitud de la barra lz:

☐ real ☒ coeficiente

Coef. de longitud de pandeo z:

Curva de pandeo z:

☐ Pandeo flexo-torsor

Parámetros de pandeo lateral

☒ Pándeo lateral

Nivel de carga:

Lcr = lo Lcr = lo

Momento crítico: ☒ Automático ☐ Usuario

Mcr = kN*m

Curva de pandeo lateral:

☐ Método general [6.3.2.2] ☒ Método detallado [6.3.2.3] ☐ Método simplificado para las vigas con rigidizadores laterales [6.3.2.4]

Lambda LT,0 = Beta = kfi =

Conjuntos adicionales de parámetros de la barra

☒ Flechas y desplazamientos límites:

☐ Secciones compuestas:

☐ Secciones de paredes delgadas:

☐ Parámetros del análisis de resist. al fuego:

Más... Nota Ayuda

Figura 6.50. Definición parámetros grupo 8º

6.3.9 Grupo 9º, vigas de atado

Recoge las barras desde VA1 hasta VA14 (Figura 6.17).

Las vigas de atado van a tener principalmente esfuerzos de tracción – compresión, por lo tanto longitudes de pandeo normales, ya que se consideran biarticuladas con los pilares, porque su unión no será una soldadura perimetral a todo el pilar, si no puntos de soldadura que no hagan una unión muy rígida.

Debido a este tipo de unión, evitamos que las vigas de atado sufran elevados esfuerzos de flexión, por lo tanto no se calcula el pandeo lateral.

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

Tipo de barra:

Guardar

Cerrar

Pandeo respecto al eje y

Longitud de la barra ly:

☐ real

☒ coeficiente

Coef. de longitud de pandeo y:

traslacional

Curva de pandeo y:

Pandeo respecto al eje z

Longitud de la barra lz:

☐ real

☒ coeficiente

Coef. de longitud de pandeo z:

traslacional

Curva de pandeo z:

☐ Pandeo flexo-torsor

Parámetros de pandeo lateral

☐ Pandeo lateral

Coef. de long. de pandeo lateral

Nivel de carga:

Lcr = lo Lcr = lo

Momento crítico: ☒ Automático ☐ Usuario

Mcr = kN*m

Curva de pandeo lateral:

☐ Método general [6.3.2.2]

☒ Método detallado [6.3.2.3]

☐ Método simplificado para las vigas con rigidizadores laterales [6.3.2.4]

Conjuntos adicionales de parámetros de la barra

☒ Flechas y desplazamientos límites:

☐ Secciones compuestas:

☐ Secciones de paredes delgadas:

☐ Parámetros del análisis de resist. al fuego:

Más...

Nota

Ayuda

Figura 6.51. Definición parámetros grupo 9º

6.3.10 Grupo 10°, cruces de San Andrés

Recoge las barras desde B1 hasta B31 (Figura 6.18).

Para estos elementos, tan solo se van a realizar unas comprobaciones a nivel de sección, puesto que este perfil no va a trabajar a pandeo, ya que si hay compresiones, será la otra barra de la cruz la que esté traccionada.

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

Tipo de barra: Cruces San Andres

Pandeo respecto al eje y
Longitud de la barra ly: ☐ real ☒ coeficiente 1,00
Coef. de longitud de pandeo y: ☒ traslacional
Curva de pandeo y: auto

Pandeo respecto al eje z
Longitud de la barra lz: ☐ real ☒ coeficiente 1,00
Coef. de longitud de pandeo z: ☒ traslacional
Curva de pandeo z: auto

☐ Pandeo flexo-torsor

Parámetros de pandeo lateral
☐ Pándeo lateral
Nivel de carga:
Lcr = lo Lcr = lo
Momento crítico: ☒ Automático ☐ Usuario Mcr = 1,00 kN*m
Curva de pandeo lateral: auto

☐ 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] kfi = 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

Guardar Cerrar Más... Nota Ayuda

Figura 6.52. Definición parámetros grupo 10°

7. Combinaciones de cargas y dimensionamiento

7.1 Combinación de acciones

Una vez se han aplicado y definido todas las cargas sobre la nave industrial, y se han agrupado todos los elementos en diferentes grupos sobre los cuales se han establecido unos parámetros concretos que definen su comportamiento sobre la estructura.

Se procede a obtener las combinaciones de carga. Estas combinaciones son generadas, de forma automática, por el software. Basadas en el Código Técnico de la Edificación, apartado 4:

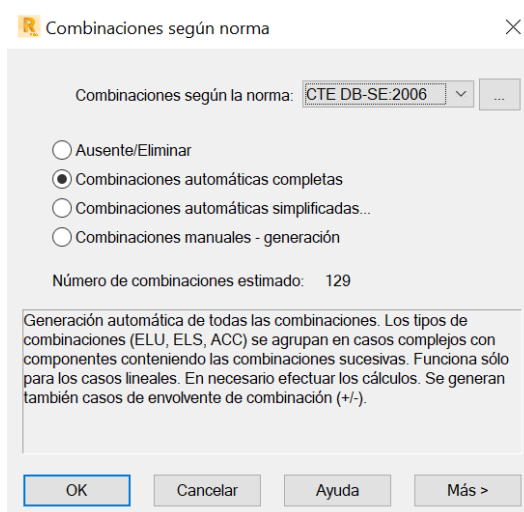


Figura 7.1. Generación de combinación de cargas automáticamente

Los coeficientes que aparecen junto con las cargas vienen establecidos por el Documento Básico de la Seguridad Estructural [7]. El cual establece las combinaciones de acciones en el apartado 4.2.2. de dicho documento.

El resultado de la combinación en estudio, se obtiene a través de la siguiente expresión:

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \cdot \Psi_{0,i} \cdot Q_{k,i} \quad (24)$$

Considera, la acción simultanea de:

- Todas las acciones permanentes, con valor de cálculo $(\gamma_G \cdot G_k)$, incluido el pretensado $(\gamma_P \cdot P)$.
- Una acción variable cualquiera, con valor de cálculo $(\gamma_Q \cdot Q_k)$, adoptándose de tal forma una tras otra de forma sucesiva en diferentes análisis.
- El resto de acciones variables, en valor del cálculo de la combinación $(\gamma_Q \cdot \Psi_0 \cdot Q_k)$.

Los valores de los coeficientes de seguridad, γ , se definen en la tabla 7.1.

Tabla 7.1. Coeficientes parciales de seguridad para las acciones

Tipo de verificación	Tipo de acción	Situación persistente o transitoria	
		Desfavorable	Favorable
Resistencia	Permanente		
	Peso propio, peso del terreno	1,35	0,80
	Empuje del terreno	1,35	0,70
	Presión del agua	1,20	0,90
	Variable	1,50	0
Estabilidad		Desestabilizadora	Estabilizadora
	Permanente		
	Peso propio, peso del terreno	1,10	0,90
	Empuje del terreno	1,35	0,80
	Presión del agua	1,05	0,95
	Variable	1,50	0

Según el tipo de acciones se aplican los coeficientes de seguridad, considerando las comprobaciones de resistencia.

Los valores del coeficiente de simultaneidad, Ψ , se establecen en la tabla 7.2.

Tabla 7.2. Coeficientes de simultaneidad.

Sobrecarga superficial de uso (Categorías según DB-SE-AE)	Ψ_0	Ψ_1	Ψ_2
Zonas residenciales (Categoría A)	0,7	0,5	0,3
Zonas administrativas (Categoría B)	0,7	0,5	0,3
Zonas destinadas al público (Categoría C)	0,7	0,7	0,6
Zonas comerciales (Categoría D)	0,7	0,7	0,6
Zonas de tráfico y aparcamiento de vehículos ligeros con un peso total inferior a 30 kN (Categoría E)	0,7	0,7	0,6
Cubiertas transitables (Categorías F)			
Cubiertas accesibles únicamente para mantenimiento (Categoría G)	0	0	0

Nieve			
Para altitudes > 1000 m	0,7	0,5	0,2
Para altitudes ≤ 1000 m	0,5	0,2	0
Viento	0,6	0,5	0
Temperatura	0,6	0,5	0
Acciones variables del terreno	0,7	0,7	0,7

El resultado de calcular los efectos de las acciones correspondientes a una situación extraordinaria, se determina mediante combinaciones de acciones a partir de la fórmula:

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + \gamma_P \cdot P + A_d + \gamma_{Q,1} \cdot \Psi_{1,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \cdot \Psi_{2,i} \cdot Q_{k,i} \quad (25)$$

Para la cual se considera de forma simultánea:

- i. Todas las acciones permanentes, en valor de cálculo ($\gamma_G \cdot G_k$), incluso el pretensado ($\gamma_P \cdot P$).
- ii. Una acción accidental cualquiera, en valor de cálculo (A_d), debiendo realizarse posteriormente un análisis de cada una de ellas.
- iii. Una acción variable, en valor de cálculo frecuente ($\gamma_Q \cdot \Psi_1 \cdot Q_k$), debe adoptarse como tal, de forma sucesiva una tras otra en diferentes análisis con cada acción accidental considerada.
- iv. El resto de acciones variables, en valor de cálculo casi permanente ($\gamma_Q \cdot \Psi_2 \cdot Q_k$).

7.2 Casos de carga CTE

Tal y como se ha mencionado previamente, las combinaciones de carga se realizan de forma automática por el software, siguiendo los criterios establecidos por el código técnico de la edificación.

Dichos criterios para la determinación de los casos de carga se basan en los estados límites de la edificación.

Se entiende por estado límite, aquellas situaciones para las que, de ser superadas, puede considerarse que la edificación no cumple con alguno de los requisitos estructurales para los que ha sido concebido. Y se clasifican en dos tipos, Estados Límite Últimos (ELU) y Estados límite de Servicio (ELS).

Los Estados Límite Últimos son aquellos que pueden dar lugar al colapso de la estructura. Estos fallos pueden venir ocasionados principalmente por dos causas. Un fallo por resistencia, donde la sección del elemento se vea sometido a un esfuerzo superior al que es capaz de soportar, ocasionando el fallo. O un fallo por problemas de estabilidad.

Los Estados Límite de Servicio, son aquellos que exigen un nivel de funcionamiento y confort adecuado para los usuarios. Para ellos se debe garantizar que no existan desplazamientos verticales (flecha) u horizontales (desplome) muy grandes, ni problema de vibraciones, entre otros.

Por lo tanto, las combinaciones de carga realizadas recogen tanto el Estado Límite Último, como el Estado Límite de Servicio. Serán las combinaciones de carga ELU las que principalmente indiquen el dimensionamiento de la construcción, sin embargo resulta imprescindible el cumplimiento de la ELS. Por lo que los perfiles seleccionados deben de cumplir las condiciones de casos de carga para ambos.

A continuación se muestran todas las combinaciones de carga realizadas, en total 129, para el caso de las cargas de viento calculadas a partir del CTE. Así como la combinación de carga ELU más desfavorable para cada grupo que contiene los elementos de la estructura.

Siendo los casos de carga los siguientes:

Combinación/Componente	Definición
ELU/ 1	$1^*1.35 + 2^*1.35 + 3^*1.50 + 10^*1.35$
ELU/ 2	$1^*1.35 + 2^*1.35 + 3^*1.50 + 4^*0.75 + 10^*1.35$
ELU/ 3	$1^*1.35 + 2^*1.35 + 3^*1.50 + 5^*0.75 + 10^*1.35$
ELU/ 4	$1^*1.35 + 2^*1.35 + 3^*1.50 + 6^*0.75 + 10^*1.35$
ELU/ 5	$1^*1.35 + 2^*1.35 + 3^*1.50 + 7^*0.90 + 10^*1.35$
ELU/ 6	$1^*1.35 + 2^*1.35 + 3^*1.50 + 4^*0.75 + 7^*0.90 + 10^*1.35$
ELU/ 7	$1^*1.35 + 2^*1.35 + 3^*1.50 + 5^*0.75 + 7^*0.90 + 10^*1.35$
ELU/ 8	$1^*1.35 + 2^*1.35 + 3^*1.50 + 6^*0.75 + 7^*0.90 + 10^*1.35$
ELU/ 9	$1^*1.35 + 2^*1.35 + 3^*1.50 + 8^*0.90 + 10^*1.35$
ELU/ 10	$1^*1.35 + 2^*1.35 + 3^*1.50 + 4^*0.75 + 8^*0.90 + 10^*1.35$
ELU/ 11	$1^*1.35 + 2^*1.35 + 3^*1.50 + 5^*0.75 + 8^*0.90 + 10^*1.35$
ELU/ 12	$1^*1.35 + 2^*1.35 + 3^*1.50 + 6^*0.75 + 8^*0.90 + 10^*1.35$
ELU/ 13	$1^*1.35 + 2^*1.35 + 3^*1.50 + 9^*0.90 + 10^*1.35$
ELU/ 14	$1^*1.35 + 2^*1.35 + 3^*1.50 + 4^*0.75 + 9^*0.90 + 10^*1.35$
ELU/ 15	$1^*1.35 + 2^*1.35 + 3^*1.50 + 5^*0.75 + 9^*0.90 + 10^*1.35$
ELU/ 16	$1^*1.35 + 2^*1.35 + 3^*1.50 + 6^*0.75 + 9^*0.90 + 10^*1.35$
ELU/ 17	$1^*1.35 + 2^*1.35 + 10^*1.35$
ELU/ 18	$1^*0.80 + 2^*0.80 + 3^*1.50 + 10^*0.80$
ELU/ 19	$1^*0.80 + 2^*0.80 + 3^*1.50 + 4^*0.75 + 10^*0.80$
ELU/ 20	$1^*0.80 + 2^*0.80 + 3^*1.50 + 5^*0.75 + 10^*0.80$
ELU/ 21	$1^*0.80 + 2^*0.80 + 3^*1.50 + 6^*0.75 + 10^*0.80$
ELU/ 22	$1^*0.80 + 2^*0.80 + 3^*1.50 + 7^*0.90 + 10^*0.80$
ELU/ 23	$1^*0.80 + 2^*0.80 + 3^*1.50 + 4^*0.75 + 7^*0.90 + 10^*0.80$
ELU/ 24	$1^*0.80 + 2^*0.80 + 3^*1.50 + 5^*0.75 + 7^*0.90 + 10^*0.80$
ELU/ 25	$1^*0.80 + 2^*0.80 + 3^*1.50 + 6^*0.75 + 7^*0.90 + 10^*0.80$
ELU/ 26	$1^*0.80 + 2^*0.80 + 3^*1.50 + 8^*0.90 + 10^*0.80$
ELU/ 27	$1^*0.80 + 2^*0.80 + 3^*1.50 + 4^*0.75 + 8^*0.90 + 10^*0.80$
ELU/ 28	$1^*0.80 + 2^*0.80 + 3^*1.50 + 5^*0.75 + 8^*0.90 + 10^*0.80$
ELU/ 29	$1^*0.80 + 2^*0.80 + 3^*1.50 + 6^*0.75 + 8^*0.90 + 10^*0.80$
ELU/ 30	$1^*0.80 + 2^*0.80 + 3^*1.50 + 9^*0.90 + 10^*0.80$
ELU/ 31	$1^*0.80 + 2^*0.80 + 3^*1.50 + 4^*0.75 + 9^*0.90 + 10^*0.80$
ELU/ 32	$1^*0.80 + 2^*0.80 + 3^*1.50 + 5^*0.75 + 9^*0.90 + 10^*0.80$

Figura 7.2. Combinaciones de carga viento
CTE 1°

Combinación/Componente	Definición
ELU/ 65	$1^*1.35 + 2^*1.35 + 4^*1.50 + 8^*0.90 + 10^*1.35$
ELU/ 66	$1^*1.35 + 2^*1.35 + 5^*1.50 + 8^*0.90 + 10^*1.35$
ELU/ 67	$1^*1.35 + 2^*1.35 + 6^*1.50 + 8^*0.90 + 10^*1.35$
ELU/ 68	$1^*1.35 + 2^*1.35 + 4^*1.50 + 9^*0.90 + 10^*1.35$
ELU/ 69	$1^*1.35 + 2^*1.35 + 5^*1.50 + 9^*0.90 + 10^*1.35$
ELU/ 70	$1^*1.35 + 2^*1.35 + 6^*1.50 + 9^*0.90 + 10^*1.35$
ELU/ 71	$1^*0.80 + 2^*0.80 + 4^*1.50 + 10^*0.80$
ELU/ 72	$1^*0.80 + 2^*0.80 + 5^*1.50 + 10^*0.80$
ELU/ 73	$1^*0.80 + 2^*0.80 + 6^*1.50 + 10^*0.80$
ELU/ 74	$1^*0.80 + 2^*0.80 + 4^*1.50 + 7^*0.90 + 10^*0.80$
ELU/ 75	$1^*0.80 + 2^*0.80 + 5^*1.50 + 7^*0.90 + 10^*0.80$
ELU/ 76	$1^*0.80 + 2^*0.80 + 6^*1.50 + 7^*0.90 + 10^*0.80$
ELU/ 77	$1^*0.80 + 2^*0.80 + 4^*1.50 + 8^*0.90 + 10^*0.80$
ELU/ 78	$1^*0.80 + 2^*0.80 + 5^*1.50 + 8^*0.90 + 10^*0.80$
ELU/ 79	$1^*0.80 + 2^*0.80 + 6^*1.50 + 8^*0.90 + 10^*0.80$
ELU/ 80	$1^*0.80 + 2^*0.80 + 4^*1.50 + 9^*0.90 + 10^*0.80$
ELU/ 81	$1^*0.80 + 2^*0.80 + 5^*1.50 + 9^*0.90 + 10^*0.80$
ELU/ 82	$1^*0.80 + 2^*0.80 + 6^*1.50 + 9^*0.90 + 10^*0.80$
ELS/ 1	$1^*1.00 + 2^*1.00 + 3^*1.00 + 10^*1.00$
ELS/ 2	$1^*1.00 + 2^*1.00 + 3^*1.00 + 4^*0.50 + 10^*1.00$
ELS/ 3	$1^*1.00 + 2^*1.00 + 3^*1.00 + 5^*0.50 + 10^*1.00$
ELS/ 4	$1^*1.00 + 2^*1.00 + 3^*1.00 + 6^*0.50 + 10^*1.00$
ELS/ 5	$1^*1.00 + 2^*1.00 + 3^*1.00 + 7^*0.60 + 10^*1.00$
ELS/ 6	$1^*1.00 + 2^*1.00 + 3^*1.00 + 4^*0.50 + 7^*0.60 + 10^*1.00$
ELS/ 7	$1^*1.00 + 2^*1.00 + 3^*1.00 + 5^*0.50 + 7^*0.60 + 10^*1.00$
ELS/ 8	$1^*1.00 + 2^*1.00 + 3^*1.00 + 6^*0.50 + 7^*0.60 + 10^*1.00$
ELS/ 9	$1^*1.00 + 2^*1.00 + 3^*1.00 + 8^*0.60 + 10^*1.00$
ELS/ 10	$1^*1.00 + 2^*1.00 + 3^*1.00 + 4^*0.50 + 8^*0.60 + 10^*1.00$
ELS/ 11	$1^*1.00 + 2^*1.00 + 3^*1.00 + 5^*0.50 + 8^*0.60 + 10^*1.00$
ELS/ 12	$1^*1.00 + 2^*1.00 + 3^*1.00 + 6^*0.50 + 8^*0.60 + 10^*1.00$
ELS/ 13	$1^*1.00 + 2^*1.00 + 3^*1.00 + 9^*0.60 + 10^*1.00$
ELS/ 14	$1^*1.00 + 2^*1.00 + 3^*1.00 + 4^*0.50 + 9^*0.60 + 10^*1.00$

Figura 7.3. Combinaciones de carga viento
CTE 3°

Combinación/Componente	Definición
ELU/ 33	$1^*0.80 + 2^*0.80 + 3^*1.50 + 6^*0.75 + 9^*0.90 + 10^*0.80$
ELU/ 34	$1^*0.80 + 2^*0.80 + 10^*0.80$
ELU/ 35	$1^*1.35 + 2^*1.35 + 7^*1.50 + 10^*1.35$
ELU/ 36	$1^*1.35 + 2^*1.35 + 4^*0.75 + 7^*1.50 + 10^*1.35$
ELU/ 37	$1^*1.35 + 2^*1.35 + 5^*0.75 + 7^*1.50 + 10^*1.35$
ELU/ 38	$1^*1.35 + 2^*1.35 + 6^*0.75 + 7^*1.50 + 10^*1.35$
ELU/ 39	$1^*1.35 + 2^*1.35 + 8^*1.50 + 10^*1.35$
ELU/ 40	$1^*1.35 + 2^*1.35 + 4^*0.75 + 8^*1.50 + 10^*1.35$
ELU/ 41	$1^*1.35 + 2^*1.35 + 5^*0.75 + 8^*1.50 + 10^*1.35$
ELU/ 42	$1^*1.35 + 2^*1.35 + 6^*0.75 + 8^*1.50 + 10^*1.35$
ELU/ 43	$1^*1.35 + 2^*1.35 + 9^*1.50 + 10^*1.35$
ELU/ 44	$1^*1.35 + 2^*1.35 + 4^*0.75 + 9^*1.50 + 10^*1.35$
ELU/ 45	$1^*1.35 + 2^*1.35 + 5^*0.75 + 9^*1.50 + 10^*1.35$
ELU/ 46	$1^*1.35 + 2^*1.35 + 6^*0.75 + 9^*1.50 + 10^*1.35$
ELU/ 47	$1^*0.80 + 2^*0.80 + 7^*1.50 + 10^*0.80$
ELU/ 48	$1^*0.80 + 2^*0.80 + 4^*0.75 + 7^*1.50 + 10^*0.80$
ELU/ 49	$1^*0.80 + 2^*0.80 + 5^*0.75 + 7^*1.50 + 10^*0.80$
ELU/ 50	$1^*0.80 + 2^*0.80 + 6^*0.75 + 7^*1.50 + 10^*0.80$
ELU/ 51	$1^*0.80 + 2^*0.80 + 8^*1.50 + 10^*0.80$
ELU/ 52	$1^*0.80 + 2^*0.80 + 4^*0.75 + 8^*1.50 + 10^*0.80$
ELU/ 53	$1^*0.80 + 2^*0.80 + 5^*0.75 + 8^*1.50 + 10^*0.80$
ELU/ 54	$1^*0.80 + 2^*0.80 + 6^*0.75 + 8^*1.50 + 10^*0.80$
ELU/ 55	$1^*0.80 + 2^*0.80 + 9^*1.50 + 10^*0.80$
ELU/ 56	$1^*0.80 + 2^*0.80 + 4^*0.75 + 9^*1.50 + 10^*0.80$
ELU/ 57	$1^*0.80 + 2^*0.80 + 5^*0.75 + 9^*1.50 + 10^*0.80$
ELU/ 58	$1^*0.80 + 2^*0.80 + 6^*0.75 + 9^*1.50 + 10^*0.80$
ELU/ 59	$1^*1.35 + 2^*1.35 + 4^*1.50 + 10^*1.35$
ELU/ 60	$1^*1.35 + 2^*1.35 + 5^*1.50 + 10^*1.35$
ELU/ 61	$1^*1.35 + 2^*1.35 + 6^*1.50 + 10^*1.35$
ELU/ 62	$1^*1.35 + 2^*1.35 + 4^*1.50 + 7^*0.90 + 10^*1.35$
ELU/ 63	$1^*1.35 + 2^*1.35 + 5^*1.50 + 7^*0.90 + 10^*1.35$
ELU/ 64	$1^*1.35 + 2^*1.35 + 6^*1.50 + 7^*0.90 + 10^*1.35$

Figura 7.2. Combinaciones de carga viento
CTE 2°

Combinación/Componente	Definición
ELS/ 15	$1^*1.00 + 2^*1.00 + 3^*1.00 + 5^*0.50 + 9^*0.60 + 10^*1.00$
ELS/ 16	$1^*1.00 + 2^*1.00 + 3^*1.00 + 6^*0.50 + 9^*0.60 + 10^*1.00$
ELS/ 17	$1^*1.00 + 2^*1.00 + 10^*1.00$
ELS/ 18	$1^*1.00 + 2^*1.00 + 7^*1.00 + 10^*1.00$
ELS/ 19	$1^*1.00 + 2^*1.00 + 4^*0.50 + 7^*1.00 + 10^*1.00$
ELS/ 20	$1^*1.00 + 2^*1.00 + 5^*0.50 + 7^*1.00 + 10^*1.00$
ELS/ 21	$1^*1.00 + 2^*1.00 + 6^*0.50 + 7^*1.00 + 10^*1.00$
ELS/ 22	$1^*1.00 + 2^*1.00 + 8^*1.00 + 10^*1.00$
ELS/ 23	$1^*1.00 + 2^*1.00 + 4^*0.50 + 8^*1.00 + 10^*1.00$
ELS/ 24	$1^*1.00 + 2^*1.00 + 5^*0.50 + 8^*1.00 + 10^*1.00$
ELS/ 25	$1^*1.00 + 2^*1.00 + 6^*0.50 + 8^*1.00 + 10^*1.00$
ELS/ 26	$1^*1.00 + 2^*1.00 + 9^*1.00 + 10^*1.00$
ELS/ 27	$1^*1.00 + 2^*1.00 + 4^*0.50 + 9^*1.00 + 10^*1.00$
ELS/ 28	$1^*1.00 + 2^*1.00 + 5^*0.50 + 9^*1.00 + 10^*1.00$
ELS/ 29	$1^*1.00 + 2^*1.00 + 6^*0.50 + 9^*1.00 + 10^*1.00$
ELS/ 30	$1^*1.00 + 2^*1.00 + 4^*1.00 + 10^*1.00$
ELS/ 31	$1^*1.00 + 2^*1.00 + 5^*1.00 + 10^*1.00$
ELS/ 32	$1^*1.00 + 2^*1.00 + 6^*1.00 + 10^*1.00$
ELS/ 33	$1^*1.00 + 2^*1.00 + 4^*1.00 + 7^*0.60 + 10^*1.00$
ELS/ 34	$1^*1.00 + 2^*1.00 + 5^*1.00 + 7^*0.60 + 10^*1.00$
ELS/ 35	$1^*1.00 + 2^*1.00 + 6^*1.00 + 7^*0.60 + 10^*1.00$
ELS/ 36	$1^*1.00 + 2^*1.00 + 4^*1.00 + 8^*0.60 + 10^*1.00$
ELS/ 37	$1^*1.00 + 2^*1.00 + 5^*1.00 + 8^*0.60 + 10^*1.00$
ELS/ 38	$1^*1.00 + 2^*1.00 + 6^*1.00 + 8^*0.60 + 10^*1.00$
ELS/ 39	$1^*1.00 + 2^*1.00 + 4^*1.00 + 9^*0.60 + 10^*1.00$
ELS/ 40	$1^*1.00 + 2^*1.00 + 5^*1.00 + 9^*0.60 + 10^*1.00$
ELS/ 41	$1^*1.00 + 2^*1.00 + 6^*1.00 + 9^*0.60 + 10^*1.00$
ELS/ 42	$1^*1.00 + 2^*1.00 + 7^*0.50 + 10^*1.00$
ELS/ 43	$1^*1.00 + 2^*1.00 + 8^*0.50 + 10^*1.00$
ELS/ 44	$1^*1.00 + 2^*1.00 + 9^*0.50 + 10^*1.00$
ELS/ 45	$1^*1.00 + 2^*1.00 + 4^*0.20 + 10^*1.00$
ELS/ 46	$1^*1.00 + 2^*1.00 + 5^*0.20 + 10^*1.00$
ELS/ 47	$1^*1.00 + 2^*1.00 + 6^*0.20 + 10^*1.00$

Figura 7.4. Combinaciones de carga viento
CTE 4°

Cuando se realiza el análisis de la estructura bajo los efectos de las diferentes combinaciones de carga, se puede obtener el dimensionado de los elementos que constituyen la estructura de la nave industrial.

La combinación de carga para cada grupo de elementos es:

7.2.1 Combinación de carga más desfavorable para grupo 1º, vigas centrales

La combinación de carga más desfavorable sobre estos elementos es la 11 ELU/10/.
Cuya combinación es:

$$1*1,35 + 2*1,35 + 3*1,50 + 4*0,75 + 8*0,90 + 10*1$$

Siendo:

- 1: Peso permanente estructura
- 2: Carga permanente cubierta
- 3: Sobrecarga de uso
- 4: Nieve H1
- 8: Viento 0º H2
- 10: Peso cerramiento puerta

7.2.2 Combinación de carga más desfavorable para grupo 2º, vigas centrales cruces San Andrés

La combinación de carga para los elementos de este grupo es 11 ELU/2/, donde:

$$1*1,35 + 2*1,35 + 3*1,50 + 4*0,75 + 10*1,35$$

- 1: Peso permanente estructura
- 2: Carga permanente cubierta
- 3: Sobrecarga de uso
- 4: Nieve H1
- 10: Peso cerramiento puerta

7.2.3 Combinación de carga más desfavorable para grupo 3º, vigas fachada

La combinación de carga más importante que actúa sobre los elementos de este grupo es 11 ELU/41/, siendo:

$$1*1,35 + 2*1,35 + 5*0,75 + 8*1,50 + 10*1,35$$

Cuyas cargas son:

- 1: Peso permanente estructura
- 2: Carga permanente cubierta
- 5: Nieve H2

8: Viento 0° H1

10: Peso cerramiento puerta

7.2.4 Combinación de carga más desfavorable para grupo 4°, viga cerramiento puerta

Para este grupo de elementos, la combinación de carga más desfavorable es 11 ELU/41/, siendo:

$$1*1,35 + 2*1,35 + 5*0,75 + 8*1,50 + 10*1,35$$

Cuyas cargas son:

1: Peso permanente estructura

2: Carga permanente cubierta

5: Nieve H2

8: Viento 0° H1

10: Peso cerramiento puerta

7.2.5 Combinación de carga más desfavorable para grupo 5°, pilares centrales

La combinación de carga más desfavorable para los elementos de este grupo, es el 11 ELU/47/, que corresponde a:

$$1*0,80 + 2*0,80 + 7*1,50 + 10*0,80$$

Siendo:

1: Peso permanente estructura

2: Carga permanente cubierta

7: Viento 0° H1

10: Peso cerramiento puerta

7.2.6 Combinación de carga más desfavorable para grupo 6°, pilares centrales cruces San Andrés

Para los elementos de este grupo, la combinación de carga más desfavorable es 11 ELU/47/, que corresponde con:

$$1*0,80 + 2*0,80 + 7*1,50 + 10*0,80$$

Siendo:

1: Peso permanente estructura

2: Carga permanente cubierta

7: Viento 0° H1

10: Peso cerramiento puerta

7.2.7 Combinación de carga más desfavorable para grupo 7°, pilares fachada esquinas

La combinación más desfavorable para este grupo es 11 ELU/41/, cuyas cargas correspondientes son:

$$1*1,35 + 2*1,35 + 5*0,75 + 8*1,50 + 10*1,35$$

Cuyas cargas son:

1: Peso permanente estructura

2: Carga permanente cubierta

5: Nieve H2

8: Viento 0° H1

10: Peso cerramiento puerta

7.2.8 Combinación de carga más desfavorable para grupo 8°, pilares fachada hastiales

Para este grupo, la combinación de carga mas desfavorable para los elementos, es la 11 ELU/35/, cuyas cargas son:

$$1*1,35 + 2*1,35 + 7*1,50 + 10*1,35$$

Siendo:

1: Peso permanente estructura

2: Carga permanente cubierta

7: Viento 0° H1

10: Peso cerramiento puerta

7.2.9 Combinación de carga más desfavorable para grupo 9°, vigas de atado

Para este grupo de elementos, la combinación de carga más desfavorable es la 11 ELU/47/, cuyo valor es:

$$1*0,80 + 2*0,80 + 7*1,50 + 10*0,80$$

Siendo:

- 1: Peso permanente estructura
- 2: Carga permanente cubierta
- 7: Viento 0° H1
- 10: Peso cerramiento puerta

7.2.10 Combinación de carga más desfavorable para grupo 10°, cruces de San Andrés

Para el último grupo de elementos, la combinación de carga más desfavorable es la 11 ELU/41/, cuyo valor es obtenido mediante:

$$1*1,35 + 2*1,35 + 5*0,75 + 8*1,50 + 10*1,35$$

Cuyas cargas son:

- 1: Peso permanente estructura
- 2: Carga permanente cubierta
- 5: Nieve H2
- 8: Viento 0° H1
- 10: Peso cerramiento puerta

7.3 Casos de carga simulación

Se realizan de nuevo las combinaciones de carga a través del software, de forma automática. En esta ocasión, la nave industrial en estudio se encuentra sometida a las cargas de viento generadas mediante la simulación. De tal forma que, al combinarse todas estas con el resto de cargas aplicadas sobre la edificación, se obtiene un total de 299 combinaciones de carga diferentes.

A continuación, desde la Figura 7.5 hasta las 7.14, se muestran todas las combinaciones de carga realizadas, de forma automática por el software y basadas en el procedimiento estipulado por el Código Técnico de la Edificación, CTE.

Combinación/Componente	Definición
ELU/ 1	1*1.35 + 2*1.35 + 3*1.50 + 7*1.35
ELU/ 2	1*1.35 + 2*1.35 + 3*1.50 + 4*0.75 + 7*1.35
ELU/ 3	1*1.35 + 2*1.35 + 3*1.50 + 5*0.75 + 7*1.35
ELU/ 4	1*1.35 + 2*1.35 + 3*1.50 + 6*0.75 + 7*1.35
ELU/ 5	1*1.35 + 2*1.35 + 3*1.50 + 7*1.35 + 14*0.90
ELU/ 6	1*1.35 + 2*1.35 + 3*1.50 + 4*0.75 + 7*1.35 + 14*0.90
ELU/ 7	1*1.35 + 2*1.35 + 3*1.50 + 5*0.75 + 7*1.35 + 14*0.90
ELU/ 8	1*1.35 + 2*1.35 + 3*1.50 + 6*0.75 + 7*1.35 + 14*0.90
ELU/ 9	1*1.35 + 2*1.35 + 3*1.50 + 7*1.35 + 15*0.90
ELU/ 10	1*1.35 + 2*1.35 + 3*1.50 + 4*0.75 + 7*1.35 + 15*0.90
ELU/ 11	1*1.35 + 2*1.35 + 3*1.50 + 5*0.75 + 7*1.35 + 15*0.90
ELU/ 12	1*1.35 + 2*1.35 + 3*1.50 + 6*0.75 + 7*1.35 + 15*0.90
ELU/ 13	1*1.35 + 2*1.35 + 3*1.50 + 7*1.35 + 16*0.90
ELU/ 14	1*1.35 + 2*1.35 + 3*1.50 + 4*0.75 + 7*1.35 + 16*0.90
ELU/ 15	1*1.35 + 2*1.35 + 3*1.50 + 5*0.75 + 7*1.35 + 16*0.90
ELU/ 16	1*1.35 + 2*1.35 + 3*1.50 + 6*0.75 + 7*1.35 + 16*0.90
ELU/ 17	1*1.35 + 2*1.35 + 3*1.50 + 7*1.35 + 17*0.90
ELU/ 18	1*1.35 + 2*1.35 + 3*1.50 + 4*0.75 + 7*1.35 + 17*0.90
ELU/ 19	1*1.35 + 2*1.35 + 3*1.50 + 5*0.75 + 7*1.35 + 17*0.90
ELU/ 20	1*1.35 + 2*1.35 + 3*1.50 + 6*0.75 + 7*1.35 + 17*0.90
ELU/ 21	1*1.35 + 2*1.35 + 3*1.50 + 7*1.35 + 18*0.90
ELU/ 22	1*1.35 + 2*1.35 + 3*1.50 + 4*0.75 + 7*1.35 + 18*0.90
ELU/ 23	1*1.35 + 2*1.35 + 3*1.50 + 5*0.75 + 7*1.35 + 18*0.90
ELU/ 24	1*1.35 + 2*1.35 + 3*1.50 + 6*0.75 + 7*1.35 + 18*0.90
ELU/ 25	1*1.35 + 2*1.35 + 3*1.50 + 7*1.35 + 19*0.90
ELU/ 26	1*1.35 + 2*1.35 + 3*1.50 + 4*0.75 + 7*1.35 + 19*0.90
ELU/ 27	1*1.35 + 2*1.35 + 3*1.50 + 5*0.75 + 7*1.35 + 19*0.90
ELU/ 28	1*1.35 + 2*1.35 + 3*1.50 + 6*0.75 + 7*1.35 + 19*0.90
ELU/ 29	1*1.35 + 2*1.35 + 3*1.50 + 7*1.35 + 20*0.90
ELU/ 30	1*1.35 + 2*1.35 + 3*1.50 + 4*0.75 + 7*1.35 + 20*0.90
ELU/ 31	1*1.35 + 2*1.35 + 3*1.50 + 5*0.75 + 7*1.35 + 20*0.90
ELU/ 32	1*1.35 + 2*1.35 + 3*1.50 + 6*0.75 + 7*1.35 + 20*0.90

Figura 7.5. Combinaciones de carga viento simulación 1º

Combinación/Componente	Definición
ELU/ 32	1*1.35 + 2*1.35 + 3*1.50 + 6*0.75 + 7*1.35 + 20*0.90
ELU/ 33	1*1.35 + 2*1.35 + 3*1.50 + 7*1.35 + 21*0.90
ELU/ 34	1*1.35 + 2*1.35 + 3*1.50 + 4*0.75 + 7*1.35 + 21*0.90
ELU/ 35	1*1.35 + 2*1.35 + 3*1.50 + 5*0.75 + 7*1.35 + 21*0.90
ELU/ 36	1*1.35 + 2*1.35 + 3*1.50 + 6*0.75 + 7*1.35 + 21*0.90
ELU/ 37	1*1.35 + 2*1.35 + 7*1.35
ELU/ 38	1*0.80 + 2*0.80 + 3*1.50 + 7*0.80
ELU/ 39	1*0.80 + 2*0.80 + 3*1.50 + 4*0.75 + 7*0.80
ELU/ 40	1*0.80 + 2*0.80 + 3*1.50 + 5*0.75 + 7*0.80
ELU/ 41	1*0.80 + 2*0.80 + 3*1.50 + 6*0.75 + 7*0.80
ELU/ 42	1*0.80 + 2*0.80 + 3*1.50 + 7*0.80 + 14*0.90
ELU/ 43	1*0.80 + 2*0.80 + 3*1.50 + 4*0.75 + 7*0.80 + 14*0.90
ELU/ 44	1*0.80 + 2*0.80 + 3*1.50 + 5*0.75 + 7*0.80 + 14*0.90
ELU/ 45	1*0.80 + 2*0.80 + 3*1.50 + 6*0.75 + 7*0.80 + 14*0.90
ELU/ 46	1*0.80 + 2*0.80 + 3*1.50 + 7*0.80 + 15*0.90
ELU/ 47	1*0.80 + 2*0.80 + 3*1.50 + 4*0.75 + 7*0.80 + 15*0.90
ELU/ 48	1*0.80 + 2*0.80 + 3*1.50 + 5*0.75 + 7*0.80 + 15*0.90
ELU/ 49	1*0.80 + 2*0.80 + 3*1.50 + 6*0.75 + 7*0.80 + 15*0.90
ELU/ 50	1*0.80 + 2*0.80 + 3*1.50 + 7*0.80 + 16*0.90
ELU/ 51	1*0.80 + 2*0.80 + 3*1.50 + 4*0.75 + 7*0.80 + 16*0.90
ELU/ 52	1*0.80 + 2*0.80 + 3*1.50 + 5*0.75 + 7*0.80 + 16*0.90
ELU/ 53	1*0.80 + 2*0.80 + 3*1.50 + 6*0.75 + 7*0.80 + 16*0.90
ELU/ 54	1*0.80 + 2*0.80 + 3*1.50 + 7*0.80 + 17*0.90
ELU/ 55	1*0.80 + 2*0.80 + 3*1.50 + 4*0.75 + 7*0.80 + 17*0.90
ELU/ 56	1*0.80 + 2*0.80 + 3*1.50 + 5*0.75 + 7*0.80 + 17*0.90
ELU/ 57	1*0.80 + 2*0.80 + 3*1.50 + 6*0.75 + 7*0.80 + 17*0.90
ELU/ 58	1*0.80 + 2*0.80 + 3*1.50 + 7*0.80 + 18*0.90
ELU/ 59	1*0.80 + 2*0.80 + 3*1.50 + 4*0.75 + 7*0.80 + 18*0.90
ELU/ 60	1*0.80 + 2*0.80 + 3*1.50 + 5*0.75 + 7*0.80 + 18*0.90
ELU/ 61	1*0.80 + 2*0.80 + 3*1.50 + 6*0.75 + 7*0.80 + 18*0.90
ELU/ 62	1*0.80 + 2*0.80 + 3*1.50 + 7*0.80 + 19*0.90
ELU/ 63	1*0.80 + 2*0.80 + 3*1.50 + 4*0.75 + 7*0.80 + 19*0.90

Figura 7.6. Combinaciones de carga viento simulación 2º

Combinación/Componente	Definición
ELU/ 187	1*0.80 + 2*0.80 + 4*1.50 + 7*0.80 + 20*0.90
ELU/ 188	1*0.80 + 2*0.80 + 5*1.50 + 7*0.80 + 20*0.90
ELU/ 189	1*0.80 + 2*0.80 + 6*1.50 + 7*0.80 + 20*0.90
ELU/ 190	1*0.80 + 2*0.80 + 4*1.50 + 7*0.80 + 21*0.90
ELU/ 191	1*0.80 + 2*0.80 + 5*1.50 + 7*0.80 + 21*0.90
ELU/ 192	1*0.80 + 2*0.80 + 6*1.50 + 7*0.80 + 21*0.90
ELS/ 1	1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.00 + 7*1.00
ELS/ 2	1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.00 + 4*0.50 + 7*1.00
ELS/ 3	1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.00 + 5*0.50 + 7*1.00
ELS/ 4	1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.00 + 6*0.50 + 7*1.00
ELS/ 5	1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.00 + 7*1.00 + 14*0.60
ELS/ 6	1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.00 + 4*0.50 + 7*1.00 + 14*0.60
ELS/ 7	1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.00 + 5*0.50 + 7*1.00 + 14*0.60
ELS/ 8	1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.00 + 6*0.50 + 7*1.00 + 14*0.60
ELS/ 9	1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.00 + 7*1.00 + 15*0.60
ELS/ 10	1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.00 + 4*0.50 + 7*1.00 + 15*0.60
ELS/ 11	1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.00 + 5*0.50 + 7*1.00 + 15*0.60
ELS/ 12	1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.00 + 6*0.50 + 7*1.00 + 15*0.60
ELS/ 13	1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.00 + 7*1.00 + 16*0.60
ELS/ 14	1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.00 + 4*0.50 + 7*1.00 + 16*0.60
ELS/ 15	1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.00 + 5*0.50 + 7*1.00 + 16*0.60
ELS/ 16	1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.00 + 6*0.50 + 7*1.00 + 16*0.60
ELS/ 17	1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.00 + 7*1.00 + 17*0.60
ELS/ 18	1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.00 + 4*0.50 + 7*1.00 + 17*0.60
ELS/ 19	1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.00 + 5*0.50 + 7*1.00 + 17*0.60
ELS/ 20	1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.00 + 6*0.50 + 7*1.00 + 17*0.60
ELS/ 21	1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.00 + 7*1.00 + 18*0.60
ELS/ 22	1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.00 + 4*0.50 + 7*1.00 + 18*0.60
ELS/ 23	1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.00 + 5*0.50 + 7*1.00 + 18*0.60
ELS/ 24	1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.00 + 6*0.50 + 7*1.00 + 18*0.60
ELS/ 25	1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.00 + 7*1.00 + 19*0.60
ELS/ 26	1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.00 + 4*0.50 + 7*1.00 + 19*0.60

Figura 7.11. Combinaciones de carga viento simulación 7º

Combinación/Componente	Definición
ELS/ 27	1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.00 + 5*0.50 + 7*1.00 + 19*0.60
ELS/ 28	1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.00 + 6*0.50 + 7*1.00 + 19*0.60
ELS/ 29	1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.00 + 7*1.00 + 20*0.60
ELS/ 30	1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.00 + 4*0.50 + 7*1.00 + 20*0.60
ELS/ 31	1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.00 + 5*0.50 + 7*1.00 + 20*0.60
ELS/ 32	1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.00 + 6*0.50 + 7*1.00 + 20*0.60
ELS/ 33	1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.00 + 7*1.00 + 21*0.60
ELS/ 34	1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.00 + 4*0.50 + 7*1.00 + 21*0.60
ELS/ 35	1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.00 + 5*0.50 + 7*1.00 + 21*0.60
ELS/ 36	1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.00 + 6*0.50 + 7*1.00 + 21*0.60
ELS/ 37	1*1.00 + 2*1.00 + 7*1.00
ELS/ 38	1*1.00 + 2*1.00 + 7*1.00 + 14*1.00
ELS/ 39	1*1.00 + 2*1.00 + 4*0.50 + 7*1.00 + 14*1.00
ELS/ 40	1*1.00 + 2*1.00 + 5*0.50 + 7*1.00 + 14*1.00
ELS/ 41	1*1.00 + 2*1.00 + 6*0.50 + 7*1.00 + 14*1.00
ELS/ 42	1*1.00 + 2*1.00 + 7*1.00 + 15*1.00
ELS/ 43	1*1.00 + 2*1.00 + 4*0.50 + 7*1.00 + 15*1.00
ELS/ 44	1*1.00 + 2*1.00 + 5*0.50 + 7*1.00 + 15*1.00
ELS/ 45	1*1.00 + 2*1.00 + 6*0.50 + 7*1.00 + 15*1.00
ELS/ 46	1*1.00 + 2*1.00 + 7*1.00 + 16*1.00
ELS/ 47	1*1.00 + 2*1.00 + 4*0.50 + 7*1.00 + 16*1.00
ELS/ 48	1*1.00 + 2*1.00 + 5*0.50 + 7*1.00 + 16*1.00
ELS/ 49	1*1.00 + 2*1.00 + 6*0.50 + 7*1.00 + 16*1.00
ELS/ 50	1*1.00 + 2*1.00 + 7*1.00 + 17*1.00
ELS/ 51	1*1.00 + 2*1.00 + 4*0.50 + 7*1.00 + 17*1.00
ELS/ 52	1*1.00 + 2*1.00 + 5*0.50 + 7*1.00 + 17*1.00
ELS/ 53	1*1.00 + 2*1.00 + 6*0.50 + 7*1.00 + 17*1.00
ELS/ 54	1*1.00 + 2*1.00 + 7*1.00 + 18*1.00
ELS/ 55	1*1.00 + 2*1.00 + 4*0.50 + 7*1.00 + 18*1.00
ELS/ 56	1*1.00 + 2*1.00 + 5*0.50 + 7*1.00 + 18*1.00
ELS/ 57	1*1.00 + 2*1.00 + 6*0.50 + 7*1.00 + 18*1.00
ELS/ 58	1*1.00 + 2*1.00 + 7*1.00 + 19*1.00

Figura 7.12. Combinaciones de carga viento simulación 8º

Combinación/Componente	Definición
ELS/ 58	1*1.00 + 2*1.00 + 7*1.00 + 19*1.00
ELS/ 59	1*1.00 + 2*1.00 + 4*0.50 + 7*1.00 + 19*1.00
ELS/ 60	1*1.00 + 2*1.00 + 5*0.50 + 7*1.00 + 19*1.00
ELS/ 61	1*1.00 + 2*1.00 + 6*0.50 + 7*1.00 + 19*1.00
ELS/ 62	1*1.00 + 2*1.00 + 7*1.00 + 20*1.00
ELS/ 63	1*1.00 + 2*1.00 + 4*0.50 + 7*1.00 + 20*1.00
ELS/ 64	1*1.00 + 2*1.00 + 5*0.50 + 7*1.00 + 20*1.00
ELS/ 65	1*1.00 + 2*1.00 + 6*0.50 + 7*1.00 + 20*1.00
ELS/ 66	1*1.00 + 2*1.00 + 7*1.00 + 21*1.00
ELS/ 67	1*1.00 + 2*1.00 + 4*0.50 + 7*1.00 + 21*1.00
ELS/ 68	1*1.00 + 2*1.00 + 5*0.50 + 7*1.00 + 21*1.00
ELS/ 69	1*1.00 + 2*1.00 + 6*0.50 + 7*1.00 + 21*1.00
ELS/ 70	1*1.00 + 2*1.00 + 4*1.00 + 7*1.00
ELS/ 71	1*1.00 + 2*1.00 + 5*1.00 + 7*1.00
ELS/ 72	1*1.00 + 2*1.00 + 6*1.00 + 7*1.00
ELS/ 73	1*1.00 + 2*1.00 + 4*1.00 + 7*1.00 + 14*0.60
ELS/ 74	1*1.00 + 2*1.00 + 5*1.00 + 7*1.00 + 14*0.60
ELS/ 75	1*1.00 + 2*1.00 + 6*1.00 + 7*1.00 + 14*0.60
ELS/ 76	1*1.00 + 2*1.00 + 4*1.00 + 7*1.00 + 15*0.60
ELS/ 77	1*1.00 + 2*1.00 + 5*1.00 + 7*1.00 + 15*0.60
ELS/ 78	1*1.00 + 2*1.00 + 6*1.00 + 7*1.00 + 15*0.60
ELS/ 79	1*1.00 + 2*1.00 + 4*1.00 + 7*1.00 + 16*0.60
ELS/ 80	1*1.00 + 2*1.00 + 5*1.00 + 7*1.00 + 16*0.60
ELS/ 81	1*1.00 + 2*1.00 + 6*1.00 + 7*1.00 + 16*0.60
ELS/ 82	1*1.00 + 2*1.00 + 4*1.00 + 7*1.00 + 17*0.60
ELS/ 83	1*1.00 + 2*1.00 + 5*1.00 + 7*1.00 + 17*0.60
ELS/ 84	1*1.00 + 2*1.00 + 6*1.00 + 7*1.00 + 17*0.60
ELS/ 85	1*1.00 + 2*1.00 + 4*1.00 + 7*1.00 + 18*0.60
ELS/ 86	1*1.00 + 2*1.00 + 5*1.00 + 7*1.00 + 18*0.60
ELS/ 87	1*1.00 + 2*1.00 + 6*1.00 + 7*1.00 + 18*0.60
ELS/ 88	1*1.00 + 2*1.00 + 4*1.00 + 7*1.00 + 19*0.60
ELS/ 89	1*1.00 + 2*1.00 + 5*1.00 + 7*1.00 + 19*0.60

Figura 7.13. Combinaciones de carga viento simulación 9º

ELS/ 90	1*1.00 + 2*1.00 + 6*1.00 + 7*1.00 + 19*0.60
ELS/ 91	1*1.00 + 2*1.00 + 4*1.00 + 7*1.00 + 20*0.60
ELS/ 92	1*1.00 + 2*1.00 + 5*1.00 + 7*1.00 + 20*0.60
ELS/ 93	1*1.00 + 2*1.00 + 6*1.00 + 7*1.00 + 20*0.60
ELS/ 94	1*1.00 + 2*1.00 + 4*1.00 + 7*1.00 + 21*0.60
ELS/ 95	1*1.00 + 2*1.00 + 5*1.00 + 7*1.00 + 21*0.60
ELS/ 96	1*1.00 + 2*1.00 + 6*1.00 + 7*1.00 + 21*0.60
ELS/ 97	1*1.00 + 2*1.00 + 7*1.00 + 14*0.50
ELS/ 98	1*1.00 + 2*1.00 + 7*1.00 + 15*0.50
ELS/ 99	1*1.00 + 2*1.00 + 7*1.00 + 16*0.50
ELS/ 100	1*1.00 + 2*1.00 + 7*1.00 + 17*0.50
ELS/ 101	1*1.00 + 2*1.00 + 7*1.00 + 18*0.50
ELS/ 102	1*1.00 + 2*1.00 + 7*1.00 + 19*0.50
ELS/ 103	1*1.00 + 2*1.00 + 7*1.00 + 20*0.50
ELS/ 104	1*1.00 + 2*1.00 + 7*1.00 + 21*0.50
ELS/ 105	1*1.00 + 2*1.00 + 4*0.20 + 7*1.00
ELS/ 106	1*1.00 + 2*1.00 + 5*0.20 + 7*1.00
ELS/ 107	1*1.00 + 2*1.00 + 6*0.20 + 7*1.00

Figura 7.14. Combinaciones de carga viento simulación 10º

Igual que se ha realizado en el caso anterior, se somete el diseño a las combinaciones de carga creadas, con el objetivo de dimensionar todos los elementos que componen la estructura de la nave industrial.

A continuación, se muestran los casos de carga ELU más desfavorables para cada grupo de elementos iguales, los grupos descritos previamente.

La combinación de carga para cada grupo de elementos es:

7.3.1 Combinaciones de carga más desfavorable para grupo 1º, vigas centrales

Para los elementos seleccionados dentro de este grupo, la combinación de carga más desfavorable es 8 ELU/2/, cuyo valor se obtiene de:

$$1*1,35 + 2*1,35 + 3*1,50 + 4*0,75 + 7*1,35$$

Siendo:

- 1: Peso permanente estructura
- 2: Carga permanente cubierta
- 3: Sobrecarga de uso
- 4: Nieve H1
- 7: Carga sobre puerta fachada

7.3.2 Combinaciones de carga más desfavorable para grupo 2º, vigas centrales con cruces de San Andrés

Para este grupo, la combinación de cargas más desfavorable para los elementos contenidos en él, es 8 ELU/2/, siendo:

$$1*1,35 + 2*1,35 + 3*1,50 + 4*0,75 + 7*1,35$$

Siendo:

- 1: Peso permanente estructura
- 2: Carga permanente cubierta
- 3: Sobrecarga de uso
- 4: Nieve H1
- 7: Carga sobre puerta fachada

7.3.3 Combinaciones de carga más desfavorable para grupos 3º, vigas fachada

La combinación de cargas más desfavorable para los elementos de este grupo es 8 ELU/94/, siendo dicha combinación:

$$1*1,35 + 2*1,35 + 6*0,75 + 7*1,35 + 18*1,5$$

Siendo:

- 1: Peso permanente estructura
- 2: Carga permanente cubierta

6: Nieve H3

7: Carga sobre puerta fachada

18: Simulación de viento X-

7.3.4 Combinaciones de carga más desfavorable para grupo 4º, vigas cerramiento puerta

Para este grupo, sus elementos en él, se dimensionan por la siguiente combinación de carga, ya que resulta la más desfavorable para ellos, 8 ELU/101/, se obtiene de:

$$1*1,35 + 2*1,35 + 5*0,75 + 7*1,35 + 20*1,50$$

Siendo:

1: Peso permanente estructura

2: Carga permanente cubierta

5: Nieve H2

7: Carga sobre puerta fachada

20: Simulación de viento Y-

7.3.5 Combinaciones de carga más desfavorable para grupo 5º, pilares centrales

Los elementos de este grupo se encuentran dimensionados bajo la combinación de carga más desfavorable para ellos de, 8 ELU/2/, siendo:

$$1*1,35 + 2*1,35 + 3*1,50 + 4*0,75 + 7*1,35$$

Siendo:

1: Peso permanente estructura

2: Carga permanente cubierta

3: Sobrecarga de uso

4: Nieve H1

7: Carga sobre puerta fachada

7.3.6 Combinaciones de carga más desfavorable para grupo 6º, pilares centrales con cruces de San Andrés

Para los elementos de este grupo, la combinación de carga más desfavorable es 8 ELU/2/, obtenida mediante:

$$1*1,35 + 2*1,35 + 3*1,50 + 4*0,75 + 7*1,35$$

Siendo:

- 1: Peso permanente estructura
- 2: Carga permanente cubierta
- 3: Sobrecarga de uso
- 4: Nieve H1
- 7: Peso sobre puerta fachada

7.3.7 Combinaciones de carga más desfavorable para grupo 7º, pilares fachada esquina

En este caso, la combinación de carga más desfavorable para los elementos contenidos en el grupo es la, 8 ELU/90/, obtenida mediante:

$$1*1,35 + 2*1,35 + 6*0,75 + 7*1,35 + 17*1,50$$

Siendo:

- 1: Peso permanente estructura
- 2: Carga permanente cubierta
- 6: Nieve H3
- 7: Peso sobre puerta fachada
- 17: Simulación de viento X-Y+

7.3.8 Combinaciones de carga más desfavorable para grupo 8º, pilares fachada hastiales

La combinación de carga más desfavorable para los elementos de este grupo es, 8 ELU/22/, se obtiene a partir de:

$$1*1,35 + 2*1,35 + 3*1,50 + 4*0,75 + 7*1,35 + 18*0,90$$

Siendo:

- 1: Peso permanente estructura
- 2: Carga permanente cubierta
- 3: Sobrecarga de uso
- 4: Nieve H1
- 7: Peso sobre puerta fachada

18: Simulación de viento X-

7.3.9 Combinaciones de carga más desfavorable para grupo 9º, vigas de atado

Para este grupo, la combinación de carga más desfavorable es 8 ELU/22/, obteniendo su resultado de:

$$1*1,35 + 2*1,35 + 3*1,50 + 4*0,75 + 7*1,35 + 18*0,90$$

Siendo:

1: Peso permanente estructura

2: Carga permanente cubierta

3: Sobrecarga de uso

4: Nieve H1

7: Peso sobre puerta fachada

18: Simulación de viento X-

7.3.10 Combinaciones de carga más desfavorable para grupo 10º, cruces de San Andrés

Para el último grupo, los elementos contenidos en él vienen dimensionados para soportar su combinación de carga más desfavorable, la cual es 8 ELU/107/, obtenida como:

$$1*0,80 + 2*0,80 + 7*0,80 + 14*1,50$$

Siendo:

1: Peso permanente estructura

2: Carga permanente cubierta

7: Peso sobre puerta fachada

14: Simulación de viento X+

7.4 Dimensionamiento naves industriales

El dimensionamiento de las edificaciones se realiza de forma automática por el software Autodesk Robot Structural Analysis. De manera independiente se han analizado los dos diseños. Ambos tienen igual geometría y tipo de elementos, pero cambian las cargas

bajo las cuales se les ha sometido. Uno de ellos ha sido simulado con unas cargas de viento obtenidas por el Código Técnico de la Edificación, mientras que el otro ha sido simulado para unas cargas de viento generadas por el software mencionado.

Para ambos casos se han obtenido todas las combinaciones de carga posibles, y el software somete a cada estructura bajo todas sus combinaciones correspondientes. Registra la combinación de carga más desfavorable para cada tipo de elemento.

Ya que todos los elementos iguales han sido recogidos en grupos, se obtiene un total de 10 grupos diferentes. Por lo tanto, para cada uno de ellos se ha seleccionado una combinación de carga particular que produce la peor situación sobre su geometría.

El dimensionamiento de los elementos de cada nave industrial, se realiza con el objetivo de soportar la combinación de carga más desfavorable a la que podría ver sometido. De manera que si puede soportar dicha combinación, en el hipotético caso de que ocurra, puede superar cualquier otra combinación que ocurra.

A continuación se presenta una tabla con el dimensionamiento de cada grupo para ambos casos. El caso donde las cargas de viento se han obtenido a partir del CTE, y el caso en el que las cargas de viento han sido generadas por la simulación de viento del software.

Tabla 7.3. Dimensionado grupos ambos casos

Grupo	Diseño Viento CTE	Diseño Viento Simulado
1. Vigas centrales	IPE 360	IPE 330
2. Vigas centrales cruces San Andrés	IPE 300	IPE 300
3. Vigas fachada	IPE 330	IPE 300
4. Viga cerramiento puerta	IPE 300	IPE 270
5. Pilares centrales	HEA 240	HEA 220
6. Pilares centrales cruces San Andrés	HEA 240	HEA 220
7. Pilares fachada esquinas	HEA 200	HEA 200
8. Pilares fachada hastiales	HEA 280	HEA 240
9. Vigas de atado	HEA 140	HEA 140
10. Cruces de San Andrés	D2	D2

Las diferencias de dimensionado para un mismo grupo en cada caso, serán discutidas en el apartado 9 de esta memoria.

8. Resultados y comparativa

A continuación se muestran los resultados obtenidos en ambos casos. Comprobación de barras, deformaciones y principales esfuerzos en las direcciones del viento 0° y 90°. Dichos resultados nos permitirán ver las diferencias de comportamiento entre ambas naves industriales.

8.1 Verificación Estados Límite

En primer lugar se muestran las comprobaciones de todos los elementos que constituyen la estructura. Tras su dimensionamiento adecuado a la exigencia de las combinaciones de carga aplicadas, se muestra que todos los elementos han sido diseñados satisfactoriamente.

8.1.1 Cargas de viento CTE

La verificación de las barras de la estructura con la carga de viento generada a partir del CTE es:

UNE-EN 1993-1-2013/A1:2014 - Verificación de las barras (ELU) 1A5 7A39 57A72 89A104 112A118 120 122A1...

Resultados Mensajes

Barra	Perfil	Material	Lav	Laz	Solicit.	Caso
1 Barra 1	HEA 200	S 275	193.20	160.61	0.69	11 ELU /41/
2 Barra 1	HEA 200	S 275	193.20	160.61	0.40	11 ELU /40/
3 Barra 3	IPE 330	S 275	37.19	201.20	0.18	11 ELU /41/
4 Barra 4	IPE 330	S 275	37.19	201.20	0.18	11 ELU /40/
5 Barra 5	HEA 280	S 275	151.81	128.62	0.58	11 ELU /35/
7 Barra 7	HEA 280	S 275	151.81	128.62	0.66	11 ELU /35/
8 Barra 8	HEA 280	S 275	168.68	142.91	0.94	11 ELU /35/
9 Barra 9	HEA 200	S 275	193.20	160.61	0.58	11 ELU /53/
10 Barra 10	HEA 200	S 275	193.20	160.61	0.49	11 ELU /41/
11 Barra 11	IPE 330	S 275	37.19	201.20	0.23	11 ELU /41/
12 Barra 11	IPE 330	S 275	37.19	201.20	0.16	11 ELU /41/
13 Barra 13	HEA 280	S 275	151.81	90.03	0.46	11 ELU /51/
14 Barra 14	HEA 280	S 275	168.68	100.03	0.54	11 ELU /47/
15 Barra 15	HEA 280	S 275	151.81	90.03	0.46	11 ELU /51/
16 Barra 16	HEA 240	S 275	159.18	133.27	0.86	11 ELU /47/
17 Barra 17	HEA 240	S 275	159.18	133.27	0.69	11 ELU /2/
18 Barra 18	IPE 300	S 275	40.92	60.89	0.95	11 ELU /2/
19 Barra 18	IPE 300	S 275	40.92	60.89	0.95	11 ELU /2/
20 Barra 20	HEA 240	S 275	159.18	133.27	0.89	11 ELU /47/
21 Barra 21	HEA 240	S 275	159.18	133.27	0.79	11 ELU /10/
22 Barra 22	IPE 360	S 275	68.19	53.85	0.63	11 ELU /2/
23 Barra 23	IPE 360	S 275	68.19	53.85	0.97	11 ELU /10/
24 Barra 24	HEA 240	S 275	159.18	133.27	0.95	11 ELU /47/
25 Barra 25	HEA 240	S 275	159.18	133.27	0.86	11 ELU /40/
26 Barra 26	IPE 360	S 275	68.19	53.85	0.62	11 ELU /2/
27 Barra 27	IPE 360	S 275	68.19	53.85	0.98	11 ELU /10/
28 Barra 28	HEA 240	S 275	159.18	133.27	0.95	11 ELU /47/
29 Barra 29	HEA 240	S 275	159.18	133.27	0.86	11 ELU /40/
30 Barra 27	IPE 360	S 275	68.19	53.85	0.62	11 ELU /2/
31 Barra 31	IPE 360	S 275	68.19	53.85	0.98	11 ELU /10/
32 Barra 32	HEA 240	S 275	159.18	133.27	0.92	11 ELU /47/
33 Barra 33	HEA 240	S 275	159.18	133.27	0.80	11 ELU /40/
34 Barra 34	IPE 360	S 275	68.19	53.85	0.63	11 ELU /2/
35 Barra 35	IPE 360	S 275	68.19	53.85	0.97	11 ELU /10/
36 Barra 36	HEA 240	S 275	159.18	133.27	0.96	11 ELU /47/
37 Barra 10	HEA 240	S 275	159.18	133.27	0.69	11 ELU /2/
38 Barra 38	IPE 300	S 275	40.92	60.89	0.95	11 ELU /2/
39 Barra 39	IPE 300	S 275	40.92	60.89	0.95	11 ELU /2/
57 Barra 57	D2	S 275	1280.62	1280.62	0.26	11 ELU /55/
58 Barra 58	D2	S 275	1280.62	1280.62	0.27	11 ELU /55/
59 Barra 59	D2	S 275	1280.62	1280.62	0.38	11 ELU /55/
60 Barra 60	D2	S 275	1280.62	1280.62	0.16	11 ELU /55/
61 Barra 61	D2	S 275	1428.29	1428.29	0.51	11 ELU /40/
62 Barra 62	D2	S 275	1428.29	1428.29	0.06	11 ELU /53/
63 Barra 63	D2	S 275	1428.29	1428.29	0.30	11 ELU /40/
64 Barra 64	D2	S 275	1428.29	1428.29	0.31	11 ELU /40/
65 Barra 65	D2	S 275	1428.29	1428.29	0.06	11 ELU /41/
66 Barra 66	D2	S 275	1428.29	1428.29	0.39	11 ELU /55/
67 Barra 67	D2	S 275	1280.62	1280.62	0.16	11 ELU /55/
68 Barra 68	D2	S 275	1280.62	1280.62	0.38	11 ELU /55/
69 Barra 69	D2	S 275	1280.62	1280.62	0.26	11 ELU /55/

Nota de cálc. Cerrar

Ayuda

Solicitud

Análisis Mapa

Puntos de cálculo

división: n = 5

extremos : ninguno

adicionales : ninguno

Figura 8.1. Verificación barras parte 1º ELU carga viento CTE

UNE-EN 1993-1:2013/A1:2014 - Verificación de las barras (ELU) 1A5 7A39 57A72 89A104 112A118 120 122A1...

Resultados Mensajes

Barra	Perfil	Material	Lav	Laz	Solicit	Caso
38 Barra 38	IPE 300	S 275	40.92	60.89	0.95	11 ELU /2/
39 Barra 39	IPE 300	S 275	40.92	60.89	0.95	11 ELU /2/
57 Barra 57	D2	S 275	1280.62	1280.62	0.26	11 ELU /55/
58 Barra 58	D2	S 275	1280.62	1280.62	0.27	11 ELU /55/
59 Barra 59	D2	S 275	1280.62	1280.62	0.38	11 ELU /55/
60 Barra 60	D2	S 275	1280.62	1280.62	0.16	11 ELU /55/
61 Barra 61	D2	S 275	1428.29	1428.29	0.51	11 ELU /40/
62 Barra 62	D2	S 275	1428.29	1428.29	0.06	11 ELU /53/
63 Barra 63	D2	S 275	1428.29	1428.29	0.30	11 ELU /40/
64 Barra 64	D2	S 275	1428.29	1428.29	0.31	11 ELU /40/
65 Barra 65	D2	S 275	1428.29	1428.29	0.06	11 ELU /41/
66 Barra 66	D2	S 275	1428.29	1428.29	0.39	11 ELU /55/
67 Barra 67	D2	S 275	1280.62	1280.62	0.16	11 ELU /55/
68 Barra 68	D2	S 275	1280.62	1280.62	0.38	11 ELU /55/
69 Barra 69	D2	S 275	1280.62	1280.62	0.26	11 ELU /55/
70 Barra 70	D2	S 275	1280.62	1280.62	0.27	11 ELU /55/
71 Barra 71	D2	S 275	1428.29	1428.29	0.23	11 ELU /55/
72 Barra 72	D2	S 275	1428.29	1428.29	0.24	11 ELU /55/
89 Barra 89	D2	S 275	1280.62	1280.62	0.29	11 ELU /44/
90 Barra 89	D2	S 275	1280.62	1280.62	0.19	11 ELU /44/
91 Barra 91	D2	S 275	1280.62	1280.62	0.23	11 ELU /44/
92 Barra 92	D2	S 275	1280.62	1280.62	0.24	11 ELU /44/
93 Barra 93	D2	S 275	1428.29	1428.29	0.32	11 ELU /40/
94 Barra 93	D2	S 275	1428.29	1428.29	0.35	11 ELU /40/
95 Barra 95	D2	S 275	1428.29	1428.29	0.54	11 ELU /41/
96 Barra 96	D2	S 275	1428.29	1428.29	0.09	11 ELU /53/
97 Barra 97	D2	S 275	1428.29	1428.29	0.16	11 ELU /40/
98 Barra 98	D2	S 275	1428.29	1428.29	0.17	11 ELU /40/
99 Barra 99	D2	S 275	1280.62	1280.62	0.24	11 ELU /44/
100	D2	S 275	1280.62	1280.62	0.23	11 ELU /44/
101	D2	S 275	1280.62	1280.62	0.29	11 ELU /44/
102 Barra 102	D2	S 275	1280.62	1280.62	0.19	11 ELU /44/
103 Barra 103	D2	S 275	1428.29	1428.29	0.36	11 ELU /38/
104 Barra 104	D2	S 275	1428.29	1428.29	0.09	11 ELU /41/
112 Barra 112	HEA 140	S 275	87.19	142.03	0.11	11 ELU /10/
113 Barra 113	HEA 140	S 275	87.19	142.03	0.17	11 ELU /14/
114 Barra 114	HEA 140	S 275	87.19	142.03	0.14	11 ELU /45/
115 Barra 115	HEA 140	S 275	87.19	142.03	0.13	11 ELU /43/
116 Barra 116	HEA 140	S 275	87.19	142.03	0.14	11 ELU /43/
117 Barra 117	HEA 140	S 275	87.19	142.03	0.20	11 ELU /10/
118 Barra 118	HEA 140	S 275	87.19	142.03	0.14	11 ELU /10/
120 Barra 120	HEA 140	S 275	87.19	142.03	0.21	11 ELU /47/
122 Barra 122	HEA 140	S 275	87.19	142.03	0.34	11 ELU /47/
123 Barra 123	HEA 140	S 275	87.19	142.03	0.15	11 ELU /47/
124 Barra 124	HEA 140	S 275	87.19	142.03	0.13	11 ELU /43/
125 Barra 125	HEA 140	S 275	87.19	142.03	0.14	11 ELU /46/
126 Barra 126	HEA 140	S 275	87.19	142.03	0.28	11 ELU /47/
127 Barra 127	HEA 140	S 275	87.19	142.03	0.17	11 ELU /47/
128 Viga 128	IPE 300	S 275	20.06	74.63	0.82	11 ELU /39/
129 Viga 129	IPE 300	S 275	20.06	74.63	0.83	11 ELU /41/

Nota de cálc. Cerrar Ayuda

Solicitud
Análisis Mapa

Puntos de cálculo
división: n = 5
extremos: ninguno
adicionales: ninguno

Figura 8.2. Verificación barras parte 2º ELU carga viento CTE

UNE-EN 1993-1:2013/A1:2014 - Verificación de las barras (ELS) 1A5 7A39 128 129

Resultados Mensajes

Barra	Perfil	Material	Ratio(uv)	Caso (uv)	Ratio(uz)	Caso (uz)	Ratio(vx)	Caso (vx)	Ratio(vy)	Caso (vy)
1 Barra 1	HEA 200	S 275	-	-	-	-	0.05	14 ELS /29/	0.36	14 ELS /24/
2 Barra 1	HEA 200	S 275	-	-	-	-	0.04	14 ELS /28/	0.37	14 ELS /24/
3 Barra 3	IPE 330	S 275	0.09	7 Viento 0º H1	0.02	7 Viento 0º H1	-	-	-	-
4 Barra 4	IPE 330	S 275	0.09	7 Viento 0º H1	0.01	14 ELS /24/	-	-	-	-
5 Barra 5	HEA 280	S 275	-	-	-	-	0.49	7 Viento 0º H1	0.49	14 ELS /24/
7 Barra 7	HEA 280	S 275	-	-	-	-	0.50	7 Viento 0º H1	0.49	14 ELS /24/
8 Barra 8	HEA 280	S 275	-	-	-	-	0.81	7 Viento 0º H1	0.44	14 ELS /24/
9 Barra 9	HEA 200	S 275	-	-	-	-	0.05	9 Viento 90º H1	0.58	14 ELS /24/
10 Barra 10	HEA 200	S 275	-	-	-	-	0.05	9 Viento 90º H1	0.58	14 ELS /24/
11 Barra 11	IPE 330	S 275	0.09	7 Viento 0º H1	0.01	7 Viento 0º H1	-	-	-	-
12 Barra 11	IPE 330	S 275	0.09	7 Viento 0º H1	0.01	8 Viento 0º H2	-	-	-	-
13 Barra 13	HEA 280	S 275	-	-	-	-	0.49	7 Viento 0º H1	0.77	14 ELS /24/
14 Barra 14	HEA 280	S 275	-	-	-	-	0.82	7 Viento 0º H1	0.70	14 ELS /24/
15 Barra 15	HEA 280	S 275	-	-	-	-	0.49	7 Viento 0º H1	0.78	14 ELS /24/
16 Barra 16	HEA 240	S 275	-	-	-	-	0.05	14 ELS /29/	0.60	7 Viento 0º H1
17 Barra 17	HEA 240	S 275	-	-	-	-	0.05	14 ELS /28/	0.42	14 ELS /10/
18 Barra 18	IPE 300	S 275	0.05	14 ELS /10/	0.42	14 ELS /11/	-	-	-	-
19 Barra 18	IPE 300	S 275	0.10	7 Viento 0º H1	0.44	7 Viento 0º H1	-	-	-	-
20 Barra 20	HEA 240	S 275	-	-	-	-	0.05	14 ELS /29/	0.76	8 Viento 0º H2
21 Barra 21	HEA 240	S 275	-	-	-	-	0.05	14 ELS /28/	0.62	14 ELS /23/
22 Barra 22	IPE 360	S 275	0.23	14 ELS /24/	0.61	14 ELS /10/	0.60	7 Viento 0º H1	0.52	14 ELS /2/
23 Barra 23	IPE 360	S 275	0.25	8 Viento 0º H2	0.52	7 Viento 0º H1	0.61	7 Viento 0º H1	0.52	14 ELS /2/
24 Barra 24	HEA 240	S 275	-	-	-	-	0.05	14 ELS /29/	0.89	8 Viento 0º H2
25 Barra 25	HEA 240	S 275	-	-	-	-	0.05	14 ELS /28/	0.95	14 ELS /24/
26 Barra 26	IPE 360	S 275	0.03	8 Viento 0º H2	0.64	14 ELS /10/	0.18	7 Viento 0º H1	0.51	14 ELS /2/
27 Barra 27	IPE 360	S 275	0.03	14 ELS /24/	0.55	7 Viento 0º H1	0.17	7 Viento 0º H1	0.51	14 ELS /2/
28 Barra 28	HEA 240	S 275	-	-	-	-	0.05	9 Viento 90º H1	0.89	8 Viento 0º H2
29 Barra 29	HEA 240	S 275	-	-	-	-	0.05	9 Viento 90º H1	0.95	14 ELS /24/
30 Barra 27	IPE 360	S 275	0.03	8 Viento 0º H2	0.64	14 ELS /10/	0.17	7 Viento 0º H1	0.51	14 ELS /2/
31 Barra 31	IPE 360	S 275	0.02	14 ELS /24/	0.55	7 Viento 0º H1	0.18	7 Viento 0º H1	0.51	14 ELS /2/
32 Barra 32	HEA 240	S 275	-	-	-	-	0.05	9 Viento 90º H1	0.82	8 Viento 0º H2
33 Barra 33	HEA 240	S 275	-	-	-	-	0.05	9 Viento 90º H1	0.87	14 ELS /23/
34 Barra 34	IPE 360	S 275	0.13	14 ELS /24/	0.62	14 ELS /10/	0.61	7 Viento 0º H1	0.52	14 ELS /2/
35 Barra 35	IPE 360	S 275	0.15	8 Viento 0º H2	0.54	7 Viento 0º H1	0.60	7 Viento 0º H1	0.52	14 ELS /2/
36 Barra 36	HEA 240	S 275	-	-	-	-	0.05	9 Viento 90º H1	0.76	7 Viento 0º H1
37 Barra 10	HEA 240	S 275	-	-	-	-	0.05	9 Viento 90º H1	0.60	14 ELS /23/
38 Barra 38	IPE 300	S 275	-	-	-	-	-	-	-	-
39 Barra 39	IPE 300	S 275	0.08	7 Viento 0º H1	0.48	7 Viento 0º H1	-	-	-	-
128 Viga 128	IPE 300	S 275	0.07	7 Viento 0º H1	0.10	14 ELS /24/	-	-	-	-
129 Viga 129	IPE 300	S 275	0.07	7 Viento 0º H1	0.06	8 Viento 0º H2	-	-	-	-

Nota de cálc. Cerrar Ayuda

Solicitud
Análisis Mapa

Puntos de cálculo
división: n = 5
extremos: ninguno
adicionales: ninguno

Figura 8.3. Verificación barras ELS carga viento CTE

8.1.2 Cargas de viento Simulación

La verificación de las barras de la estructura con las cargas de viento generadas mediante simulación es:

UNE-EN 1993-1:2013/A1:2014 - Verificación de las barras (ELU) 1A5 7A39 57A72 89A104 112A118 120 12...

Barra	Perfil	Material	Lav	Laz	Solicit.	Caso
1 Barra 1	HEA 200	S 275	193.20	112.43	0.21	8 ELU /101/
2 Barra 1	HEA 200	S 275	193.20	112.43	0.21	8 ELU /135/
3 Barra 4	IPE 220	S 275	55.95	205.78	0.30	8 ELU /92/
4 Barra 4	IPE 220	S 275	55.95	205.78	0.30	8 ELU /92/
5 Barra 5	HEA 240	S 275	179.07	104.95	0.36	8 ELU /22/
7 Barra 7	HEA 240	S 275	179.07	104.95	0.35	8 ELU /22/
8 Barra 8	HEA 240	S 275	198.97	116.61	0.57	8 ELU /22/
9 Barra 9	HEA 200	S 275	193.20	112.43	0.22	8 ELU /90/
10 Barra 10	HEA 200	S 275	193.20	112.43	0.20	8 ELU /105/
11 Barra 11	IPE 220	S 275	55.95	205.78	0.27	8 ELU /76/
12 Barra 11	IPE 220	S 275	55.95	205.78	0.30	8 ELU /12/
13 Barra 13	HEA 240	S 275	179.07	149.93	0.28	8 ELU /6/
14 Barra 14	HEA 240	S 275	198.97	166.58	0.39	8 ELU /6/
15 Barra 15	HEA 240	S 275	179.07	149.93	0.27	8 ELU /6/
16 Barra 16	HEA 220	S 275	174.49	101.60	0.87	8 ELU /2/
17 Barra 17	HEA 220	S 275	174.49	101.60	0.87	8 ELU /2/
18 Barra 18	IPE 300	S 275	40.92	60.89	0.92	8 ELU /2/
19 Barra 18	IPE 300	S 275	40.92	60.89	0.92	8 ELU /2/
20 Barra 20	HEA 220	S 275	174.49	101.60	0.88	8 ELU /2/
21 Barra 21	HEA 220	S 275	174.49	101.60	0.88	8 ELU /2/
22 Barra 22	IPE 330	S 275	74.39	57.48	0.82	8 ELU /2/
23 Barra 23	IPE 330	S 275	74.39	57.48	0.82	8 ELU /2/
24 Barra 24	HEA 220	S 275	174.49	101.60	0.87	8 ELU /2/
25 Barra 25	HEA 220	S 275	174.49	101.60	0.87	8 ELU /2/
26 Barra 26	IPE 330	S 275	74.39	57.48	0.81	8 ELU /2/
27 Barra 27	IPE 330	S 275	74.39	57.48	0.81	8 ELU /2/
28 Barra 28	HEA 220	S 275	174.49	101.60	0.87	8 ELU /2/
29 Barra 29	HEA 220	S 275	174.49	101.60	0.87	8 ELU /2/
30 Barra 27	IPE 330	S 275	74.39	57.48	0.81	8 ELU /2/
31 Barra 31	IPE 330	S 275	74.39	57.48	0.81	8 ELU /2/
32 Barra 32	HEA 220	S 275	174.49	101.60	0.88	8 ELU /2/
33 Barra 33	HEA 220	S 275	174.49	101.60	0.88	8 ELU /2/
34 Barra 34	IPE 330	S 275	74.39	57.48	0.82	8 ELU /2/
35 Barra 35	IPE 330	S 275	74.39	57.48	0.82	8 ELU /2/
36 Barra 36	HEA 220	S 275	174.49	101.60	0.87	8 ELU /2/
37 Barra 10	HEA 220	S 275	174.49	101.60	0.87	8 ELU /2/
38 Barra 38	IPE 300	S 275	40.92	60.89	0.92	8 ELU /2/
39 Barra 39	IPE 300	S 275	40.92	60.89	0.92	8 ELU /2/
57 Barra 57	D2	S 275	1280.62	1280.62	0.10	8 ELU /107/
58 Barra 58	D2	S 275	1280.62	1280.62	0.10	8 ELU /107/
59 Barra 59	D2	S 275	1280.62	1280.62	0.15	8 ELU /107/
60 Barra 60	D2	S 275	1280.62	1280.62	0.09	8 ELU /92/
61 Barra 61	D2	S 275	1428.29	1428.29	0.18	8 ELU /107/
62 Barra 62	D2	S 275	1428.29	1428.29	0.06	8 ELU /6/
63 Barra 63	D2	S 275	1428.29	1428.29	0.08	8 ELU /107/
64 Barra 64	D2	S 275	1428.29	1428.29	0.08	8 ELU /107/
65 Barra 65	D2	S 275	1428.29	1428.29	0.06	8 ELU /6/
66 Barra 66	D2	S 275	1428.29	1428.29	0.18	8 ELU /107/
67 Barra 67	D2	S 275	1280.62	1280.62	0.09	8 ELU /92/

Nota de cálc. Cerrar

Ayuda

Solicitud

Análisis Mapa

Puntos de cálculo
 división: n = 5
 extremos: ninguno
 adicionales: ninguno

Figura 8.4. Verificación barras parte 1º ELU carga viento simulación

UNE-EN 1993-1:2013/A1:2014 - Verificación de las barras (ELU) 1A5 7A39 57A72 89A104 112A118 120 12...

Resultados Mensajes

Barra	Perfil	Material	Lav	Laz	Solicit	Caso
39 Barra 39	IPE 300	S 275	40.92	60.89	0.92	8 ELU /2/
57 Barra 57	D2	S 275	1280.62	1280.62	0.10	8 ELU /107/
58 Barra 58	D2	S 275	1280.62	1280.62	0.10	8 ELU /107/
59 Barra 59	D2	S 275	1280.62	1280.62	0.15	8 ELU /107/
60 Barra 60	D2	S 275	1280.62	1280.62	0.09	8 ELU /92/
61 Barra 61	D2	S 275	1428.29	1428.29	0.18	8 ELU /107/
62 Barra 62	D2	S 275	1428.29	1428.29	0.06	8 ELU /6/
63 Barra 63	D2	S 275	1428.29	1428.29	0.08	8 ELU /107/
64 Barra 64	D2	S 275	1428.29	1428.29	0.08	8 ELU /107/
65 Barra 65	D2	S 275	1428.29	1428.29	0.06	8 ELU /6/
66 Barra 66	D2	S 275	1428.29	1428.29	0.18	8 ELU /107/
67 Barra 67	D2	S 275	1280.62	1280.62	0.09	8 ELU /92/
68 Barra 68	D2	S 275	1280.62	1280.62	0.15	8 ELU /107/
69 Barra 69	D2	S 275	1280.62	1280.62	0.10	8 ELU /107/
70 Barra 70	D2	S 275	1280.62	1280.62	0.10	8 ELU /107/
71 Barra 71	D2	S 275	1428.29	1428.29	0.08	8 ELU /107/
72 Barra 72	D2	S 275	1428.29	1428.29	0.08	8 ELU /107/
89 Barra 89	D2	S 275	1280.62	1280.62	0.15	8 ELU /123/
90 Barra 89	D2	S 275	1280.62	1280.62	0.09	8 ELU /76/
91 Barra 91	D2	S 275	1280.62	1280.62	0.10	8 ELU /123/
92 Barra 92	D2	S 275	1280.62	1280.62	0.10	8 ELU /123/
93 Barra 93	D2	S 275	1428.29	1428.29	0.08	8 ELU /123/
94 Barra 93	D2	S 275	1428.29	1428.29	0.09	8 ELU /123/
95 Barra 95	D2	S 275	1428.29	1428.29	0.17	8 ELU /123/
96 Barra 96	D2	S 275	1428.29	1428.29	0.06	8 ELU /22/
97 Barra 97	D2	S 275	1428.29	1428.29	0.09	8 ELU /123/
98 Barra 98	D2	S 275	1428.29	1428.29	0.08	8 ELU /123/
99 Barra 99	D2	S 275	1280.62	1280.62	0.10	8 ELU /123/
100	D2	S 275	1280.62	1280.62	0.10	8 ELU /123/
101	D2	S 275	1280.62	1280.62	0.15	8 ELU /123/
102 Barra 102	D2	S 275	1280.62	1280.62	0.09	8 ELU /76/
103 Barra 103	D2	S 275	1428.29	1428.29	0.17	8 ELU /123/
104 Barra 104	D2	S 275	1428.29	1428.29	0.06	8 ELU /22/
112 Barra 112	HEA 140	S 275	87.19	142.03	0.11	8 ELU /34/
113 Barra 113	HEA 140	S 275	87.19	142.03	0.18	8 ELU /6/
114 Barra 114	HEA 140	S 275	87.19	142.03	0.09	8 ELU /6/
115 Barra 115	HEA 140	S 275	87.19	142.03	0.07	8 ELU /135/
116 Barra 116	HEA 140	S 275	87.19	142.03	0.08	8 ELU /22/
117 Barra 117	HEA 140	S 275	87.19	142.03	0.19	8 ELU /26/
118 Barra 118	HEA 140	S 275	87.19	142.03	0.12	8 ELU /26/
120 Barra 120	HEA 140	S 275	87.19	142.03	0.12	8 ELU /18/
122 Barra 122	HEA 140	S 275	87.19	142.03	0.19	8 ELU /20/
123 Barra 123	HEA 140	S 275	87.19	142.03	0.09	8 ELU /22/
124 Barra 124	HEA 140	S 275	87.19	142.03	0.07	8 ELU /111/
125 Barra 125	HEA 140	S 275	87.19	142.03	0.09	8 ELU /6/
126 Barra 126	HEA 140	S 275	87.19	142.03	0.18	8 ELU /10/
127 Barra 127	HEA 140	S 275	87.19	142.03	0.11	8 ELU /10/
128 Viga 128	IPE 270	S 275	22.27	82.70	0.76	8 ELU /101/
129 Viga 129	IPE 270	S 275	22.27	82.70	0.75	8 ELU /86/

Nota de cálc. Cerrar Ayuda

Solicitud
Análisis Mapa

Puntos de cálculo
división: n = 5
extremos: ninguno
adicionales: ninguno

Figura 8.5. Verificación barras parte 2º ELU carga viento simulación

UNE-EN 1993-1:2013/A1:2014 - Verificación de las barras (ELS) 1A5 7A39 128 129

Resultados Mensajes

Barra	Perfil	Material	Ratio(uv)	Caso (uv)	Ratio(uz)	Caso (uz)	Ratio(vx)	Caso (vx)	Ratio(vv)	Caso (vv)
1 Barra 1	HEA 200	S 275	-	-	-	-	0.03	18 Simulación de viento	0.24	11 ELS /53/
2 Barra 1	HEA 200	S 275	-	-	-	-	0.03	18 Simulación de viento	0.24	11 ELS /53/
3 Barra 4	IPE 220	S 275	0.09	11 ELS /22/	0.02	11 ELS /7/	-	-	-	-
4 Barra 4	IPE 220	S 275	0.11	11 ELS /55/	0.02	11 ELS /24/	-	-	-	-
5 Barra 5	HEA 240	S 275	-	-	-	-	0.47	11 ELS /22/	0.21	11 ELS /53/
7 Barra 7	HEA 240	S 275	-	-	-	-	0.47	11 ELS /22/	0.21	11 ELS /53/
8 Barra 8	HEA 240	S 275	-	-	-	-	0.82	11 ELS /22/	0.19	11 ELS /53/
9 Barra 9	HEA 200	S 275	-	-	-	-	0.03	14 Simulación de viento	0.35	11 ELS /68/
10 Barra 10	HEA 200	S 275	-	-	-	-	0.03	14 Simulación de viento	0.35	11 ELS /68/
11 Barra 11	IPE 220	S 275	0.09	11 ELS /6/	0.03	11 ELS /35/	-	-	-	-
12 Barra 11	IPE 220	S 275	0.11	11 ELS /39/	0.03	11 ELS /12/	-	-	-	-
13 Barra 13	HEA 240	S 275	-	-	-	-	0.48	11 ELS /6/	0.31	11 ELS /68/
14 Barra 14	HEA 240	S 275	-	-	-	-	0.83	11 ELS /6/	0.28	11 ELS /68/
15 Barra 15	HEA 240	S 275	-	-	-	-	0.48	11 ELS /6/	0.31	11 ELS /68/
16 Barra 16	HEA 220	S 275	-	-	-	-	0.03	18 Simulación de viento	0.58	11 ELS /18/
17 Barra 17	HEA 220	S 275	-	-	-	-	0.03	18 Simulación de viento	0.56	11 ELS /26/
18 Barra 18	IPE 300	S 275	0.05	11 ELS /22/	0.48	11 ELS /2/	-	-	-	-
19 Barra 18	IPE 300	S 275	0.05	11 ELS /22/	0.48	11 ELS /2/	-	-	-	-
20 Barra 20	HEA 220	S 275	-	-	-	-	0.03	18 Simulación de viento	0.62	11 ELS /18/
21 Barra 21	HEA 220	S 275	-	-	-	-	0.03	18 Simulación de viento	0.61	11 ELS /34/
22 Barra 22	IPE 330	S 275	0.06	15 Simulación de viento	0.44	11 ELS /2/	-	-	-	-
23 Barra 23	IPE 330	S 275	0.06	21 Simulación de viento	0.44	11 ELS /2/	-	-	-	-
24 Barra 24	HEA 220	S 275	-	-	-	-	0.03	18 Simulación de viento	0.66	11 ELS /12/
25 Barra 25	HEA 220	S 275	-	-	-	-	0.03	18 Simulación de viento	0.65	11 ELS /35/
26 Barra 26	IPE 330	S 275	0.01	21 Simulación de viento	0.43	11 ELS /2/	-	-	-	-
27 Barra 27	IPE 330	S 275	0.01	15 Simulación de viento	0.43	11 ELS /2/	-	-	-	-
28 Barra 28	HEA 220	S 275	-	-	-	-	0.03	14 Simulación de viento	0.66	11 ELS /12/
29 Barra 29	HEA 220	S 275	-	-	-	-	0.03	14 Simulación de viento	0.65	11 ELS /35/
30 Barra 27	IPE 330	S 275	0.01	11 ELS /53/	0.43	11 ELS /2/	-	-	-	-
31 Barra 31	IPE 330	S 275	0.01	17 Simulación de viento	0.43	11 ELS /2/	-	-	-	-
32 Barra 32	HEA 220	S 275	-	-	-	-	0.03	14 Simulación de viento	0.64	11 ELS /10/
33 Barra 33	HEA 220	S 275	-	-	-	-	0.03	14 Simulación de viento	0.64	11 ELS /34/
34 Barra 34	IPE 330	S 275	0.04	17 Simulación de viento	0.44	11 ELS /2/	-	-	-	-
35 Barra 35	IPE 330	S 275	0.04	11 ELS /53/	0.44	11 ELS /2/	-	-	-	-
36 Barra 36	HEA 220	S 275	-	-	-	-	0.03	14 Simulación de viento	0.64	11 ELS /10/
37 Barra 10	HEA 220	S 275	-	-	-	-	0.03	14 Simulación de viento	0.64	11 ELS /34/
38 Barra 38	IPE 300	S 275	0.05	11 ELS /6/	0.48	11 ELS /2/	-	-	-	-
39 Barra 39	IPE 300	S 275	0.05	11 ELS /6/	0.48	11 ELS /2/	-	-	-	-
128 Viga 128	IPE 270	S 275	0.26	11 ELS /55/	0.08	11 ELS /68/	-	-	-	-
129 Viga 129	IPE 270	S 275	0.26	11 ELS /55/	0.09	11 ELS /53/	-	-	-	-

Nota de cálc. Cerrar Ayuda

Solicitud
Análisis Mapa

Puntos de cálculo
división: n = 5
extremos: ninguno
adicionales: ninguno

Figura 8.6. Verificación barras ELS carga viento simulación

8.2 Resultados carga de viento CTE

Las cargas de viento obtenidas a partir del CTE, se han desarrollado en el apartado 5.2. A continuación se muestran los resultados de aplicar algunas de esas cargas de forma individual. Se presentan a continuación los resultados de la carga de viento para la hipótesis de 0° y de 90°, la primera hipótesis de cada uno de ellos.

Se aplica únicamente dicha carga, de forma individual. No se consideran los cargas de peso propio o pesos permanentes de los elementos. Es decir, estos resultados tan solo resultan interesantes para ver los efectos individualizados que genera la carga, y para compararse con casos similares, como es el caso de este proyecto.

Se han presentado las deformaciones, de las cuales nos interesa conocer las deformadas de las barras, para compararlo posteriormente. Y la magnitud de las tensiones máximas, para valorar la diferencia entre las cargas de viento aplicadas sobre cada nave.

8.2.1 Deformaciones CTE Viento 0° H1

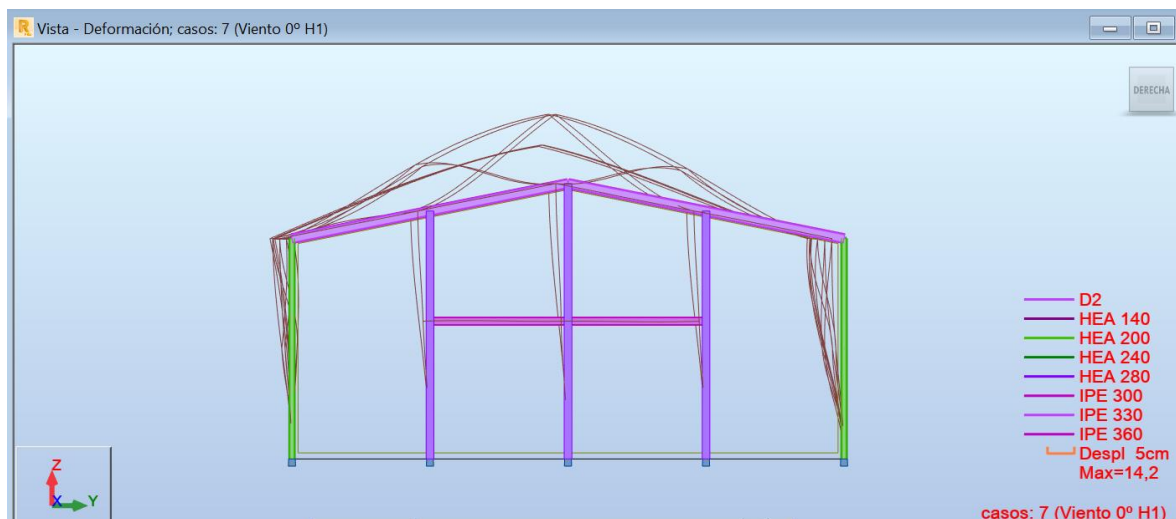


Figura 8.7. Deformación vista alzado viento CTE 0° H1

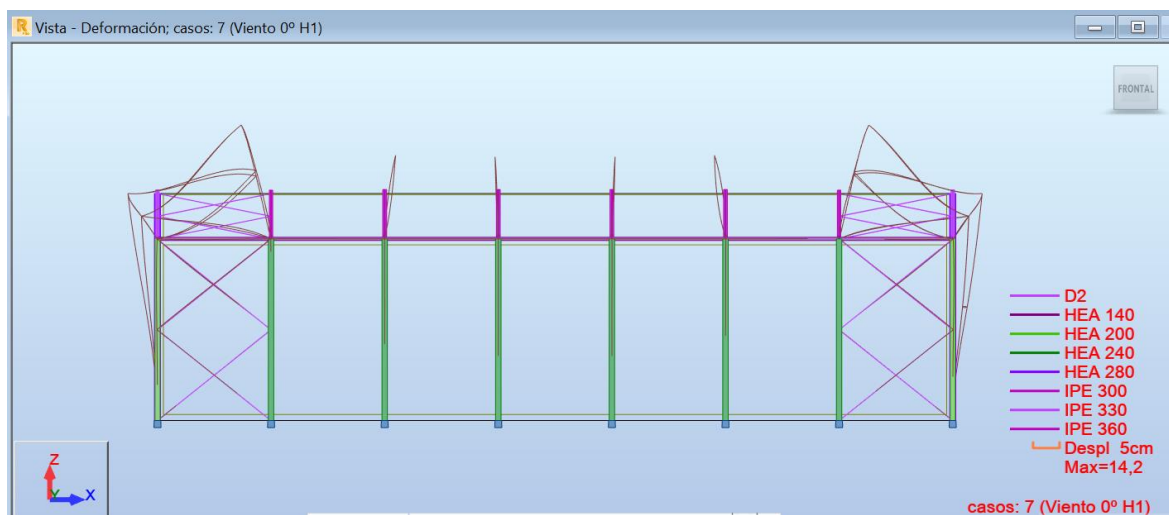


Figura 8.8. Deformación vista perfil viento CTE 0° H1

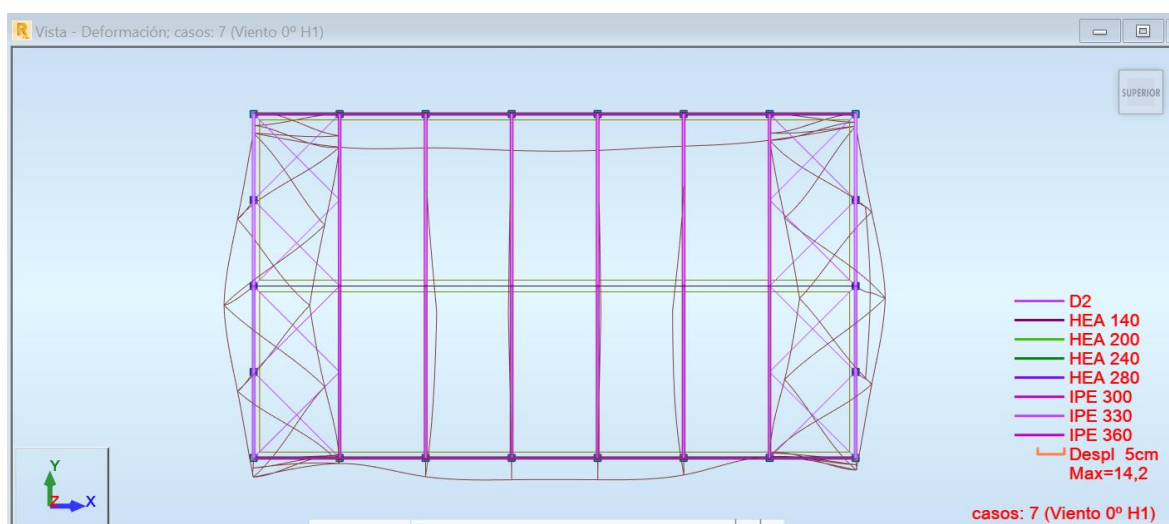


Figura 8.9. Deformación vista planta viento CTE 0° H1

8.2.2 Tensiones CTE Viento 0° H1

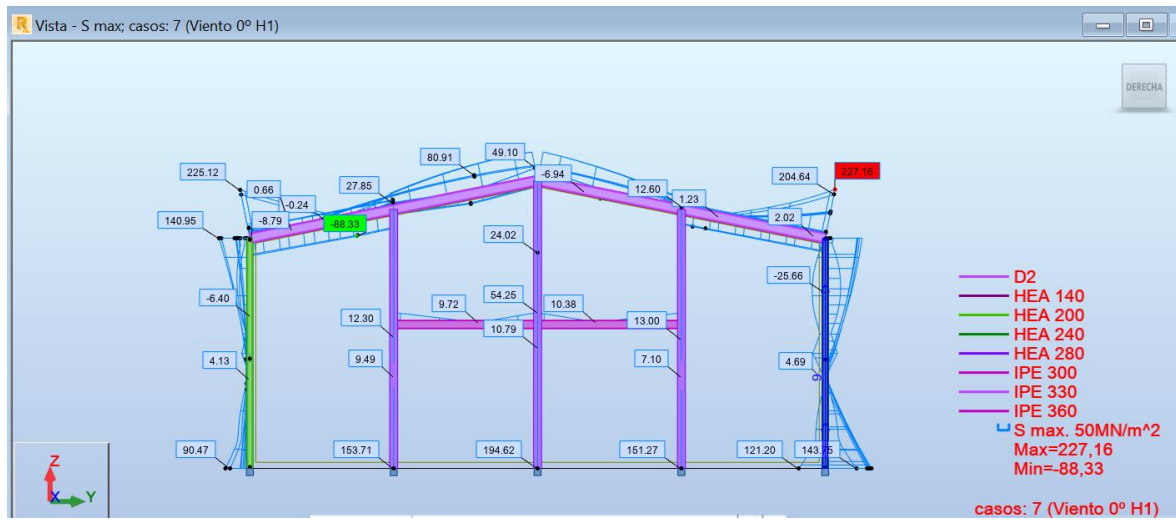


Figura 8.7. Tensiones vista alzado viento CTE 0° H1

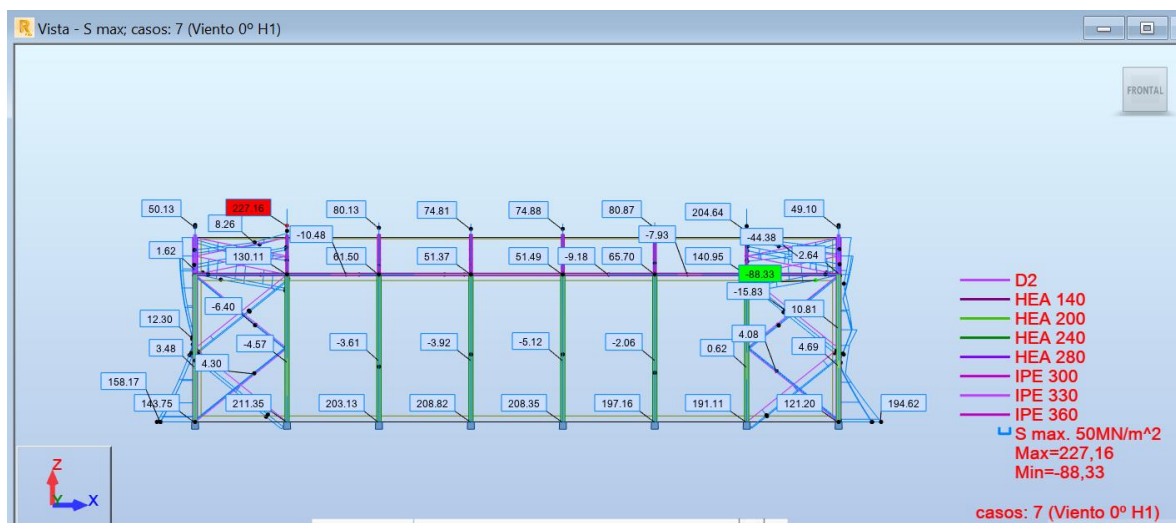


Figura 8.7. Tensiones vista perfil viento CTE 0° H1

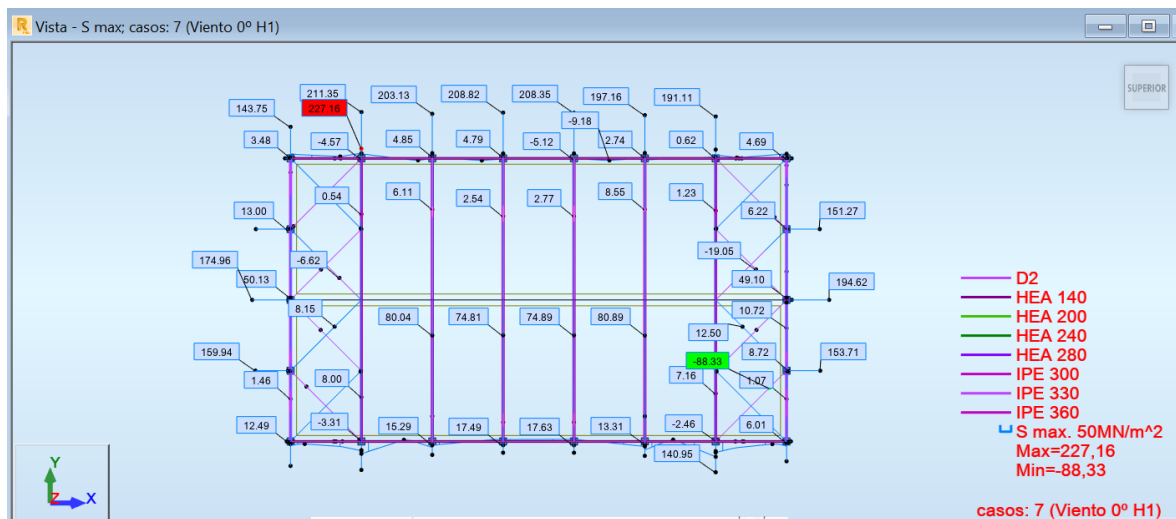


Figura 8.7. Tensiones vista planta viento CTE 0° H1

8.2.3 Deformaciones CTE Viento 90° H1

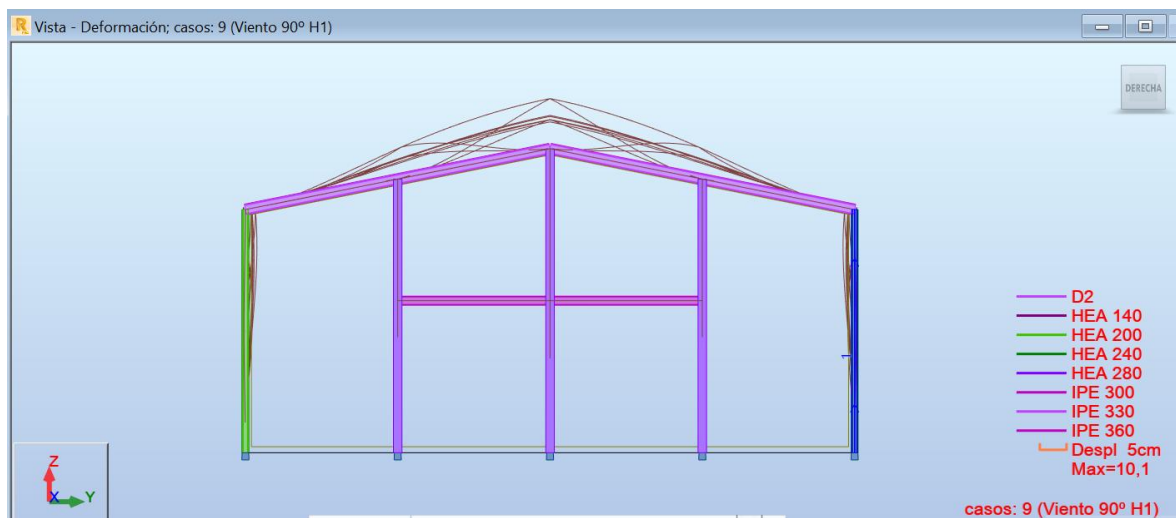


Figura 8.8. Deformaciones vista alzado viento CTE 90° H1

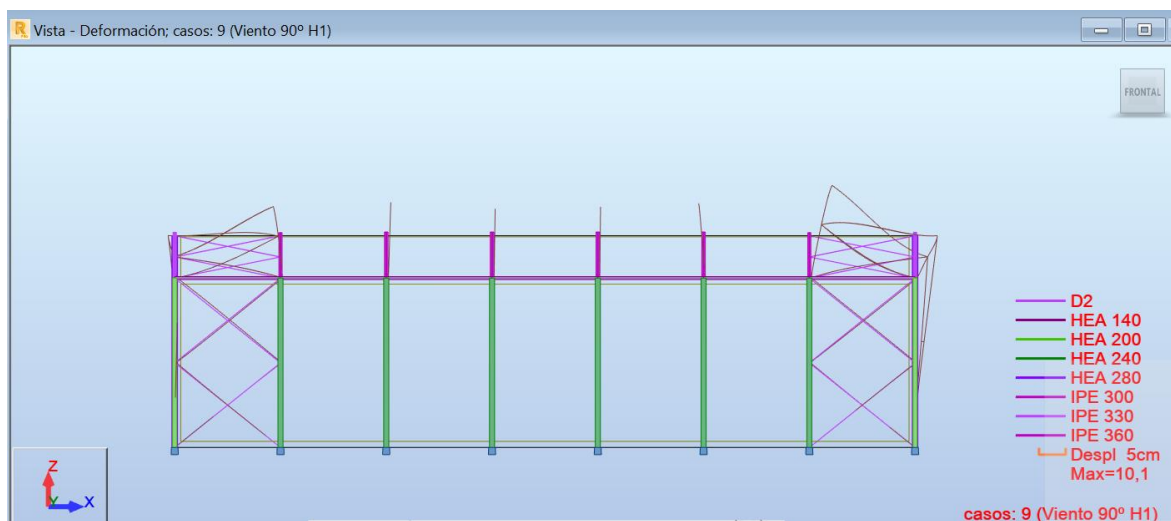


Figura 8.9. Deformaciones vista perfil viento CTE 90° H1

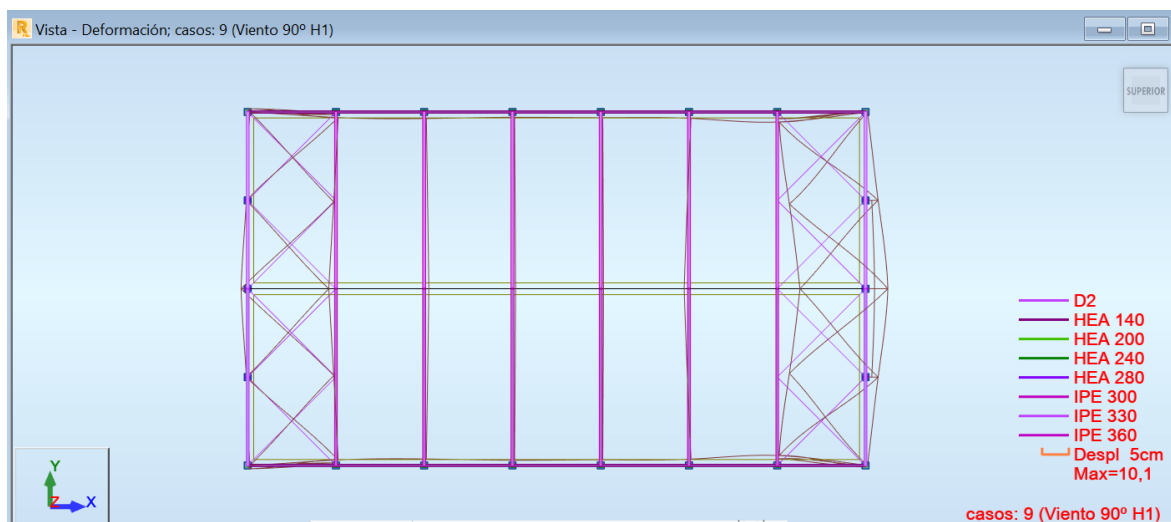


Figura 8.10. Deformaciones vista planta viento CTE 90° H1

8.2.4 Tensiones CTE Viento 90° H1

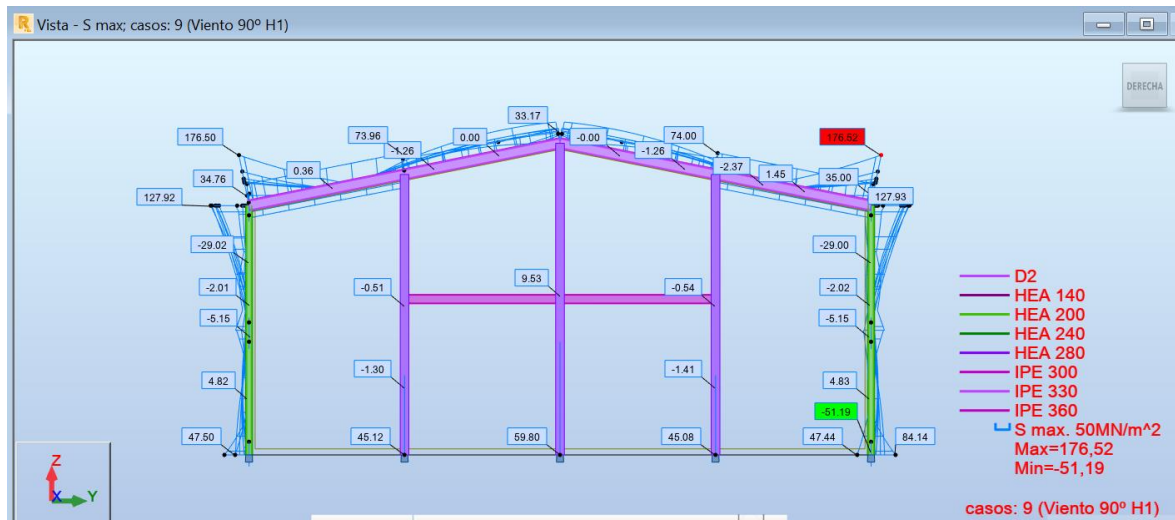


Figura 8.11. Tensiones vista alzado viento CTE 90° H1

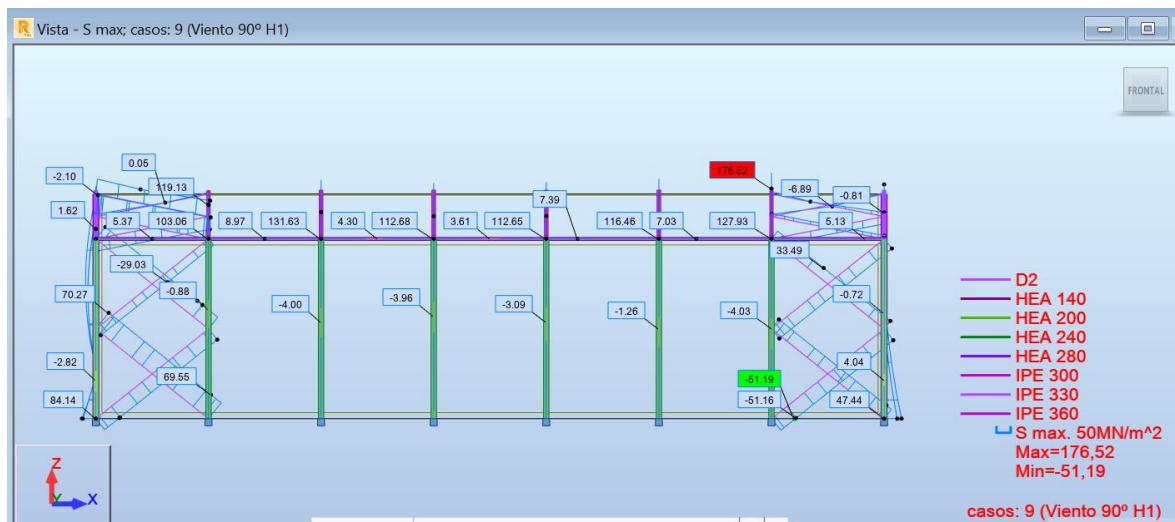


Figura 8.12. Tensiones vista perfil viento CTE 90° H1

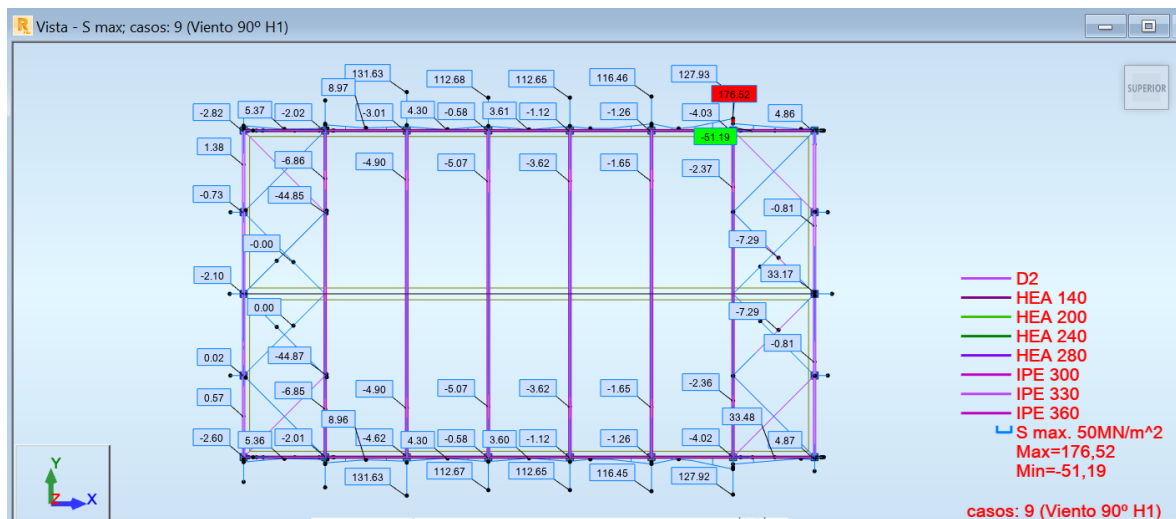


Figura 8.13. Tensiones vista planta viento CTE 90° H1

8.3 Resultados carga de viento simulación

A continuación, de igual forma que previamente, se muestran los casos de deformación y tensiones máxima para las mismas direcciones de viento sobre las caras de la nave industrial. En este caso dichas direcciones son respecto los ejes globales, son sentido Y- y X-. Los resultados son:

8.3.1 Deformaciones Simulación Viento Y-

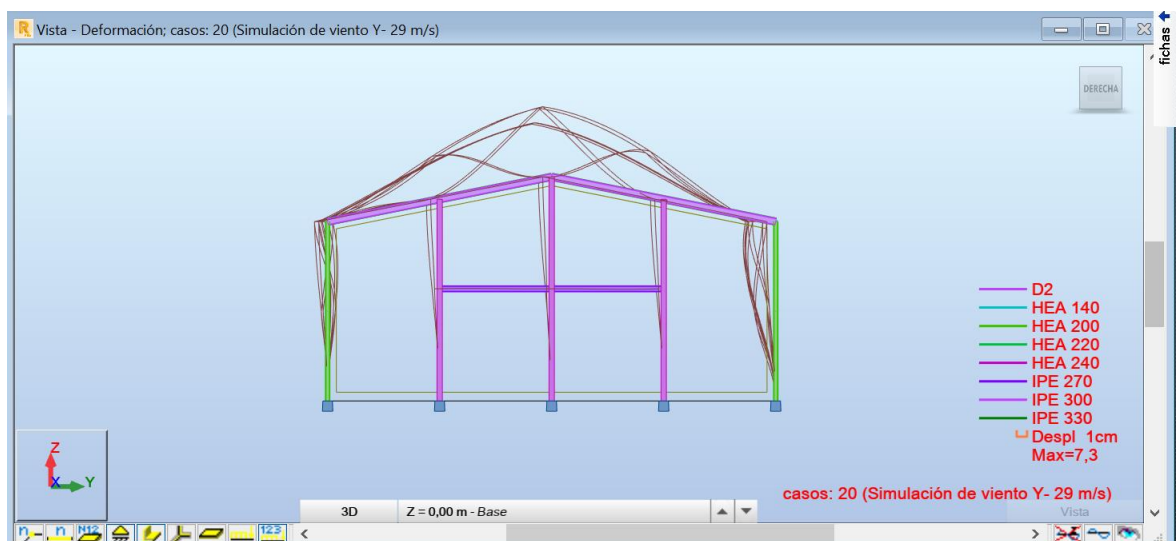


Figura 8.14. Deformaciones vista alzado viento simulación Y-

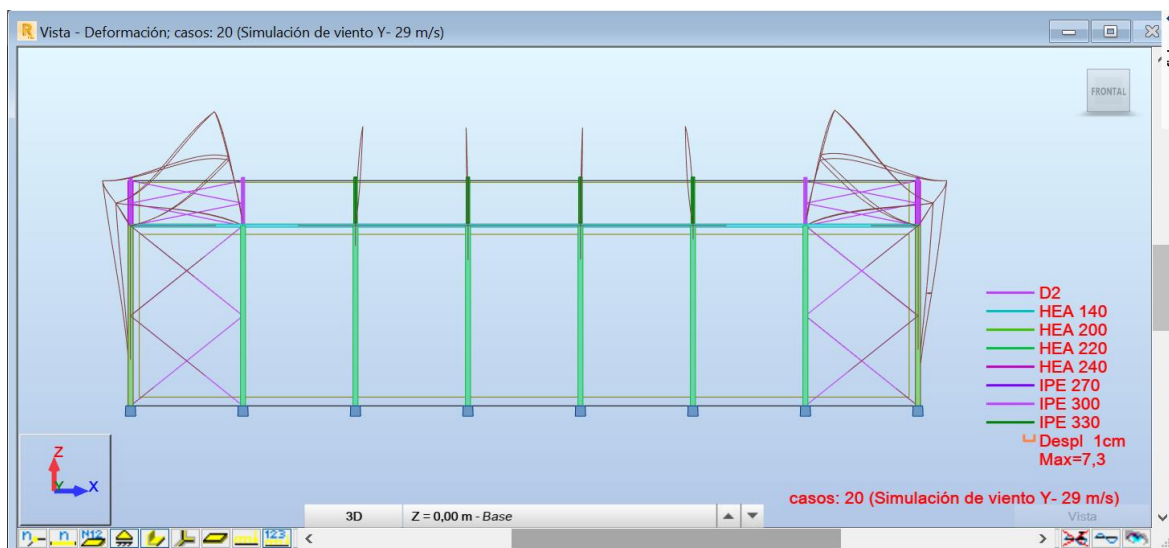


Figura 8.15. Deformación vista perfil viento simulación Y-

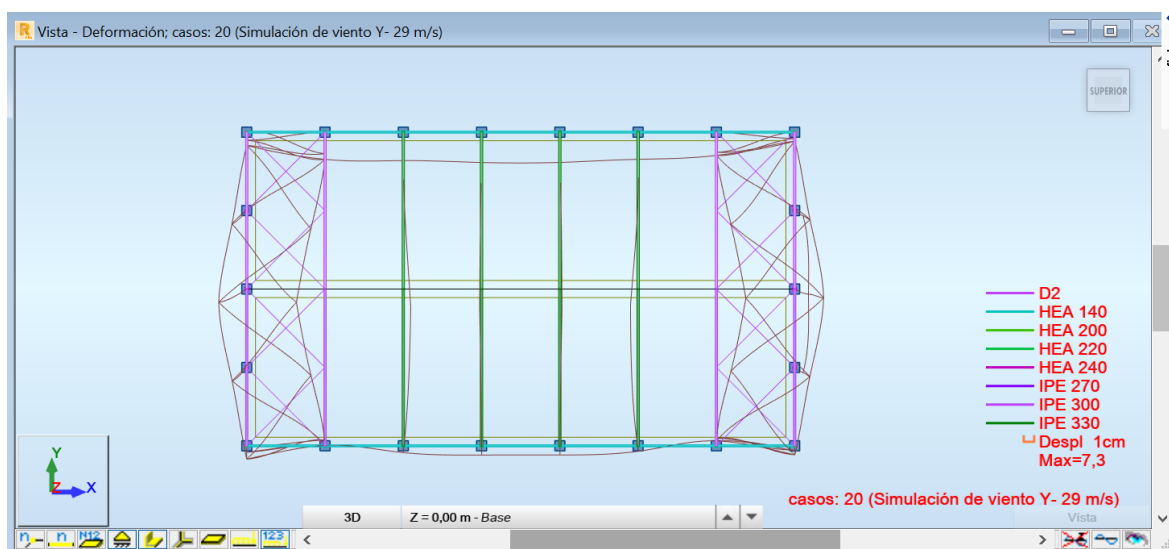


Figura 8.16. Deformación vista planta viento simulación Y-

8.3.2 Tensiones Simulación Viento Y-



Figura 8.17. Tensiones vista alzado viento simulación Y-

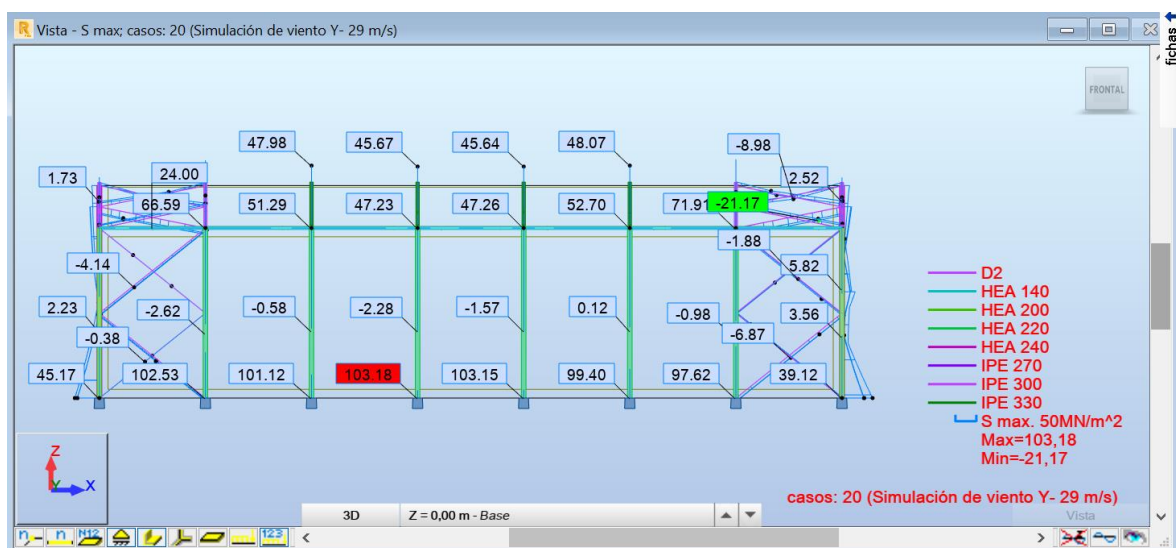


Figura 8.18. Tensiones vista perfil viento simulación Y-

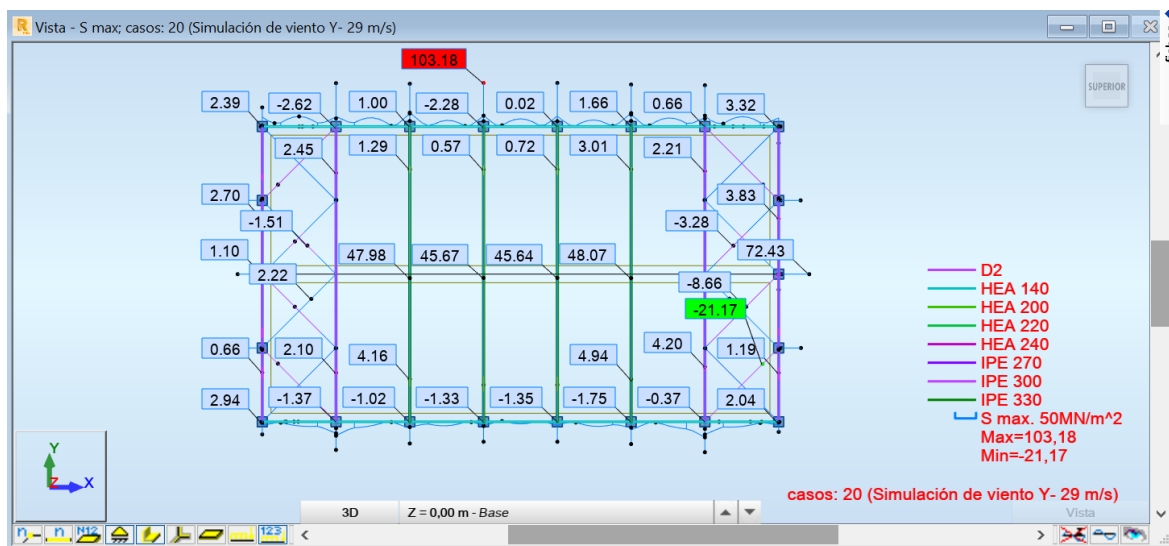


Figura 8.19. Tensiones vista planta viento simulación Y-

8.3.3 Deformaciones Simulación Viento X+

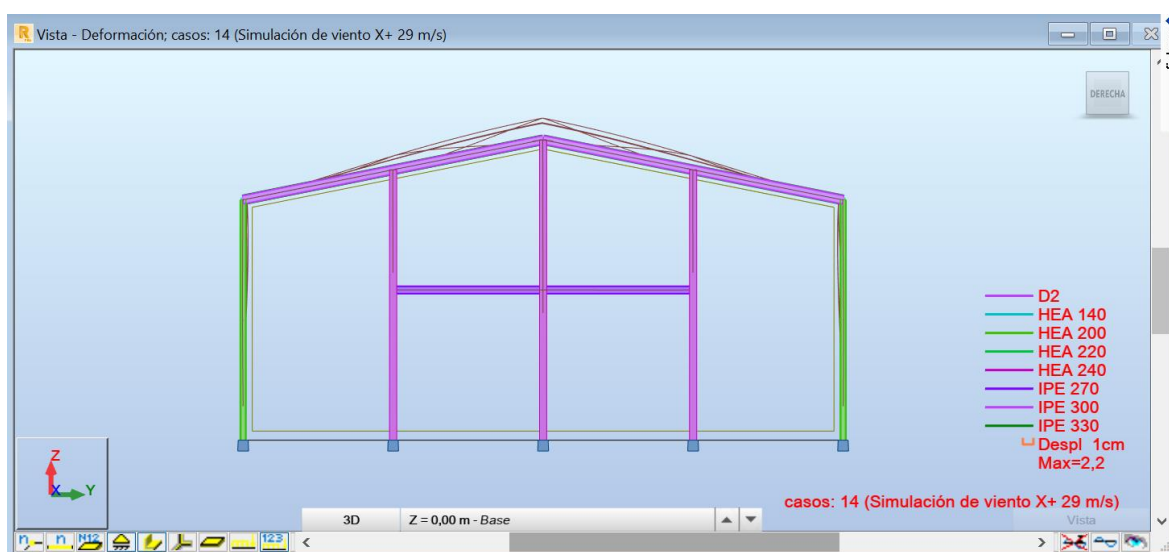


Figura 8.20. Deformaciones vista alzado viento simulación X+

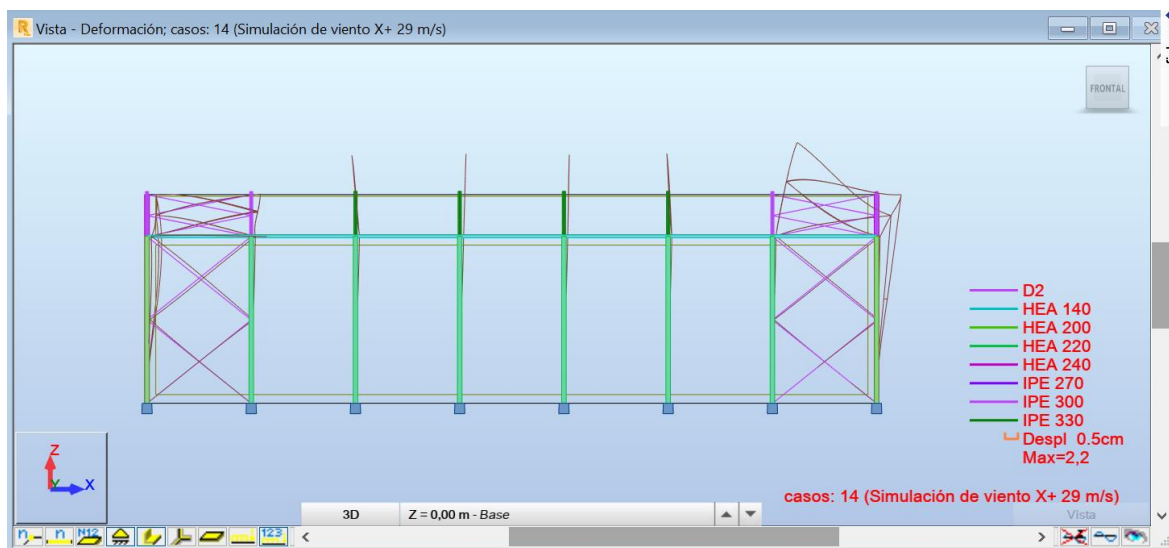


Figura 8.21. Deformaciones vista perfil viento simulación X+

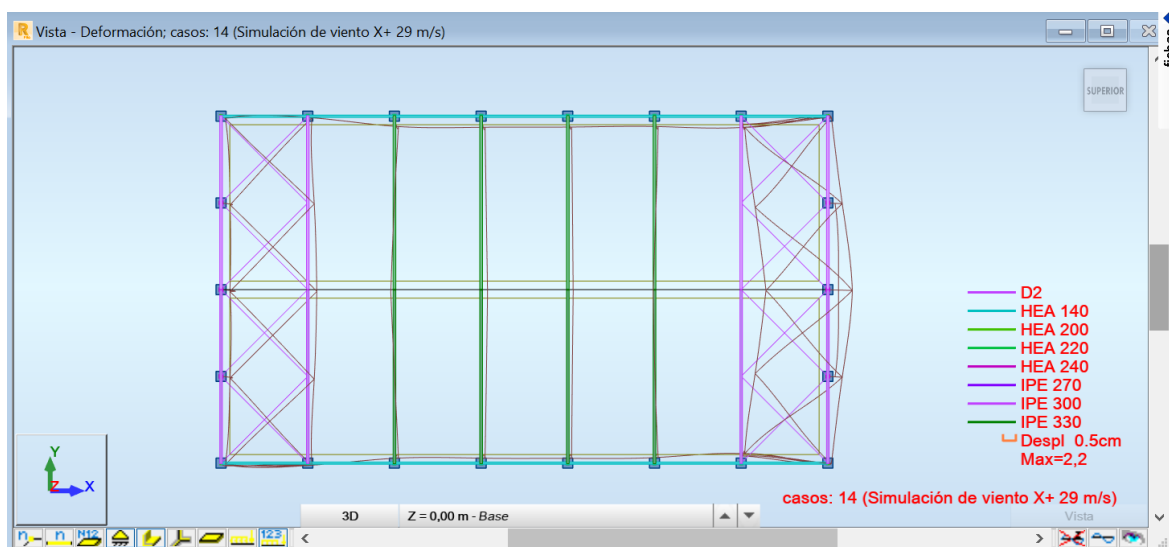


Figura 8.22. Deformaciones vista planta viento simulación X+

8.3.4 Tensiones Simulación Viento X+

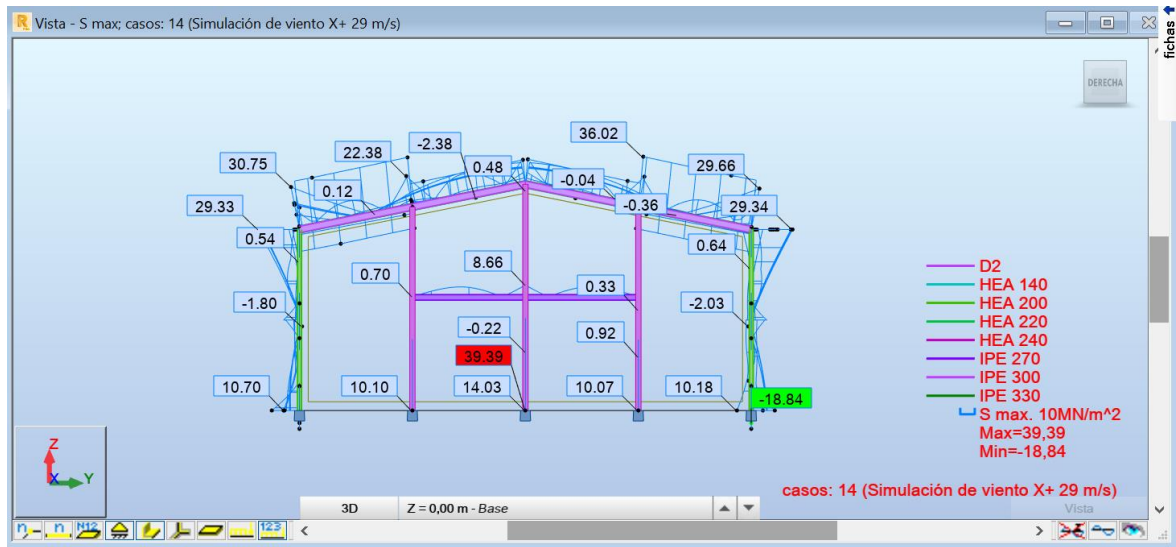


Figura 8.23. Tensiones vista alzado viento simulación X+

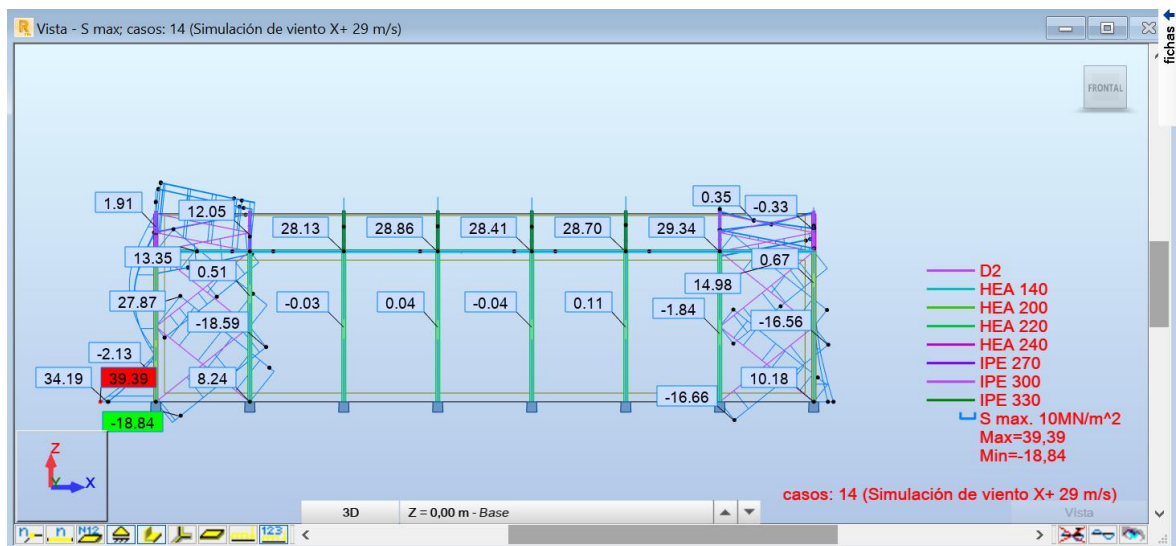


Figura 8.24. Tensiones vista perfil viento simulación X+

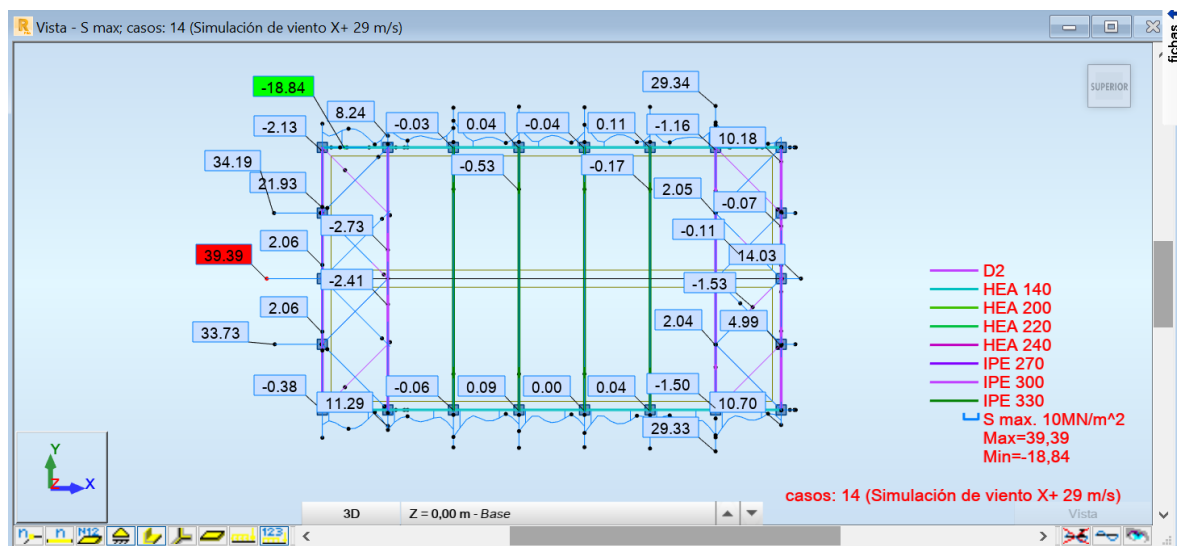


Figura 8.25. Tensiones vista planta viento simulación X+

8.4 Comparativa en Kg de acero

Tal y como muestra la Tabla 7.3, existe una diferencia en el dimensionamiento entre la nave industrial sometida a las acciones de viento obtenidas por el CTE, y la nave industrial sometida a las acciones del viento obtenidas a través de la simulación de viento realizada por el software.

Dicha diferencia de cargas, se traduce en unos esfuerzos diferentes, tal y como se ha mostrado en los resultados del apartado 8.3. Se dimensionan perfiles de mayor secciones para la nave industrial sometida a las cargas de viento obtenidas a partir del CTE.

Previamente a entrar en las conclusiones de estos resultados, se realiza una comparación en Kg de Acero y en precio, para valorar la diferencia en términos de inversión de la construcción. Los pesos de cada perfil se han obtenido de un distribuidor comercial llamado Incafe2000 [8]. Sin embargo dado que los precios ofrecidos por dicho distribuidor eran por unidad individual, son demasiados elevados. Por lo que con el objetivo de obtener unos resultados más realistas a las construcciones de la zona, se ha utilizado la Base de Costes de la Construcción de Andalucía (BCCA) [9]. A partir de él se ha determinado un precio base €/Kg para las vigas, los pilares y las barras tubulares.

A continuación se muestra el desglose del peso en Kg de Acero y presupuesto estimados para ambos diseños.

Grupo	CTE	Simulación	Longitud por barra (m)		Nº de barras	
1	IPE 360	IPE 330	10,2		8	
2	IPE 300	IPE 300	10,2		4	
3	IPE 330	IPE 300	10,2		4	
4	IPE 300	IPE 270	5		2	
5	HEA 240	HEA 220	8		8	
6	HEA 240	HEA 220	8		4	
7	HEA 200	HEA 200	8		4	
8	HEA 280	HEA 240	9	10	4	2
9	HEA 140	HEA 140	5		14	
10	D2	D2	6,4	7,14	16	16

Figura 8.26. Tipo de barra

Tipo perfil	Peso (Kg/m)	Precio (€/m)
IPE 220	26,86	0,83 €
IPE 270	37	0,83 €
IPE 300	43,26	0,83 €
IPE 330	50,33	0,83 €
IPE 360	58,53	0,83 €
HEA 140	25,32	0,74 €
HEA 200	43,36	0,74 €
HEA 220	51,76	0,74 €
HEA 240	61,81	0,74 €
HEA 280	78,31	0,74 €
D2	2,57	1,00 €

Figura 8.27. Peso Incafe2000 y precios BCCA

Grupo	Longitud total material	Peso total (Kg)		Precio total (€)	
		CTE	Simulación	CTE	Simulación
1	81,6	4776,05	4106,93	3.964,12 €	3.408,75 €
2	40,8	1765,01	1765,01	1.464,96 €	1.464,96 €
3	40,8	2053,46	1765,01	1.704,38 €	1.464,96 €
4	10	432,60	370,00	359,06 €	307,10 €
5	64	3955,84	3312,64	2.927,32 €	2.451,35 €
6	32	1977,92	1656,32	1.463,66 €	1.225,68 €
7	32	1387,52	1387,52	1.026,76 €	1.026,76 €
8	56	4385,36	3461,36	3.245,17 €	2.561,41 €
9	70	179,90	179,90	179,90 €	179,90 €
10	216,64	556,76	556,76	556,76 €	556,76 €
Total	643,84	21470,42	18561,45	16.892,09 €	14.647,63 €

Figura 8.28. Cálculo peso y precio por grupo de barras

Grupo	Diferencia en peso (Kg)	Diferencia en precio (€)
1	669,12	555,37 €
2	0,00	0,00 €
3	288,46	239,42 €
4	62,60	51,96 €
5	643,20	475,97 €
6	321,60	237,98 €
7	0,00	0,00 €
8	924,00	683,76 €
9	0,00	0,00 €
10	0,00	0,00 €
Total	2908,98	2.244,46 €

Figura 8.29. Ahorro en peso y precio

Tal y como se podía prever, una estructura formada por perfiles de menor sección supone un ahorro en Kg de Acero, y obviamente en costo final.

9. Conclusiones

Tras presentar los resultados de este estudio comparativo entre, las cargas de viento sobre la cubierta de una nave industrial obtenidas a partir del Código Técnico de la Edificación, y las cargas de viento generadas mediante la simulación de viento del software Robot Structural Analysis Profesional 2020, ha permitido mostrar que existe una diferencia significativa entre ellos y que los resultados son acorde a lo esperado en un estudio de este tipo.

A continuación, se analizan los resultados obtenidos así como la influencia de la configuración de los parámetros en cada caso. Las conclusiones presentadas a continuación siguen el mismo orden en que se han desarrollado los apartados a lo largo de esta memoria.

En primer lugar, resulta de vital importancia mencionar el estudio comparativo presentado en el apartado 3, entre el Código Técnico de la Edificación y el Eurocódigo. Previamente se han presentado las conclusiones de dicho estudio, pero solo algunas de ellas han resultado significativas para el caso de este proyecto.

La primera característica es la determinación de la velocidad de referencia del viento estipulada por el CTE. Tal y como se ha visto en el apartado 3.4, el valor fijo seleccionado para cada zona presenta cierto margen de error respecto los datos de velocidades de viento reales. Por lo tanto, en el apartado 4.3. se ha revisado dicha información respecto la ubicación exacta, elegida para la edificación. Donde se ha encontrado que para dicha localización existen ráfagas de viento puntuales mayores a la velocidad base. Lo cual debemos tener en cuenta durante el análisis del dimensionado de la estructura. Se puede concluir que, aunque el valor estimado por el CTE es conservador, en determinadas ubicaciones es conveniente revisar los valores ofrecidos por el AEMET para confirmar que se está trabajando con una velocidad correcta. Para el caso de este proyecto, dado que dichos valores mayores se han presentado de forma muy escasa y puntual, se ha considerado correcta la estimación del CTE.

Otra de las características analizadas en el estudio comparativo entre CTE y EU que podrían resultar de interés, es el coeficiente de exposición, desarrollado en el apartado 3.5. En la hipotética situación de que la ubicación requiera de un coeficiente de tipo de entorno IV o V, los valores del CTE se encuentran sobredimensionados en torno a un 4% debido al grado de precisión durante su redondeo. Dado que hemos considerado que la ubicación requiere un coeficiente de entorno tipo II, no se ve afectado en este caso.

El resto de variaciones entre el CTE y el EU no afectan de ninguna forma a nuestra edificación, ya que al tratarse de una nave industrial, su altura máxima es reducida respecto a edificaciones de varias plantas, por lo tanto no hay influencia del resto de diferencias destacadas en el apartado 3.

Respecto a la configuración de la carga de viento en la simulación, resulta importante destacar el análisis realizado en el apartado 6.2.1 sobre el coeficiente de desviación de la

generación de carga para la simulación de viento. Tal y como se ha visto, la reducción de dicho valor en un 0,3%, ha permitido un ajuste más preciso de las cargas del viento, generando una reducción de las cargas de entre 0,005% y 0,5%.

Podemos ver cómo mientras las cargas del CTE se están caracterizando por una tendencia al sobredimensionamiento en determinados parámetros para posicionarse desde un lado conservador. La simulación genera unas cargas de viento menores al mejorarse la precisión de la simulación.

El software utiliza un túnel de viento virtual para realizar las simulaciones. Dado que la geometría simulada es relativamente simple respecto otras edificaciones, podemos concluir con cierta seguridad que los resultados de cargas de viento obtenidos mediante la simulación del software son correctos.

Basado en las conclusiones obtenidas hasta ahora, se podría prever que las cargas de viento generadas por el CTE van a ser mayores que las generadas mediante la simulación. Y así es como ocurre, se puede ver la confirmación de las estimaciones en los resultados presentados en el apartado 8.2 y 8.3.

A partir de las figuras mostradas en dichos apartados, se obtienen varias conclusiones:

Por un lado, las figuras de las deformaciones para ambos casos, si se comparan se puede apreciar como siguen la misma tendencia, en ambas naves industriales para la misma dirección de carga de viento. Esto resulta indicativo de que ambas cargas de viento son correctas, ya que se verifica la certeza de un resultado cuando se produce la coincidencia con el otro, y viceversa. Debido a que se obtienen, mediante métodos de cálculo diferentes, los mismos resultados. Es importante mencionar que estos resultados de deformación tan solo muestran la aplicación de una carga concreta sobre la estructura, por lo que no son resultados de deformación reales, debido a que el aislamiento del caso carga sobre la estructura no es algo que pueda realizarse en la construcción real.

Por otra parte, se encuentran las figuras de esfuerzos máximo para cada caso. En estas figuras se puede ver como los valores de esfuerzos máximo asociados a las cargas de viento obtenidas a través del CTE son mucho mayores que las producidas por las cargas de viento de la simulación. Esto se debe a que las cargas de viento que generan dichos esfuerzos siguen la misma línea, tal y como se ha explicado previamente. De nuevo, hay que tener en cuenta que estos resultados tan solo representan la aplicación de una carga aislada sobre la estructura.

Estos resultados, nos sirven para valorar la certeza y calidad de las cargas de viento calculadas y aplicadas, así como la similitud entre ellas.

Una vez se han valorado las cargas aplicadas de forma individual, se realizan las combinaciones de carga apropiadas, que serán las que se utilicen para dimensionar la estructura mediante el cálculo de sección y el cálculo de estabilidad. Ambos explicados en el apartado 2.3.1 y 2.3.2.

Una vez realizados los cálculos a través del software de los casos de carga más desfavorables para cada grupo de elementos, se pueden comparar los resultados obtenidos para cada grupo, en cada nave industrial.

Si se revisan y comparan las combinaciones de carga para cada grupo, se ve como se ha detallado las cargas contenidas en cada combinación, se manera que pueda realizarse dicha comparativa. Apartados 7.2 y 7.3.

Y se ve como en todos los grupos, las cargas principales siempre coinciden, llegando incluso a ser justo las mismas combinaciones para algunos grupos. Mientras que en otros, se ve cómo mientras que la combinación de carga más desfavorable siempre contiene una carga de viento, en el caso del CTE. No ocurre igual para el caso de las cargas de viento obtenidas mediante simulación. Es decir, las cargas de viento generadas por el CTE, y contenidas en las combinaciones de carga del mismo diseño, generan combinaciones más desfavorables que esa misma combinación pero con las cargas de viento generadas mediante simulación. Por lo que en ese otro caso, la más desfavorable pasa a ser otra.

Estos resultados, continúan en la misma concordancia con los resultados de carga individuales y configuración de las mismas.

Mediante estas combinaciones, se dimensionan los elementos que constituyen ambas estructuras. Como es de esperar, los resultados del dimensionamiento continúan en la misma línea que los resultados previos.

Mayores cargas, generan mayores tensiones, que exigen mayores secciones para poder soportarlos. En la Tabla 7.3 se muestran los tipos de perfiles necesarios para soportar las combinaciones de carga mencionados previamente. Los perfiles para la nave cuyas cargas de viento se han obtenido a partir del CTE son mayores en algunos grupos, en otros son iguales a los perfiles dimensionados para la nave cuyas cargas se han obtenido a partir de la simulación de viento.

La diferencia entre ellos no es muy grande, salvo en el caso de las vigas de fachada. En este caso se puede ver claramente la diferencia entre las cargas de viento, tal y como se viene concluyendo en el resto de apartados.

Para las vigas de fachada se requiere un perfil IPE 330 para las cargas de viento del CTE, frente a un perfil IPE 300 para las cargas de viento de la simulación. Si analizamos las combinaciones de carga más desfavorables para ese grupo en ambos casos, vemos que es exactamente la misma para los dos. Por lo tanto, sabiendo que sobre ambas se aplica la carga del viento en la misma dirección, y que el resto de cargas que aparecen en la combinación son iguales para ambas. Es evidente que la carga de viento generada por el CTE, es mayor, ya que dichas vigas se han dimensionado con una sección mayor para soportarla. Mientras que para las cargas de viento generadas por la simulación, dado que estas son de menor magnitud, es suficiente con un perfil de sección menor.

Definitivamente se aprecia como las cargas de viento generadas por el CTE son mayores, generan mayores esfuerzos y requieren de unas secciones mayores para soportarlas. Por lo que se encuentra desde el lado de la seguridad.

Otra comparativa interesante, es la realizada en el apartado 8.4. A partir de los valores explicados en dicho apartado, se han obtenido los valores en Kg de Acero y en coste económico que supondría la construcción de la estructura metálica que constituye la nave. No se han considerado cerramientos, puertas, cimentaciones u otros elementos constructivos, que obviamente son necesarios para su construcción, ya que son iguales para ambos casos y no resulta de interés dado que se trata de un modelo comparativo. Figura 8.28 y 8.29.

Los resultados arrojan un ahorro en Kg de Acero de 2.908,98 Kg. Y un ahorro económico de 2.244,46 €. Es decir, la nave industrial dimensionada con unas cargas de viento diseñadas mediante simulación, permiten realizar el ahorro mencionado en material y coste monetario.

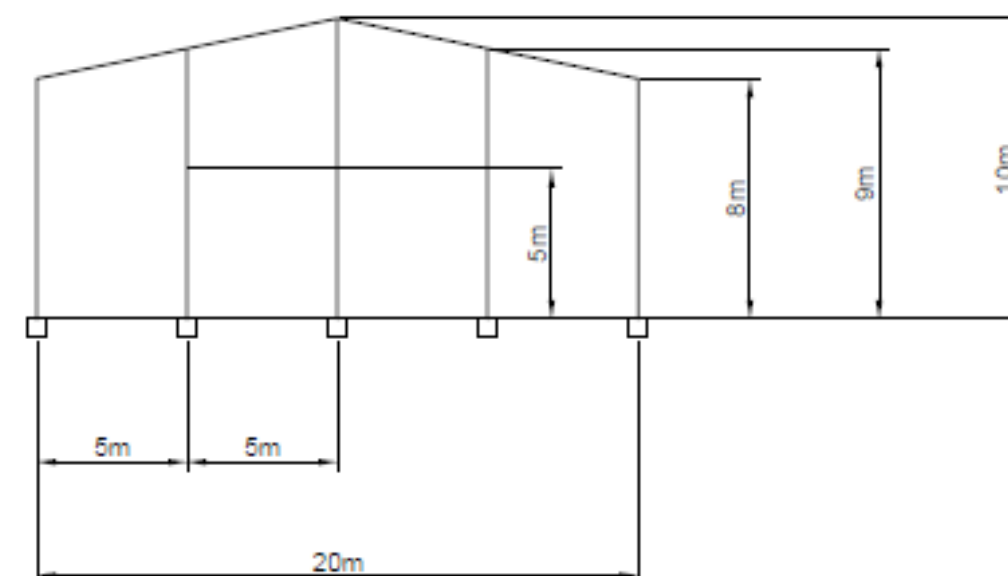
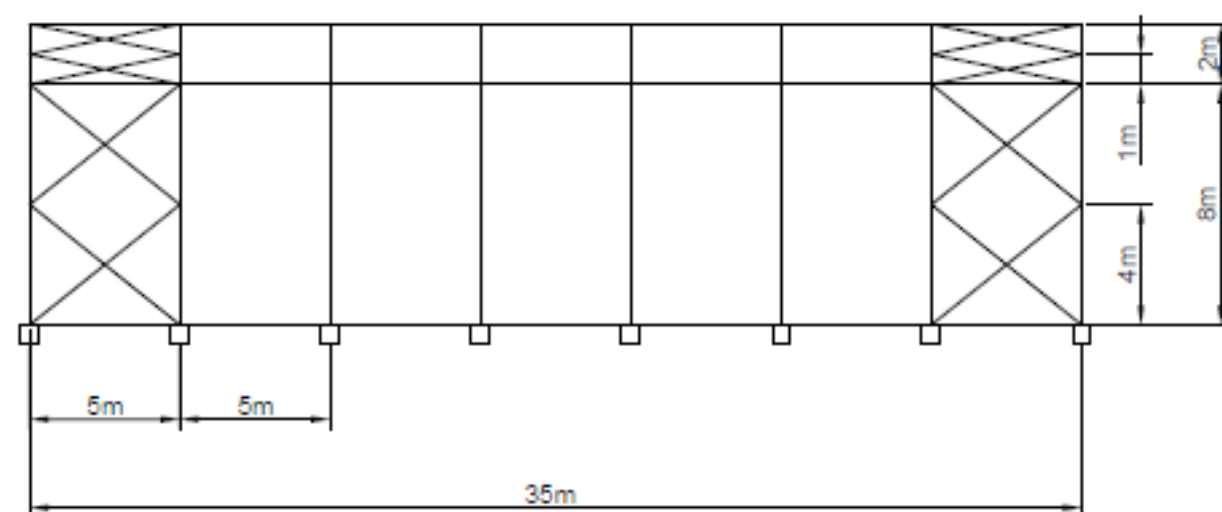
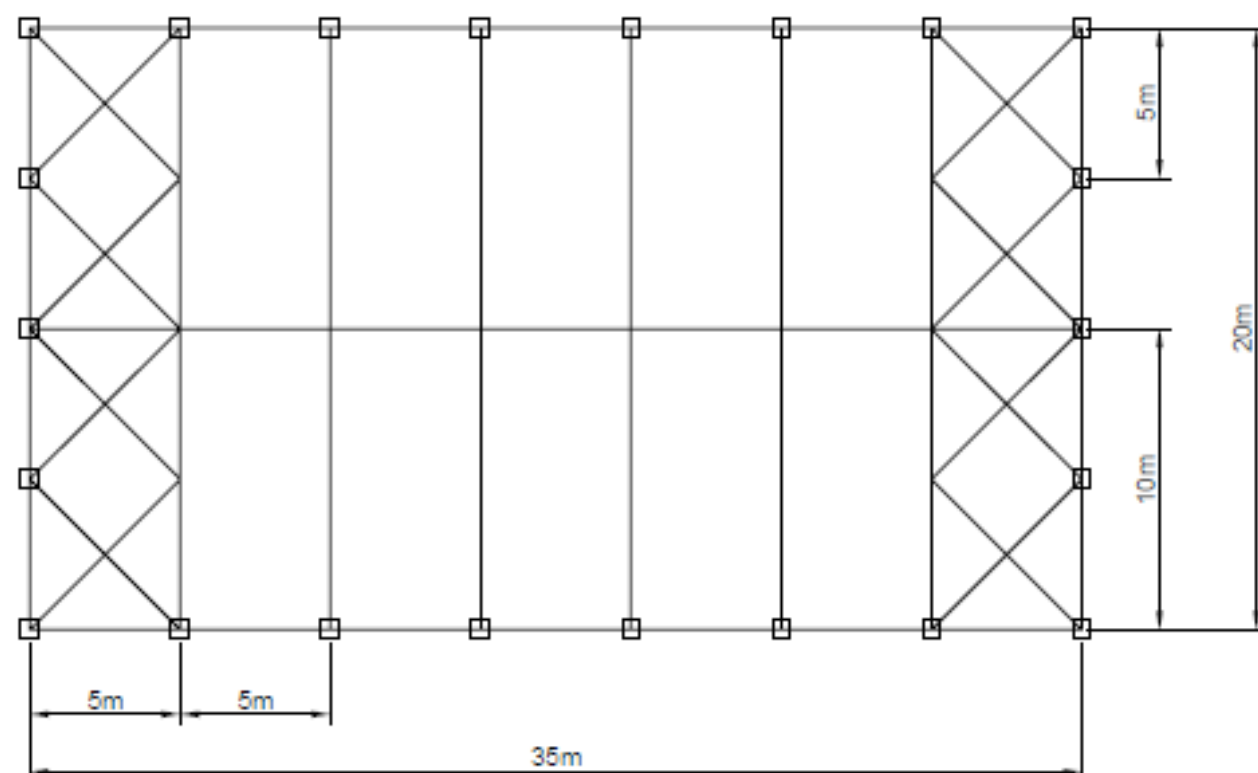
Las conclusiones finales que se pueden obtener de este estudio comparativo son las siguientes:

- El Código Técnico de la Edificación se encuentra desde el lado de la seguridad en cuanto al cálculo de las cargas de viento sobre una nave industrial.
- El Código Técnico de la Edificación es más conservador que el Eurocódigo en el cálculo de las cargas de viento sobre edificaciones.
- La simulación de las cargas de viento mediante el software Robot Structural Analysis Profesional 2020, permite una mayor precisión de las cargas de viento y optimización en el dimensionamiento de la estructura. Generando un ahorro en peso y coste económico. Realiza el resto de cálculos basados en el CTE.
- Deben de considerarse las simplificaciones realizadas por el CTE respecto el EU, analizando las que afectan a cada proyecto para poder valorar si se quiere adoptar una posición más conservadora o menos en la construcción de la nave industrial.
- Para la localización de esta edificación, basados en los datos de viento obtenidos por el AEMET, resultaría conveniente realizar una construcción más conservadora para cerciorarnos de que incluso con ráfagas de viento puntuales superiores a la velocidad base estimada por el CTE, la edificación no sufrirá ningún problema o defecto de estructural. Lo cual se consigue utilizando los perfiles dimensionados a partir de las cargas de viento del CTE, ya que como hemos visto se encuentran más desde el lado de la seguridad respecto a lo que realmente estima la simulación de viento que sería necesario.
- Por otro lado, para otra ubicación cuyas condiciones de viento fueran mucho menores que las estimadas por las velocidad base del CTE, podría resultar más apropiado optimizar la inversión en peso y coste económico de la estructura, a partir del dimensionamiento obtenido con las simulaciones de viento.

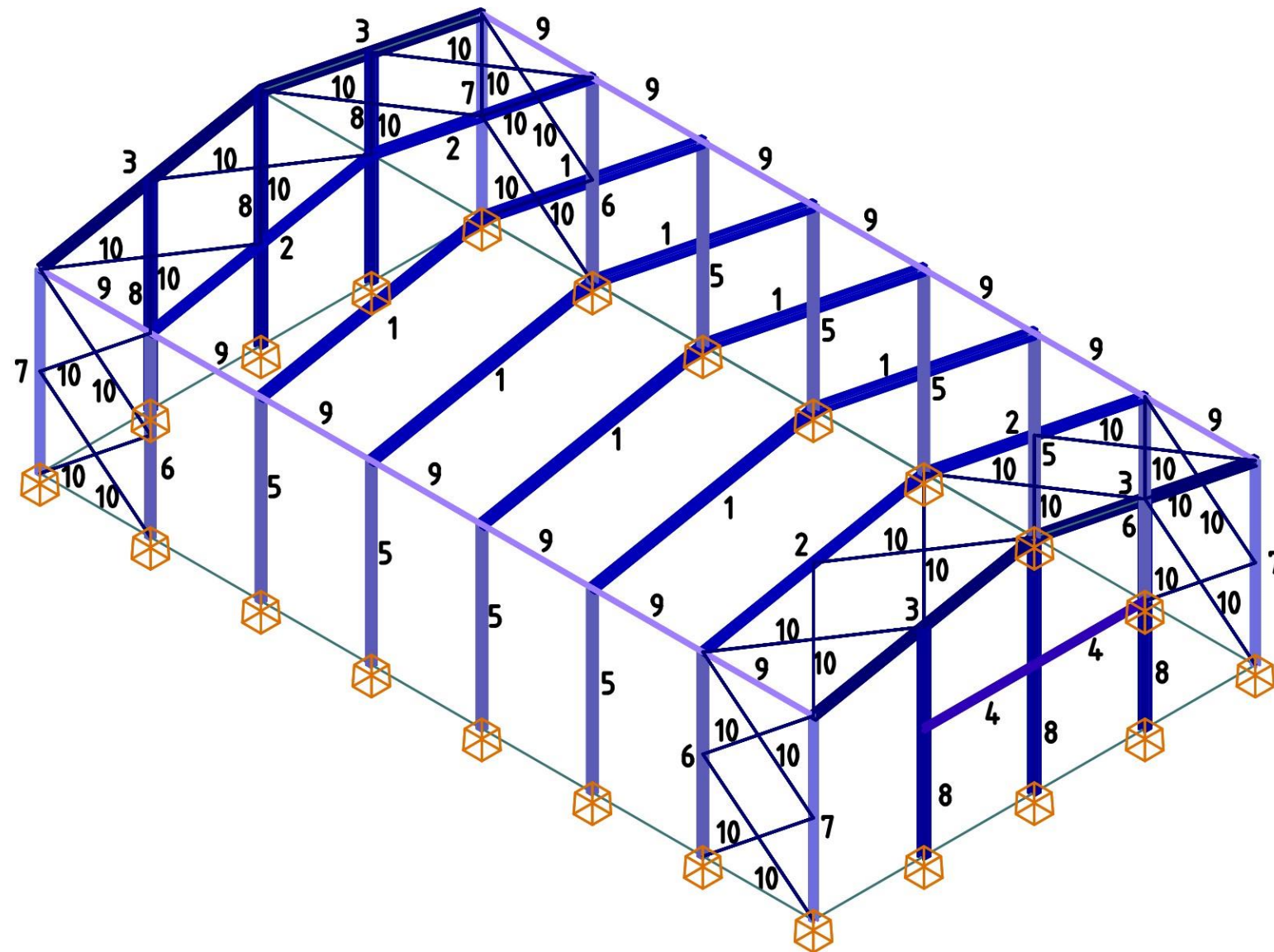
10. Planos

A continuación se muestran los planos del diseño realizado para la nave industrial. Resulta importante aclarar que este proyecto consiste que un estudio comparativo de las cargas del viento sobre las cubiertas de naves industriales. Por lo que los planos presentados tan solo tiene un carácter informativo y comparativo. No se ha pretendido la definición de los mismo desde un punto de vista constructivo.

Se presentan dos planos, el primero con las vistas de perfil, alzado y planta de la estructura que forma la nave industrial. Acotado en metros. Y por otra parte, un plano en 3D de la misma estructura con la definición que asocia cada elemento con su grupo correspondiente, así como los resultados de dimensionamiento obtenidos para ambos casos de cargas de viento.



	FECHA	NOMBRE	FIRMA	 Escuela Politécnica Superior de Linares	
DIBUJADO	22/07/2020	FAAJ			
COMPROBADO	30/07/2020				
ESCALA:	<u>ESTUDIO COMPARATIVO DE LA ACCIÓN CLIMÁTICA DEL VIENTO EN CUBIERTAS INDUSTRIALES UTILIZANDO CTE Y SIMULACIONES NUMÉRICAS</u>				Nº PLANO 1
4:1	VITAS NAVE INDUSTRIAL Y COTAS				SUSTITUYE A:
					SUSTITUIDO POR:



GRUPO	CTE	SIMULACIÓN
1	IPE 360	IPE 330
2	IPE 300	IPE 300
3	IPE 330	IPE 220
4	IPE 300	IPE 270
5	HEA 240	HEA 220
6	HEA 240	HEA 220
7	HEA 200	HEA 200
8	HEA 280	HEA 240
9	HEA 140	HEA 140
10	D2	D2

NOTAS

1. LAS BARRAS HAN SIDO ENUMERADAS DEPENDIENDO DEL GRUPO AL QUE CORRESPONDAN.
2. EL CERRAMIENTO DE LA NAVE NO SE MUESTRA PARA FACILITAR LA VISIBILIDAD DE LA ESTRUCTURA.
3. ESTE PLANO ES INFORMATIVO, NO CONSTRUCTIVO.

	FECHA	NOMBRE	FIRMA		
DIBUJADO	22/07/2020	FAAJ			
COMPROBADO	30/07/2020				
ESCALA:	ESTUDIO COMPARATIVO DE LA ACCIÓN CLIMÁTICA DEL VIENTO EN CUBIERTAS INDUSTRIALES UTILIZANDO CTE Y SIMULACIONES NUMÉRICAS				Nº PLANO 2
5:1					SUSTITUYE A:
	NAVE INDUSTRIAL 3D Y DESIGNACIÓN DE PERFILES PARA CADA BARRA				SUSTITUIDO POR:



11. Anexos

11.1 Anexo 1. Cálculo carga de viento CTE en Excel

Los cálculos de las cargas de viento generadas a partir del CTE, se han desarrollado en un archivo Excel totalmente parametrizado. En este Anexo se muestra el proceso seguido para obtener los resultados.

En primer lugar se ha realizado una parametrización de todos los valores tabulados en el CTE.

Valores del coeficiente de exposición Ce							
Grado aspereza entorno	Parametros					Zonas	Velocidad viento
	k	L (m)	Z (m)			A	26
1	0,156	0,003	1			B	27
2	0,17	0,01	1			C	29
3	0,19	0,05	2				
4	0,22	0,3	5				
5	0,24	1	10				

Figura 11.1. Parametrización coeficientes

Parametros verticales						
A	h/d	Zona				
		A	B	C	D	E
10	5	-1,2	-0,8	-0,5	0,8	-0,7
	1	-1,2	-0,8	-0,5	0,8	-0,5
	≤0,25	-1,2	-0,8	-0,5	0,7	-0,3
5	5	-1,3	-0,9	-0,5	0,9	-0,7
	1	-1,3	-0,9	-0,5	0,9	-0,5
	≤0,25	-1,3	-0,9	-0,5	0,8	-0,3
2	5	-1,3	-1	-0,5	0,9	-0,7
	1	-1,3	-1	-0,5	0,9	-0,5
	≤0,25	-1,3	-1	-0,5	0,7	-0,3
1	5	-1,4	-1,1	-0,5	1	-0,7
	1	-1,4	-1,1	-0,5	1	-0,5
	≤0,25	-1,4	-1,1	-0,5	1	-0,3

Figura 11.2. Parametrización parámetros verticales

Cubiertas Planas						
	hp/h	A	Zona			
			F	G	H	I
Bordes con aristas		≥ 10	-1,8	-1,2	-0,7	0,2
		≤ 1	-2,5	-2	-1,2	-0,2
Con parapetos	0,025	≥ 10	-1,6	-1,1	-0,7	0,2
		≤ 1	-2,2	-1,8	-1,2	-0,2
	0,05	≥ 10	-1,4	-0,9	-0,7	0,2
		≤ 1	-2	-1,6	-1,2	-0,2
	0,1	≥ 10	-1,2	-0,8	-0,7	0,2
		≤ 1	-1,8	-1,4	-1,2	-0,2

Figura 11.3. Parametrización cubiertas planas

Cubierta a un agua $-45^\circ < \theta < 45^\circ$				
Pendiente cubierta α	A	Zona		
		F	G	H
5°	≥ 10	-1,7	-1,2	-0,6
		0	0	0
	≤ 1	-2,5	-2	-1,2
		0	0	0
15°	≥ 10	-0,9	-0,8	-0,3
		0,2	0,2	0,2
	≤ 1	-2	-1,5	-0,3
		0,2	0,2	0,2
30°	≥ 10	-0,5	-0,5	-0,2
		0,7	0,7	0,4
	≤ 1	-1,5	-1,5	-0,2
		0,7	0,7	0,4
45°	≥ 10	0	0	0
		0,7	0,7	0,6
	≤ 1	0	0	0
		0,7	0,7	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

Figura 11.4. Parametrización cubierta a un agua 1°

Cubierta a un agua $135^\circ \leq \theta \leq 225^\circ$				
Pendiente cubierta α	A	Zona		
		F	G	H
5°	≥ 10	-2,3	-1,3	-0,8
	≤ 1	-2,5	-2	-1,2
15°	≥ 10	-2,5	-1,3	-0,9
	≤ 1	-2,8	-2	-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	-0,5	-0,5
75°	≥ 10	-0,5	-0,5	-0,5
	≤ 1	-1	-0,5	-0,5

Cubierta a un agua $45^\circ \leq \theta \leq 135^\circ$						
Pendiente cubierta α	A	Zona				
		Finf	Fsup	G	H	I
5°	≥ 10	-2,1	-2,1	-1,8	-0,6	-0,5
	≤ 1	-2,4	-2,6	-2	-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	-0,8
	≤ 1	-2	-2,9	-2	-1,3	-1,2
45°	≥ 10	-1,3	-1,5	-1,4	-1	-0,9
	≤ 1	-2	-2,4	-2	-1,3	-1,2
60°	≥ 10	-1,2	-1,2	-1,2	-1	-0,7
	≤ 1	-2	-2	-2	-1,3	-1,2
75°	≥ 10	-1,2	-1,2	-1,2	-1	-0,5
	≤ 1	-2	-2	-2	-1,3	-0,5

Figura 11.5. Parametrización cubierta a un agua 2°

Cubierta a dos aguas $-45^\circ < \theta < 45^\circ$						
Pendiente cubierta α	A	Zona				
		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
		-2,3	-1,2	-0,8	-0,6	-0,6
	≤ 1	-2,5	-2	-1,2	0,2	0,2
		-2,5	-2	-1,2	-0,6	-0,6
5°	≥ 10	-1,7	-1,2	-0,6	-0,6	0,2
		0	0	0	-0,6	-0,6
	≤ 1	-2,5	-2	-1,2	-0,6	0,2
		0	0	0	-0,6	-0,6
15°	≥ 10	-0,9	-0,8	-0,3	-0,4	-1
		0,2	0,2	0,2	0	0
	≤ 1	-2	-1,5	-0,3	-0,4	-1,5
		0,2	0,2	0,2	0	0

Figura 11.6. Parametrización cubierta a dos aguas 1°

30°	≥ 10	-0,5	-0,5	-0,2	-0,4	-0,5
		0,7	0,7	0,4	0	0
	≤ 1	-1,5	-1,5	-0,2	-0,4	-0,5
		0,7	0,7	0,4	0	0
45°	≥ 10	0	0	0	-0,2	-0,3
		0,7	0,7	0,6	0	0
	≤ 1	0	0	0	-0,2	-0,3
		0,7	0,7	0,6	0	0
60°	≥ 10	0,7	0,7	0,7	-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

Figura 11.7. Parametrización cubierta a dos aguas 2°

Cubierta a dos aguas $-45^\circ \leq \theta \leq 135^\circ$					
Pendiente cubierta α	A	Zona			
		F	G	H	I
-45°	≥ 10	-1,4	-1,2	-1	-0,9
	≤ 1	-2	-2	-1,3	-1,2
-30°	≥ 10	-1,5	-1,2	-1	-0,9
	≤ 1	-2,1	-2	-1,3	-1,2
-15°	≥ 10	-1,9	-1,2	-0,8	-0,8
	≤ 1	-2,5	-2	-1,2	-1,2
-5°	≥ 10	-1,8	-1,2	-0,7	-0,6
	≤ 1	-2,5	-2	-1,2	-1,2
5°	≥ 10	-1,6	-1,3	-0,7	-0,6
	≤ 1	-2,2	-2	-1,2	-0,6
15°	≥ 10	-1,3	-1,3	-0,6	-0,5
	≤ 1	-2	-2	-1,2	-0,5
30°	≥ 10	-1,1	-1,4	-0,8	-0,5
	≤ 1	-1,5	-2	-1,2	-0,5
45°	≥ 10	-1,1	-1,4	-0,9	-0,5
	≤ 1	-1,5	-2	-1,2	-0,5
60°	≥ 10	-1,1	-1,2	-0,8	-0,5
	≤ 1	-1,5	-2	-1	-0,5
75°	≥ 10	-1,1	-1,2	-0,8	-0,5
	≤ 1	-1,5	-2	-1	-0,5

Figura 11.8. Parametrización cubierta a dos aguas 3°

Cubierta a cuatro aguas										
Pendiente cubierta α	A	Zona								
		F	G	H	I	J	K	L	M	N
5°	≥ 10	-1,7	-1,2	-0,6	-0,3	-0,6	-0,6	-1,2	-0,6	-0,4
		0	0	0						
	≤ 1	-2,5	-2	-1,2	-0,3	-0,6	-0,6	-2	-1,2	-0,4
		0	0	0						
15°	≥ 10	-0,9	-0,8	-0,3	-0,5	-1	-1,2	-1,4	-0,6	-0,3
		0,2	0,2	0,2						
	≤ 1	-2	-1,5	-0,3	-0,5	-1,5	-2	-2	-1,2	-0,3
		0,2	0,2	0,2						
30°	≥ 10	-0,5	-0,5	-0,2	-0,4	-0,7	-0,5	-1,4	-0,8	-0,2
		0,5	0,7	0,4						
	≤ 1	-1,5	-1,5	-0,2	-0,4	-1,2	-0,5	-2	-1,2	-0,2
		0,5	0,7	0,4						
45°	≥ 10	0	0	0	-0,3	-0,6	-0,3	-1,3	-0,8	-0,2
		0,7	0,7	0,6						
	≤ 1	0	0	0	-0,3	-0,6	-0,3	-2	-1,2	-0,2
		0,7	0,7	0,6						
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	-0,4	-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	-0,4	-0,2

Figura 11.9. Parametrización cubierta a cuatro aguas

Una vez realizada la parametrización, se pueden realizar los cálculos necesarios, utilizando dichos valores.

El orden de cálculo y procedimiento a seguir ha sido desarrollado en el apartado 2.2 de esta memoria. Las siguientes figuras presentan todos los resultados obtenidos. Se ha realizado la programación de determinadas funciones para que independientemente de las

características de la nave industrial, se obtengan de forma automática los resultados de cargas de viento sobre cada elemento.

CUBIERTA DOS AGUAS						
Características nave industrial						
Ubicación:	Tarifa		k	L	Z	Cpi
Grado aspereza entorno:	2		0,17	0,01	1	0
Altura pilares (m):	8					
Cumbrera (m):	2					
Altura total (m):	10					
Longitud nave (m):	35					
Longitud vanos (m):	5	Nº vigas:		14		
Luz portico (m):	20	Nº pilares:		20		
Ángulo cubierta (°):	11,31					

Figura 11.10. Cargas de viento 1º

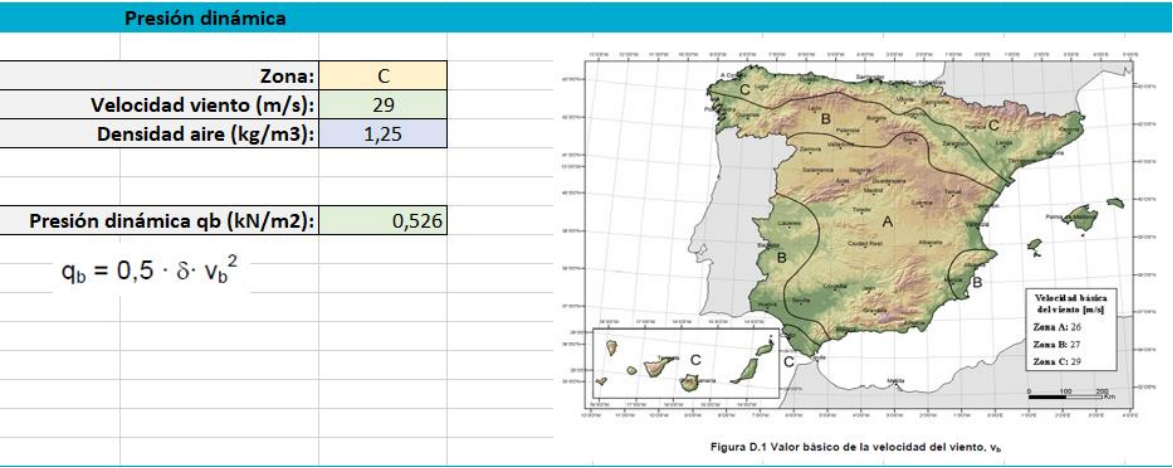


Figura 11.11. Cargas de viento 2º

Coeficiente de exposición				
Factor F	1,136	k	L (m)	Z (m)
Coeficiente Exposición (Ce):	2,644	0,17	0,01	1
$C_e = F \cdot (F + 7 k)$				
$F = k \ln (\max (z, Z) / L)$				

Tabla D.2 Coeficientes para tipo 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

Figura 11.12. Cargas de viento 3º

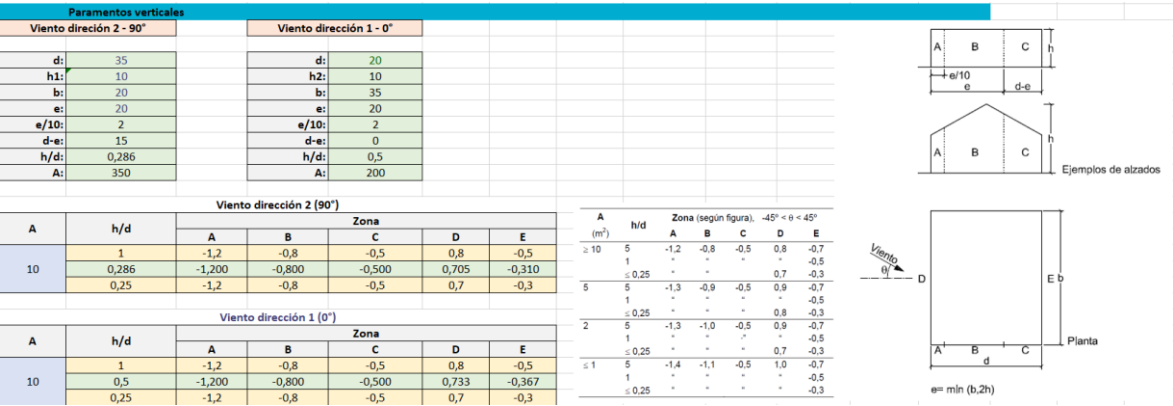


Figura 11.13. Cargas de viento 4°

Paramentos cubierta a dos aguas									
Viento dirección 1 (0°)					Viento dirección 2 (90°)				
α (°):	11,31				α (°):	11,31			
h:	10				h:	10			
b:	35				b:	20			
d:	20				d:	35			
e:	20				e:	20			
d/2:	10				e/2:	10			
e/4:	5				e/4:	5			
e/10:	2				e/10:	2			

Dirección del viento 1 en 0°									
Ángulo del viento entre -45° y 45°									
Pendiente de la cubierta α	A (m2)	Zona							
		F	G	H	I	J			
5	≥10	-1,7	-1,2	-0,6	-0,6	0,2			
		0	0	0	-0,6	-0,6			
	≤1	-2,5	-2	-1,2	-0,6	0,2			
11,31	≥10	-1,195	-0,948	-0,411	-0,474	-0,557			
		0,126	0,126	0,126	-0,221	-0,221			
	≤1	-2,185	-1,685	-0,632	-0,474	-0,873			
15	≥10	-1,195	-0,948	-0,411	-0,474	-0,557			
		0,126	0,126	0,126	-0,221	-0,221			
	≤1	-2,185	-1,685	-0,632	-0,474	-0,873			

Pendiente de la cubierta α	A (m²)	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
30°	≥10	-1,1	-0,8	-0,8	-0,6	-0,8
	≤1	-1,1	-0,8	-0,8	-0,6	-0,8
15°	≥10	-2,5	-1,3	-0,9	-0,5	-0,7
	≤1	-2,5	-1,3	-0,9	-0,5	-0,7
0°	≥10	-2,3	-1,2	-0,8	0,2	0,2
	≤1	-2,3	-1,2	-0,8	0,2	0,2
0°	≥10	-1,7	-1,2	-0,6	-0,6	0,2
	≤1	-1,7	-1,2	-0,6	-0,6	0,2
15°	≥10	-0,9	-0,8	-0,3	-0,4	-1
	≤1	-0,9	-0,8	-0,3	-0,4	-1
30°	≥10	-0,5	-0,5	-0,2	-0,4	-0,5
	≤1	-0,5	-0,5	-0,2	-0,4	-0,5
45°	≥10	-0,7	-0,7	-0,4	0	0
	≤1	-0,7	-0,7	-0,4	0	0
60°	≥10	-0,7	-0,7	-0,4	-0,3	-0,3
	≤1	-0,7	-0,7	-0,4	-0,3	-0,3
75°	≥1	-0,8	-0,8	-0,6	-0,2	-0,2
	≤1	-0,8	-0,8	-0,6	-0,2	-0,2

Figura 11.14. Cargas de viento 5°

Dirección del viento 2 en 90°									
Ángulo del viento entre 45° y 135°									
Pendiente de la cubierta α	A (m2)	Zona							
		F	G	H	I	J			
5	≥10	-1,6	-1,3	-0,7	-0,6				
	≤1	-2,2	-2	-1,2	-0,6				
11,31	≥10	-1,411	-1,300	-0,637	-0,537				
	≤1	-2,074	-2,000	-1,200	-0,537				
15	≥10	-1,3	-1,3	-0,6	-0,5				
	≤1	-2	-2	-1,2	-0,5				

Pendiente de la cubierta α	A (m²)	Zona (según figura). 45° ≤ α ≤ 45°				
		F	G	H	I	J
45°	≥10	-1,4	-1,3	-1,0	-0,5	-0,5
	≤1	-2,0	-2,0	-1,3	-1,2	-1,2
30°	≥10	-1,9	-1,7	-1,0	-0,6	-0,6
	≤1	-2,1	-2,1	-1,3	-1,2	-1,2
15°	≥10	-2,5	-2,5	-1,0	-0,5	-0,5
	≤1	-2,5	-2,5	-1,0	-0,5	-0,5
0°	≥10	-1,8	-1,8	-0,7	-0,2	-0,2
	≤1	-2,0	-2,0	-1,0	-0,5	-0,5
15°	≥10	-1,3	-1,3	-0,5	-0,2	-0,2
	≤1	-2,0	-2,0	-1,0	-0,5	-0,5
30°	≥10	-1,1	-1,1	-0,3	-0,2	-0,2
	≤1	-1,4	-1,4	-0,5	-0,2	-0,2
45°	≥10	-1,1	-1,1	-0,3	-0,2	-0,2
	≤1	-1,1	-1,1	-0,3	-0,2	-0,2
60°	≥10	-1,1	-1,1	-0,3	-0,2	-0,2
	≤1	-1,1	-1,1	-0,3	-0,2	-0,2
75°	≥10	-1,1	-1,1	-0,3	-0,2	-0,2
	≤1	-1,1	-1,1	-0,3	-0,2	-0,2

Figura 11.15. Cargas de viento 6°

HIPOTESIS 1° - θ = 0°							
SECCIÓN	qb (kN/m2)	Ce	Cpe	Cpi	Cp	q (kN/m2)	Ancho (m)
A	0,526	2,644	-1,200	0	-1,200	-1,667	2
B	0,526	2,644	-0,800	0	-0,800	-1,112	20
C	0,526	2,644	-0,500	0	-0,500	-0,695	0
D	0,526	2,644	0,733	0	0,733	1,019	35
E	0,526	2,644	-0,367	0	-0,367	-0,510	35
F	0,526	2,644	-1,195	0	-1,195	-1,661	5
G	0,526	2,644	-0,948	0	-0,948	-1,317	25
H	0,526	2,644	-0,411	0	-0,411	-0,571	35
I	0,526	2,644	-0,474	0	-0,474	-0,658	35
J	0,526	2,644	-0,557	0	-0,557	-0,774	35

$$q_e = q_b \cdot C_e \cdot C_p$$

Figura 11.16. Cargas de viento 7°

PILAR	DIST TRIBUTARIA	SECCION	CARGA LINEAL DIRECCIÓN DEL VIENTO	CARGA LINEAL PERPENDICULAR AL VIENTO			VIGA	DIST. TRIB.	SECCION	CARGA LINEAL 2m (F, G, J)	CARGA LINEAL 8m (H, I)
1	2,5	D, A, B	2,548	-3,891			V1	2,5	F, H	-4,152	-1,427
2	5	D	5,095				V2	5	F, G, H	-7,444	-2,854
3	5	D	5,095				V3	5	G, H	-6,584	-2,854
4	5	D	5,095				V4	5	G, H	-6,584	-2,854
5	5	D	5,095				V5	5	G, H	-6,584	-2,854
6	5	D	5,095				V6	5	G, H	-6,584	-2,854
7	5	D	5,095				V7	5	F, G, H	-7,444	-2,854
8	2,5	D, A, B	2,548	-3,891			V8	2,5	F, H	-4,152	-1,427
9	2,5	B, E	-1,274	-2,779			V9	2,5	J, I	-1,936	-1,646
10	5	E	-2,548				V10	5	J, I	-3,871	-3,292
11	5	E	-2,548				V11	5	J, I	-3,871	-3,292
12	5	E	-2,548				V12	5	J, I	-3,871	-3,292
13	5	E	-2,548				V13	5	J, I	-3,871	-3,292
14	5	E	-2,548				V14	5	J, I	-3,871	-3,292
15	5	E	-2,548				V15	5	J, I	-3,871	-3,292
16	2,5	E, B	-1,274	-2,779			V16	2,5	J, I	-1,936	-1,646
17	5	B		-5,558							
18	5	B		-5,558							
19	5	B		-5,558							
20	5	B		-5,558							
21	5	B		-5,558							
22	5	B		-5,558							

Figura 11.17. Cargas de viento 8°

HIPOTESIS 2º - $\theta = 0^\circ$										
SECCIÓN	qb (kN/m2)	Ce	Cpe	Cpi	Cp	q (kN/m2)	Ancho (m)	$Q_e = q_b \cdot C_e \cdot C_p$		
A	0,526	2,644	-1,200	0	-1,200	-1,667	2			
B	0,526	2,644	-0,800	0	-0,800	-1,112	20			
C	0,526	2,644	-0,500	0	-0,500	-0,695	0			
D	0,526	2,644	0,733	0	0,733	1,019	35			
E	0,526	2,644	-0,367	0	-0,367	-0,510	35			
F	0,526	2,644	0,126	0	0,126	0,175	5			
G	0,526	2,644	0,126	0	0,126	0,175	25			
H	0,526	2,644	0,126	0	0,126	0,175	35			
I	0,526	2,644	-0,221	0	-0,221	-0,308	35			
J	0,526	2,644	-0,221	0	-0,221	-0,308	35			

Figura 11.18. Cargas de viento 9°

PILAR	DIST TRIBUTARIA	SECCION	CARGA LINEAL DIRECCIÓN DEL VIENTO	CARGA LINEAL PERPENDICULAR AL VIENTO			VIGA	DIST. TRIB.	SECCION	CARGA LINEAL 2m (F, G, J)	CARGA LINEAL 8m (H, I)
1	2,5	D, A, B	2,548	-3,891			V1	2,5	F, H	0,438	0,438
2	5	D	5,095				V2	5	F, G, H	0,877	0,877
3	5	D	5,095				V3	5	G, H	0,877	0,877
4	5	D	5,095				V4	5	G, H	0,877	0,877
5	5	D	5,095				V5	5	G, H	0,877	0,877
6	5	D	5,095				V6	5	G, H	0,877	0,877
7	5	D	5,095				V7	5	F, G, H	0,877	0,877
8	2,5	D, A, B	2,548	-3,891			V8	2,5	F, H	0,438	0,438
9	2,5	C, E	-1,274	-2,779			V9	2,5	J, I	-0,769	-0,769
10	5	E	-2,548				V10	5	J, I	-1,538	-1,538
11	5	E	-2,548				V11	5	J, I	-1,538	-1,538
12	5	E	-2,548				V12	5	J, I	-1,538	-1,538
13	5	E	-2,548				V13	5	J, I	-1,538	-1,538
14	5	E	-2,548				V14	5	J, I	-1,538	-1,538
15	5	E	-2,548				V15	5	J, I	-1,538	-1,538
16	2,5	E, C	-1,274	-2,779			V16	2,5	J, I	-0,769	-0,769
17	5	B		-5,558							
18	5	B		-5,558							
19	5	B		-5,558							
20	5	B		-5,558							
21	5	B		-5,558							
22	5	B		-5,558							

Figura 11.19. Cargas de viento 10°

HIPOTESIS 3º - $\theta = 90^\circ$										
SECCIÓN	qb (kN/m2)	Ce	Cpe	Cpi	Cp	q (kN/m2)	Ancho (m)	$q_e = q_b \cdot C_e \cdot C_p$		
A	0,526	2,644	-1,200	0	-1,200	-1,667	2			
B	0,526	2,644	-0,800	0	-0,800	-1,112	18			
C	0,526	2,644	-0,500	0	-0,500	-0,695	15			
D	0,526	2,644	0,705	0	0,705	0,979	20			
E	0,526	2,644	-0,310	0	-0,310	-0,430	20			
F	0,526	2,644	-1,411	0	-1,411	-1,960	2			
G	0,526	2,644	-1,300	0	-1,300	-1,806	2			
H	0,526	2,644	-0,637	0	-0,637	-0,885	10			
I	0,526	2,644	-0,537	0	-0,537	-0,746	23			

Figura 11.20. Cargas de viento 11º

PILAR	DIST TRIBUTARIA	SECCION	CARGA LINEAL DIRECCIÓN DEL VIENTO	CARGA LINEAL PERPENDICULAR AL VIENTO			VIGA	DIST. TRIB.	SECCION	CARGA LINEAL (I, H)	CARGA LINEAL (F)	CARGA LINEAL (G)
1	2,5	E, C	-1,075	-1,737			V1	2,5	I	-1,865		
2	5	C		-3,474			V2	5	I	-3,730		
3	5	C		-3,474			V3	5	I	-3,730		
4	5	B, C		-4,516			V4	5	I	-3,730		
5	5	B		-5,558			V5	5	I	-3,730		
6	5	B		-5,558			V6	5	I, H	-4,356		
7	5	B		-5,558			V7	5	H	-4,425		
8	2,5	A, B, D	2,448	-3,891			V8	2,5	F, G, H	-0,443	-3,921	-3,613
9	2,5	C, E	-1,075	-1,737			V9	2,5	I	-1,865		
10	5	C		-3,474			V10	5	I	-3,730		
11	5	C		-3,474			V11	5	I	-3,730		
12	5	B, C		-4,516			V12	5	I	-3,730		
13	5	B		-5,558			V13	5	I	-3,730		
14	5	B		-5,558			V14	5	I, H	-4,356		
15	5	B		-5,558			V15	5	H	-4,425		
16	2,5	B, A, D	2,448	-3,891			V16	2,5	F, G, H	-0,443	-3,921	-3,613
17	5	E		-2,151								
18	5	E		-2,151								
19	5	E		-2,151								
20	5	D		4,897								
21	5	D		4,897								
22	5	D		4,897								

Figura 11.21. Cargas de viento 12º

12. Bibliografía

- [1] *Documento Básico Seguridad Estructural Acciones en la edificación*, Abril 2009
- [2] *EAE, Instrucción de Acero Estructural*, 2011
- [3] *Revisión y estudio comparativo de la acción del viento sobre las estructuras empleando Eurocódigo y Código Técnico de la Edificación*. A. Tomás, M. Morales, 21 Junio 2012
- [4] *Autodesk Robot Structural Analysis Professional wind simulator validation brief*, Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2015
- [5] *Wind Simulation in Robot Structural Analysis Professional*, Autodesk University 2014, Lin Gallant, Todd Blake, Souze, True & Partners, Inc.
- [6] Base de datos meteorológica AEMET – OPEN DATA, <https://datosclima.es/Aemethistorico/Vientostad.php>
- [7] *Documento Básico Seguridad estructural (DB-SE)*
- [8] <https://www.incafe2000.com/Esp>
- [9] Base de Costes de la Construcción de Andalucía (BCCA)