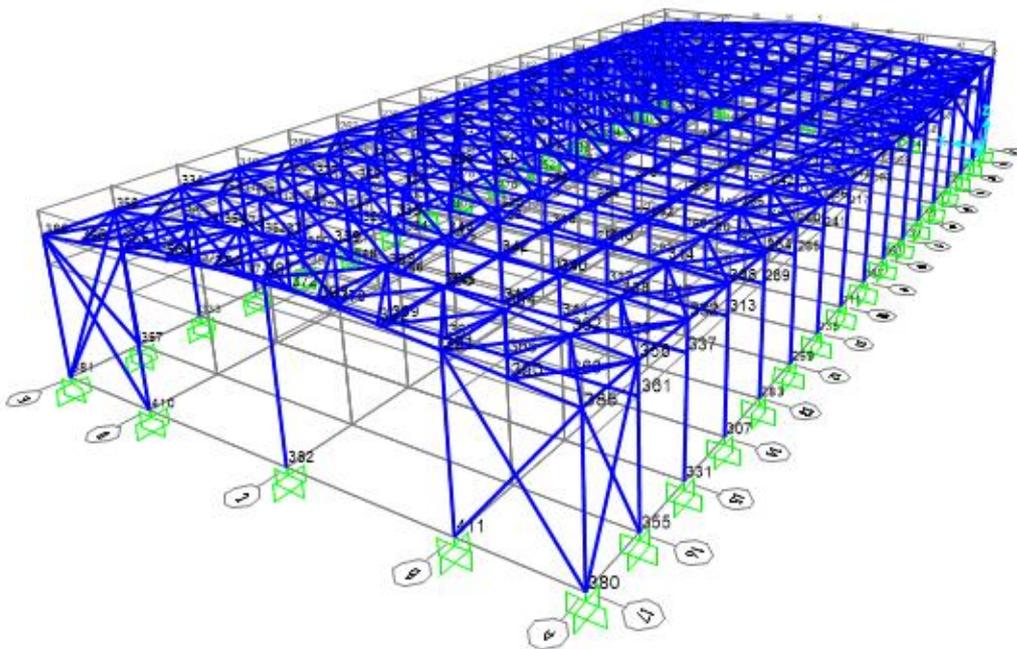




**UNIVERSIDAD POLITECNICA  
DE CARTAGENA**

ESCUELA TECNICA SUPERIOR DE INGENIERIA DE CAMINOS,  
CANALES Y PUERTOS Y DE INGENIERIA DE MINAS

GRADO EN INGENIERÍA CIVIL



**PROYECTO DE ESTRUCTURA METÁLICA DE  
40 METROS DE LUZ SITUADA EN  
POLÍGONO INDUSTRIAL "CABEZO  
BEAZA" CARTAGENA**

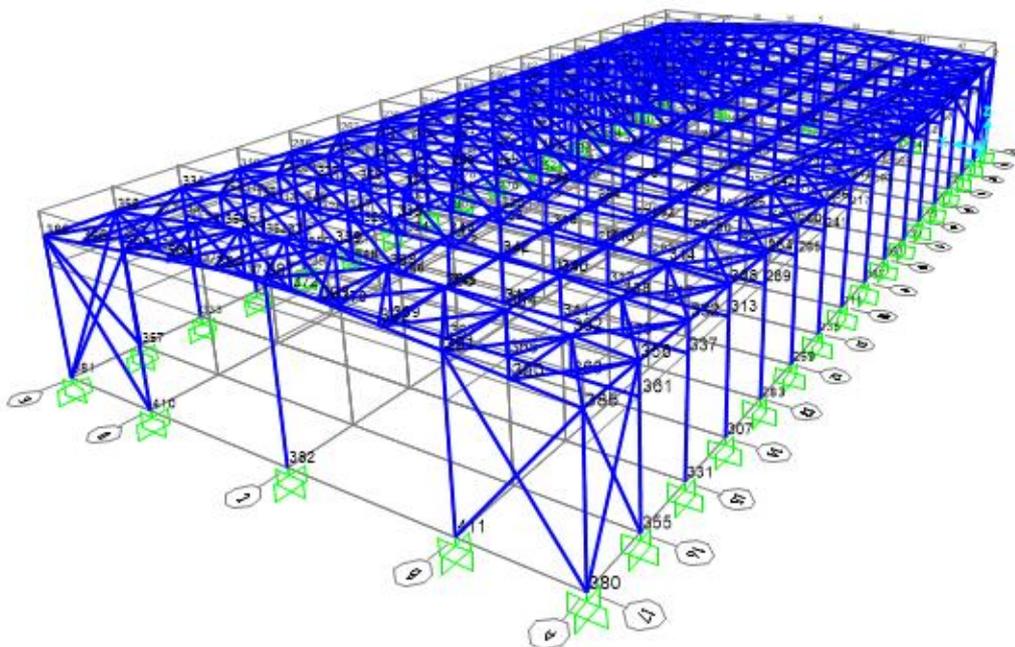
Roberto Zaplana Martínez

Director: Dr. D. Gregorio Sánchez Olivares

Mayo 2018

## RESUMEN

El objeto de este proyecto es el diseño y el cálculo de una nave industrial de estructura metálica y de la cimentación de esta, basándose en la normativa española utilizando el programa de análisis y diseño estructural SAP2000. Se trata de una nave industrial sin un uso específico definido de  $3200\text{ m}^2$  de superficie construida, ubicada en la ciudad costera de Cartagena, cuyas dimensiones son 80m de longitud, 40m de luz, 11.73m de altura desde la solera hasta la cumbrera y 10m de altura de alero. Para la estructura se han elegido perfiles de acero S275JR, los cuales se montarán en obra mediante uniones atornilladas colocadas en placas previamente soldadas por fusión eléctrica mediante un soldeo semiautomático en atmosfera gaseosa realizado en taller, donde la soldadura se realizará en condiciones óptimas de trabajo, permitiendo las uniones atornilladas una mayor facilidad de montaje en obra. La tipología estructural estará conformada por pórticos a dos aguas exteriores además de los pórticos interiores compuestos de cerchas Pratt, separados 5m entre sí. En cubierta se han añadido dos vigas contraviento de forma transversal y longitudinal, con el fin de reducir las cargas de viento que se puedan producir. De esta manera se reduce el tamaño de los perfiles necesarios para el cumplimiento de deformación, resistencia y pandeo. La cimentación está formada por zapatas cuadradas de hormigón armado HA-30.



## ÍNDICE

|   |    |
|---|----|
| INTRODUCCION .....  | 11 |
| OBJETIVO Y ALCANCE DEL PROYECTO.....  | 11 |
| CONSIDERACIONES PREVIAS .....   | 12 |
| FUNCION DE LAS ESTRUCTURAS .....  | 12 |
| NAVES INDUSTRIALES.....   | 13 |
| VENTAJAS E INCONVENIENTES DE LAS ESTRUCTURAS METALICAS FRENTE A LAS DE HORMIGON ..... | 13 |
| JUSTIFICACION DE LA TIPOLOGIA SELECCIONADA.....                                       | 15 |
| PROGRAMA DE CALCULO: SAP2000.....   | 16 |
| NORMATIVA APLICABLE .....   | 17 |
| DISEÑO DEL PROYECTO .....   | 18 |
| UBICACION Y DESCRIPCION DE LA PARCELA.....  | 18 |
| DESCRIPCION DE LA NAVE.....   | 20 |
| MATERIALES UTILIZADOS .....   | 24 |
| ACERO ESTRUCTURAL .....   | 24 |
| ACERO PARA LAS ARMADURAS.....   | 24 |
| HORMIGON ESTRUCTURAL .....  | 25 |
| HORMIGON DE LIMPIEZA.....   | 27 |
| CERRAMIENTOS DE CUBIERTA .....  | 27 |
| CERRAMIENTO LATERAL.....  | 29 |
| ACCIONES .....  | 30 |
| ACCIONES PERMANENTES.....   | 30 |
| PESO PROPIO DE LA ESTRUCTURA .....  | 30 |
| PESO PROPIO DEL CERRAMIENTO.....  | 30 |
| ACCIONES VARIABLES.....   | 31 |
| SOBRECARGA DE USO .....   | 32 |
| VIENTO .....  | 32 |
| ACCIONES TÉRMICAS.....  | 45 |
| NIEVE .....   | 45 |
| ACCIONES ACCIDENTALES .....   | 46 |
| FUEGO .....   | 47 |
| COMBINACIONES DE ACCIONES A CONSIDERAR .....  | 48 |
| RESISTENCIA Y ESTABILIDAD .....   | 48 |

|  |    |
|--|----|
| APTITUD AL SERVICIO.....                           | 49 |
| DISENO DE LA NAVE EN SAP2000 .....                 | 52 |
| PRIMEROS PASOS.....                                | 52 |
| MATERIALES .....                                   | 54 |
| DIBUJO.....  | 57 |
| PATRONES DE CARGA.....                             | 60 |
| COMBINACIONES DE ACCIONES.....                     | 65 |
| DIMENSIONAMIENTO DE LOS SOPORTES .....             | 68 |
| E.L.S. DEFORMACION .....                           | 68 |
| CRITERIO DE INTEGRIDAD .....                       | 68 |
| CRITERIO DE APARIENCIA.....                        | 69 |
| E.L.U. RESISTENCIA.....                            | 69 |
| E.L.U. PANDEO.....                                 | 71 |
| DIMENSIONAMIENTO DE LAS VIGAS.....                 | 79 |
| E.L.S. DEFORMACION .....                           | 79 |
| CRITERIO DE INTEGRIDAD .....                       | 79 |
| CRITERIO DE APARIENCIA.....                        | 80 |
| E.L.U. RESISTENCIA.....                            | 81 |
| E.L.U. PANDEO.....                                 | 82 |
| DIMENSIONAMIENTO DE LA CERCHA .....                | 88 |
| MONTANTES.....                                     | 88 |
| COMPROBACIÓN E.L.U. PANDEO .....                   | 88 |
| DIAGONALES .....                                   | 90 |
| E.L.S. DEFORMACIÓN .....                           | 90 |
| E.L.U. RESISTENCIA.....                            | 91 |
| E.L.U. PANDEO.....                                 | 91 |
| DIMENSIONAMIENTO DEL CORDON INFERIOR.....          | 93 |
| E.L.S. DEFORMACION .....                           | 93 |
| E.L.U. RESISTENCIA.....                            | 95 |
| DIMENSIONAMIENTO DE LAS CORREAS .....              | 97 |
| E.L.S. DEFORMACIÓN .....                           | 97 |
| E.L.U. RESISTENCIA.....                            | 97 |
| DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA DE CONTRAVIENTO ..... | 99 |
| DIAGONALES FACHADA.....                            | 99 |
| E.L.S. DEFORMACIÓN .....                           | 99 |

|   |     |
|---|-----|
| E.L.U. RESISTENCIA.....   | 99  |
| E.L.U. PANDEO.....  | 100 |
| DIAGONALES CUBIERTA .....   | 102 |
| E.L.S. DEFORMACIÓN .....  | 102 |
| E.L.U. PANDEO.....  | 103 |
| E.L.U. RESISTENCIA .....  | 103 |
| DIMENSIONAMIENTO DE LA PLACA DE ANCLAJE .....                                   | 105 |
| PREDIMENSIONAMIENTO .....   | 105 |
| LIMITACIONES DE AREA EFICAZ .....   | 106 |
| RESISTENCIA A COMPRESION DEL HORMIGON .....                                     | 107 |
| RESISTENCIA A CORTANTE DEL CONJUNTO .....                                       | 107 |
| FLEXION DE LA CHAPA.....  | 109 |
| DIMENSIONAMIENTO DE LA UNION .....  | 109 |
| DIMENSIONAMIENTO DE LA CIMENTACION.....   | 110 |
| E.L.U. DE EQUILIBRIO. ....  | 110 |
| SEGURIDAD AL VUELCO.....  | 110 |
| E.L.U. DE AGOTAMIENTO DEL TERRENO.....  | 111 |
| E.L.U. DE AGOTAMIENTO DE LA CIMENTACION .....                                   | 112 |
| DIMENSIONAMIENTO DE LAS VIGAS RIOSTRAS.....                                     | 115 |
| VIGA RIOSTRA ENTRE CIMENTACIONES DE PÓRTICOS DE FACHADA .....                   | 117 |
| VIGA RIOSTRA ENTRE CIMENTACIONES DE PÓRTICO DE FACHADA Y PÓRTICO INTERIOR ..... | 119 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| Figura 1. Nave industrial.....  | 13 |
| Figura 2. Composición viga Pratt.....   | 15 |
| Figura 3. Ejemplo de diseño con SAP2000 .....                                       | 16 |
| Figura 4. Localidad de Cartagena .....  | 18 |
| Figura 5. Polígono Industrial Cabezo Beaza .....                                    | 19 |
| Figura 6. Parcela Industrial Compacta. Emplazamiento de la nave .....               | 19 |
| Figura 7. Plano de terreno Industrial Compacto (IC).....                            | 20 |
| Figura 8. Plan parcial P.I. Cabezo Biaza .....                                      | 21 |
| Figura 9. Pendiente cubierta NTE.....   | 22 |
| Figura 10. Pórticos interiores .....  | 22 |
| Figura 11. Pórtico de fachada.....  | 23 |
| Figura 12. Viga perimetral y arriostamiento en Cruz de San Andrés.....              | 23 |
| Figura 13. Nave completa modelo 3D.....   | 24 |
| Figura 14. Panel sándwich 2 grecas.....   | 28 |
| Figura 15. Detalle unión tapajuntas. Empresa Panel Sándwich Group.....              | 29 |
| Figura 16. Ámbitos de carga en los pórticos .....                                   | 31 |
| Figura 17. Valor básico de la velocidad del viento. Fuente: CTE-DB-SE-AE.....       | 33 |
| Figura 18. Zonas de afección del viento lateral en paramentos verticales.....       | 35 |
| Figura 19. Zonas de afección del viento lateral en paramentos verticales.....       | 36 |
| Figura 20. Zonas de afección del viento lateral en cubierta. ....                   | 37 |
| Figura 21. Zonas de afección del viento lateral en cubierta .....                   | 39 |
| Figura 22. Zonas de afección del viento frontal en paramentos verticales. ....      | 40 |
| Figura 24. Zonas de afección del viento frontal en cubierta. Fuente: CTE-DB-SE-AE . | 42 |
| Figura 25. Zonas de afección del viento frontal en cubierta.....                    | 44 |
| Figura 26. Ventana inicio SAP2000.....  | 52 |
| Figura 27. Selección del modelo en SAP2000 .....                                    | 53 |
| Figura 28. Malla del modelo.....  | 53 |
| Figura 29. Datos de malla.....  | 53 |
| Figura 30. Definición de los materiales .....                                       | 54 |
| Figura 31. Anadir nuevo material.....   | 54 |
| Figura 32. Definición de las características del acero S275JR en SAP2000 .....      | 55 |
| Figura 33. Selección del hormigón .....   | 55 |
| Figura 34. Propiedades de la sección .....  | 56 |
| Figura 35. Importar propiedad de los perfiles desde prontuario.....                 | 56 |

|   |    |
|---|----|
| Figura 36 Selección del tipo de perfil .....  | 56 |
| Figura 37. Selección del prontuario EURO.PRO .....  | 57 |
| Figura 38. Listado de perfiles a importar en SAP2000 .....  | 57 |
| Figura 39. Condiciones de empotramiento.....  | 58 |
| Figura 41. Pórtico interior .....   | 58 |
| Figura 42. Restricción de momento en soportes .....   | 59 |
| Figura 43. Vista estructural del proyecto .....   | 59 |
| Figura 44. Introducción de los patrones de carga.....   | 60 |
| Figura 45. Definición de las características de cada patrón de carga .....                            | 60 |
| Figura 46. Asignación de cargas a cada elemento .....   | 60 |
| Figura 47. Metodología para insertar las distintas cargas .....                                       | 61 |
| Figura 48. Peso propio pórticos exteriores .....  | 61 |
| Figura 49. Peso propio pórticos interiores.....   | 61 |
| Figura 50. Acción de la nieve pórticos exteriores .....   | 62 |
| Figura 51. Acción de la nieve pórticos interiores.....  | 62 |
| Figura 52. Acción Viento1 succión pórticos exteriores.....  | 62 |
| Figura 53. Acción Viento1 succión pórticos interiores.....  | 63 |
| Figura 54. Acción Viento1 presión pórticos exteriores.....  | 63 |
| Figura 55. Acción Viento1 presión pórticos interiores.....  | 63 |
| Figura 56. Acción Viento2 pórticos exteriores.....  | 64 |
| Figura 57. Acción Viento2 pórticos interiores.....  | 64 |
| Figura 58. Viento lateral de presión en pórtico de fachada en el plano perpendicular al pórtico ..... | 64 |
| Figura 59. Viento lateral de succión en pórtico de fachada en el plano perpendicular al pórtico ..... | 65 |
| Figura 60. Viento frontal en pórtico de fachada en el plano perpendicular al pórtico .....            | 65 |
| Figura 61. Introducción de las combinaciones de carga .....   | 66 |
| Figura 62. Ejemplo de combinación .....   | 66 |
| Figura 63. Combinaciones .....  | 67 |
| Figura 64. Activar el análisis del modelo.....  | 67 |
| Figura 65. Activación de los patrones de carga y ejecución del análisis.....                          | 67 |
| Figura 66. Desplomes.....   | 68 |
| Figura 67. Formulas ELU Pandeo.....   | 71 |
| Figura 68. Diagrama de esfuerzos en pilares interiores.....   | 75 |
| Figura 69. Diagrama de esfuerzos en vigas .....   | 80 |

|   |     |
|---|-----|
| Figura 70. Diagrama de esfuerzos de viga.....   | 81  |
| Figura 71. Formulas ELU Pandeo.....   | 82  |
| Figura 72. Diagrama de esfuerzos de viga.....   | 95  |
| Figura 73. Esfuerzos máximos en las correas.....  | 98  |
| Figura73. Esfuerzos máximos en soporte .....  | 105 |
| Figura 74. Predimensionamiento placa de anclaje en zapatas .....                            | 106 |
| Figura 75. Limitaciones de área eficaz .....  | 106 |
| Figura 76. Comprobaciones a cortante .....  | 108 |
| Figura 77. Máximos esfuerzos correspondientes a la combinación de ELU103 .....              | 110 |
| Figura 78. Zapata aislada.....  | 111 |
| Figura 79. Vista en planta de la zapata .....   | 112 |
| Figura 80. Máximo esfuerzo en zapatas.....  | 113 |
| Figura 81. Esquema de zapata rígida .....   | 113 |
| Figura 82. Distribucion de tensiones en las vigas riostras.....                             | 115 |
| Figura 83. Diagramas de esfuerzos cortantes y momentos flectores en vigas riostras<br>..... | 116 |
| Figura 84. Ejemplo viga riostra.....  | 117 |

## ÍNDICE DE TABLAS

|  |    |
|--|----|
| Tabla 1. Características geométricas de la nave .....  | 20 |
| Tabla 2. Resistencias mínimas recomendadas en función de los requisitos de durabilidad. ....                 | 25 |
| Tabla 3. Recubrimientos mínimos (mm) para las clases generales de exposición I y II.....                     | 26 |
| Tabla 4. Recubrimientos mínimos para las clases específicas de exposición. ....                              | 26 |
| Tabla 5. Características del panel Sándwich. Empresa Panel Sándwich Group ....                               | 28 |
| Tabla 6. Pesos paneles Sándwich según espesor. Empresa Panel Sándwich Group .....                            | 28 |
| Tabla 7. Coeficientes para tipo de entorno.....  | 34 |
| Tabla 8. Coeficientes de viento lateral en paramentos verticales. ....                                       | 35 |
| Tabla 9. Carga de viento lateral en paramentos verticales.....   | 36 |
| Tabla 10. Cargas de viento lateral en soportes .....   | 37 |
| Tabla 11. Coeficientes de viento lateral en cubierta.....  | 38 |
| Tabla 12. Cargas de viento lateral en cubierta.....  | 38 |
| Tabla 13. Cargas de viento lateral en correas .....  | 39 |
| Tabla 14. Coeficientes de viento frontal en paramentos verticales. ....                                      | 40 |
| Tabla 15. Carga de viento frontal en paramentos verticales .....   | 41 |
| Tabla 16. Carga de viento frontal en soportes .....  | 42 |
| Tabla 17. Coeficientes de viento frontal en cubierta. ....   | 43 |
| Tabla 18. Cargas de viento frontal en cubierta .....   | 43 |
| Tabla 19. Cargas de viento frontal en soportes .....   | 44 |
| Tabla 21. Valores de la aceleración sísmica básica por municipios. ....                                      | 47 |
| Tabla 22. Coeficientes parciales de seguridad para las acciones.....   | 48 |
| Tabla 23. Coeficientes de simultaneidad. ....  | 49 |
| Tabla 24. Coeficientes de seguridad parciales de seguridad al vuelco. ....                                   | 50 |
| Tabla 25. Coeficientes de seguridad parciales de agotamiento del terreno.....                                | 50 |
| Tabla 26. Características del perfil HEA 500.....  | 71 |
| Tabla 27. Curva de pandeo del perfil HEA 500 en ambos planos en pórtico interior. ....                       | 72 |
| Tabla 28. Valor del coeficiente de imperfección para la curva de pandeo a en perfil HEA 500. ....            | 72 |
| Tabla 29. Valor del coeficiente de imperfección en el plano perpendicular al pórtico en perfil HEA 500. .... | 73 |
| Tabla 30. Factor de imperfección en pandeo lateral para el perfil HEA500 .....                               | 74 |

|  |     |
|--|-----|
| Tabla 31. Valor del factor C1 en pilares de pórticos interiores.....   | 75  |
| Tabla 32. Coeficientes de interacción según peor clase de sección de la pieza. ....                            | 76  |
| Tabla 33. Términos de comprobación para peor clase de sección en la pieza en pilares de pórtico interior. .... | 76  |
| Tabla 34. Coeficientes del momento equivalente. ....   | 77  |
| Tabla 35. Características del perfil 300x300x12.....   | 83  |
| Tabla 36. Curva de pandeo del perfil 300x300x12 en ambos planos.....   | 84  |
| Tabla 37. Valor del coeficiente de imperfección para la curva de pandeo a .....                                | 84  |
| Tabla 38. Coeficientes de interacción según peor clase de sección en la pieza. ....                            | 85  |
| Tabla 39. Términos de comprobación para peor clase de sección en la pieza en pilares de pórtico interior. .... | 85  |
| Tabla 40. Coeficientes del momento equivalente. ....   | 86  |
| Tabla 41. Características perfil O150.6.....   | 88  |
| Tabla 42. Curva de pandeo para los montantes.....  | 89  |
| Tabla 43. Valor del coeficiente de imperfección para la curva de pandeo de los montantes. ....                 | 89  |
| Tabla 44. Límite de esbeltez para los perfiles huecos.....   | 89  |
| Tabla 45. Terminos de comprobacion segun peor clase para los montantes.....                                    | 90  |
| Tabla 46. Características perfil O165.8.....   | 91  |
| Tabla 47. Curva de pandeo para las diagonales.....   | 92  |
| Tabla 48. Valor del coeficiente de imperfección para la curva de pandeo de las diagonales. ....                | 92  |
| Tabla 49. Límite de esbeltez para los perfiles huecos.....   | 93  |
| Tabla 50. Terminos de comprobacion segun peor clase para los montantes.....                                    | 93  |
| Tabla 51. Características perfil ZF 275.4.....   | 97  |
| Tabla 52. Características perfil O200.8.....   | 100 |
| Tabla 53. Curva de pandeo para las diagonales.....   | 101 |
| Tabla 54. Valor del coeficiente de imperfección para la curva de pandeo de las diagonales. ....                | 101 |
| Tabla 55. Límite de esbeltez para los perfiles huecos.....   | 101 |
| Tabla 56. Términos de comprobación según peor clase para los montantes.....                                    | 102 |
| Tabla 57. Características LPN 130.12 .....   | 103 |
| Tabla 58. Valor de fu .....  | 108 |
| Tabla 59. Cuantías mínimas geométricas.....  | 114 |

## INTRODUCCION

### OBJETIVO Y ALCANCE DEL PROYECTO

El objetivo de este proyecto es el cálculo y diseño de una nave industrial metálica formada a base de pórticos rígidos y pórticos cerchados de 40m de luz, con cubierta a dos aguas, así como el correspondiente cálculo de su cimentación. El proceso analítico se ha realizado con el programa de diseño y cálculo estructural SAP2000.

El objetivo principal es el diseño de la nave metálica, aunque también se han desarrollado otros fines como son:

- Recopilación de información correspondiente a Ordenanzas Municipales y lectura de planos urbanos del emplazamiento de la nave.

- Elección de los materiales a emplear, así como de todos los demás elementos que componen una nave industrial: cruces de "San Andrés", correas, sistemas a contraviento, viga perimetral, etc.

- Estudio exhaustivo de todas las cargas actuantes sobre la estructura.

- Aprendizaje y manejo de un programa que permite el diseño y análisis estructural como es SAP2000, y del programa de dibujo AUTOCAD para realizar los planos.

No se considera objeto del proyecto el diseño y cálculo de las distintas instalaciones, como la eléctrica y la de saneamiento, así como la realización de los acabados interiores y la colocación de las puertas y ventanas, ya que, al tratarse de una nave sin uso específico, dependerá estrechamente de la actividad que se vaya a realizar.

También hay que indicar que en el proyecto no se tendrá en cuenta la normativa vigente sobre sistemas de protección contra incendios y de evacuación, debido a que depende de la actividad que se implante en la nave. Tampoco se detallan los acabos interiores, aunque sí se ha dispuesto una zona en uno de los laterales de la nave sin paso del puente grúa para la ubicación de las oficinas.

## CONSIDERACIONES PREVIAS

### FUNCION DE LAS ESTRUCTURAS

Las estructuras son un conjunto de elementos constructivos cuya misión fundamental es la de soportar un estado de cargas, que podemos clasificar como:

- Peso propio: es la carga producida por la gravedad en la masa de los elementos constructivos.
- Sobrecarga de uso: es debida al peso de todos los objetos que puedan gravitar por el uso, incluso durante la ejecución.
- Acciones exteriores varias: Se refiere a la temperatura (dilatación - contracción), el viento, la nieve, sismo, etc.

Las cargas que pueden actuar sobre una estructura son muy variadas y pueden darse una serie de combinaciones entre ellas, debiendo la estructura soportar la combinación más desfavorable.

Las verificaciones en cuanto a esa combinación más desfavorable las dicta el "Código Técnico de la Edificación" (CTE) y son:

- Capacidad portante (estabilidad y resistencia)
- Aptitud al servicio (deformación limitada, vibraciones y deterioro)

La estabilidad de una estructura es la que garantiza que dicha estructura, solicitada por las acciones exteriores que pueden actuar sobre ella, de alcanzar un estado de equilibrio.

La resistencia es la que obliga a que no se superen las tensiones admisibles del material y a que no se produzca rotura en ninguna sección.

La deformación limitada implica que la deformación que van a producir las cargas al actuar sobre la estructura se mantengan acotadas dentro de unos límites. Estos límites van marcados por la utilización de la estructura, razones constructivas y otras.

Al plantear el diseño y cálculo de una nave industrial son muchos los casos que se pueden presentar, y el calculista debe abordarlos de forma que se garantice la eficacia resistente, constructiva y económica de la estructura.

Los elementos estructurales fundamentales son:

- Las vigas, que trabajan fundamentalmente a flexión.
- Los pilares, que trabajan fundamentalmente a compresión.

Cabe destacar la importancia de otros dos elementos como son la cimentación y el terreno, ya que si fallan por algún motivo no se consigue el objetivo final de la estructura que es fundamentalmente traspasar las cargas de la construcción al terreno.

## NAVES INDUSTRIALES

Una estructura industrial es un “conjunto de elementos resistentes capaces de mantener sus formas y cualidades a lo largo del tiempo, bajo la acción de las cargas y agentes exteriores a los que están sometidos”.

En una nave industrial se necesitan grandes claros, a fin de lograr espacios sin existencia de apoyos intermedios, de tal manera que en la nave industrial se pueda operar sin obstáculos ni restricciones, trabajando así con mucha versatilidad.

Los materiales empleados en su construcción suelen ser metales y/u hormigón, pudiéndose recurrir al empleo de materiales compuestos para determinados elementos estructurales o para aplicaciones especiales.



**Figura 1. Nave industrial**

## VENTAJAS E INCONVENIENTES DE LAS ESTRUCTURAS METÁLICAS FRENTE A LAS DE HORMIGÓN

Las construcciones en acero se caracterizan por su versatilidad, adaptación a cambios de uso, implantación de nuevas instalaciones, ampliaciones y modificaciones en general. Algunas de sus ventajas son:

-Alta resistencia mecánica y reducido peso propio: las secciones resistentes necesarias son reducidas, por lo que los elementos estructurales suelen ser ligeros. Esto hace que

las naves de acero sean adecuadas para grandes luces, terrenos con débil capacidad portante.

- Facilidad de montaje, transporte debido a su ligereza y rapidez de ejecución.
- Facilidad de refuerzos y/o reformas sobre la estructura ya construida.
- Otra ventaja muy importante es la ductilidad; las uniones de pilares y dinteles del pórtico transversal pueden desarrollar una ley de carga-desplazamiento o carga-giro más allá de la fase elástica lineal por lo que se tiene una seguridad muy superior en caso de acciones extremas y es válido usar cálculo plástico con el consiguiente ahorro económico que implica
- Buena resistencia al choque y sollicitaciones dinámicas como los sismos.
- En cuanto al comportamiento estructural del acero es lineal y simétrico, no hay pérdidas por fisuración y la corrosión puede ser controlada. El material de cobertura y su entramado estructural se comportan muy bien frente a asientos diferenciales.
- Ausencia de deformaciones diferidas en el acero estructural.
- Ventajas de la prefabricación, los elementos se pueden fabricar en taller y unir posteriormente en obra de forma sencilla (tornillos o soldadura).
- Ocupan menos espacio en planta (estructuralmente) que las de hormigón, con lo que la superficie habitable es mayor.

Asimismo, también presentan algunas desventajas o inconvenientes como los siguientes:

- Presentan un mayor coste que las estructuras de hormigón. El precio de un HA-25 de central está en torno a 60€/m<sup>3</sup> mientras que el de un acero laminado S275 de un perfil normalizado es de unos 0,60€/Kg.
- Sensibilidad ante la corrosión (galvanizado, auto patinado...)
- Sensibilidad frente al fuego. Las características mecánicas de un acero disminuyen rápidamente con la temperatura, por lo que las estructuras metálicas deben protegerse del fuego.
- Inestabilidad. Debido a su gran ligereza, un gran número de accidentes se han producido por inestabilidad local, sin haberse agotado la capacidad resistente. Este problema se resuelve colocando el arriostramiento correspondiente.
- Dificultades de adaptación a formas variadas.
- Excesiva flexibilidad. El diseño de las estructuras metálicas suele estar muy limitado por las deformaciones, además de por las tensiones admisibles, lo que provoca una resistencia desaprovechada al limitar las deformaciones máximas para evitar vibraciones (falta de confort).

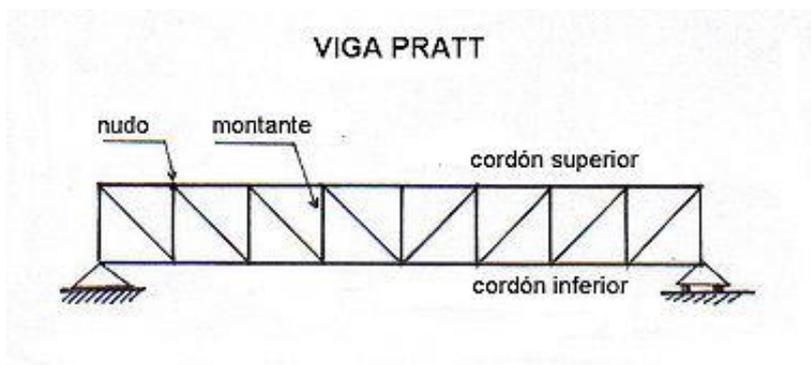
-Sensibilidad a la rotura frágil. Un inadecuado tipo de acero o una mala ejecución de las uniones soldadas pueden provocar la agilización del material y la rotura brusca e inesperada.

#### JUSTIFICACION DE LA TIPOLOGIA SELECCIONADA

En primer lugar, vamos a abordar la temática de las cerchas:

Las cerchas son una composición de barras rectas unidas entre sí en sus extremos para constituir una armazón rígida de forma triangular. Caracterizadas por unas particularidades que solo se dan en este tipo de estructuras, en las cuales las cargas horizontales y los fenómenos de inestabilidad cobran especial importancia, debido a la gran esbeltez de la estructura.

La viga Pratt es una Viga de Celosía, la cual está caracterizada mecánicamente por su alta rigidez a la flexión que aporta. De ese modo las flechas son reducidas para grandes luces. Estas vigas suelen diseñarse con nudos articulados. En esta tipología las diagonales trabajan a la tracción y las montantes trabajan a la compresión.



**Figura 2. Composición viga Pratt**

Al ser nuestra luz de cuarenta metros, queda justificado su uso.

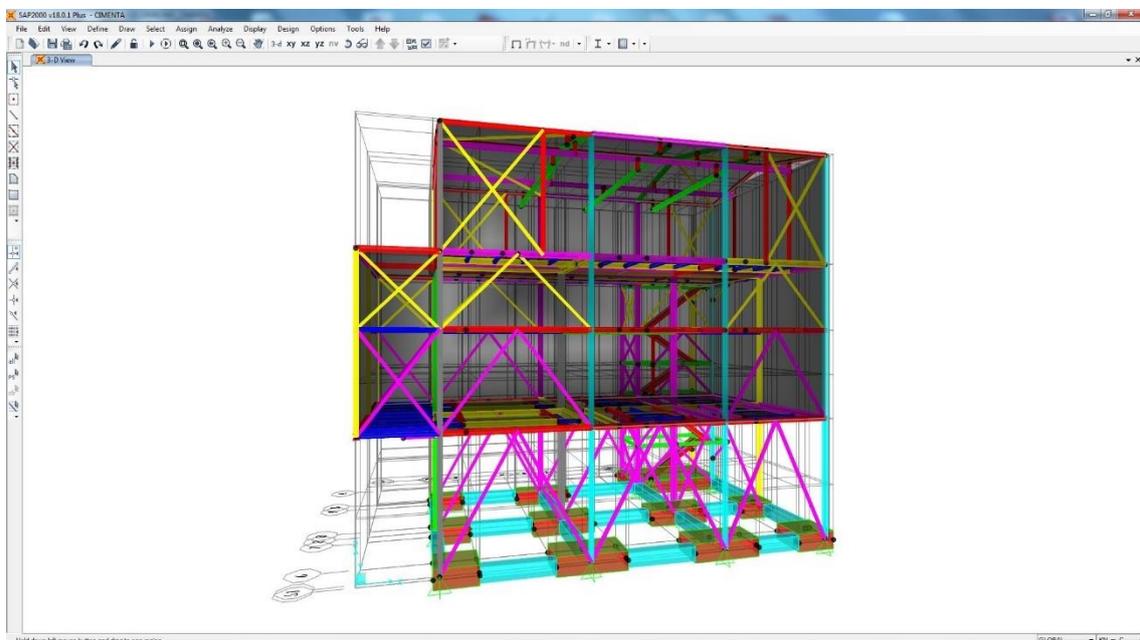
En segundo lugar, comentamos la elección de la placa de anclaje:

Al elegir una placa articulada contribuimos con la reducción de los esfuerzos en los soportes, anulando los momentos en los extremos y concentrándose los máximos en el centro de vano.

He utilizado los soportes pendulares con la finalidad de reducir el grado de hiperestaticidad del conjunto. Estos soportes son también adecuados para terrenos heterogéneos.

## PROGRAMA DE CALCULO: SAP2000

Como se ha mencionado anteriormente, el cálculo de la nave se ha realizado con el programa SAP2000. Se trata de un programa de elementos finitos con interfaz gráfico 3D, preparado para realizar, de forma totalmente integrada, la modelación, análisis y dimensionamiento del más amplio conjunto de problemas de ingeniería de estructuras. Conocido por la flexibilidad en cuanto al tipo de estructuras que permite analizar, por su poder de cálculo y por la fiabilidad de los resultados. Técnicas analíticas avanzadas permiten el paso a paso en el análisis de grandes deformaciones, Exigen y análisis Ritz basados en la rigidez de los casos no lineales, el análisis de cable de catenaria, análisis de materiales no lineales con fibra de bisagras, de varias capas o elementos Shell no lineal, análisis de pandeo, análisis de colapso progresivo, etc.



**Figura 3. Ejemplo de diseño con SAP2000**

## NORMATIVA APLICABLE

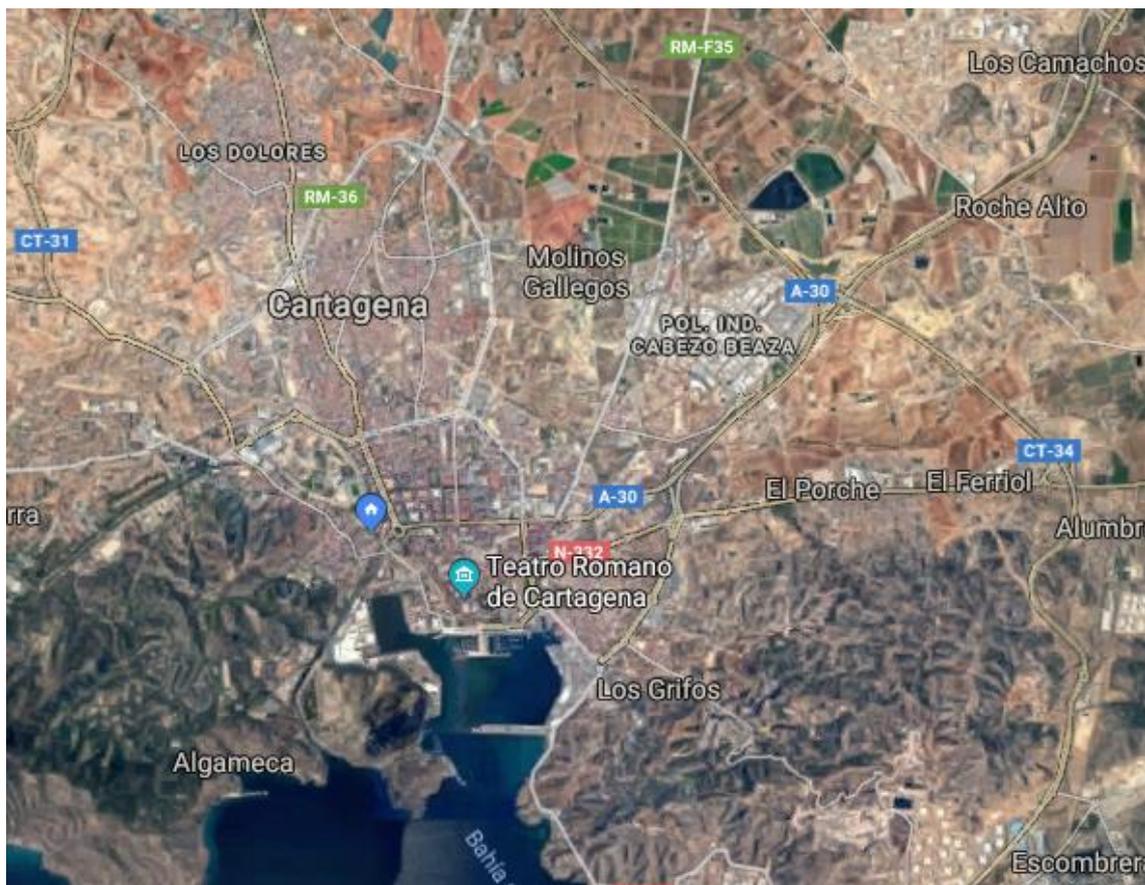
Para la realización de este proyecto de cálculo estructural se han utilizado diferentes normas y reglamentos vigentes en España que se detallan a continuación:

- CTE-DB-SE. Seguridad Estructural
- CTE-DB-AE. Acciones en la Edificación
- CTE-DB-C. Cimientos
- CTE-DB-SE-A. Acero
- EAE – Instrucción de estructuras de acero en la Edificación.
- EHE-08
- NCSE-02. Normativa Sismorresistente. Parte general y edificación.
- NTE- QTG. Cubiertas y Tejados Galvanizados
- NTE- CSZ. Zapatas
- EC1 Euro código 1. Bases de proyecto y Acciones en estructuras.
- EC3 Euro código 3. Estructuras de acero.

## DISEÑO DEL PROYECTO

### UBICACION Y DESCRIPCION DE LA PARCELA

La parcela donde se ubicará la nave industrial se encuentra en la localidad costera de Cartagena ( $37^{\circ} 36'' 0'' N, 0^{\circ} 58'' 55'' W$ ), situada junto al mar Mediterráneo, se encuentra al sur de la llanura denominada Campo de Cartagena, comarca natural que forma su área metropolitana.



**Figura 4. Localidad de Cartagena**

El terreno donde se emplazará la nave se encuentra en el Polígono Industrial Cabezo Beaza, entre la avenida Tito Didio y la calle Berlín.



**Figura 5. Polígono Industrial Cabezo Beza**

El suelo está catalogado como Industrial Compacto (IC), tiene una topografía llana debido a que ha sido acondicionado por la existencia de otras naves circundantes, no siendo necesaria la realización de excavaciones ni movimiento de tierras salvo para la cimentación



**Figura 6. Parcela Industrial Compacta. Emplazamiento de la nave**

A continuación, se muestra el terreno libre disponible donde poder ubicar la nave industrial. Estos planos fueron obtenidos de la sede de Urbanismo del Ayuntamiento de Cartagena.



**Figura 7. Plano de terreno Industrial Compacto (IC)**

Se elige disponerla perpendicularmente a las calles, obteniendo una parcela cuyas dimensiones son: 50m de ancho con 100m de largo, quedando un espacio disponible de 5000 m<sup>2</sup> en el que ubicar la nave industrial.

### DESCRIPCION DE LA NAVE

Una vez que se tienen las dimensiones de la parcela y las condiciones de diseño establecidas en la Ordenanza Municipal para este tipo de parcela IC, se pueden determinar las dimensiones que tendrá la nave para introducir los datos en SAP2000 y proceder al análisis y obtención de resultados. Se proponen las siguientes:

|                           |  |
|---------------------------|--|
| Superficie emplazamiento  | 5000m <sup>2</sup>                       |
| Longitud parcela          | 100m                                     |
| Ancho parcela             | 50m                                      |
| Superficie industrial     | 3200m <sup>2</sup>                       |
| Longitud nave             | 80m                                      |
| Ancho nave (luz)          | 40m                                      |
| Retranqueo frontal mínimo | 10m                                      |
| Retranqueo lateral        | 5m                                       |
| Altura máxima             | Libre                                    |
| Ocupación                 | Se admitirá la total ocupación del solar |
| Edificabilidad            | 3.5m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>        |

**Tabla 1. Características geométricas de la nave**

| ACTUACION<br>"CABEZO BEAZA"<br>P.P.O. MODIFICADO |                   | SUPERFICIE PARCELA |        |         | RETRANQUEO MINIMO m. |           | SUPERFICIE TOTAL |    | OCUPACION MAXIMA |           | SUPERFICIE LIBRE EN PARCELAS | INDICE DE PISO | SUPERFICIE MAXIMA EDIFICABLE | EDIFICABILIDAD | VOLUMEN MAXIMO |
|--|-------------------|--------------------|--------|---------|----------------------|-----------|------------------|----|------------------|-----------|------------------------------|----------------|------------------------------|----------------|----------------|
|  |                   | m <sup>2</sup>     | FRENTE | LATERAL | FONDO                | A         | %                | B  | A x B            | A - A x B | C                            | A x C          | D                            | A x D          |                |
|  |                   |                    |        |         |                      |           |                  |    |                  |           |                              |                |                              |                | m <sup>2</sup> |
| RIAL   | INDUSTRIA NIDO    | 500-1000           | 7      | 0-5     | 3                    | 69.228.-  | 15,36            | 80 | 55.382           | 13.900.-  | 0,90                         | 62.305         | 5,40                         | 373.830.       |                |
|  | INDUSTRIA PEQUEÑA | 1000-3000          | 7      | 0-5     | 3                    | 41.258.-  | 9,18             | 70 | 28.951           | 12.407    | 0,75                         | 31.018         | 4,50                         | 186.108        |                |
|  | INDUSTRIA MEDIANA | 3000-5000          | 10     | 5       | 5-10                 | 101.822.- | 22,59            | 60 | 61.093           | 40.729    | 0,60                         | 61.093         | 4,20                         | 427.651        |                |
|  | INDUSTRIA GRANDE  | 5000               | 10     | 5       | 5-10                 | 125.401.- | 27,82            | 50 | 62.700           | 62.701    | 0,50                         | 62.700         | 3,50                         | 438.900        |                |

Figura 8. Plan parcial P.I. Cabezo Biaza

La Ordenanza Municipal solamente condiciona que se deberá establecer un retranqueo de la fachada edificable de 10 metros, pudiéndose destinar el espacio resultante a aparcamientos privados.

Ante esta situación se decide ubicar la nave de tal forma que se permita el paso a todo su alrededor, dejando un retranqueo trasero de 5m, un retranqueo frontal de aproximadamente 10 metros en los cuales se ubicarán los aparcamientos.

La ocupación hace referencia al cociente entre la superficie ocupada por la planta de la edificación construida y la superficie total de la parcela:

$$Ocupacion = \frac{\text{sup.Edificio}}{\text{sup.parcela}} = \frac{80 \times 40}{5000} = 0,64$$

La edificabilidad relaciona la superficie de la parcela con los metros cuadrados que se pueden levantar en ella en diferentes plantas.

Como no conocemos el uso que se le va a dar a la nave y puesto que no se ha indicado si se van a construir alguna altura en el interior de la nave, por lo que el valor de la edificabilidad coincide con el de la ocupación:

$$Edificabilidad = \frac{\text{m2 techo}}{\text{sup.parcela}} = \frac{80 \times 40}{5000} = 0,64$$

A la hora de elegir el sistema estructural más apropiado para las dimensiones de la nave, he podido observar que en varias publicaciones como por ejemplo "Naves industriales con Acero" de Alfredo Arnedo Pena, se asegura que en valores superiores a 35m de luz, las cerchas son un sistema muy recomendado, ya que su ventaja consiste en aguantar de forma económica cargas ligeras repartidas en grandes luces. Así pues, elijo dicho sistema estructural y opto por una distancia entre pórticos de 5 metros.

En cuanto al material elegido, me decanto por el acero ya que presenta múltiples ventajas, las cuales se han descrito anteriormente; y aunque también presenta algunos inconvenientes, desde mi punto de vista se trata de problemas que pueden ser prácticamente solucionados empleando materiales adicionales.

La altura de la nave ha sido condicionada por la inclinación de la cubierta. Se opta por una altura del alero de 10m llegando a una altura máximo en cumbre de 11,73m.

Dado que en la cubierta no se va a desarrollar ninguna actividad (salvo acceso para mantenimiento) y no se requiere instalar equipos de climatización, se opta por una inclinación de la cubierta de 3º conforme a la normativa NTE-QTG.

| Perfil           | Esquema | Altura de cresta en mm | Pendientes mínimas recomendables |
|------------------|---------|------------------------|----------------------------------|
| Ondulado pequeño |         | < 30                   | ≥ 15 %                           |
| Grecado grande   |         | > 42                   | ≥ 5 %                            |
| Grecado medio    |         | 30 - 42                | ≥ 8 %                            |
| Nervado grande   |         | > 42                   | ≥ 5 %                            |
| Nervado medio    |         | 30 - 42                | ≥ 8 %                            |
| Nervado pequeño  |         | ≤ 30                   | ≥ 10 %                           |
| Panel            |         | —                      | ≥ 2 %                            |

Figura 9. Pendiente cubierta NTE

El esquema de los pórticos interiores está formado por cerchas Prat y será el siguiente:

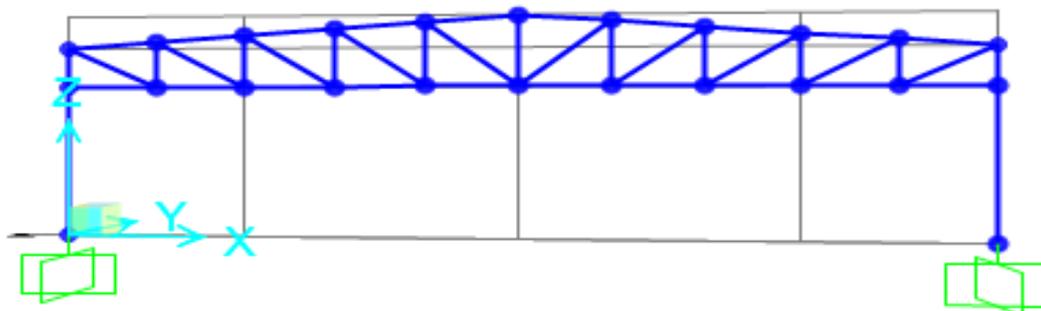
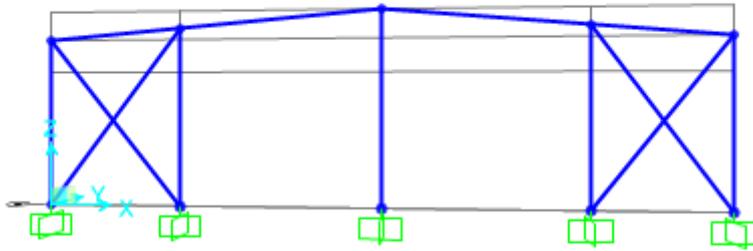


Figura 10. Pórticos interiores

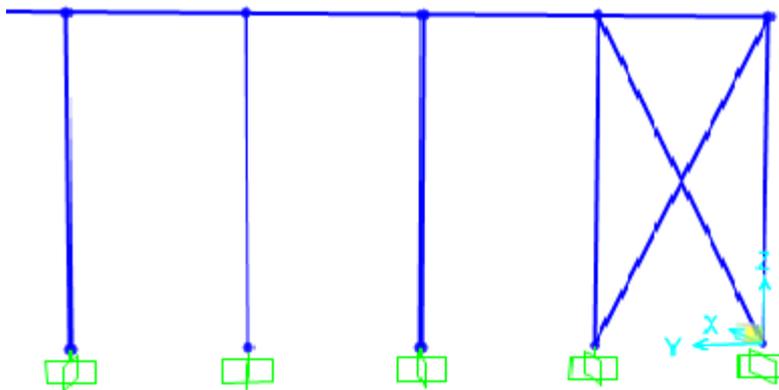
Añadiendo en los pórticos de fachada dos pilares separados una distancia de 8m de los pilares laterales y un pilar central a cota x = 20m, con el objetivo de absorber los esfuerzos provocados en la dirección perpendicular al pórtico.



**Figura 11. Pórtico de fachada**

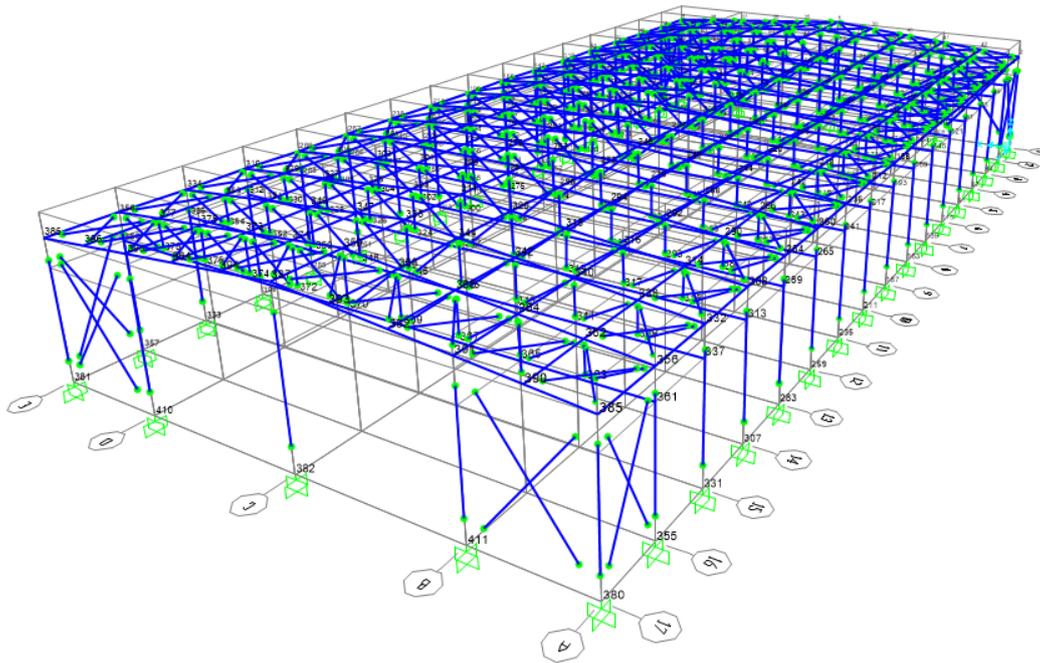
Los pórticos interiores se unen mediante una viga perimetral de atado, que en este caso estará formada por los montantes del sistema a contraviento longitudinal.

Para garantizar el apoyo de los pilares del pórtico de fachada, en la cabeza de estos se dispone de una viga a contraviento a base de diagonales de angular LPN.



**Figura 12. Viga perimetral y arriostramiento en Cruz de San Andrés**

Al igual, se dispone del mismo sistema a contraviento en sentido longitudinal, a lo largo de la nave, con el fin de reducir la flecha en las cabezas de los pilares debido a que tenemos grandes alturas de soportes junto con cargas de viento importantes.



**Figura 13. Nave completa modelo 3D**

## MATERIALES UTILIZADOS

### ACERO ESTRUCTURAL

Para las vigas y pilares se emplearán perfiles laminados en caliente del acero estructural S275JR que presenta las siguientes propiedades:

$$f_{yk} = 275 \text{ N mm}^2$$

$$f_{yd} = f_{yk} \gamma_M = 275 \times 1,05 = 261,9 \text{ N mm}^2$$

siendo el módulo de elasticidad del acero

$$E = 210.000 \text{ N/mm}^2$$

### ACERO PARA LAS ARMADURAS

El acero que se utilizará para las armaduras del hormigón armado será B500SD, ya que es el más utilizado en la práctica y el más común en el mercado.

$$f_{yk} = 500 \text{ N mm}^2$$

$$f_{yd} = f_{yk} \gamma_M = 500 \times 1,15 = 434,78 \text{ N mm}^2$$

siendo el módulo de elasticidad de este acero  $E = 200.000 \text{ N/mm}^2$

## HORMIGON ESTRUCTURAL

Como material para las cimentaciones se empleará hormigón armado, el cual debe ser compatible con las acciones químicas a las que se verá sometido.

Según el Ministerio de Fomento, para la ciudad portuaria de Cartagena tiene una consideración global de ambiente IIIa+Qb (marina aérea + ataque químico medio).

El ambiente condiciona la resistencia característica del hormigón a utilizar. A partir de la siguiente tabla obtenida de la EHE-08 se elegirá el tipo de hormigón:

Recubrimiento mínimo (mm) para la Clase de exposición IIIa

| Hormigón | Tipo de cemento  | Vida útil de proyecto |          |
|----------|--|-----------------------|----------|
|          |  | 50 años               | 100 años |
| Armado   | CEM III/A, CEM III/B, CEM IV, CEM II/B-S, B-P, B-V, A-D u hormigón con adición de microsilíce superior al 6% o de cenizas volantes superior al 20% | 25                    | 30       |
|          | Resto de cementos utilizables  | 45                    | 65       |

Resistencias mínimas compatibles con los requisitos de durabilidad

| Parámetro de dosificación               | Tipo de Hormigón | Clase de Exposición |
|---|------------------|---------------------|
|   |                  | IIIa                |
| resistencia mínima [N/mm <sup>2</sup> ] | masa             | -                   |
|   | armado           | 30                  |
|   | pretensado       | 30                  |

**Tabla 2. Resistencias mínimas recomendadas en función de los requisitos de durabilidad.**

Al ser un hormigón destinado a la edificación, la consistencia que se exige es blanda, y al ser más concretamente cimentaciones, el tamaño máximo del árido puede alcanzar el valor de 40mm, aunque para alcanzar una buena trabajabilidad del hormigón se empleará árido máximo de 20mm.

La designación del hormigón será:

$$HA-30/B/20/IIIa+Qb \quad f_{cd} = f_{ck} \times \gamma_M = 30 / 1,5 = 20N/mm^2$$

Por último, falta determinar el recubrimiento correspondiente, el cual depende del ambiente, la vida útil del proyecto (en nuestro caso 50 años), el tipo de cemento y la resistencia del hormigón.

| Hormigón   | Cemento  | Vida útil de proyecto ( $t_p$ ) (años) | Clase general de exposición |      |      |    |
|------------|--|--|-----------------------------|------|------|----|
|            |  |  | IIIa                        | IIIb | IIIc | IV |
| Armado     | CEM III/A, CEM III/B, CEM IV, CEM II/B-S, B-P, B-V, A-D u hormigón con adición de microsilíce superior al 6% o de cenizas volantes superior al 20% | 50                                     | 25                          | 30   | 35   | 35 |
|            |  | 100                                    | 30                          | 35   | 40   | 40 |
|            | Resto de cementos utilizables  | 50                                     | 45                          | 40   | *    | *  |
|            |  | 100                                    | 65                          | *    | *    | *  |
| Pretensado | CEM II/A-D o bien con adición de humo de sílice superior al 6%   | 50                                     | 30                          | 35   | 40   | 40 |
|            |  | 100                                    | 35                          | 40   | 45   | 45 |
|            | Resto de cementos utilizables, según el Artículo 26º   | 50                                     | 65                          | 45   | *    | *  |
|            |  | 100                                    | *                           | *    | *    | *  |

Tabla 3. Recubrimientos mínimos (mm) para las clases generales de exposición I y II.

| Clase de exposición | Tipo de cemento   | Resistencia característica del hormigón [N/mm <sup>2</sup> ]            | Vida útil de proyecto ( $t_p$ ), (años) |     |    |
|---------------------|---|---|---|-----|----|
|                     |   |   | 50                                      | 100 |    |
| H                   | CEM III   | $25 \leq f_{ck} < 40$   | 25                                      | 50  |    |
|                     |   | $f_{ck} \geq 40$  | 15                                      | 25  |    |
|                     | Otros tipos de cemento  | $25 \leq f_{ck} < 40$   | 20                                      | 35  |    |
|                     |   | $f_{ck} \geq 40$  | 10                                      | 20  |    |
| F                   | CEM I I/A-D   | $25 \leq f_{ck} < 40$   | 25                                      | 50  |    |
|                     |   | $f_{ck} \geq 40$  | 15                                      | 35  |    |
|                     | CEM III   | $25 \leq f_{ck} < 40$   | 40                                      | 75  |    |
|                     |   | $f_{ck} \geq 40$  | 20                                      | 40  |    |
|                     |   | Otros tipos de cementos o en el caso de empleo de adiciones al hormigón | $25 \leq f_{ck} < 40$                   | 20  | 40 |
|                     |   |   | $f_{ck} \geq 40$                        | 10  | 20 |
| E <sup>(1)</sup>    | Cualquiera  | $25 \leq f_{ck} < 40$   | 40                                      | 80  |    |
|                     |   | $f_{ck} \geq 40$  | 20                                      | 35  |    |
| Qa                  | CEM III, CEM IV, CEM II/B-S, B-P, B-V, A-D u hormigón con adición de microsilíce superior al 6% o de cenizas volantes superior al 20% | —   | 40                                      | 55  |    |
|                     | Resto de cementos utilizables   | —   | *                                       | *   |    |
| Qb, Qc              | Cualquiera  | —   | (2)                                     | (2) |    |

(\*) Estas situaciones obligarían a unos recubrimientos excesivos.

<sup>(1)</sup> Estos valores corresponden a condiciones moderadamente duras de abrasión. En el caso de que se prevea una fuerte abrasión, será necesario realizar un estudio detallado.

<sup>(2)</sup> El Autor del proyecto deberá fijar estos valores de recubrimiento mínimo y, en su caso, medidas adicionales, al objeto de que se garantice adecuadamente la protección del hormigón y de las armaduras frente a la agresión química concreta de que se trate.

Tabla 4. Recubrimientos mínimos para las clases específicas de exposición.

Según la tabla 4, la EHE-08 deja al Autor del Proyecto fijar el valor que considere, en este caso se ha optado por 40mm, al cual según la EHE-08 hay que sumarle un margen de recubrimiento en función del nivel de control de ejecución.

Para un control que no sea intenso, la norma lo establece en 10mm.

$$r_{no} = r_{min} + \Delta r = 40 + 10 = 50 \text{ mm}$$

Para el caso de piezas hormigonadas contra el terreno (caso concreto de las zapatas), el recubrimiento mínimo será de 70mm, salvo que se haya preparado el terreno y dispuesto un hormigón de limpieza.

$$r_{no} = r_{min} + \Delta r = 70 + 10 = 80 \text{ mm}$$

#### HORMIGON DE LIMPIEZA

En todas las cimentaciones se deberá colocar una capa de hormigón de limpieza según lo establecido en el CTE-DB-SE-C de espesor 10 cm.

Dicho hormigón se caracteriza como un hormigón de limpieza (HL), el cual tiene como fin evitar la desecación del hormigón estructural durante su vertido, así como una posible contaminación de éste durante las primeras horas de su hormigonado.

En la identificación de este tipo de hormigón se hace referencia al contenido mínimo de cemento mediante la siguiente tipificación:

HL-150/B/20

Como se puede observar en la identificación, la dosis mínima de cemento será de 150 kg/m<sup>3</sup>, de consistencia blanda y con un tamaño máximo del árido inferior a 20mm con objeto de facilitar la trabajabilidad del hormigón.

#### CERRAMIENTOS DE CUBIERTA

En la cubierta se colocará panel tipo sándwich del modelo tapajuntas, el cual se compone de un doble paramento metálico perfilado en cuyo interior se inyecta y expande controladamente un núcleo de espuma de poliuretano que hace de aislante térmico, dando al conjunto una gran solidez.

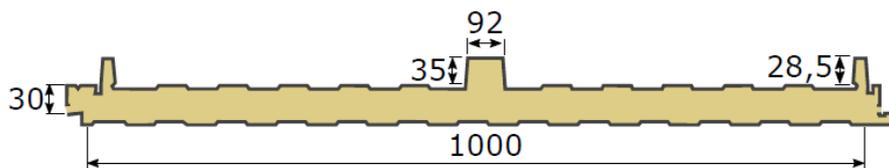


Figura 14. Panel sándwich 2 grecas

La fijación de este panel se realiza mediante tornillos que quedan ocultos por el tapajuntas. Además, este tapajuntas garantiza una plena estanqueidad ya que impide la entrada de agua incluso por capilaridad.

|  | Espesor del panel (mm)         |      |      |      |      |      |      |
|--|--------------------------------|------|------|------|------|------|------|
|  | 30                             | 40   | 50   | 60   | 70   | 80   | 100  |
| Longitud del panel (mm)                                  | Estándar de 1000 mm a 16000 mm |      |      |      |      |      |      |
| Anchura del panel (mm)                                   | 100 mm                         |      |      |      |      |      |      |
| Densidad del núcleo (kg/m <sup>3</sup> )                 | 40 kg/m <sup>3</sup> (± 2)     |      |      |      |      |      |      |
| Conductividad térmica (W/mK)                             | 0,025                          |      |      |      |      |      |      |
| Coefficiente de transmisión térmica (W/m <sup>2</sup> K) | 0,68                           | 0,53 | 0,43 | 0,36 | 0,31 | 0,27 | 0,21 |
| Peso (kg)  | 10,60 kg/m <sup>2</sup>        |      |      |      |      |      |      |
| SBI Clasificación al fuego (MP PUR B2)                   | Bs2d0                          |      |      |      |      |      |      |

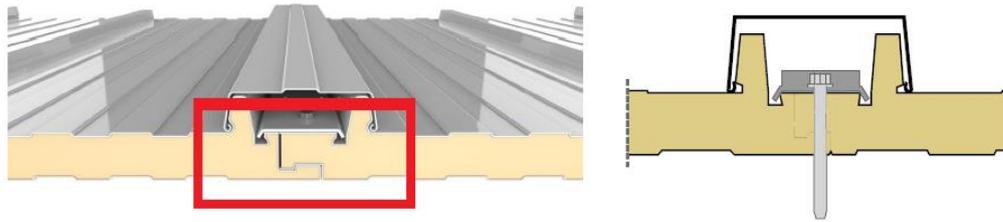
Tabla 5. Características del panel Sándwich. Empresa Panel Sándwich Group

## Tabla de cargas del Panel Tapajuntas

| Espesor (mm) | Luz (m) para 1 vano |         |         |         |         |        |       |
|--------------|---------------------|---------|---------|---------|---------|--------|-------|
|              | 1,5                 | 2       | 2,5     | 3       | 3,5     | 4      | 4,5   |
| 30           | 283/285             | 209/212 | 165/168 | 129/129 | 97/97   | 72/71  | 55/53 |
| 40           | 282/285             | 209/212 | 165/168 | 136/138 | 115/117 | 99/89  | 77/68 |
| 50           | 282/285             | 208/211 | 164/167 | 135/138 | 114/177 | 98/101 | 86/83 |
| 60           | 281/284             | 208/211 | 164/167 | 134/138 | 114/117 | 98/101 | 86/89 |
| 70           | 281/284             | 207/211 | 163/167 | 134/137 | 113/116 | 97/101 | 85/88 |
| 80           | 280/283             | 207/210 | 163/166 | 133/137 | 112/116 | 97/100 | 84/88 |

| Espesor (mm) | Luz (m) para 2 vanos |         |         |         |         |        |       |
|--------------|----------------------|---------|---------|---------|---------|--------|-------|
|              | 1,5                  | 2       | 2,5     | 3       | 3,5     | 4      | 4,5   |
| 30           | 283/285              | 209/210 | 144/144 | 104/104 | 73/73   | 46/46  | 29/29 |
| 40           | 282/285              | 209/212 | 165/167 | 123/123 | 93/93   | 70/70  | 47/47 |
| 50           | 282/285              | 208/211 | 164/167 | 135/138 | 107/107 | 85/85  | 67/67 |
| 60           | 281/284              | 208/211 | 164/167 | 134/138 | 114/117 | 96/96  | 77/77 |
| 70           | 281/284              | 207/211 | 163/167 | 134/137 | 113/116 | 97/101 | 85/86 |
| 80           | 280/283              | 207/210 | 163/166 | 133/137 | 112/116 | 97/100 | 84/88 |

Tabla 6. Pesos paneles Sándwich según espesor. Empresa Panel Sándwich Group



**Figura 15. Detalle unión tapajuntas. Empresa Panel Sándwich Group**

#### CERRAMIENTO LATERAL

El cerramiento lateral de la nave se realizará mediante paneles prefabricados de hormigón apoyados horizontalmente sobre el suelo, por tanto, no afectan al cálculo estructural, pues su peso recae directamente sobre las vigas de atado de las cimentaciones.

## ACCIONES

### ACCIONES PERMANENTES

Se consideran como acciones permanentes aquellas que actúan en todo instante sobre el edificio con posición y magnitud constante. En este caso son todas las relativas al peso propio del edificio y deben ser soportadas por la estructura metálica.

Todos los valores que se obtienen a continuación son los valores característicos, debiendo ser mayorados posteriormente.

### PESO PROPIO DE LA ESTRUCTURA

En este apartado se incluyen todos los elementos de la estructura que son objeto de cálculo, por lo que sus dimensiones no se pueden conocer antes de realizar el cálculo. Los elementos estructurales considerados son los pilares, vigas, correas, vigas de contraviento, vigas perimetrales y arriostramientos.

Se considerará un valor característico de predimensionamiento igual al valor de la luz del pórtico dividido por 100 y expresado en  $kN/m^2$ , es decir:

$$G_{k, PP} = L / 100 = 40 / 100 = 0,4 \text{ kN}/m^2$$

### PESO PROPIO DEL CERRAMIENTO

En este caso sólo se considerará el peso de la cubierta, ya que como se ha dicho anteriormente, el peso de los cerramientos laterales no es soportados por la estructura metálica sino por el terreno.

De entre los espesores disponibles por el comerciante Panel Sándwich Group, se decide elegir el mayor espesor (80mm) ya que la zona de Murcia se caracteriza por ser muy calurosa y de este modo se ahorra en climatización.

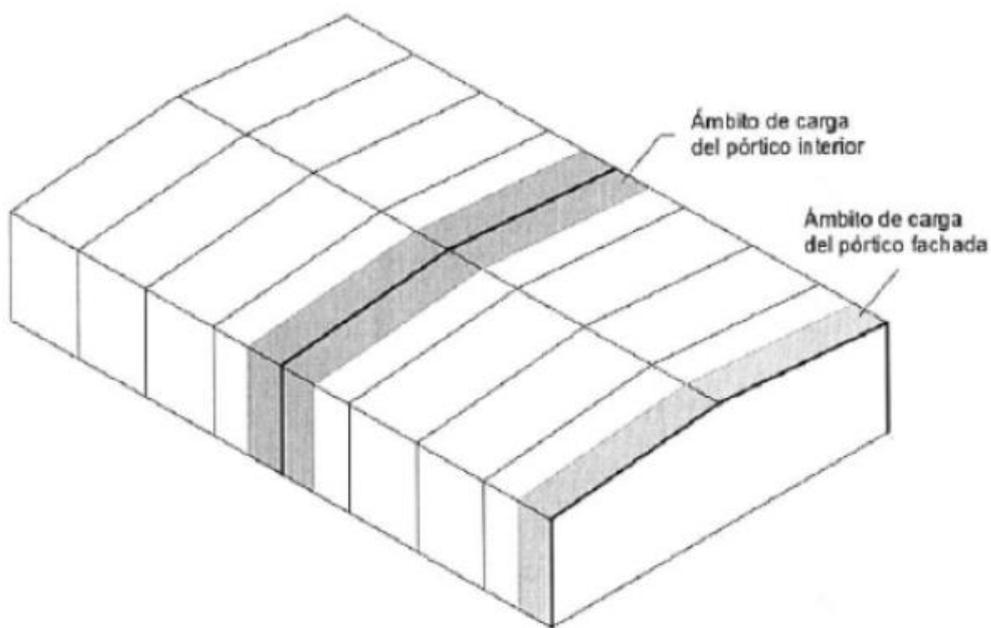
Así pues, al panel de espesor 80mm le corresponde un peso de  $0,16 \text{ kN}/m^2$ , el cual, si le añadimos el peso de la tornillería y accesorios de montaje, quedamos del lado de la seguridad si se redondea el valor a  $0,18 \text{ kN}/m^2$

Por tanto, las acciones permanentes totales serían:

$$G_{k,c} = 0,4 + 0,2 = 0,6 \text{ kN}/m^2$$

Estas acciones se aplicarán en cubierta, algo que no es totalmente cierto en el caso del peso propio, pero quedamos del lado de la seguridad.

Los valores actuantes sobre los pórticos se obtienen multiplicando esta carga superficial por la mitad de la crujía para los pórticos de fachada y por el valor de la crujía para los pórticos interiores.



**Figura 16. Ámbitos de carga en los pórticos**

$$G_{k, \text{pint}} = G_k \cdot s = 0,6 \cdot 5 = 3 \text{ kN/m}^2$$

$$G_{k, \text{pfach}} = G_k \cdot s / 2 = 0,6 \cdot 5 / 2 = 1,5 \text{ kN/m}^2$$

$$0,2 \times 5 = 1$$

$$0,2 \times 5 / 2 = 0,5$$

## ACCIONES VARIABLES

Son aquellas que pueden actuar o no sobre el edificio, y pueden ser sobrecargas de uso o acciones climáticas.

## SOBRECARGA DE USO

La sobrecarga de uso es el peso de todo lo que puede gravitar sobre el edificio por razón de su uso y pueden simularse por la aplicación de una carga uniformemente distribuida. En este caso el valor de la sobrecarga es nulo debido a que la cubierta no será transitable, por lo cual no la tengo en cuenta en los cálculos.

## VIENTO

En el cálculo de las cargas de viento se va a considerar lo establecido en el CTE DB-SE-AE Apartado 3.3.

La acción del viento es una fuerza perpendicular a la superficie de cada punto expuesto, o presión estática  $q_e$  que puede expresarse como:

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

A continuación, se calculan los distintos términos que componen la presión estática para el caso de estudio de acuerdo con lo establecido en la norma.

- Presión dinámica ( $q_b$ )

La presión dinámica se puede calcular como  $\rightarrow q_b = 0,5 \cdot \delta \cdot v_b^2$

$\delta$  es la densidad del aire y puede adoptarse el valor de 1,25 kg/m<sup>3</sup>

$v_b$  es la velocidad básica del viento que depende de la zona eólica donde se ubica la nave.



**Figura 17. Valor básico de la velocidad del viento. Fuente: CTE-DB - SE-AE**

Para la ciudad costera de Cartagena, la cual se encuentra dentro de la zona B, se obtiene un valor de:

$$v_b = 27 \text{ m/s}$$

$$q_b = 0,5 \cdot \delta \cdot v_b^2 = 0,5 \cdot 1,25 \cdot 27^2 = 455,625 = 0,4556 \text{ kN/m}^2$$

-Coeficiente de exposición (ce)

Este coeficiente tiene en cuenta las turbulencias originadas por el relieve y la topografía del terreno y depende de la cota z. Su valor se determina mediante la expresión:

$$c_e = F \cdot (F + 7 \cdot k)$$

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

Se adopta como z la altura de coronación de la nave quedando así del lado de la seguridad,  $z = 11,73 \text{ m}$

Los parámetros k, L y Z se obtienen de la tabla D.2 del CTE DB-SE-AE y para un grado de aspereza del entorno IV que es el específico para zona industrial

| 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  |

**Tabla 7. Coeficientes para tipo de entorno.**

$$F = 0,22 \cdot \ln(11,73/0,3) = 0,8065$$

$$ce = 0,8065 \cdot (0,8065 + 7 \cdot 0,22) = 1,892$$

$$\text{Por lo que } qe = 0,4556 \cdot 1,892 \cdot cp = 0,8619 \cdot cp$$

- Coeficiente de presión exterior ( $cp$ )

En naves y construcciones diáfnas, sin forjados que conecten las fachadas, la acción del viento debe individualizarse en cada elemento de superficie exterior.

A efectos del cálculo de la estructura, del lado de la seguridad se podrá utilizar la resultante en cada plano de fachada o cubierta de los valores del Anejo D.3 del CTE-DB-SE-AE, que recogen el pésimo estado en cada punto debido a varias direcciones de viento.

Los coeficientes eólicos exteriores se determinan mediante la expresión:

$$cpe = cp(h/d, \alpha, A, f, Zona)$$

depende de la dirección relativa del viento ( $h/d$ ), de la forma del edificio y posición del elemento ( $f, \alpha, zona$ ) y del área de influencia del elemento ( $A$ ).

En este tipo de estructuras el área de influencia es siempre mayor de 10m<sup>2</sup>, pues cualquiera de los elementos que se van a calcular supera esta área tributaria de carga. Para determinar el resto de las variables se hace necesario realizar un estudio por separado de las dos direcciones de actuación del viento sobre la nave, que además afectará de forma distinta a cada uno de los pórticos.

VIENTO LATERAL

-Paramentos verticales

La acción del viento lateral sobre la estructura afectará a los pilares de la nave.

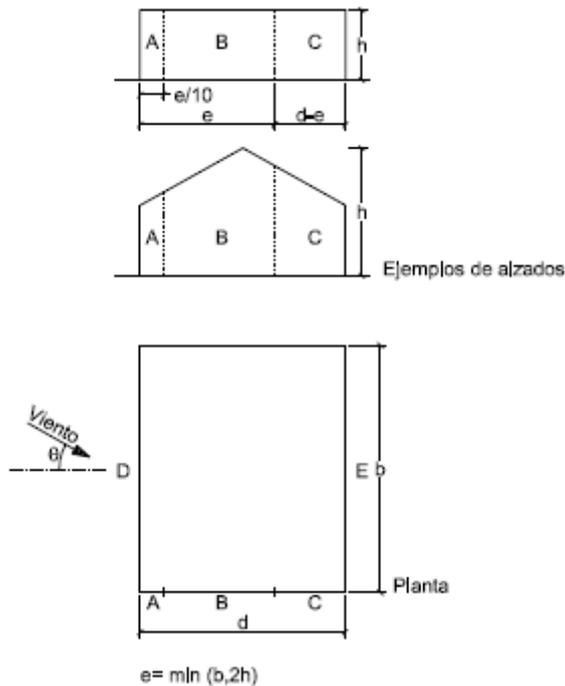


Figura 18. Zonas de afectación del viento lateral en paramentos verticales.

La esbeltez de la nave para el caso de viento lateral,  $h/d = 11,73/40 = 0,293$  valor comprendido entre 1 y 0,25 por lo que se interpola entre ambos valores de la tabla y se obtienen los siguientes parámetros:

| A<br>(m <sup>2</sup> ) | h/d    | Zona (según figura), |      |      |     |      |
|------------------------|--------|----------------------|------|------|-----|------|
|                        |        | A                    | B    | C    | D   | E    |
| ≥ 10                   | 5      | -1,2                 | -0,8 | -0,5 | 0,8 | -0,7 |
|                        | 1      | "                    | "    | "    | "   | -0,5 |
|                        | ≤ 0,25 | "                    | "    | "    | 0,7 | -0,3 |
| 5                      | 5      | -1,3                 | -0,9 | -0,5 | 0,9 | -0,7 |
|                        | 1      | "                    | "    | "    | "   | -0,5 |
|                        | ≤ 0,25 | "                    | "    | "    | 0,8 | -0,3 |
| 2                      | 5      | -1,3                 | -1,0 | -0,5 | 0,9 | -0,7 |
|                        | 1      | "                    | "    | "    | "   | -0,5 |
|                        | ≤ 0,25 | "                    | "    | "    | 0,7 | -0,3 |
| ≤ 1                    | 5      | -1,4                 | -1,1 | -0,5 | 1,0 | -0,7 |
|                        | 1      | "                    | "    | "    | "   | -0,5 |
|                        | ≤ 0,25 | "                    | "    | "    | "   | -0,3 |

Tabla 8. Coeficientes de viento lateral en paramentos verticales.

| ZONA                                   | A      | B       | C      | D      | E       |
|--|--------|---------|--------|--------|---------|
| C <sub>pe</sub>                        | -1,2   | -0,8    | -0,5   | 0,7057 | -0,3114 |
| Q <sub>vL</sub> =0,862x C <sub>p</sub> | -1,034 | -0,6895 | -0,431 | 0,6083 | -0,2684 |

**Tabla 9. Carga de viento lateral en paramentos verticales**

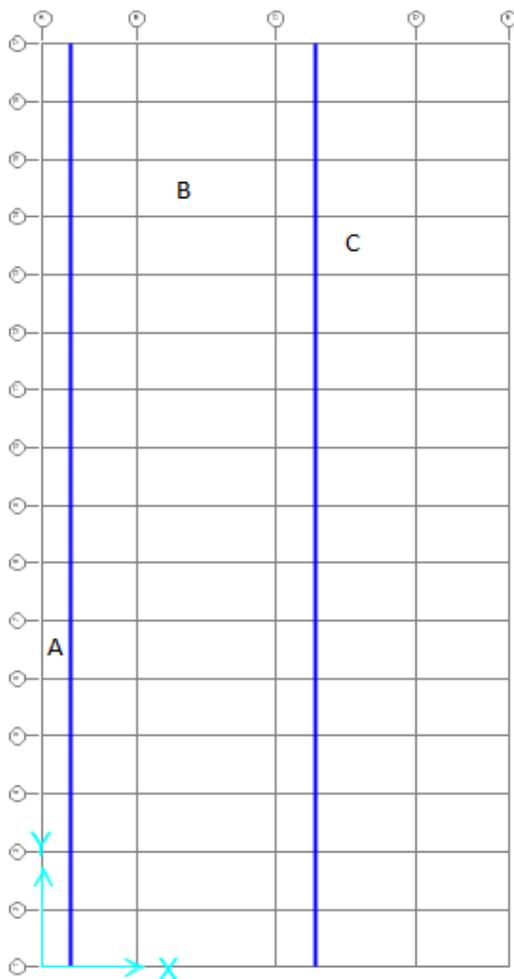
Los valores con signo negativo indican que la fuerza es de succión, van de dentro de la nave hacia fuera; mientras que los positivos indican presión, la fuerza va de fuera de la nave hacia dentro.

La profundidad de las distintas zonas depende de  $e = \min(b, 2h) = \min(80, 2 \cdot 11,73) = 23,46\text{m}$

$$x(A) = e/10 = 2,346\text{m}$$

$$x(B) = e - e/10 = 21,114\text{m}$$

$$x(C) = d - e = 16,54\text{m}$$



**Figura 19. Zonas de afectación del viento lateral en paramentos verticales**

Si aplicamos la carga resultante en cada zona de las fachadas sobre los correspondientes pórticos, obtenemos la carga que afecta a cada pilar:

| Wind     | ParamVert | A(soportes) | B | C | D | E      | Wind      | ParamVert | A(soportes) | B      | C         | D     | E      |
|----------|-----------|-------------|---|---|---|--------|-----------|-----------|-------------|--------|-----------|-------|--------|
| Zonas DE | 1         | 1,52075     |   |   |   | -0,671 | Zonas ABC | 1         | -3,56413    | -6,895 | -7,615859 | -4,31 | -1,724 |
| →        | 2         | 3,0415      |   |   |   | -1,342 | ↓         | 2         |             |        |           |       |        |
|          | 3         | 3,0415      |   |   |   | -1,342 |           | 3         |             |        |           |       |        |
|          | 4         | 3,0415      |   |   |   | -1,342 |           | 4         |             |        |           |       |        |
|          | 5         | 3,0415      |   |   |   | -1,342 |           | 5         |             |        |           |       |        |
|          | 6         | 3,0415      |   |   |   | -1,342 |           | 6         |             |        |           |       |        |
|          | 7         | 3,0415      |   |   |   | -1,342 |           | 7         |             |        |           |       |        |
|          | 8         | 3,0415      |   |   |   | -1,342 |           | 8         |             |        |           |       |        |
|          | 9         | 3,0415      |   |   |   | -1,342 |           | 9         |             |        |           |       |        |
|          | 10        | 3,0415      |   |   |   | -1,342 |           | 10        |             |        |           |       |        |
|          | 11        | 3,0415      |   |   |   | -1,342 |           | 11        |             |        |           |       |        |
|          | 12        | 3,0415      |   |   |   | -1,342 |           | 12        |             |        |           |       |        |
|          | 13        | 3,0415      |   |   |   | -1,342 |           | 13        |             |        |           |       |        |
|          | 14        | 3,0415      |   |   |   | -1,342 |           | 14        |             |        |           |       |        |
|          | 15        | 3,0415      |   |   |   | -1,342 |           | 15        |             |        |           |       |        |
|          | 16        | 3,0415      |   |   |   | -1,342 |           | 16        |             |        |           |       |        |
|          | 17        | 1,52075     |   |   |   | -0,671 |           | 17        | -3,56413    | -6,895 | -7,615859 | -4,31 | -1,724 |

Tabla 10. Cargas de viento lateral en soportes

- Superficie en cubierta

La acción que genera el viento lateral sobre la cubierta de la nave afectará a las vigas. En este caso el coeficiente de exposición es independiente de la esbeltez de la nave, dependiendo únicamente de la inclinación de la cubierta.

Tabla D.6 Cubiertas a dos aguas

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

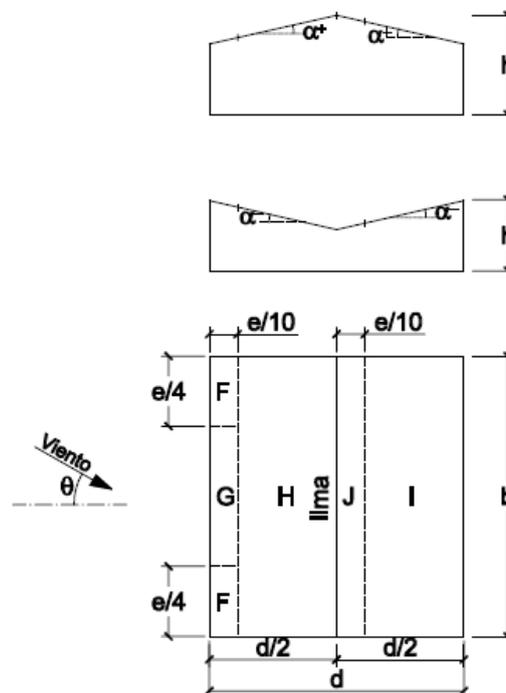


Figura 20. Zonas de afección del viento lateral en cubierta.

La inclinación de la cubierta es de  $3^\circ$  , teniendo que interpolar entre los valores de la tabla correspondientes a  $-5^\circ$  y  $5^\circ$

| Pendiente de la cubierta $\alpha$ | A (m <sup>2</sup> ) | Zona (según figura) |      |      |      |      |
|-----------------------------------|---------------------|---------------------|------|------|------|------|
|                                   |                     | F                   | G    | H    | I    | J    |
| $-45^\circ$                       | $\geq 10$           | -0,6                | -0,6 | -0,8 | -0,7 | -1   |
|                                   | $\leq 1$            | -0,6                | -0,6 | -0,8 | -0,7 | -1,5 |
| $-30^\circ$                       | $\geq 10$           | -1,1                | -0,8 | -0,8 | -0,6 | -0,8 |
|                                   | $\leq 1$            | -2                  | -1,5 | -0,8 | -0,6 | -1,4 |
| $-15^\circ$                       | $\geq 10$           | -2,5                | -1,3 | -0,9 | -0,5 | -0,7 |
|                                   | $\leq 1$            | -2,8                | -2   | -1,2 | -0,5 | -1,2 |
| $-5^\circ$                        | $\geq 10$           | -2,3                | -1,2 | -0,8 | 0,2  | 0,2  |
|                                   | $\leq 1$            | -2,5                | -2   | -1,2 | 0,2  | 0,2  |
| $5^\circ$                         | $\geq 10$           | -1,7                | -1,2 | -0,6 | -0,6 | 0,2  |
|                                   | $\leq 1$            | -2,5                | -2   | -1,2 | -0,6 | 0,2  |
|                                   |                     | +0,0                | +0,0 | +0,0 | -0,6 | -0,6 |
|                                   |                     | +0,0                | +0,0 | +0,0 | -0,6 | -0,6 |

**Tabla 11. Coeficientes de viento lateral en cubierta.**

Obteniendo los siguientes resultados:

| ZONA                                  | F       | G      | H       | I       | J       |
|---------------------------------------|---------|--------|---------|---------|---------|
| C <sub>pe</sub>                       | -1,82   | -1,2   | -0,64   | -0,6    | -0,6    |
| Q <sub>vL</sub> =0,862xC <sub>p</sub> | -1,5688 | -0,338 | -0,5516 | -0,5172 | -0,5172 |
| C <sub>pe</sub>                       | 0       | 0      | 0       | 0,04    | 0,2     |
| Q <sub>vL</sub> =0,862xC <sub>p</sub> | 0       | 0      | 0       | 0,0344  | 0,1724  |

**Tabla 12. Cargas de viento lateral en cubierta**

La profundidad de las distintas zonas depende de  $e = \min(b, 2h) = \min(80, 2 \cdot 11,73) = 23,46\text{m}$

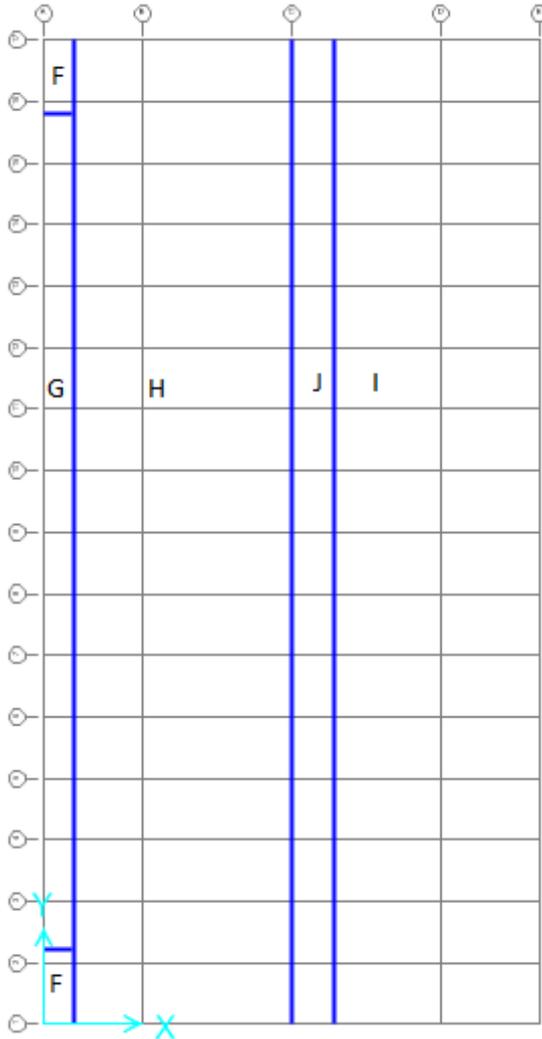
$$x(F \text{ y } G) = e/10 = 2,346\text{m}$$

$$x(J) = e/10 = 2,346\text{m}$$

$$x(H) = d/2 - e/10 = 40/2 - 23,46/2 = 17,654\text{m}$$

$$y(F) = e/4 = 23,46/4 = 5,865\text{m}$$

$$y(G) = b - 2 \cdot e/4 = 80 - 2 \cdot 5,865 = 68,27\text{m}$$



**Figura 21. Zonas de afectación del viento lateral en cubierta**

Si aplicamos la carga resultante en cada zona de las fachadas sobre los correspondientes pórticos, obtenemos la carga que afecta a cada una de las correas.

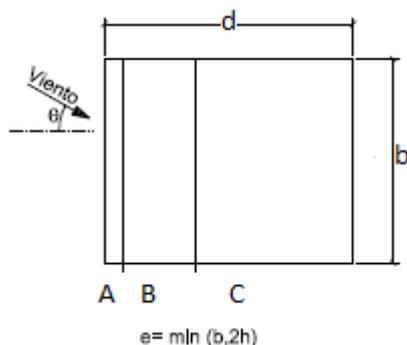
| -45° / 45° | A       | B          | C       | D      | E       | F-      | F+      | G-      | G+      | H-      | H+     | I-      | I+     | J-      | J+     | K-      | K+     |
|------------|---------|------------|---------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|--------|---------|--------|---------|--------|---------|--------|
| 1          | -3,1376 | -2,5583512 | -2,2064 | -2,206 | -2,2064 | -2,1376 | -0,7584 | -1,7724 | -0,4306 | -2,0688 | 0,1376 | -2,0688 | 0,1376 | -2,0688 | 0,1376 | -2,0688 | 0,1376 |
| 2          | -3,1376 | -2,5583512 | -2,2064 | -2,206 | -2,2064 | -2,1376 | -0,7584 | -1,7724 | -0,4306 | -2,0688 | 0,1376 | -2,0688 | 0,1376 | -2,0688 | 0,1376 | -2,0688 | 0,1376 |
| 3          | -0,676  | -2,1324944 | -2,2064 | -2,206 | -2,2064 | -2,1376 | -0,7584 | -1,7724 | -0,4306 | -2,0688 | 0,1376 | -2,0688 | 0,1376 | -2,0688 | 0,1376 | -2,0688 | 0,1376 |
| 4          | -0,676  | -2,1324944 | -2,2064 | -2,206 | -2,2064 | -2,1376 | -0,7584 | -1,7724 | -0,4306 | -2,0688 | 0,1376 | -2,0688 | 0,1376 | -2,0688 | 0,1376 | -2,0688 | 0,1376 |
| 5          | -0,676  | -2,1324944 | -2,2064 | -2,206 | -2,2064 | -2,1376 | -0,7584 | -1,7724 | -0,4306 | -2,0688 | 0,1376 | -2,0688 | 0,1376 | -2,0688 | 0,1376 | -2,0688 | 0,1376 |
| 6          | -0,676  | -2,1324944 | -2,2064 | -2,206 | -2,2064 | -2,1376 | -0,7584 | -1,7724 | -0,4306 | -2,0688 | 0,1376 | -2,0688 | 0,1376 | -2,0688 | 0,1376 | -2,0688 | 0,1376 |
| 7          | -0,676  | -2,1324944 | -2,2064 | -2,206 | -2,2064 | -2,1376 | -0,7584 | -1,7724 | -0,4306 | -2,0688 | 0,1376 | -2,0688 | 0,1376 | -2,0688 | 0,1376 | -2,0688 | 0,1376 |
| 8          | -0,676  | -2,1324944 | -2,2064 | -2,206 | -2,2064 | -2,1376 | -0,7584 | -1,7724 | -0,4306 | -2,0688 | 0,1376 | -2,0688 | 0,1376 | -2,0688 | 0,1376 | -2,0688 | 0,1376 |
| 9          | -0,676  | -2,1324944 | -2,2064 | -2,206 | -2,2064 | -2,1376 | -0,7584 | -1,7724 | -0,4306 | -2,0688 | 0,1376 | -2,0688 | 0,1376 | -2,0688 | 0,1376 | -2,0688 | 0,1376 |
| 10         | -0,676  | -2,1324944 | -2,2064 | -2,206 | -2,2064 | -2,1376 | -0,7584 | -1,7724 | -0,4306 | -2,0688 | 0,1376 | -2,0688 | 0,1376 | -2,0688 | 0,1376 | -2,0688 | 0,1376 |
| 11         | -0,676  | -2,1324944 | -2,2064 | -2,206 | -2,2064 | -2,1376 | -0,7584 | -1,7724 | -0,4306 | -2,0688 | 0,1376 | -2,0688 | 0,1376 | -2,0688 | 0,1376 | -2,0688 | 0,1376 |
| 12         | -0,676  | -2,1324944 | -2,2064 | -2,206 | -2,2064 | -2,1376 | -0,7584 | -1,7724 | -0,4306 | -2,0688 | 0,1376 | -2,0688 | 0,1376 | -2,0688 | 0,1376 | -2,0688 | 0,1376 |
| 13         | -0,676  | -2,1324944 | -2,2064 | -2,206 | -2,2064 | -2,1376 | -0,7584 | -1,7724 | -0,4306 | -2,0688 | 0,1376 | -2,0688 | 0,1376 | -2,0688 | 0,1376 | -2,0688 | 0,1376 |
| 14         | -0,676  | -2,1324944 | -2,2064 | -2,206 | -2,2064 | -2,1376 | -0,7584 | -1,7724 | -0,4306 | -2,0688 | 0,1376 | -2,0688 | 0,1376 | -2,0688 | 0,1376 | -2,0688 | 0,1376 |
| 15         | -0,676  | -2,1324944 | -2,2064 | -2,206 | -2,2064 | -2,1376 | -0,7584 | -1,7724 | -0,4306 | -2,0688 | 0,1376 | -2,0688 | 0,1376 | -2,0688 | 0,1376 | -2,0688 | 0,1376 |
| 16         | -3,1376 | -2,5583512 | -2,2064 | -2,206 | -2,2064 | -2,1376 | -0,7584 | -1,7724 | -0,4306 | -2,0688 | 0,1376 | -2,0688 | 0,1376 | -2,0688 | 0,1376 | -2,0688 | 0,1376 |
| 17         | -3,1376 | -2,5583512 | -2,2064 | -2,206 | -2,2064 | -2,1376 | -0,7584 | -1,7724 | -0,4306 | -2,0688 | 0,1376 | -2,0688 | 0,1376 | -2,0688 | 0,1376 | -2,0688 | 0,1376 |

**Tabla 13. Cargas de viento lateral en correas**

### VIENTO FRONTAL

-Paramentos verticales

La acción del viento frontal sobre la estructura afectará a los soportes de la nave.



**Figura 22. Zonas de afección del viento frontal en paramentos verticales.**

La esbeltez de la nave para el caso de viento frontal,  $h/d = 11,73/80 = 0,146$ , valor menor de 0,25 por lo que se interpola y se obtienen los siguientes parámetros:

| A<br>(m <sup>2</sup> ) | h/d    | Zona (según figura), $-45^\circ < \theta < 45^\circ$ |      |      |     |      |
|------------------------|--------|--|------|------|-----|------|
|                        |        | A  | B    | C    | D   | E    |
| ≥ 10                   | 5      | -1.2   | -0.8 | -0.5 | 0.8 | -0.7 |
|                        | 1      | "  | "    | "    | "   | -0.5 |
|                        | ≤ 0,25 | "  | "    | "    | 0,7 | -0,3 |
| 5                      | 5      | -1,3   | -0,9 | -0,5 | 0,9 | -0,7 |
|                        | 1      | "  | "    | "    | "   | -0,5 |
|                        | ≤ 0,25 | "  | "    | "    | 0,8 | -0,3 |
| 2                      | 5      | -1,3   | -1,0 | -0,5 | 0,9 | -0,7 |
|                        | 1      | "  | "    | "    | "   | -0,5 |
|                        | ≤ 0,25 | "  | "    | "    | 0,7 | -0,3 |
| ≤ 1                    | 5      | -1,4   | -1,1 | -0,5 | 1,0 | -0,7 |
|                        | 1      | "  | "    | "    | "   | -0,5 |
|                        | ≤ 0,25 | "  | "    | "    | "   | -0,3 |

**Tabla 14. Coeficientes de viento frontal en paramentos verticales.**

| ZONA                                   | A      | B       | C      | D      | E       |
|--|--------|---------|--------|--------|---------|
| C <sub>pe</sub>                        | -1,2   | -0,8    | -0,5   | 0,7    | -0,3    |
| Q <sub>vL</sub> =0,862x C <sub>p</sub> | -1,034 | -0,6895 | -0,431 | 0,6034 | -0,2586 |
|  |        |         |        |        |         |

**Tabla 15. Carga de viento frontal en paramentos verticales**

Los valores con signo negativo reflejan que la fuerza es de succión, van de dentro de la nave hacia fuera; mientras que los positivos indican presión, la fuerza va de fuera de la nave hacia dentro.

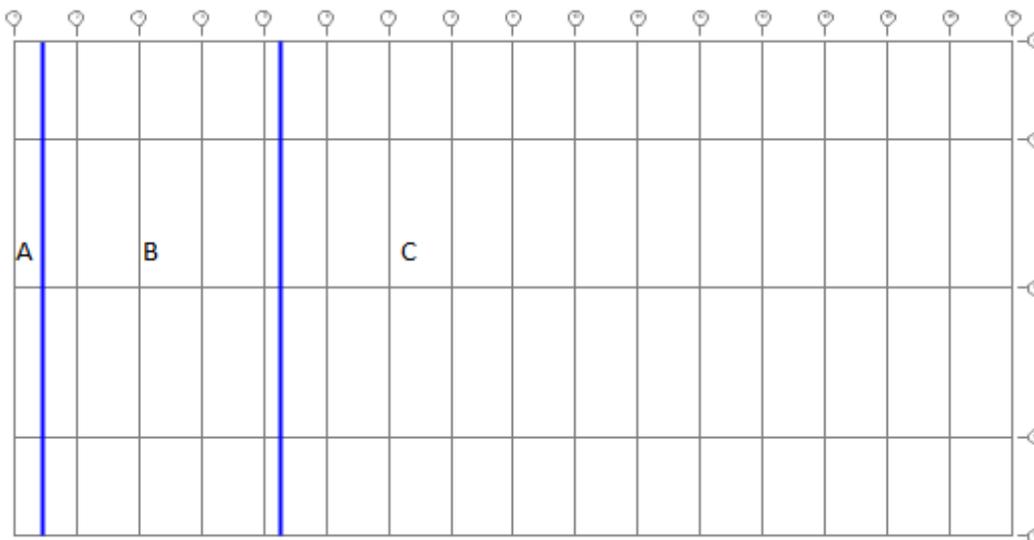
La profundidad de las distintas zonas depende de:

$$e = \min (b, 2h) = \min (80, 2 \cdot 11,73) = 23,46 \text{ m}$$

$$x(A) = e/10 = 2,346 \text{ m}$$

$$x(B) = e - e/10 = 21,114 \text{ m}$$

$$x(C) = d - e = 80 - 23,46 = 56,54 \text{ m}$$



**Figura 23. Zonas de afección del viento frontal en paramentos verticales**

| Wind        | ParamVert | A soportes | B           | C           | D           | E            | F         | G      | H      | I      | J      | K      | L      | M      | N      | O      | P      | Q       |
|-------------|-----------|------------|-------------|-------------|-------------|--------------|-----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|
| Zonas ABC   | 1         | -2,5319624 | -3,4475     | -3,4475     | -3,4475     | -3,4475      | -2,403256 | -2,155 | -2,155 | -2,155 | -2,155 | -2,155 | -2,155 | -2,155 | -2,155 | -2,155 | -2,155 | -1,0775 |
|             | 2         |            |             |             |             |              |           |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |         |
|             | 3         |            |             |             |             |              |           |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |         |
|             | 4         |            |             |             |             |              |           |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |         |
|             | 5         | -2,5319624 | -3,4475     | -3,4475     | -3,4475     | -3,4475      | -2,403256 | -2,155 | -2,155 | -2,155 | -2,155 | -2,155 | -2,155 | -2,155 | -2,155 | -2,155 | -2,155 | -1,0775 |
| Coeficiente |           | Qv/A=-1,03 | Qv/B=-0,688 | Qv/C=-0,431 | Qv/D=0,6038 | Qv/E=-0,2586 | KN/M      |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |         |
| Zonas DC    | ParamVert | A soportes | B           | C           | D           | E            | F         | G      | H      | I      | J      | K      | L      | M      | N      | O      | P      | Q       |
|             | 1         | 2,4136     |             |             |             |              |           |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        | -1,0344 |
|             | 2         | 6,034      |             |             |             |              |           |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        | -2,586  |
|             | 3         | 7,2408     |             |             |             |              |           |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        | -3,1032 |
|             | 4         | 6,034      |             |             |             |              |           |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        | -2,586  |
|             | 5         | 2,4136     |             |             |             |              |           |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        | -1,0344 |

Tabla 16. Carga de viento frontal en soportes

-Superficie de cubierta

La acción que genera el viento lateral sobre la cubierta de la nave afectará a las vigas. En este caso el coeficiente de exposición es independiente de la esbeltez de la nave, dependiendo únicamente de la inclinación de la cubierta.

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

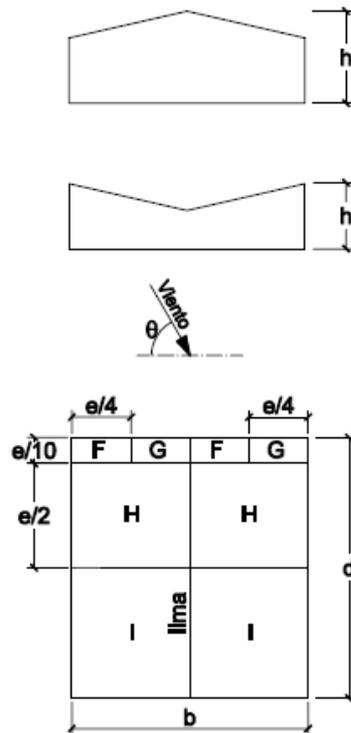


Figura 24. Zonas de afección del viento frontal en cubierta. Fuente: CTE-DB-SE-AE

La inclinación de la cubierta es de  $3^\circ$ , teniendo que interpolar entre los valores de la tabla correspondientes a  $-5^\circ$  y  $5^\circ$

| Pendiente de la cubierta $\alpha$ | A (m <sup>2</sup> ) | Zona (según figura), $-45^\circ \leq \theta \leq 45^\circ$ |      |      |      |
|-----------------------------------|---------------------|--|------|------|------|
|                                   |                     | F  | G    | H    | I    |
| -45°                              | $\geq 10$           | -1,4   | -1,2 | -1,0 | -0,9 |
|                                   | $\leq 1$            | -2,0   | -2,0 | -1,3 | -1,2 |
| -30°                              | $\geq 10$           | -1,5   | -1,2 | -1,0 | -0,9 |
|                                   | $\leq 1$            | -2,1   | -2,0 | -1,3 | -1,2 |
| -15°                              | $\geq 10$           | -1,9   | -1,2 | -0,8 | -0,8 |
|                                   | $\leq 1$            | -2,5   | -2,0 | -1,2 | -1,2 |
| -5°                               | $\geq 10$           | -1,8   | -1,2 | -0,7 | -0,6 |
|                                   | $\leq 1$            | -2,5   | -2,0 | -1,2 | -1,2 |
| 5°                                | $\geq 10$           | -1,6   | -1,3 | -0,7 | -0,6 |
|                                   | $\leq 1$            | -2,2   | -2,0 | -1,2 | -0,6 |

**Tabla 17. Coeficientes de viento frontal en cubierta.**

Se obtienen los siguientes parámetros:

| ZONA                                  | F      | G      | H       | I      |
|---------------------------------------|--------|--------|---------|--------|
| C <sub>pe</sub>                       | -1,64  | -1,28  | -0,7    | -0,6   |
| Q <sub>vL</sub> =0,862xC <sub>p</sub> | -1,413 | -1,103 | -0,6034 | -0,517 |

**Tabla 18. Cargas de viento frontal en cubierta**

La profundidad de las distintas zonas depende de  $e = \min(b, 2h) = \min(80, 2 \cdot 11,73) = 23,46\text{m}$

$$x(F \text{ y } G) = e/4 = 5,865\text{m}$$

$$x(H \text{ e } I) = b/2 = 20\text{m}$$

$$y(H) = e/2 = 11,73\text{m}$$

$$y(F \text{ y } G) = e/10 = 2,346\text{m}$$

$$y(I) = d - e/10 - e/2 = 80 - 2,346 - 11,73 = 65,924\text{m}$$

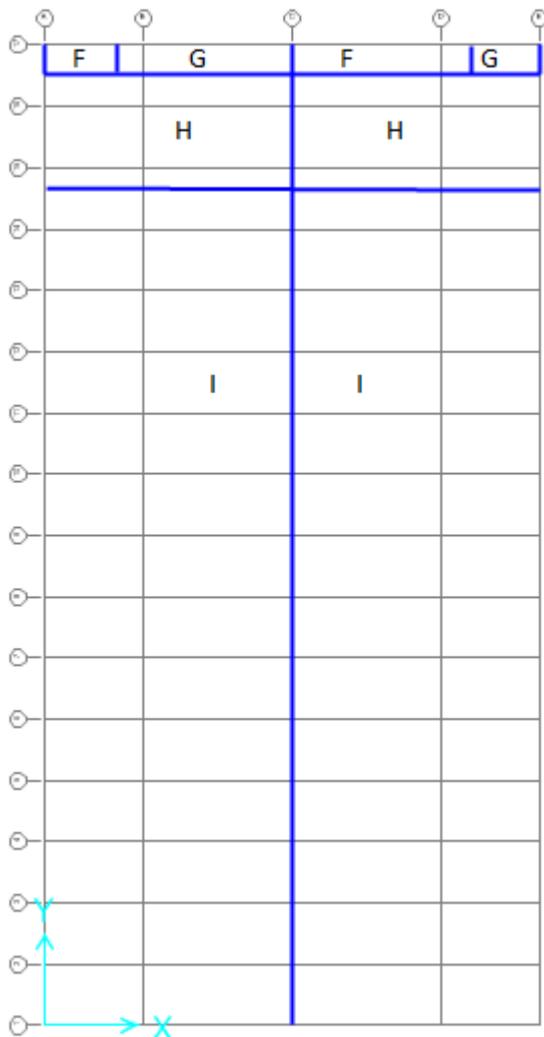


Figura 25. Zonas de afectación del viento frontal en cubierta

Si aplicamos la carga resultante en cada zona de la cubierta sobre sus correspondientes correas, obtenemos la carga que afecta a cada una de estas.

| Cubierta   |             | 11      | 10       | 9       | 8       | 7       | 6       | 5       | 4       | 3       | 2        | 1       |
|------------|-------------|---------|----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|---------|
| Forma2     | A(soportes) | -2,826  | -5,61015 | -4,412  | -4,412  | -4,412  | -5,032  | -5,652  | -5,652  | -5,652  | -4,45385 | -2,206  |
| Dist entre | B           | -1,2068 | -2,4136  | -2,4136 | -2,4136 | -2,4136 | -2,4136 | -2,4136 | -2,4136 | -2,4136 | -2,4136  | -1,2068 |
| correas 4m | C           | -1,2068 | -2,4136  | -2,4136 | -2,4136 | -2,4136 | -2,4136 | -2,4136 | -2,4136 | -2,4136 | -2,4136  | -1,2068 |
|            | D           | -1,034  | -2,068   | -2,068  | -2,068  | -2,068  | -2,068  | -2,068  | -2,068  | -2,068  | -2,068   | -1,034  |
|            | E           | -1,034  | -2,068   | -2,068  | -2,068  | -2,068  | -2,068  | -2,068  | -2,068  | -2,068  | -2,068   | -1,034  |
|            | F           | -1,034  | -2,068   | -2,068  | -2,068  | -2,068  | -2,068  | -2,068  | -2,068  | -2,068  | -2,068   | -1,034  |
|            | G           | -1,034  | -2,068   | -2,068  | -2,068  | -2,068  | -2,068  | -2,068  | -2,068  | -2,068  | -2,068   | -1,034  |
|            | H           | -1,034  | -2,068   | -2,068  | -2,068  | -2,068  | -2,068  | -2,068  | -2,068  | -2,068  | -2,068   | -1,034  |
|            | I           | -1,034  | -2,068   | -2,068  | -2,068  | -2,068  | -2,068  | -2,068  | -2,068  | -2,068  | -2,068   | -1,034  |
|            | J           | -1,034  | -2,068   | -2,068  | -2,068  | -2,068  | -2,068  | -2,068  | -2,068  | -2,068  | -2,068   | -1,034  |
|            | K           | -1,034  | -2,068   | -2,068  | -2,068  | -2,068  | -2,068  | -2,068  | -2,068  | -2,068  | -2,068   | -1,034  |
|            | L           | -1,034  | -2,068   | -2,068  | -2,068  | -2,068  | -2,068  | -2,068  | -2,068  | -2,068  | -2,068   | -1,034  |
|            | M           | -1,034  | -2,068   | -2,068  | -2,068  | -2,068  | -2,068  | -2,068  | -2,068  | -2,068  | -2,068   | -1,034  |
|            | N           | -1,034  | -2,068   | -2,068  | -2,068  | -2,068  | -2,068  | -2,068  | -2,068  | -2,068  | -2,068   | -1,034  |
|            | O           | -1,034  | -2,068   | -2,068  | -2,068  | -2,068  | -2,068  | -2,068  | -2,068  | -2,068  | -2,068   | -1,034  |
|            | P           | -1,034  | -2,068   | -2,068  | -2,068  | -2,068  | -2,068  | -2,068  | -2,068  | -2,068  | -2,068   | -1,034  |
|            | Q           | -1,034  | -2,068   | -2,068  | -2,068  | -2,068  | -2,068  | -2,068  | -2,068  | -2,068  | -2,068   | -1,034  |

Tabla 19. Cargas de viento frontal en soportes

### ACCIONES TÉRMICAS

Los edificios y sus elementos están sometidos a deformaciones y cambios geométricos debidos a las variaciones de la temperatura ambiente exterior. La magnitud de estas depende de las condiciones climáticas del lugar, la orientación y exposición del edificio, de las características de los materiales constructivos y acabados o revestimientos, del régimen de calefacción y ventilación interior, así como del aislamiento térmico.

Las variaciones de temperatura en el edificio conducen a deformaciones de todos los elementos constructivos, sobre todo los estructurales, que en los casos en los que están impedidas, producen tensiones en los elementos afectados.

La disposición de juntas de dilatación contribuye a disminuir los efectos de las variaciones de temperatura. En edificios con elementos estructurales de hormigón o acero, pueden no considerarse las acciones térmicas cuando se dispongan juntas de dilatación de forma que no existan elementos continuos de más de 40m de longitud.

### NIEVE

El cálculo de la acción de nieve se realiza según lo establecido en el CTE DB-SE-AE Apartado 3.5 y en el Anejo E de la misma.

Como valor característico de la carga de nieve por unidad de superficie en proyección horizontal ( $q_n$ ), debe tomarse:

$$Q_n = \mu \cdot s_k$$

$\mu$  es el coeficiente de forma de la cubierta. En un faldón limitado inferiormente por cornisas o limatesas, y en el que no hay impedimento al deslizamiento de la nieve se tomará  $\mu = 1$  para cubiertas con inclinación menor o igual que  $30^\circ$

$s_k$  es el valor característico de la nieve según la zona y la altitud

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

| Capital            | Altitud<br>m | $s_k$<br>kN/m <sup>2</sup> | Capital           | Altitud<br>m | $s_k$<br>kN/m <sup>2</sup> | Capital               | Altitud<br>m | $s_k$<br>kN/m <sup>2</sup> |
|--------------------|--------------|----------------------------|-------------------|--------------|----------------------------|-----------------------|--------------|----------------------------|
| Albacete           | 690          | 0,6                        | Guadalajara       | 680          | 0,6                        | Pontevedra            | 0            | 0,3                        |
| Alicante / Alacant | 0            | 0,2                        | Huelva            | 0            | 0,2                        | Salamanca             | 780          | 0,5                        |
| Almería            | 0            | 0,2                        | Huesca            | 470          | 0,7                        | SanSebastián/Donostia | 0            | 0,3                        |
| Ávila              | 1.130        | 1,0                        | Jaén              | 570          | 0,4                        | Santander             | 1.000        | 0,3                        |
| Badajoz            | 180          | 0,2                        | León              | 820          | 1,2                        | Segovia               | 10           | 0,7                        |
| Barcelona          | 0            | 0,4                        | Lérida / Lleida   | 150          | 0,5                        | Sevilla               | 1.090        | 0,2                        |
| Bilbao / Bilbo     | 0            | 0,3                        | Logroño           | 380          | 0,6                        | Soria                 | 0            | 0,9                        |
| Burgos             | 860          | 0,6                        | Lugo              | 470          | 0,7                        | Tarragona             | 0            | 0,4                        |
| Cáceres            | 440          | 0,4                        | Madrid            | 660          | 0,6                        | Tenerife              | 950          | 0,2                        |
| Cádiz              | 0            | 0,2                        | Málaga            | 0            | 0,2                        | Teruel                | 550          | 0,9                        |
| Castellón          | 0            | 0,2                        | Murcia            | 40           | 0,2                        | Toledo                | 0            | 0,5                        |
| Ciudad Real        | 640          | 0,6                        | Orense / Ourense  | 120          | 0,4                        | Valencia/València     | 690          | 0,2                        |
| Córdoba            | 100          | 0,2                        | Oviedo            | 230          | 0,5                        | Valladolid            | 520          | 0,4                        |
| Coruña / A Coruña  | 0            | 0,3                        | Palencia          | 740          | 0,4                        | Vitoria / Gasteiz     | 650          | 0,7                        |
| Cuenca             | 1.010        | 1,0                        | Palma de Mallorca | 0            | 0,2                        | Zamora                | 210          | 0,4                        |
| Gerona / Girona    | 70           | 0,4                        | Palmas, Las       | 0            | 0,2                        | Zaragoza              | 0            | 0,5                        |
| Granada            | 690          | 0,5                        | Pamplona/Iruña    | 450          | 0,7                        | Ceuta y Melilla       | 0            | 0,2                        |

Tabla 20. Sobrecargas de nieve  $s_k$  en capitales de provincia y ciudades autónomas.

Por tanto, la carga de nieve sobre la cubierta será:

$$Q_n = 1 \cdot 0,2 = 0,2 \text{ kN/m}^2$$

Multiplicando por la distancia correspondiente a cada pódico se obtiene el valor para los pódicos interiores y de fachada:

$$Q_{n, \text{int}} = 0,2 \cdot 5 = 1 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_{n, \text{fach}} = 0,2 \cdot 5 / 2 = 0,5 \text{ kN/m}^2$$

La norma establece que se tendrán en cuenta las posibles distribuciones asimétricas de nieve, debidas al transporte de esta por efecto del viento, reduciéndose a la mitad el coeficiente de formas ( $\mu$ ) en las partes en que la acción sea favorable. Por lo que tendremos tres posibles casos de nieve en los pódicos de fachada y tres posibles casos en los pódicos interiores.

No se tendrá en cuenta la acumulación de nieve ya que no se prevé la instalación de parapetos al final de los faldones de la cubierta.

## ACCIONES ACCIDENTALES

### SISMO

Según la NCSE-02 se clasifican las construcciones de acuerdo con el uso a que se destinan junto con los daños que pueden ocasionar con su destrucción.

La nave industrial se trata de una estructura de importancia normal, es decir, pertenece a aquellas cuya destrucción por el terremoto puede ocasionar víctimas,

interrumpir un servicio para la colectividad, o producir importantes pérdidas económicas, sin que en ningún caso se trate de un servicio imprescindible ni pueda dar lugar a efectos catastróficos.

La aceleración sísmica de cálculo  $a_c$  se define como

$$a_c = S \cdot \rho \cdot a_b$$

Donde

$a_c$  es la aceleración sísmica básica que según el Anejo 1 de la NCSE-02 toma el valor de la siguiente tabla:

| Municipio           | $a_b/g$ | $K$   |
|---------------------|---------|-------|
| Abarán              | 0,10    | (1,0) |
| Águilas             | 0,11    | (1,0) |
| Albudeite           | 0,11    | (1,0) |
| Alcantarilla        | 0,15    | (1,0) |
| Alcázares, Los      | 0,08    | (1,0) |
| Aledo               | 0,10    | (1,0) |
| Alguazas            | 0,14    | (1,0) |
| Alhama de Murcia    | 0,11    | (1,0) |
| Archena             | 0,13    | (1,0) |
| Beniel              | 0,16    | (1,0) |
| Blanca              | 0,11    | (1,0) |
| Bullas              | 0,08    | (1,0) |
| Calasparra          | 0,07    | (1,0) |
| Campos del Río      | 0,12    | (1,0) |
| Caravaca de la Cruz | 0,07    | (1,0) |
| Cartagena           | 0,07    | (1,0) |
| Cieza               | 0,08    | (1,0) |
| Ceuti               | 0,14    | (1,0) |

**Tabla 21. Valores de la aceleración sísmica básica por municipios.**

Al tener un coeficiente  $a_b$  de 0,07g y ser inferior de 0,08g, estamos exentos por norma de tomar en cuenta esta acción.

#### FUEGO

La resistencia de fuego exigible se determina en base al RSCIEI y el CTE, y la comprobación de la seguridad se realiza de acuerdo con el CTE, determinando las propiedades de los materiales y la resistencia.

Al tratarse de una nave industrial sin uso específico no se realizará el cálculo de la acción de incendio.

## COMBINACIONES DE ACCIONES A CONSIDERAR

Una vez calculadas todas las cargas que van a influir en el dimensionamiento de la nave, se procede a determinar las distintas combinaciones de ellas para garantizar el cumplimiento de las diferentes exigencias básicas fijadas por el CTE, tanto la SE1: Resistencia y Estabilidad, como la SE2: Aptitud al servicio.

### RESISTENCIA Y ESTABILIDAD

Cuando se vaya a determinar el cumplimiento de requisitos de resistencia de la barra, se deben considerar las combinaciones de acciones en “Situaciones persistentes o transitorias”, mediante la siguiente expresión:

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}$$

Los coeficientes parciales de seguridad a utilizar son:

|  | $\psi_0$ | $\psi_1$ | $\psi_2$ |
|--|----------|----------|----------|
| Sobrecarga superficial de uso (Categorías según DB-SE-AE)  |          |          |          |
| • 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 de aparcamiento de vehículos ligeros con un peso total inferior a 30 kN (Categoría E) | 0,7      | 0,7      | 0,6      |
| • Cubiertas transitables (Categoría F)   |          | (1)      |          |
| • 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      |

**Tabla 22. Coeficientes parciales de seguridad para las acciones.**

Los coeficientes de combinación para las acciones variables son:

| Tipo de verificación <sup>(1)</sup> | 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              |

**Tabla 23. Coeficientes de simultaneidad.**

Se obtiene combinaciones de Estados Límites Últimos (ELU) que se desglosan en el Anejo 2

### APTITUD AL SERVICIO

Se considera que existe un comportamiento adecuado en relación con las deformaciones, vibraciones y deterioro si se cumple que el efecto de las acciones no alcanza el valor límite admisible.

En el dimensionamiento de los diferentes elementos que forman parte de la estructura, se deben considerar las combinaciones características sin la presencia de las acciones permanentes (G) para considerar las flechas activas (Criterio de integridad) y las combinaciones casi-permanentes para el Criterio de apariencia.

Las acciones accidentales no se consideran en la verificación de cumplimiento de aptitud al servicio. Las acciones de corta duración se determinan mediante combinaciones de acciones de tipo característica:

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}$$

Los efectos debidos a las acciones de larga duración se determinan mediante combinaciones de tipo casi-permanente:

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + \sum_{i > 1} \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i}$$

Como los coeficientes de simultaneidad  $\psi_{2,i}$  de las acciones variables son nulos, solo va a existir una posible combinación, que será: ELSa1 = 1 · G

### -SEGURIDAD AL VUELCO

Para la comprobación de ELU de equilibrio de las zapatas se deben considerar una serie de combinaciones, que para situaciones persistentes o transitorias debe ser de la siguiente forma:

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}$$

Los coeficientes de seguridad de las acciones  $\gamma_f$  a utilizar en la expresión de combinación (valores de  $\gamma_g$  y  $\gamma_q$ ) son siempre iguales a la unidad y los valores de  $\psi_{0,i}$  son los que se muestran en la siguiente tabla:

| Situación de dimensionado | Tipo                        | Materiales         |                  | Acciones           |            |
|---------------------------|-----------------------------|--------------------|------------------|--------------------|------------|
|                           |                             | $\gamma_R$         | $\gamma_M$       | $\gamma_E$         | $\gamma_F$ |
|                           | Hundimiento                 | 3,0 <sup>(1)</sup> | 1,0              | 1,0                | 1,0        |
|                           | Deslizamiento               | 1,5 <sup>(2)</sup> | 1,0              | 1,0                | 1,0        |
|                           | Vuelco <sup>(2)</sup>       |                    |                  |                    |            |
|                           | Acciones estabilizadoras    | 1,0                | 1,0              | 0,9 <sup>(3)</sup> | 1,0        |
|                           | Acciones desestabilizadoras | 1,0                | 1,0              | 1,8                | 1,0        |
|                           | Estabilidad global          | 1,0                | 1,8              | 1,0                | 1,0        |
|                           | Capacidad estructural       | - <sup>(4)</sup>   | - <sup>(4)</sup> | 1,6 <sup>(5)</sup> | 1,0        |

**Tabla 24. Coeficientes de seguridad parciales de seguridad al vuelco.**

#### -AGOTAMIENTO DEL TERRENO

Para comprobar la carga unitaria sobre el terreno se deben verificar todas las combinaciones en situación persistente o transitoria. Las combinaciones son idénticas a las consideradas en vuelco de las zapatas.

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}$$

| Situación de dimensionado | Tipo                        | Materiales         |                  | Acciones           |            |
|---------------------------|-----------------------------|--------------------|------------------|--------------------|------------|
|                           |                             | $\gamma_R$         | $\gamma_M$       | $\gamma_E$         | $\gamma_F$ |
|                           | Hundimiento                 | 3,0 <sup>(1)</sup> | 1,0              | 1,0                | 1,0        |
|                           | Deslizamiento               | 1,5 <sup>(2)</sup> | 1,0              | 1,0                | 1,0        |
|                           | Vuelco <sup>(2)</sup>       |                    |                  |                    |            |
|                           | Acciones estabilizadoras    | 1,0                | 1,0              | 0,9 <sup>(3)</sup> | 1,0        |
|                           | Acciones desestabilizadoras | 1,0                | 1,0              | 1,8                | 1,0        |
|                           | Estabilidad global          | 1,0                | 1,8              | 1,0                | 1,0        |
|                           | Capacidad estructural       | - <sup>(4)</sup>   | - <sup>(4)</sup> | 1,6 <sup>(5)</sup> | 1,0        |

**Tabla 25. Coeficientes de seguridad parciales de agotamiento del terreno.**

Estas combinaciones junto con la geometría de los elementos que componen la nave, las secciones comerciales disponibles y las acciones actuantes se introducen en el programa de análisis estructural SAP2000, obteniendo los diferentes esfuerzos y deformaciones en cada uno de los elementos que componen la nave industrial.

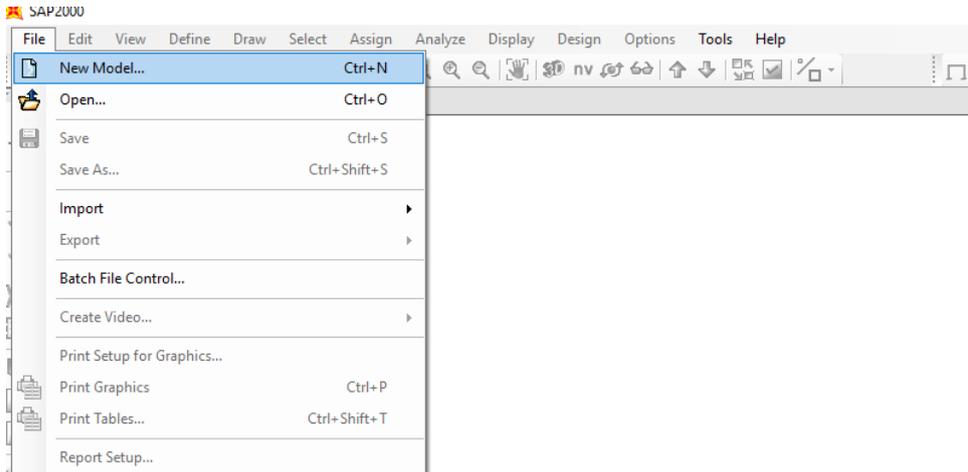
Se trata de un proceso iterativo de dimensionamiento de los elementos, en el que el objetivo es conseguir que los soportes, vigas y demás perfiles cumplan con las restricciones marcadas por las normativas españolas vigentes en cuanto a deformaciones, reacciones en nudos y esfuerzos en barras.

## DISEÑO DE LA NAVE EN SAP2000

Para conformar la geometría de la nave en cuestión con ayuda del programa SAP2000 he seguido estos pasos:

### PRIMEROS PASOS

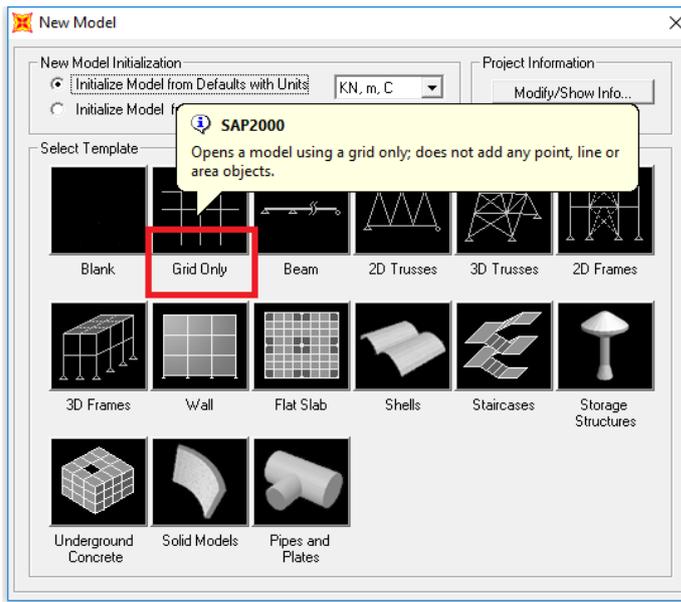
Abrir el programa SAP200 encontrándonos con la siguiente pantalla de inicio. En ella vamos a *File* y seleccionamos *New Model*



**Figura 26. Ventana inicio SAP2000**

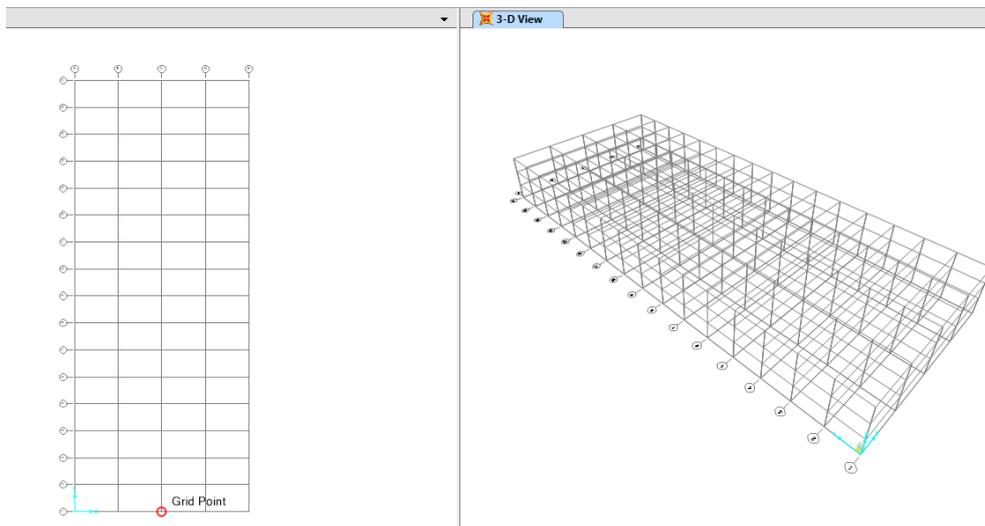
En *New Model*, nos aparecen distintos tipos de plantillas a elegir la más conveniente para poder modelizar nuestro proyecto.

Se selecciona *Grid Only*, la cual va a generar una malla en 3 dimensiones. Se deben introducir el número de líneas necesarias en cada uno de los ejes cartesianos, así como las distancias entre líneas.



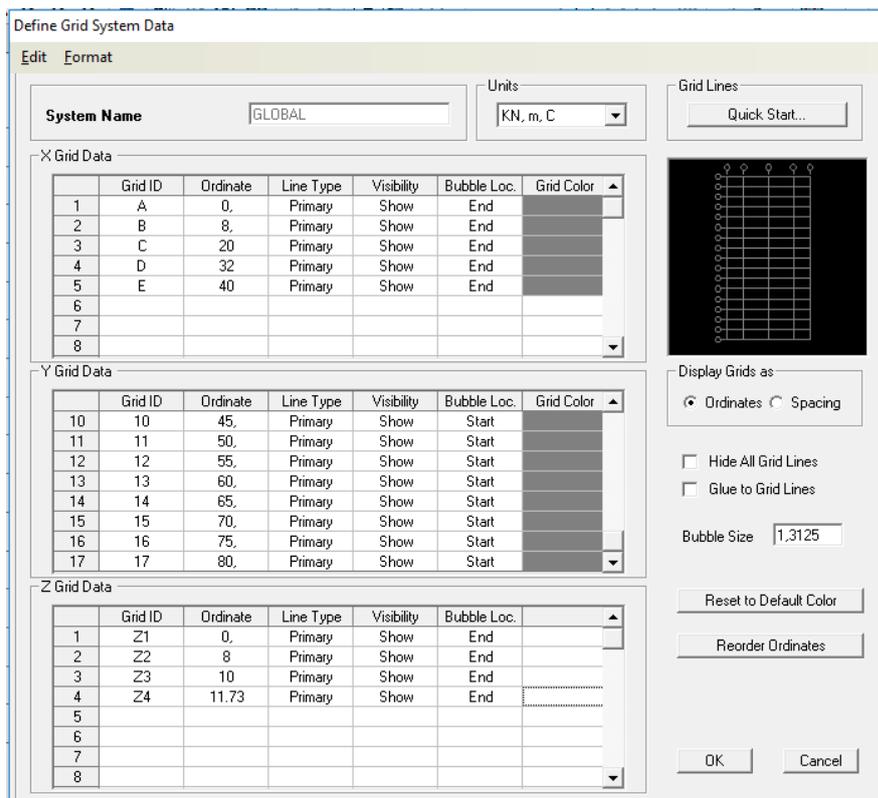
**Figura 27. Selección del modelo en SAP2000**

Aceptamos y se nos genera la malla en 2D y 3D correspondiente a las características introducidas.



**Figura 28. Malla del modelo**

Tenemos que ajustar las medidas de la malla con las de nuestra nave:

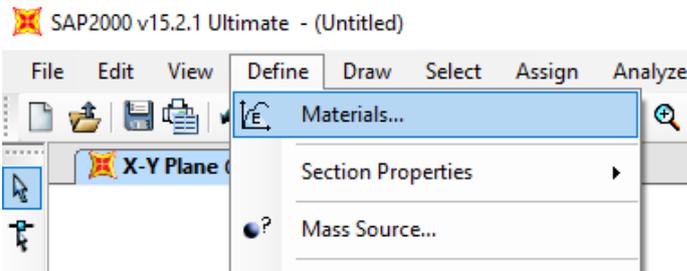


**Figura 29. Datos de malla**

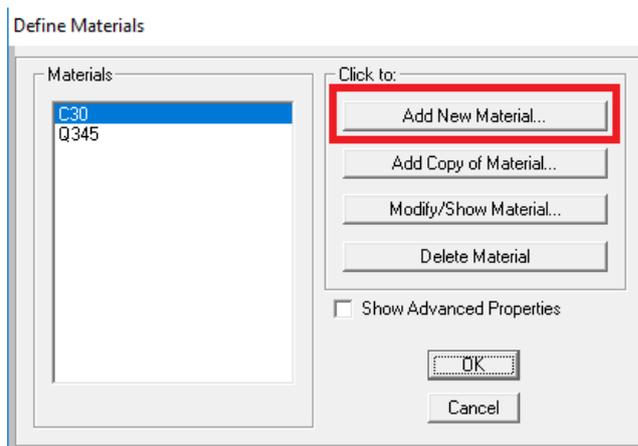
## MATERIALES

Antes de comenzar a dibujar, es necesario definir los materiales que vamos a emplear y agregarle una lista de distintos tipos de perfiles.

Se le añade el acero S275JR y el hormigón HA-30.



**Figura 30. Definición de los materiales**

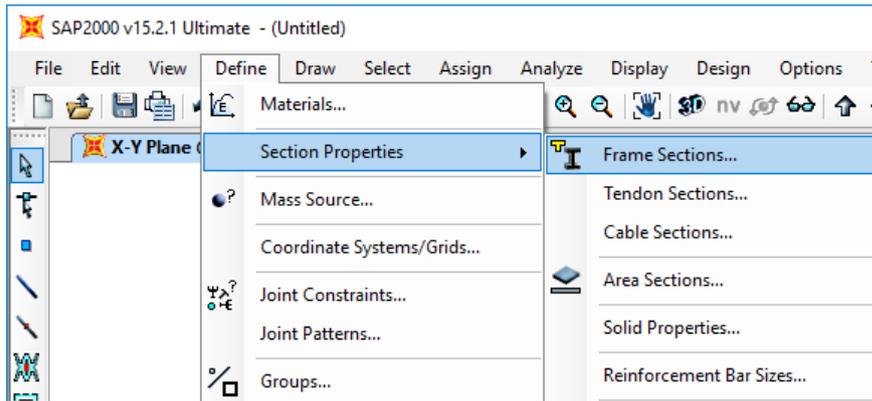


**Figura 31. Anadir nuevo material**

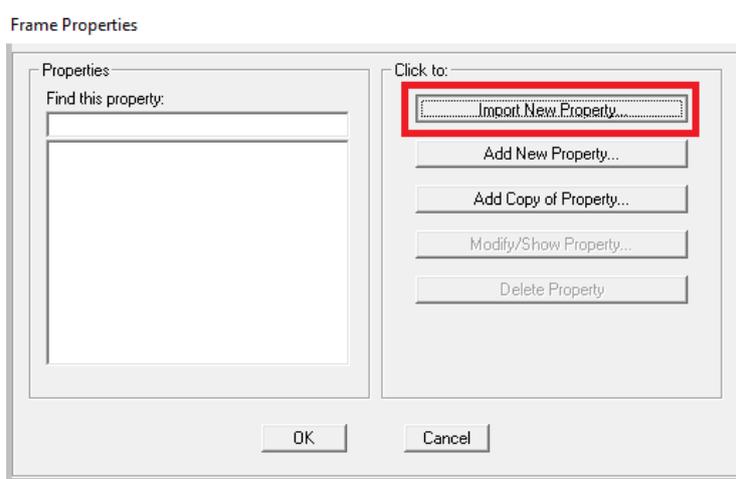
**Figura 32. Definición de las características del acero S275JR en SAP2000**

**Figura 33. Selección del hormigón**

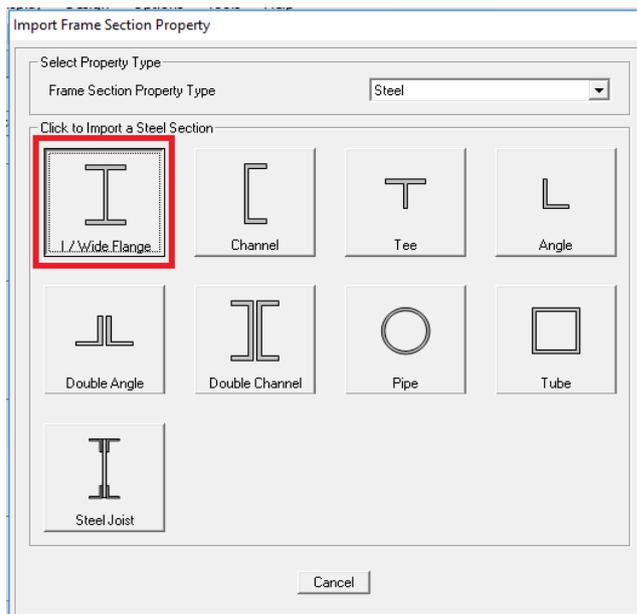
Definimos los perfiles, los cuales se seleccionan del prontuario, importando el tipo de sección y cargando la el archivo de perfiles.



**Figura 34. Propiedades de la sección**

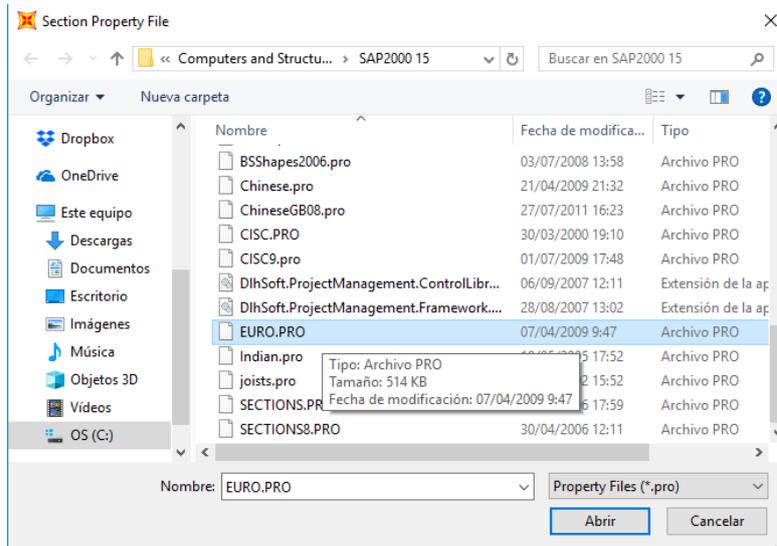


**Figura 35. Importar propiedad de los perfiles desde prontuario**

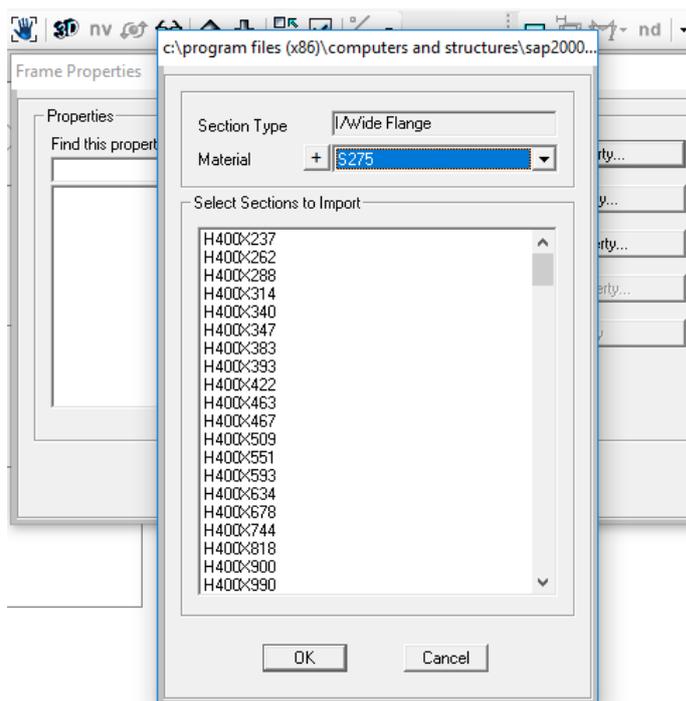


**Figura 36 Selección del tipo de perfil**

Los perfiles se seleccionan del prontuario incorporado en el programa *EURO.PRO* o se añaden manualmente.



**Figura 37. Selección del prontuario EURO.PRO**

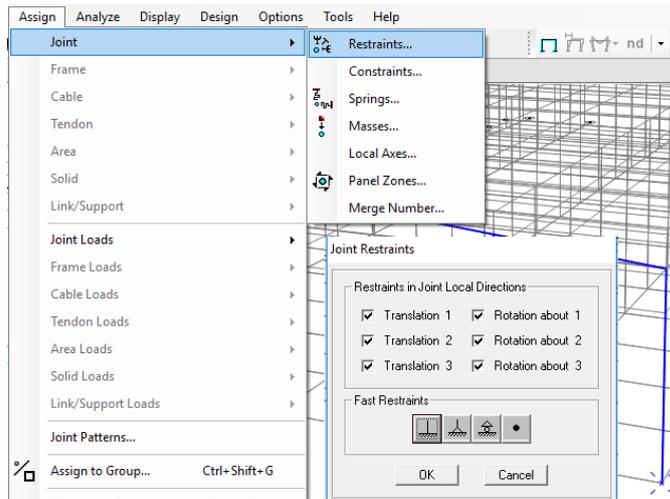


**Figura 38. Listado de perfiles a importar en SAP2000**

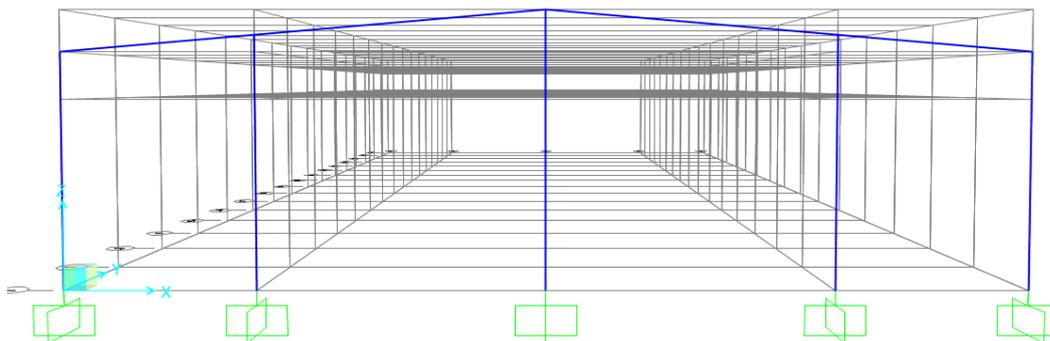
## DIBUJO

Una vez tenemos todos los datos de los perfiles a utilizar introducidos, se procede a dibujar las líneas en la malla que formarán los pórticos de fachada y los pórticos interiores conformados por cerchas pratt.

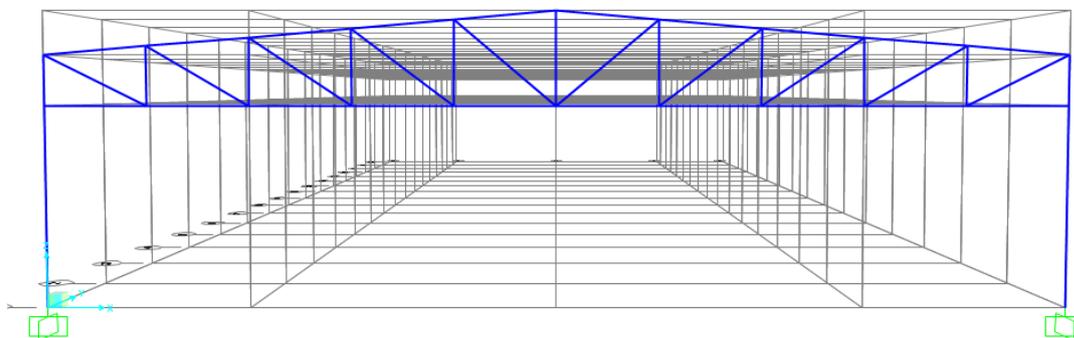
Las condiciones de empotramiento de los soportes se determinan seleccionando los puntos de las bases de los pilares y realizando lo siguiente:



**Figura 39. Condiciones de empotramiento**



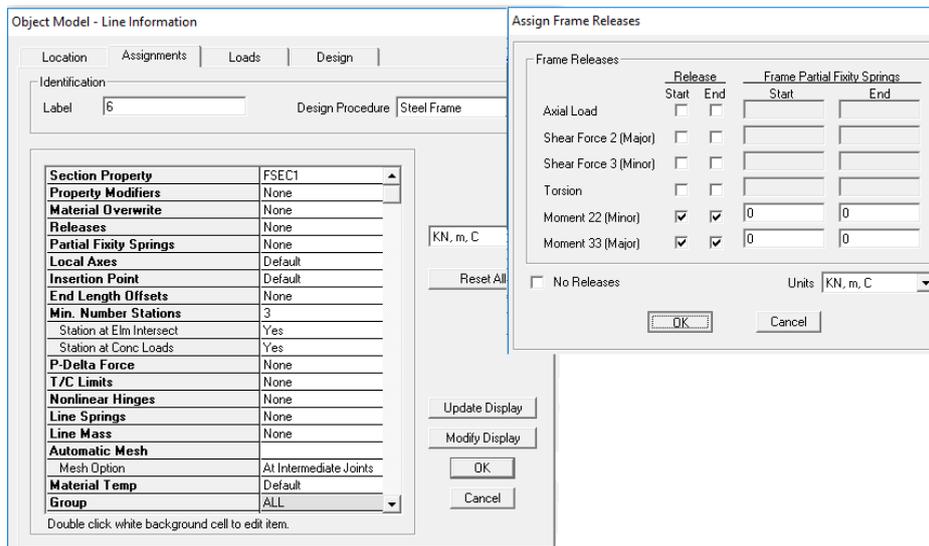
**Figura 40. Pórtico de fachada**



**Figura 41. Pórtico interior**

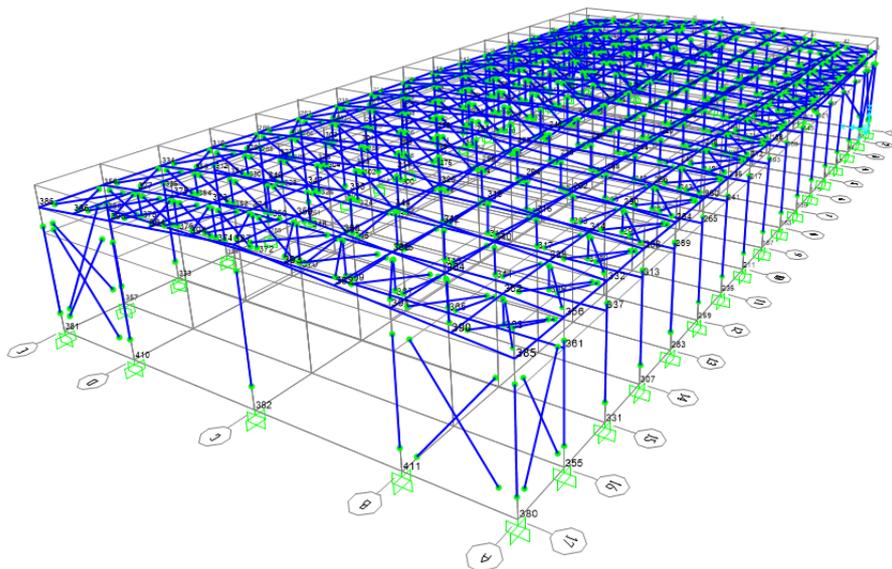
Después conformaremos los demás elementos de nuestra nave, tales como correas, cruces de “San Andrés” y vigas contraviento.

Posteriormente, debido al empleo de basas articuladas para la placa de anclaje, articularemos los soportes mediante la opción.



**Figura 42. Restricción de momento en soportes**

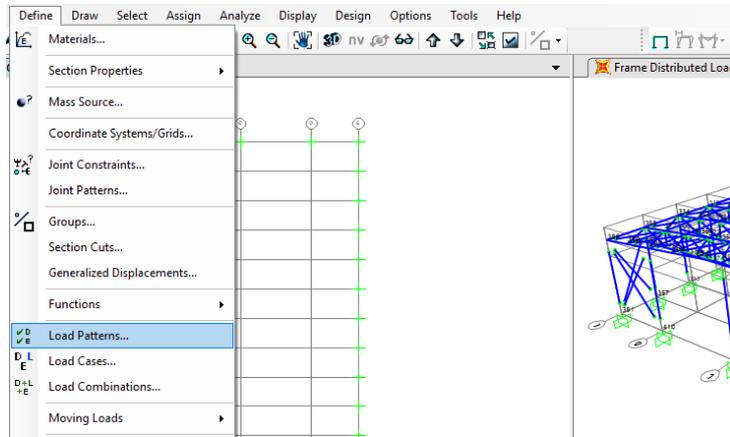
Teniendo conformada la geometría estructural del proyecto:



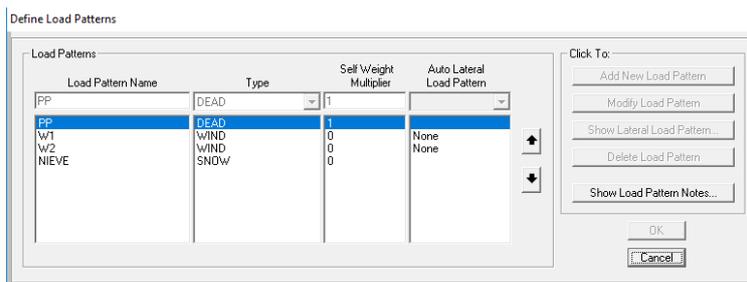
**Figura 43. Vista estructural del proyecto**

## PATRONES DE CARGA

A continuación, queda definir los patrones de carga para poder asignar a cada elemento su carga correspondiente y realizar las distintas combinaciones de acciones recogidas en el Anejo 1.

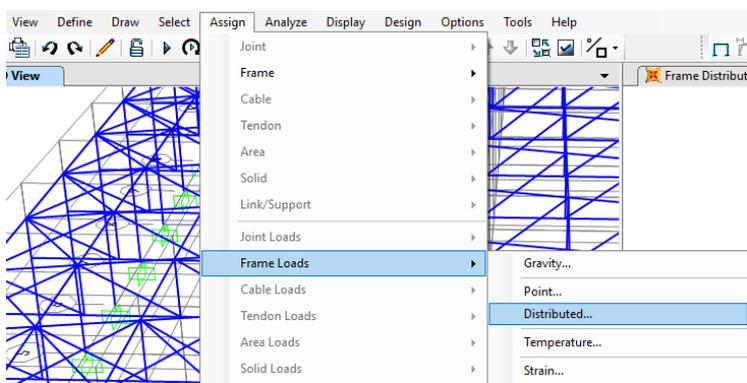


**Figura 44. Introducción de los patrones de carga.**

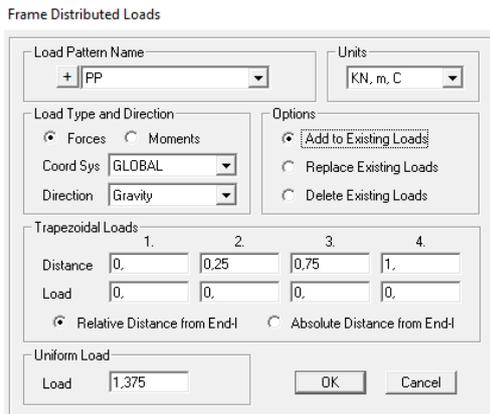


**Figura 45. Definición de las características de cada patrón de carga**

Para asignar a cada elemento su carga correspondiente se debe seleccionar el elemento y asignarle una carga distribuida o puntual (según corresponda) de la siguiente manera:

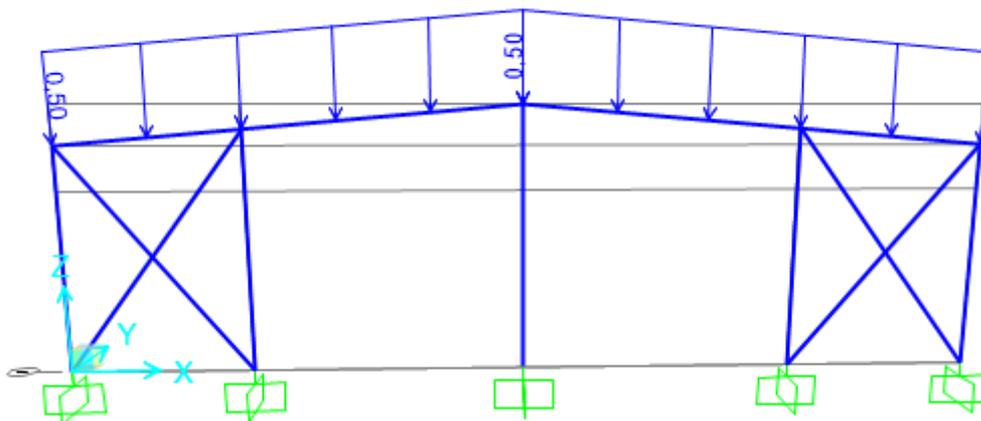


**Figura 46. Asignación de cargas a cada elemento**

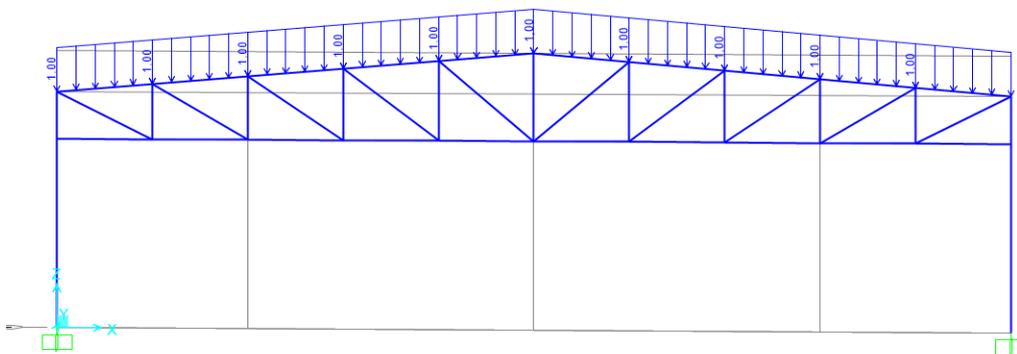


**Figura 47. Metodología para insertar las distintas cargas**

A continuación, se muestran todas las cargas que se han introducido tanto en los pórticos de fachada como interiores, cada uno de los planos (plano del pórtico y plano perpendicular al pórtico):



**Figura 48. Peso propio pórticos exteriores**



**Figura 49. Peso propio pórticos interiores**

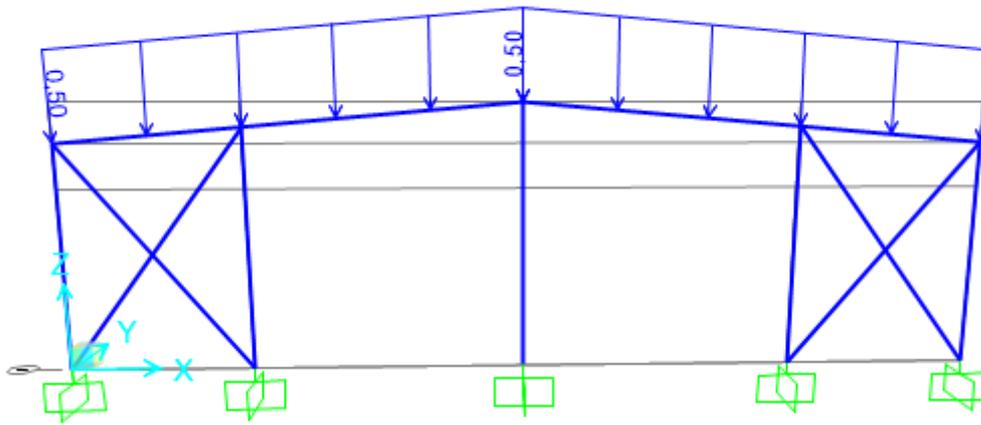


Figura 50. Acción de la nieve pórticos exteriores

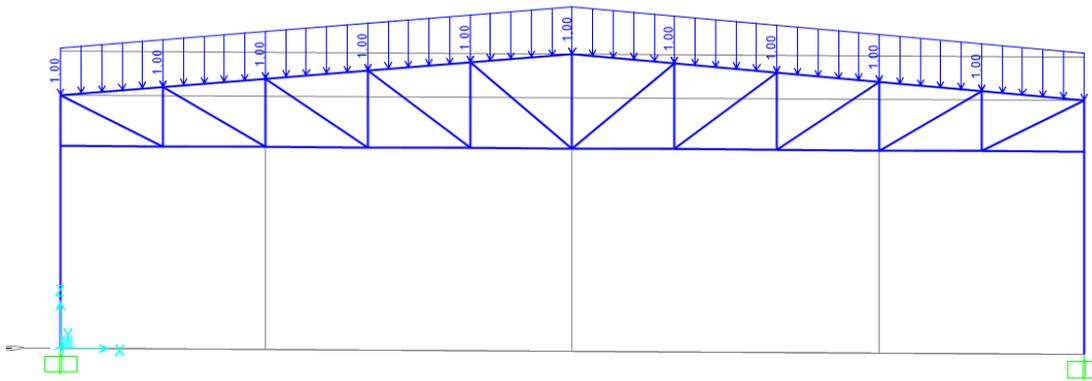


Figura 51. Acción de la nieve pórticos interiores

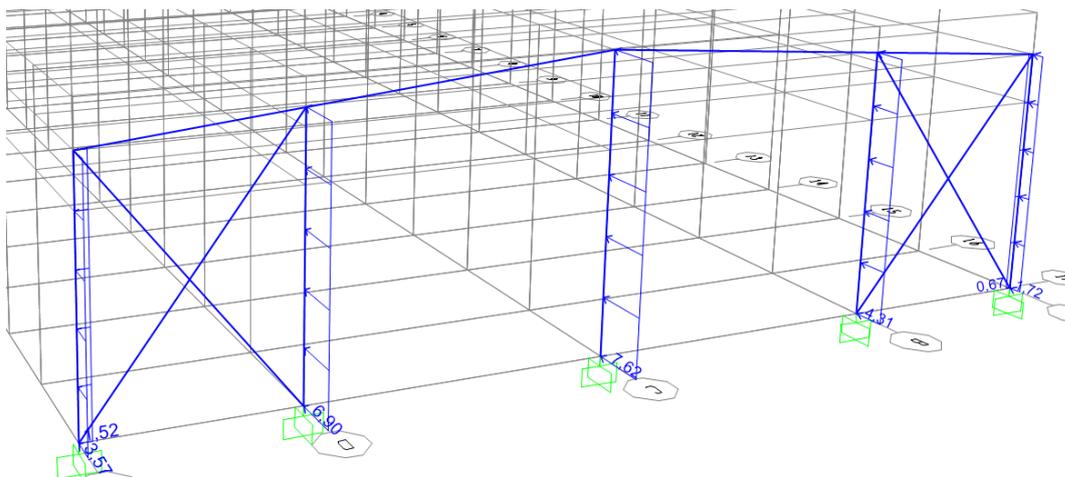


Figura 52. Acción Viento1 succión pórticos exteriores

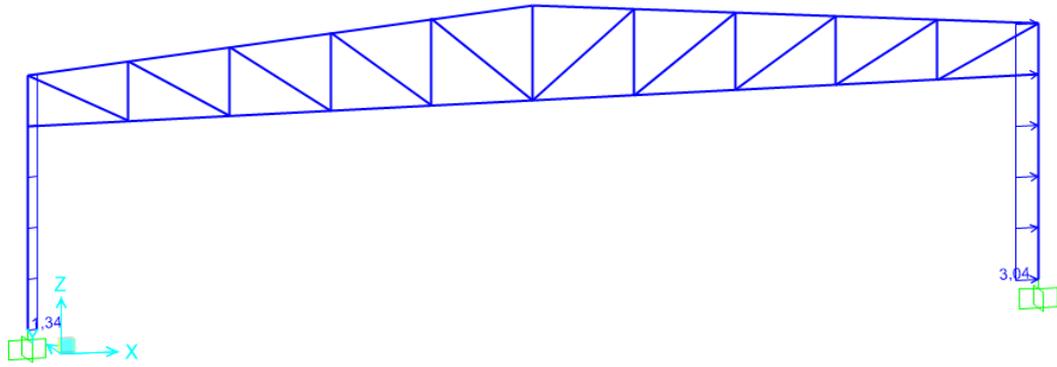


Figura 53. Acción Viento1 succión pórticos interiores

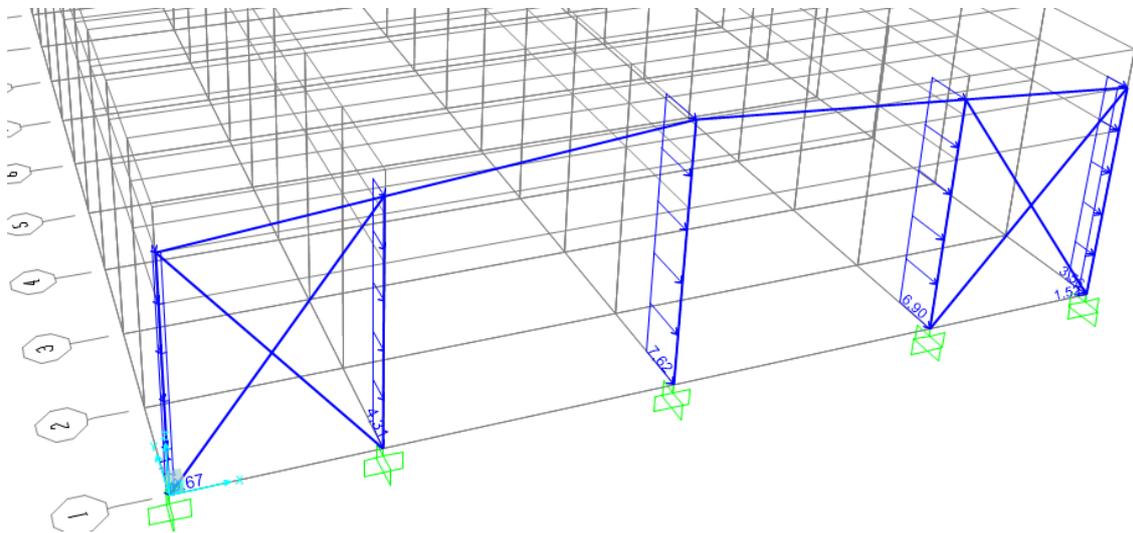


Figura 54. Acción Viento1 presión pórticos exteriores

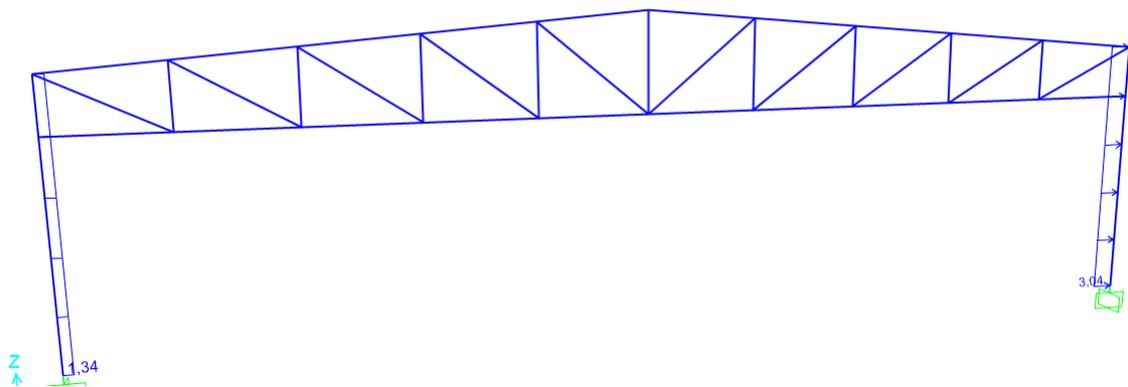


Figura 55. Acción Viento1 presión pórticos interiores

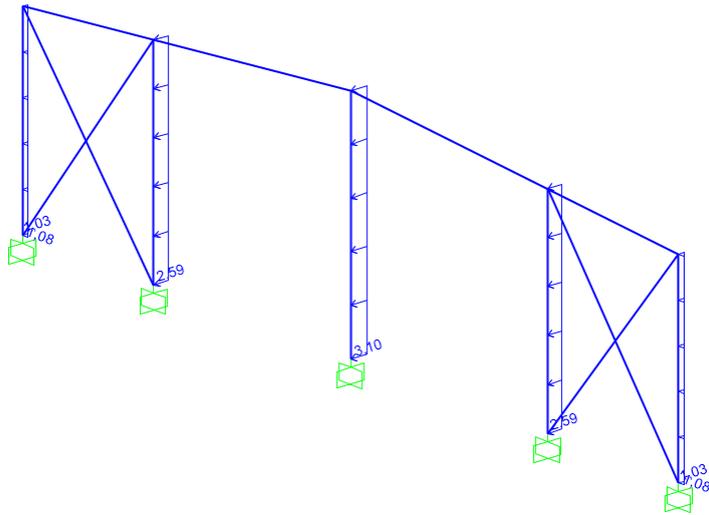


Figura 56. Acción Viento2 pórticos exteriores

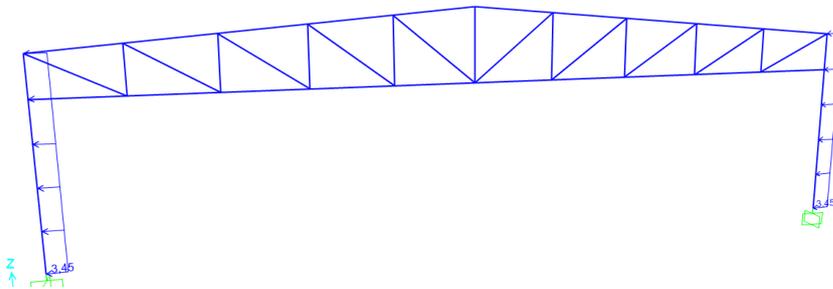


Figura 57. Acción Viento2 pórticos interiores

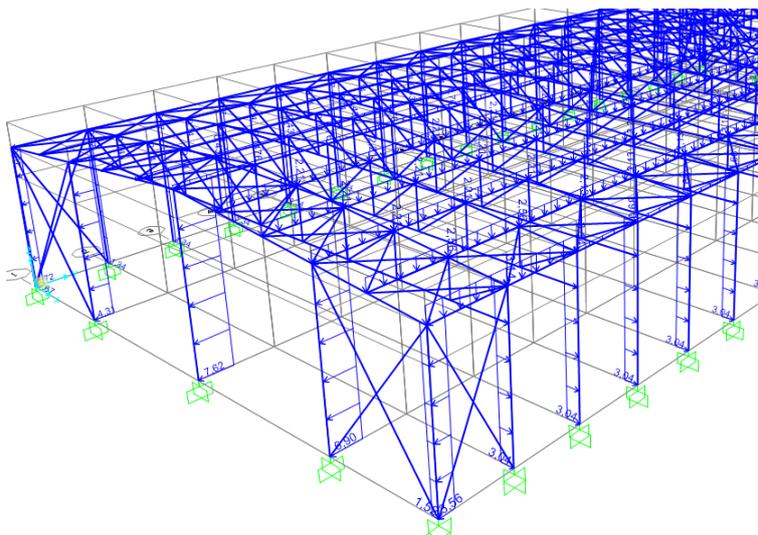
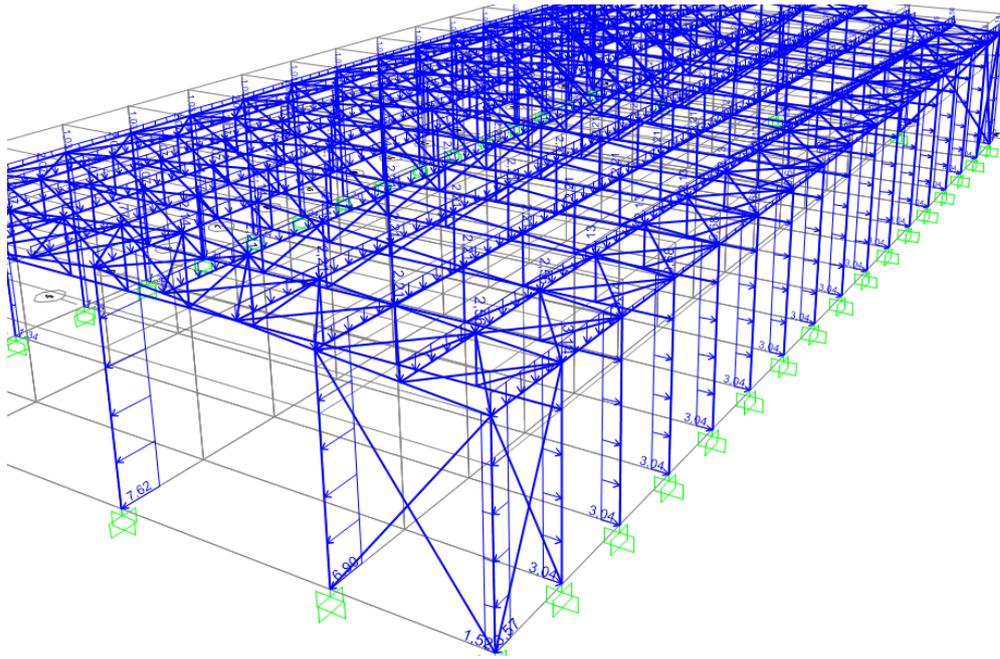
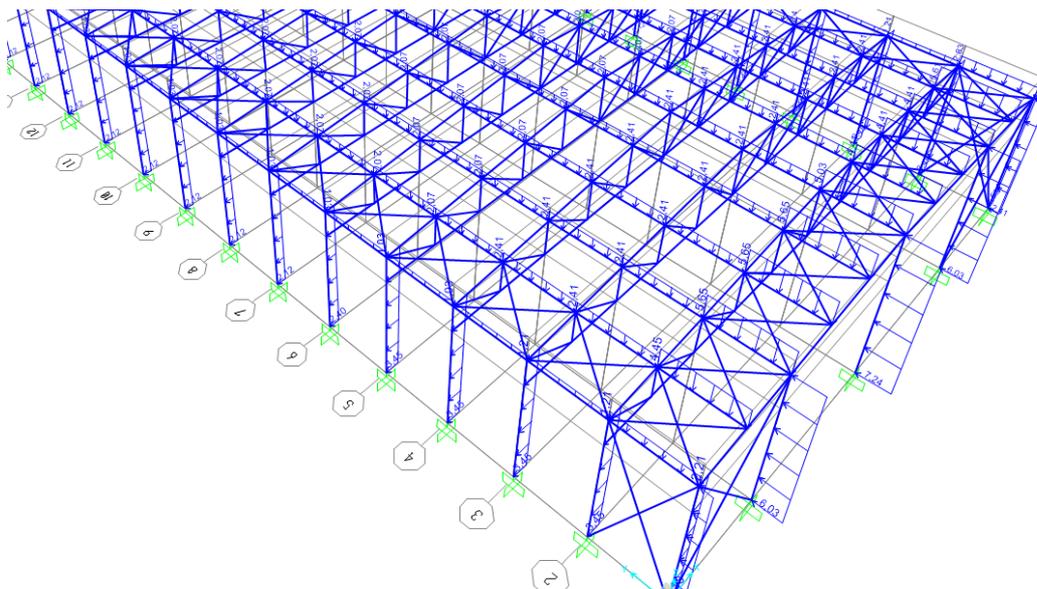


Figura 58. Viento lateral de presión en pórtico de fachada en el plano perpendicular al pórtico



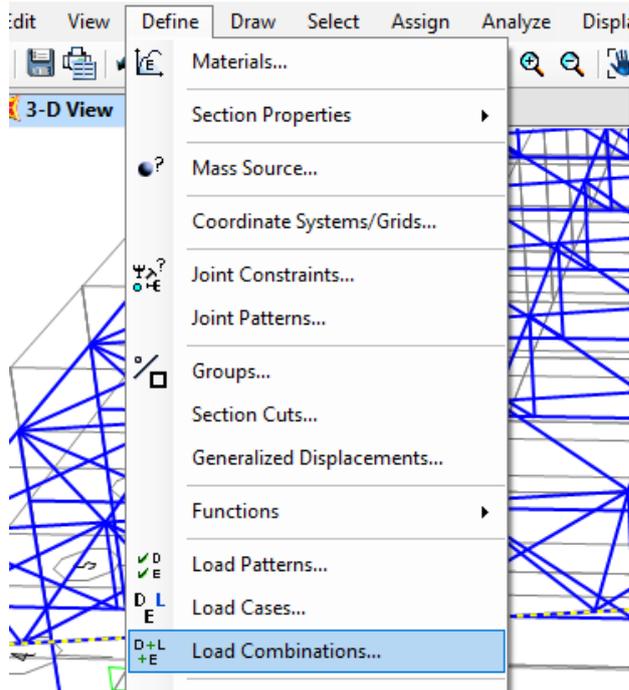
**Figura 59. Viento lateral de succión en pórtico de fachada en el plano perpendicular al pórtico**



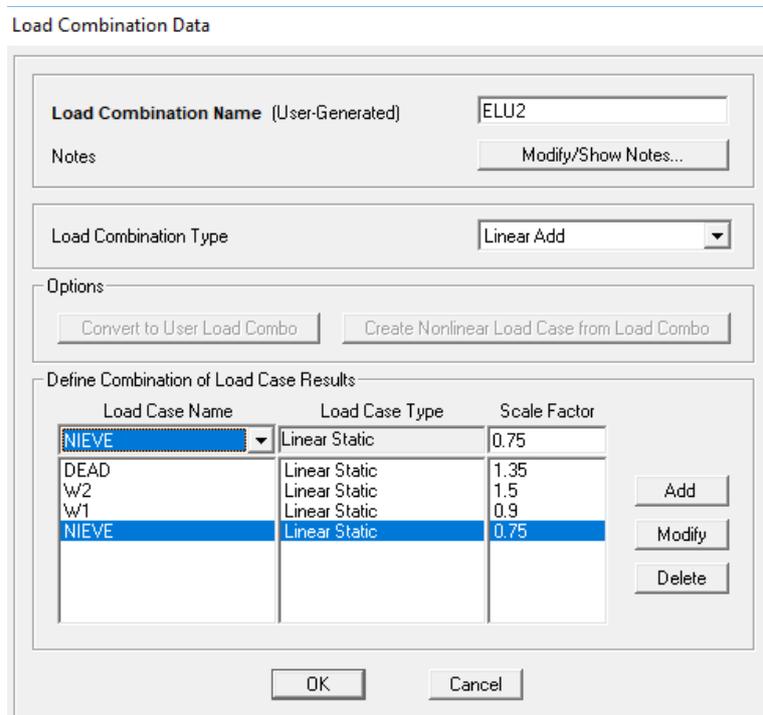
**Figura 60. Viento frontal en pórtico de fachada en el plano perpendicular al pórtico**

### COMBINACIONES DE ACCIONES

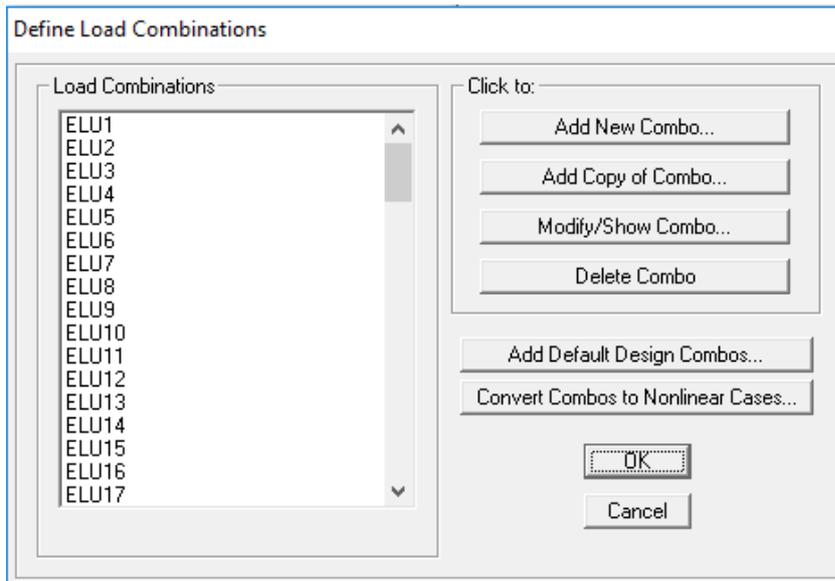
Una vez introducidas todas las cargas en cada uno de los elementos, ya se pueden realizar las combinaciones de acciones que el programa analizará posteriormente para obtener los resultados de esfuerzos y deformaciones.



**Figura 61. Introducción de las combinaciones de carga**

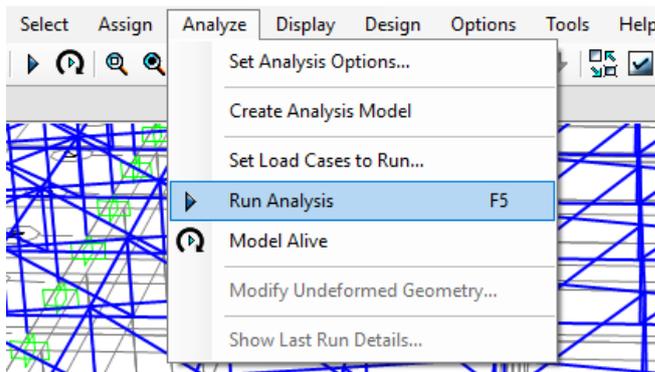


**Figura 62. Ejemplo de combinación**

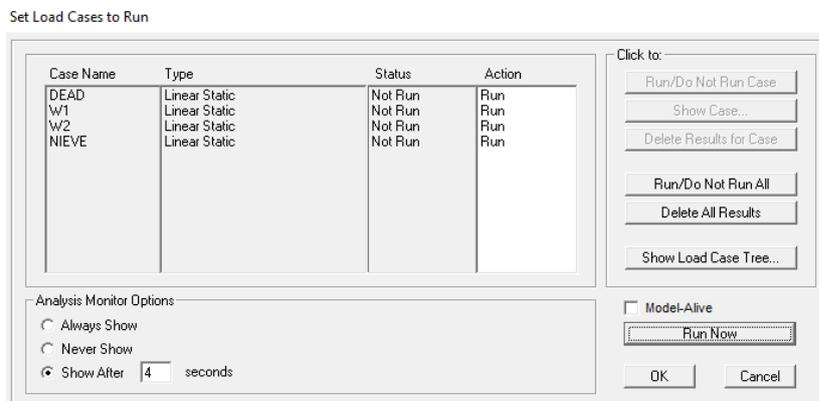


**Figura 63. Combinaciones**

Para finalizar se hace correr el programa activando las cargas que queremos que analice y pulsamos *Run Now* para obtener los resultados



**Figura 64. Activar el análisis del modelo**



**Figura 65. Activación de los patrones de carga y ejecución del análisis**

## DIMENSIONAMIENTO DE LOS SOPORTES

### E.L.S. DEFORMACION

En el cálculo del Estado Límite de Servicio de Deformación del pilar se van a comprobar los Criterios de Integridad y de Apariencia, interpretando que en este tipo de edificaciones el confort de los usuarios se ve afectado.

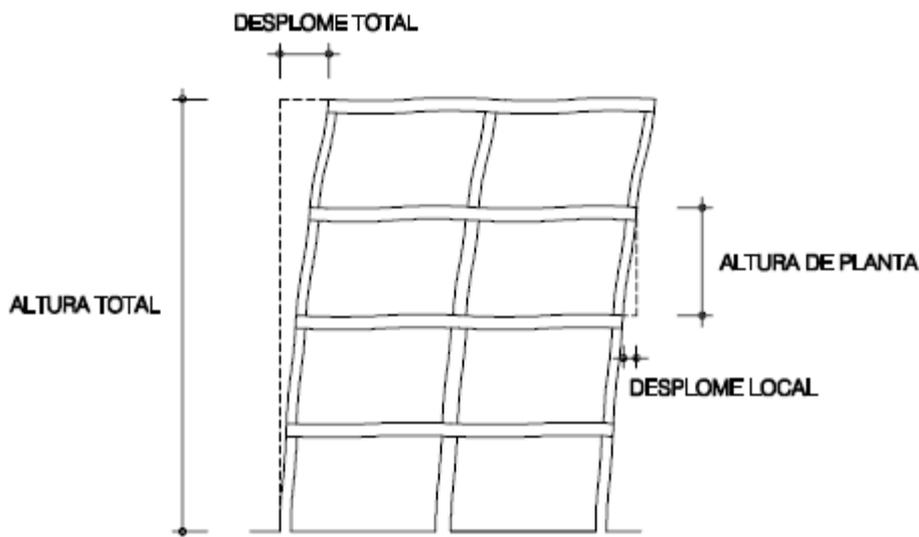
Se decide emplear para los pilares perfiles tipo HEA, dado que se trata de un perfil que presenta resistencia en las dos direcciones (necesario puesto que tenemos momentos en el plano del pórtico y en el plano perpendicular al pórtico) combinado con su ligereza respecto al HEB.

Después de realizar varias iteraciones, se observa que el perfil que más se ajusta a las restricciones, cumpliéndolas en todo caso, es el perfil HEA 500.

### CRITERIO DE INTEGRIDAD

Cuando se considere la integridad de los elementos constructivos, se admite que la estructura global tiene suficiente rigidez lateral, si ante cualquier combinación de acciones característica, el desplome es menor de:

- Desplome total  $\rightarrow$  1/500 de la altura del edificio
- Desplome local  $\rightarrow$  1/250 de la altura de la planta



**Figura 66. Desplomes.**

El desplome es la diferencia de flecha entre los extremos del pilar, el cual será mayor a mayor altura. Por lo que se puede afirmar que el desplome máximo aparecerá en las cabezas de los pilares interiores. Se analizan todas las combinaciones ELS del Anejo 2 obteniendo el siguiente resultado máximo, en valor absoluto.

$$U1(x) = 0,008018m$$

$$U1(x)/h \leq 1/250 \rightarrow 0,008018 / 10 = 8,018 \times 10^{-4} < 1/250 = 4 \times 10^{-3} \quad \checkmark \text{ CUMPLE}$$

#### CRITERIO DE APARIENCIA

Cuando se considere la apariencia de la obra, se admite que la estructura global tiene suficiente rigidez lateral, si ante cualquier combinación de acciones casi-permanentes, el desplome relativo es menor de 1/250.

Para este criterio solo se tiene una combinación que es la ELS96, obteniendo el siguiente valor máximo:

$$U1(x) = 0,0003201m$$

$$U1(x)/h \leq 1/250 \rightarrow 0,0003201 / 10 = 3,201 \times 10^{-5} < 1/250 = 4 \times 10^{-3} \quad \checkmark \text{ CUMPLE}$$

El perfil HEA 500 cumple las condiciones de deformación.

#### E.L.U. RESISTENCIA

Para la comprobación de Estados Límites Últimos se verificará que en ninguna sección de la barra se sobrepasa la tensión máxima del material.

Debido a que el perfil elegido tiene un área suficiente para soportar el axil generado, lo importante será comprobar que también puede cumplir a flexión con el máximo momento obtenido de entre todas las combinaciones de ELU del Anejo 2.

Se analizan todas las combinaciones de ELU, representando la envolvente de las combinaciones y dimensionando en base al mayor momento flector.

Hay que comentar que también aparecen unos momentos flectores en el plano perpendicular al pórtico interior (YZ), pero como son tan pequeños comparados con los del plano del pórtico (XZ) se consideran despreciables.

El mayor momento se da en la combinación ELU48. Con unos datos de:

$$M = -221,1854 \text{ KNm}$$

$$V = 32,4793 \text{ KN}$$

$$N = -494,205 \text{ KN}$$

Interacción con el cortante

Se debe comprobar si  $V_{Ed} \leq 0,5 \cdot V_{Pl,Rd}$ , en caso afirmativo no habrá interacción del cortante.

$$V_{Ed} = 32,4793 \text{ KN}$$

$$V_{Pl,Rd} = A_v \times f_{yd} \times \sqrt{3} = 7520 \times 275 / 1,05 \times \sqrt{3} = 3411,31 \text{ kN}$$

$A_v$  es el área a cortante del perfil HEA 500, valor que se obtiene del prontuario de perfiles laminados en caliente  $\rightarrow A_v = 7520 \text{ mm}^2$

$$\text{Resistencia de cálculo} \rightarrow f_{yd} = \frac{f_y}{\gamma_{M1}}$$

Siendo:

$$f_y \text{ la tensión del límite elástico del material, para acero S275JR} \rightarrow f_y = 275 \text{ N/mm}^2$$

$\gamma_{M1}$  el coeficiente parcial de seguridad del material relativo a los fenómenos de inestabilidad cuyo valor es 1,05

$$V_{Ed} = 32,4793 \leq 0,5 \times V_{Pl,Rd} = 0,5 \times 3411,31 = 1705,657 \text{ kN} \quad \checkmark \text{ CUMPLE}$$

Por lo que no hay interacción con el cortante.

#### COMPROBACIÓN A FLEXIÓN COMPUESTA SIN CORTANTE

Un perfil HEA 500 de acero S275JR sometido a flexión y compresión es de clase 1 según lo indica el prontuario CEDEX (Anejo 1)

$$\frac{N_{Ed}}{N_{Pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{Pl,Rdy}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{Pl,Rdz}} \leq 1$$

$$N_{Pl,Rd} = A \times f_{yd} = 19800 \times 275 / 1,05 = 5185,714 \text{ KN}$$

Siendo:

$$A_{HEA500} = 19800 \text{ mm}^2$$

$$M_{Pl,Rdy} = W_{Ply} \times f_{yd} = 3940 \times 10^3 \times 275 / 1,05 = 1031,904 \text{ KN x m}$$

siendo

$$W_{Ply} = 3940 \times 10^3 \text{ mm}^3$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{Pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{Pl,Rdy}} = 0,3096 \leq 1 \quad \checkmark \text{ CUMPLE}$$

Al cumplir esta condición no es necesario refuerzo en ninguno de los extremos del pilar, ya que por sí solo cumple holgadamente las condiciones de resistencia.

E.L.U. PANDEO

En esta comprobación se debe verificar que el pilar no supera la tensión crítica de pandeo en ninguno de los dos planos fundamentales de trabajo, el plano del pórtico (XZ) y el plano perpendicular al pórtico (YZ).

La comprobación se llevará a cabo con las siguientes fórmulas:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot A^* \cdot f_{yd}} + k_y \cdot \frac{c_{m,y} \cdot M_{y,Ed} + e_{N,y} \cdot N_{Ed}}{\chi_{LT} W_y \cdot f_{yd}} + \alpha_z \cdot k_z \cdot \frac{c_{m,z} \cdot M_{z,Ed} + e_{N,z} \cdot N_{Ed}}{W_z \cdot f_{yd}} \leq 1$$

Además, sólo en piezas susceptibles de pandeo por torsión

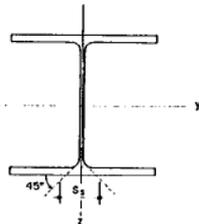
$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot A^* \cdot f_{yd}} + k_{yLT} \cdot \frac{M_{y,Ed} + e_{N,y} \cdot N_{Ed}}{\chi_{LT} W_y \cdot f_{yd}} + k_z \cdot \frac{c_{m,z} \cdot M_{z,Ed} + e_{N,z} \cdot N_{Ed}}{W_z \cdot f_{yd}} \leq 1$$

Figura 67. Formulas ELU Pandeo

Se deben calcular los coeficientes de reducción por pandeo en ambos planos y realizar las comprobaciones para el punto más desfavorable, que será el que presente mayor momento. En este caso la combinación pésima es la misma que en la comprobación de ELU Resistencia → ELU48

La Norma establece que las características geométricas del perfil a utilizar en cada uno de los planos de comprobación serán las correspondientes al plano perpendicular al de estudio.

A continuación, se detallan las principales características del perfil HEA 500



$A_{v,y}$  (EC-3, art 5.4.6.(2).a)  
 $A_{v,z} = 2 b t_f$

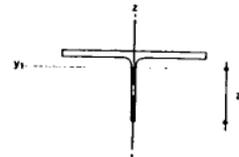
Momento estático de media sección respecto a la fibra neutra:  
 $S_y = 1/2 W_{pl,y}$   
 $S_z = 1/2 W_{pl,z}$

$I_t$  Módulo de torsión de Saint Venant

$s_x$  Anchura de apoyo (EC-3, art 5.7.2)

$I_{y1}$  Momento de inercia de medio perfil respecto al eje 1-1

**Perfiles HEA**



| HEA | Valores estáticos |                 |   |   |   |       |                 |   |   |   |       |   |       |       |   |
|-----|-------------------|-----------------|---|---|---|-------|-----------------|---|---|---|-------|---|-------|-------|---|
|     | A                 | $A_{v,y}$       | $I_y$                                   | $W_y$                                   | $W_{pl,y}$                              | $I_z$ | $A_{v,z}$       | $I_t$                                   | $W_z$                                   | $W_{pl,z}$                              | $I_x$ | $I_y$                                   | $s_x$ | $z_1$ | $I_{y1}$                                |
|     | mm <sup>2</sup>   | mm <sup>2</sup> | mm <sup>4</sup><br>(x 10 <sup>5</sup> ) | mm <sup>3</sup><br>(x 10 <sup>3</sup> ) | mm <sup>3</sup><br>(x 10 <sup>3</sup> ) | mm    | mm <sup>2</sup> | mm <sup>4</sup><br>(x 10 <sup>5</sup> ) | mm <sup>3</sup><br>(x 10 <sup>3</sup> ) | mm <sup>3</sup><br>(x 10 <sup>3</sup> ) | mm    | mm <sup>4</sup><br>(x 10 <sup>5</sup> ) | mm    | mm    | mm <sup>4</sup><br>(x 10 <sup>5</sup> ) |
| 500 | 19800             | 7520            | 869,7                                   | 3550                                    | 3940                                    | 210   | 13800           | 104                                     | 691                                     | 1060                                    | 72,4  | 3,47                                    | 89,6  | 200   | 39,9                                    |

Tabla 26. Características del perfil HEA 500

Calculo de los coeficientes de reducción por pandeo

-PLANO DEL PÓRTICO XZ

En el plano del pórtico tenemos los perfiles de los pilares colocados de tal forma que el eje perpendicular al plano es el eje fuerte, ya que los momentos son mayores en ese plano → eje y

Las condiciones de sustentación del pilar se corresponden con el caso canónico de empotrado – articulado. El soporte está empotrado en su base por la cimentación, mientras que en cabeza se encuentra articulado por la presencia de las diagonales que conforman la viga a contraviento longitudinal.

$$\beta = 0,7 \text{ (Empotrado--- articulado)}$$

$$Lky = \beta \cdot L = 0,7 \cdot 10 = 7m$$

$$\lambda y = \frac{Lky}{iy} \times \sqrt{\frac{fy}{E}} = \frac{7000}{210} \times \sqrt{\frac{275}{210000}} = 0,68 < 2 \checkmark$$

$$\phi y = 0,5 \times [ 1 + \alpha \times (\lambda y - 0,2) + \lambda y^2 ]$$

$\alpha$  es el coeficiente de imperfección elástica que adopta los valores según la curva de pandeo. La curva de pandeo depende de la sección transversal del perfil, en este caso se tiene

$$\frac{h}{b} = \frac{490}{300} = 1,633 > 1,2 \text{ y } t = 23mm < 40mm$$

Tabla 6.2 Curva de pandeo en función de la sección transversal

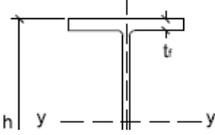
| Tipo de sección  | Tipo de acero S235 a S355    |   |          |
|--|------------------------------|---|----------|
|  | Eje de pandeo <sup>(1)</sup> |   |          |
|  | y                            | z |          |
| Perfiles laminados en I<br> | h/b > 1,2      t ≤ 40 mm     |   | a      b |
|  | 40 mm < t ≤ 100 mm           |   | b      c |

Tabla 27. Curva de pandeo del perfil HEA 500 en ambos planos en pórtico interior.

Al eje “y” le corresponde la curva de pandeo “a”, para la cual el valor de  $\alpha = 0,21$

Tabla 6.3 Valores del coeficiente de pandeo ( $\chi$ )

| Esbeltez reducida                        | Curva de pandeo |      |      |      |      |
|--|-----------------|------|------|------|------|
|  | a <sub>0</sub>  | a    | b    | c    | d    |
| Coeficiente ( $\alpha$ ) de imperfección | 0,13            | 0,21 | 0,34 | 0,49 | 0,76 |

Tabla 28. Valor del coeficiente de imperfección para la curva de pandeo a en perfil HEA 500.

$$\phi y = 0,5 \times [1 + 0,21 \times (0,68 - 0,2) + (0,68)^2] = 0,7816$$

$$\chi y = \frac{1}{\phi y + \sqrt{\phi y^2 - (\lambda y)^2}} = \frac{1}{0,7816 + \sqrt{0,7816^2 - (0,68)^2}} = 0,8569 < 1 \quad \checkmark$$

- PLANO PERPENDICULAR AL PÓRTICO YZ

En este plano se deben utilizar las características del perfil correspondientes al eje z.

Las condiciones de sustentación del pilar se corresponden con el caso canónico de empotrado – articulado.

El soporte está empotrado en su base por la cimentación, mientras que en cabeza se encuentra articulado por la presencia de las “Cruces de San Andrés”.

$$\beta = 0,7 \text{ (Empotrado- articulado)}$$

$$Lkz = \beta \cdot L = 0,7 \cdot 10 = 7m$$

$$\lambda z = \frac{Lkz}{iz} \times \frac{\sqrt{\frac{fy}{E}}}{\Pi} = \frac{7000}{72,4} \times \frac{\sqrt{\frac{275}{210000}}}{\Pi} = 1,11 < 2 \quad \checkmark$$

$$\phi z = 0,5 \times [1 + \alpha \times (\lambda z - 0,2) + \lambda z^2]$$

Al eje z le corresponde la curva de pandeo b, para la cual el valor de  $\alpha = 0,34$

Tabla 6.3 Valores del coeficiente de pandeo ( $\chi$ )

| Esbeltez reducida                         | Curva de pandeo |      |      |      |      |
|---|-----------------|------|------|------|------|
|   | a <sub>0</sub>  | a    | b    | c    | d    |
| Coefficiente ( $\alpha$ ) de imperfección | 0,13            | 0,21 | 0,34 | 0,49 | 0,76 |

Tabla 29. Valor del coeficiente de imperfección en el plano perpendicular al pórtico en perfil HEA 500.

$$\phi z = 0,5 \times [1 + 0,34 \times (1,113 - 0,2) + (1,113)^2] = 1,2745$$

$$\chi z = \frac{1}{\phi z + \sqrt{\phi z^2 - (\lambda z)^2}} = \frac{1}{1,2745 + \sqrt{1,2745^2 - (1,113)^2}} = 0,5275 < 1 \quad \checkmark$$

Calculo del coeficiente de reducción por pandeo lateral

El factor de reducción por pandeo lateral se podrá determinar a partir de la expresión:

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - (\lambda_{LT})^2}}$$

Donde:

$$\phi_{LT} = 0,5 \times [ 1 + \alpha \times (\lambda_{LT} - 0,2) + \lambda_{LT}^2 ]$$

Siendo:

$\lambda_{LT}$  la esbeltez relativa frente al pandeo lateral

$\alpha_{LT}$  el factor de imperfección obtenido de la siguiente tabla

**Tabla 6.6 Factor de imperfección  $\alpha_{LT}$**

| Elemento                               | Límites      | Curva de pandeo | $\alpha_{LT}$ |
|--|--------------|-----------------|---------------|
| Perfil laminado con sección en doble T | $h/b \leq 2$ | a               | 0,21          |
|  | $h/b > 2$    | b               | 0,34          |

**Tabla 30. Factor de imperfección en pandeo lateral para el perfil HEA500**

La esbeltez relativa frente al pandeo lateral se determinará según la relación:

$$\lambda_{LT} = \sqrt{\frac{W_y \times f_y}{M_{CR}}}$$

Donde:

$M_{CR}$  es el momento crítico elástico de pandeo lateral, que se determinará según la teoría de la elasticidad mediante la siguiente expresión:

$$M_{CR} = \sqrt{MLTV^2 + MLTW^2}$$

$$MLTV = C_1 \times \frac{\pi}{L_c} \sqrt{G \times I_T \times E \times I_z}$$

$L_c$  es la distancia entre apoyos laterales que impiden el pandeo, en este caso 10m

Para determinar el valor del coeficiente  $C_1$  es necesario conocer los valores de los momentos de los extremos para ver a que diagrama, de entre los de la tabla siguiente, se asemeja nuestro caso:



Figura 68. Diagrama de esfuerzos en pilares interiores

Tabla 6.7 Valor del factor  $C_1$  correspondiente a los valores del factor  $k_\psi$  ( $k_w=1$ )

| Condiciones de apoyo y tipo de sollicitación | Diagrama de momentos flectores | $C_1$ |
|--|--------------------------------|-------|
|  | $\psi=+1$<br>                  | 1     |
|  | $\psi=+3/4$<br>                | 1,14  |
|  | $\psi=+1/2$<br>                | 1,32  |
|  | $\psi=+1/4$<br>                | 1,56  |
|  | $\psi=0$<br>                   | 1,88  |

Tabla 31. Valor del factor  $C_1$  en pilares de pórticos interiores.

$$MLTV = 1,88 \times \frac{\pi}{10000} \sqrt{81000 \times 3,47 \times 10^6 \times 210000 \times 104 \times 10^6}$$

$$MLTV = 1463,326 \text{ KN} \times \text{m}$$

$$MLTw = Wel,y \times \frac{\pi^2}{Lc^2} \times E \times C1 \times if,z^2$$

$$if,z = \sqrt{\frac{If,z}{Af,z}}$$

$$If,z = \frac{b^3 \times tf}{12} + \frac{tw^3}{12} \times \left(\frac{h-2 \times tf}{6}\right) = 51760656 \text{ mm}^4$$

$$Af,z = b \times tf + \left(\frac{h-2 \times tf}{6}\right) \times tw = 7788 \text{ mm}^2$$

$$MLTw = 3550 \times 10^3 \times \frac{\pi^2}{10000^2} \times 210000 \times 1,88 \times \frac{51760656}{7788}$$

$$MLT_w = 919,346 \text{ KN x m}$$

$$MCR = \sqrt{MLT_v^2 + MLT_w^2} = 1728,155 \text{ KN x m}$$

$$\lambda_{LT} = \sqrt{\frac{W_y \times f_y}{MCR}} = \sqrt{\frac{3550 \times 10^3 \times 275}{1728,155 \times 10^6}} = 0,7516$$

$$\phi_{LT} = 0,5 \times [1 + 0,21 \times (0,7516 - 0,2) + 0,7516^2] = 0,8403$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{0,8403 + \sqrt{0,8403^2 - (0,7516)^2}} = 0,8222 < 1 \quad \checkmark$$

Por último, falta obtener los coeficientes de interacción según peor clase de la pieza según indica el CTE:

Tabla 6.9 Coeficientes de interacción según peor clase de sección en la pieza

| Clase | Tipo de sección | $k_y$  | $k_z$  | $k_{yLT}$  |
|-------|-----------------|--|--|--|
| 1 y 2 | I, H, abiertas  | $1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{C,Rd}}$ | $1 + (2 \cdot \bar{\lambda}_z - 0,6) \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{C,Rd}}$ | el menor de<br>$1 - \frac{0,1 \cdot \bar{\lambda}_z}{(c_{mLT} - 0,25)} \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{C,Rd}}$ |
|       | Hueca delgada   |  | $1 + (\bar{\lambda}_z - 0,2) \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{C,Rd}}$         | $0,6 + \bar{\lambda}_z$  |

Tabla 32. Coeficientes de interacción según peor clase de sección de la pieza.

$$k_y = 1 + (0,68 - 0,2) \times \frac{494,205}{0,8569 \times 5185,714} = 1,0053$$

$$N_{pl,Rd} = A^* \times \frac{f_y}{\gamma_{M1}} = 19800 \times \frac{275}{1,05} = 5185,714 \text{ KN}$$

El valor de  $A^*$  según indica la siguiente tabla coincide con el valor del área del perfil:

Tabla 6.8 Términos de comprobación, según peor clase de sección en la pieza

| Clase | $A^*$ | $W_y$      | $W_z$      | $\alpha_y$ | $\alpha_z$ | $e_{N,y}$ | $e_{N,z}$ |
|-------|-------|------------|------------|------------|------------|-----------|-----------|
| 1     | A     | $W_{pl,y}$ | $W_{pl,z}$ | 0,6        | 0,6        | 0         | 0         |
| 2     | A     | $W_{pl,y}$ | $W_{pl,z}$ | 0,6        | 0,6        | 0         | 0         |
| 3     | A     | $W_{el,y}$ | $W_{el,z}$ | 0,8        | 1          | 0         | 0         |

Tabla 33. Términos de comprobación para peor clase de sección en la pieza en pilares de pórtico interior.

Para obtener el valor de  $c_{mLT}$  es necesario calcular el coeficiente del momento equivalente, dato que encontramos en la siguiente tabla del CTE-DB-SE-A

Tabla 6.10 Coeficientes del momento equivalente

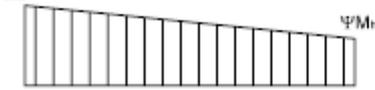
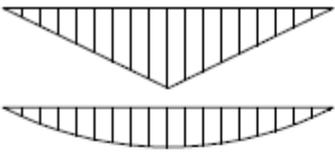
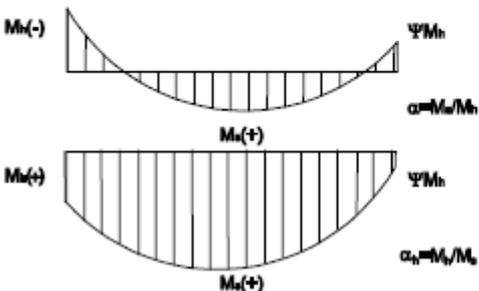
| Factor de momento flector   | Eje de flexión   | Puntos arriostrados en dirección |
|---|--|----------------------------------|
| $c_{m,y}$   | y-y  | z-z                              |
| $c_{m,z}$   | z-z  | y-y                              |
| $c_{m,LT}$  | y-y  | y-y                              |
| Diagrama de Flectores   | Factor de momento uniforme equivalente   |                                  |
|   | $c_{m,y} = c_{mJ} (i=y)$<br>$c_{m,z} = c_{mJ} (i=z)$<br>$c_{m,LT} = c_{mJ} (i=LT)$ |                                  |
| <p>Momentos de extremo <math>-1 \leq \psi \leq 1</math></p>  <p style="text-align: right;"><math>c_{mJ} = 0,6 + 0,4 \cdot \psi \geq 0,4</math></p>   |  |                                  |
| <p>Momento debido a cargas laterales coplanarias</p>  <p style="text-align: right;"><math>c_{mJ} = 0,9</math></p> <p style="text-align: right;"><math>c_{mJ} = 0,95</math></p>   |  |                                  |
| <p>Momentos debidos a cargas laterales y momentos de extremos</p>  <p style="text-align: right;"><math>c_{mJ} = 0,1 - 0,8 \cdot \alpha \geq 0,4</math> si <math>-1 \leq \alpha \leq 0</math></p> <p style="text-align: right;"><math>c_{mJ} = 0,2 + 0,8 \cdot \alpha \geq 0,4</math> si <math>0 \leq \alpha \leq 1</math></p> <p style="text-align: right;"><math>c_{mJ} = 0,95 + 0,05 \cdot \alpha_h</math> con <math>-1 \leq \alpha_h \leq 1</math></p> |  |                                  |

Tabla 34. Coeficientes del momento equivalente.

Debido a que el pilar presenta un valor constante de cortante, el modelo que debemos utilizar para calcular el coeficiente de momento equivalente es el correspondiente a momentos extremos, Además como el valor calculado es inferior al establecido por la norma se elige 0,4

El valor de  $kLT$  será el menor de los dos siguientes:

$$1 - \frac{0,1 \times 1,11}{0,4 - 0,25} \times \frac{492,205}{0,5275 \times 5185,714} = \underline{0,8668}$$

$$0,6 + 1,11 = 1,71$$

## COMPROBACIONES

– Para toda la pieza:

$$\frac{494,205 \times 10^3}{0,8569 \times 5185714,286} + 1,0053 \times \frac{0,4 \times 221,1854 \times 10^6}{0,7516 \times 3550 \times 10^3 \times 275/1,05} = 0,2384 \leq 1 \quad \checkmark \quad \text{CUMPLE}$$

- Además, para piezas susceptibles de pandeo por torsión:

$$\frac{494,205 \times 10^3}{0,5275 \times 5185714,286} + 0,8668 \times \frac{221,1854 \times 10^6}{0,7516 \times 3550 \times 10^3 \times 275/1,05} = 0,4294 \leq 1 \quad \checkmark \quad \text{CUMPLE}$$

El perfil HEA 500 cumple las comprobaciones a pandeo

## DIMENSIONAMIENTO DE LAS VIGAS

### E.L.S. DEFORMACION

En el cálculo del Estado Límite de Servicio de Deformación de las vigas se van a comprobar los Criterios de Integridad y de Apariencia. Se tendrán en cuenta los desplazamientos verticales en lugar de los horizontales.

Se decide emplear para las vigas perfiles tubulares, utilizados por su reducido peso y su gran aptitud para este servicio.

Después de realizar varias iteraciones, se observa que el perfil que más se ajusta a las restricciones, cumpliéndolas en todo caso, es el perfil 300x300x12.

### CRITERIO DE INTEGRIDAD

Cuando se considere la integridad de los elementos constructivos, se admite que la estructura horizontal de un piso o cubierta es suficientemente rígida si, para cualquiera de sus piezas, ante cualquier combinación de acciones característica, considerando solo las deformaciones que se producen después de la puesta en obra del elemento, la flecha relativa es menor que:

- 1/500 en pisos con tabiques frágiles o pavimentos sin juntas
- 1/400 en pisos con tabiques ordinarios o pavimentos rígidos con juntas
- 1/300 en el resto de los casos

Tras analizar todas las combinaciones de ELS del Anejo 2, se elige la de mayor momento en el interior de las vigas, ya que será la que mayor carga aplicada tenga y, por tanto, la que mayor deformación provoque.

De estos dos valores, se escoge el mayor, en este caso la combinación ELS78 con unos esfuerzos máximos de:

$$M = -60,1011 \text{ KN m}$$

$$V = -24,7465 \text{ KN}$$

$$N = -62,5375 \text{ KN}$$

A continuación, se muestra el diagrama de la viga completa:

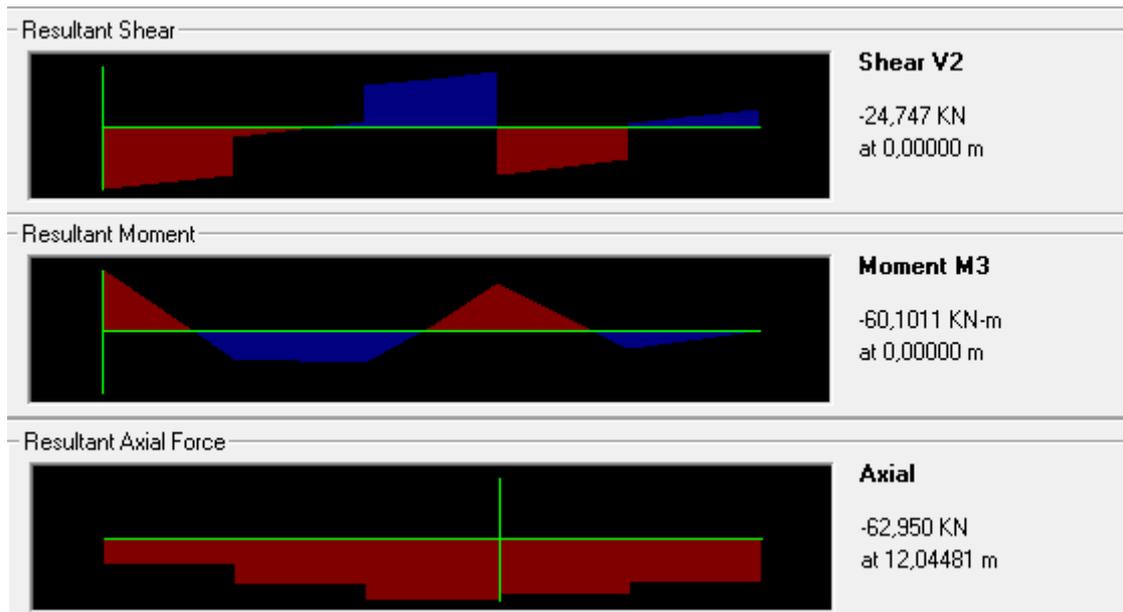


Figura 69. Diagrama de esfuerzos en vigas

Se comprueba que el máximo desplazamiento del punto de la cumbrera cumpla con el criterio de confort de los usuarios.

$$U1(x)/h \leq 1/250 \rightarrow 0,00435 / 11,73 = 3,71 \times 10^{-4} < 1/250 = 4 \times 10^{-3} \quad \checkmark \text{ CUMPLE}$$

$$U1(y)/h \leq 1/250 \rightarrow 0,00128 / 11,73 = 1,08 \times 10^{-4} < 1/250 = 4 \times 10^{-3} \quad \checkmark \text{ CUMPLE}$$

#### CRITERIO DE APARIENCIA

Para este criterio sólo se tiene una combinación que es la ELS96. Se comprueba que el máximo desplazamiento del punto de la cumbrera cumpla con el criterio de confort de los usuarios. En este caso, el desplazamiento en la dirección "x" (U1) es prácticamente nulo, mientras que en la dirección "y" (U2) si aparece un desplazamiento significativo

Para este criterio solo se tiene una combinación que es la ELS96, obteniendo el siguiente valor máximo:

$$U1(x) = 9,23182341832013E-09 \text{ m}$$

$$U2(y) = 0,00803 \text{ m}$$

$$U2(y)/h \leq 1/250$$

$$0,00803 / 11,73 = 6,845 \times 10^{-4} < 1/250 = 4 \times 10^{-3} \quad \checkmark \text{ CUMPLE}$$

El perfil 300x300x12 cumple las condiciones de deformación.

### E.L.U. RESISTENCIA

Se procede de la misma forma que para la comprobación de resistencia en los pilares, buscando la combinación para la cual aparece el máximo momento en las vigas. Tras analizar todas las combinaciones de ELU del Anejo 2, se observa que el mayor momento (junto con sus esfuerzos concomitantes) lo provoca la combinación ELU48

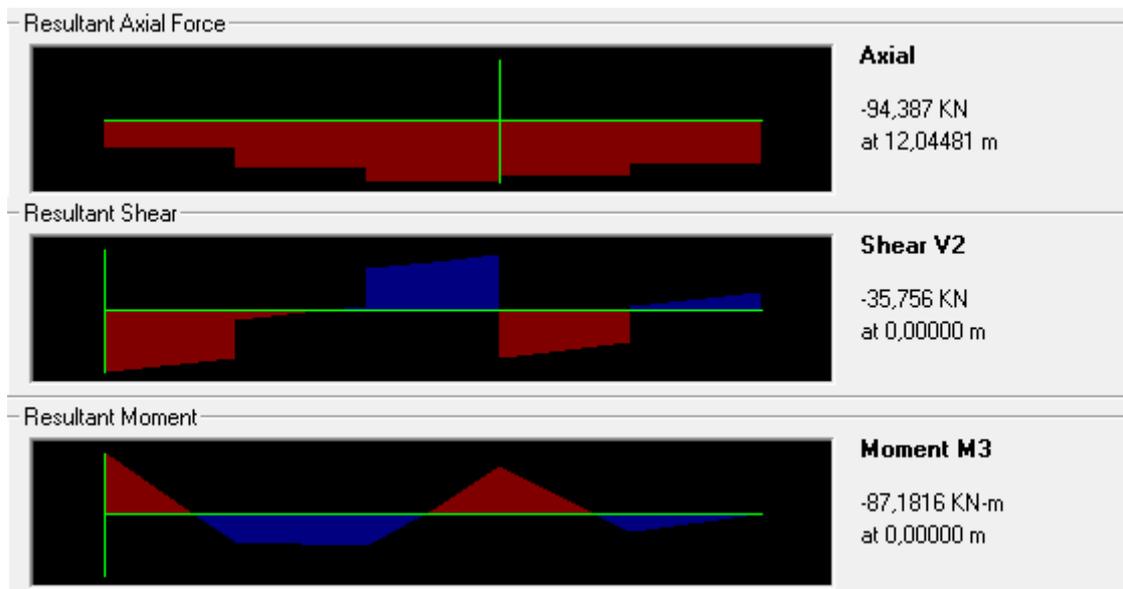


Figura 70. Diagrama de esfuerzos de viga

Interacción con el cortante

Se debe comprobar si  $V_{Ed} \leq 0,5 \cdot V_{PI,Rd}$ , en caso afirmativo no habrá interacción del cortante.

$$V_{Ed} = 35,75 \text{ kN}$$

$$V_{PI, Rd} = A_v \times f_{yd} \times \sqrt{3} = 6700 \times 275 / 1,05 \times \sqrt{3} = 3039,33 \text{ kN}$$

$A_v$  es el área a cortante del perfil 300x300x12, valor que se obtiene del prontuario de perfiles laminados en caliente  $\rightarrow A_v = 6700 \text{ mm}^2$

$$\text{Resistencia de cálculo} \rightarrow f_{yd} = \frac{f_y}{\gamma_{M1}}$$

Siendo:

$$f_y \text{ la tensión del límite elástico del material, para acero S275JR} \rightarrow f_y = 275 \text{ N/mm}^2$$

$\gamma_{M1}$  el coeficiente parcial de seguridad del material relativo a los fenómenos de inestabilidad cuyo valor es 1,05

$$V_{Ed} = 32,4793 \leq 0,5 \times V_{Pl,Rd} = 0,5 \times 3039,33 = 1519,66 \text{ kN} \checkmark \text{ CUMPLE}$$

Por lo que no hay interacción con el cortante.

#### COMPROBACIÓN A FLEXIÓN COMPUESTA SIN CORTANTE

Un perfil 300x300x12 de acero S275JR sometido a flexión y compresión es de clase 1 según lo indica el prontuario CEDEX (Anejo 1)

$$\frac{N_{Ed}}{N_{Pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{Pl,Rdy}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{Pl,Rdz}} \leq 1$$

$$N_{Pl,Rd} = A \times f_{yd} = 13400 \times 275 / 1,05 = 3509,523 \text{ KN}$$

Siendo:

$$A_{300 \times 300 \times 12} = 13400 \text{ mm}^2$$

$$M_{Pl,Rdy} = W_{Ply} \times f_{yd} = 1430 \times 10^3 \times 275 / 1,05 = 374,523 \text{ KN x m}$$

siendo

$$W_{Ply} = 1430 \times 10^3 \text{ mm}^3$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{Pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{Pl,Rdy}} = 0,2633 \leq 1 \checkmark \text{ CUMPLE}$$

Al cumplir esta condición no es necesario refuerzo en ninguno de los extremos del pilar, ya que por sí solo cumple holgadamente las condiciones de resistencia.

#### E.L.U. PANDEO

La comprobación se llevará a cabo con las siguientes fórmulas:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot A^* \cdot f_{yd}} + k_y \cdot \frac{c_{m,y} \cdot M_{y,Ed} + e_{N,y} \cdot N_{Ed}}{\chi_{LT} W_y \cdot f_{yd}} + \alpha_z \cdot k_z \cdot \frac{c_{m,z} \cdot M_{z,Ed} + e_{N,z} \cdot N_{Ed}}{W_z \cdot f_{yd}} \leq 1$$

Además, sólo en piezas susceptibles de pandeo por torsión

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot A^* \cdot f_{yd}} + k_{yLT} \cdot \frac{M_{y,Ed} + e_{N,y} \cdot N_{Ed}}{\chi_{LT} W_y \cdot f_{yd}} + k_z \cdot \frac{c_{m,z} \cdot M_{z,Ed} + e_{N,z} \cdot N_{Ed}}{W_z \cdot f_{yd}} \leq 1$$

**Figura 71. Formulas ELU Pandeo**

Se deben calcular los coeficientes de reducción por pandeo en ambos planos y realizar las comprobaciones para el punto más desfavorable que será el que presente mayor momento. En este caso la combinación pésima es la misma que en la comprobación de ELU Resistencia → ELU48

La Norma establece que las características geométricas del perfil a utilizar en cada uno de los planos de comprobación serán las correspondientes al plano perpendicular al de estudio.

A continuación, se detallan las principales características del perfil 300x300x12:

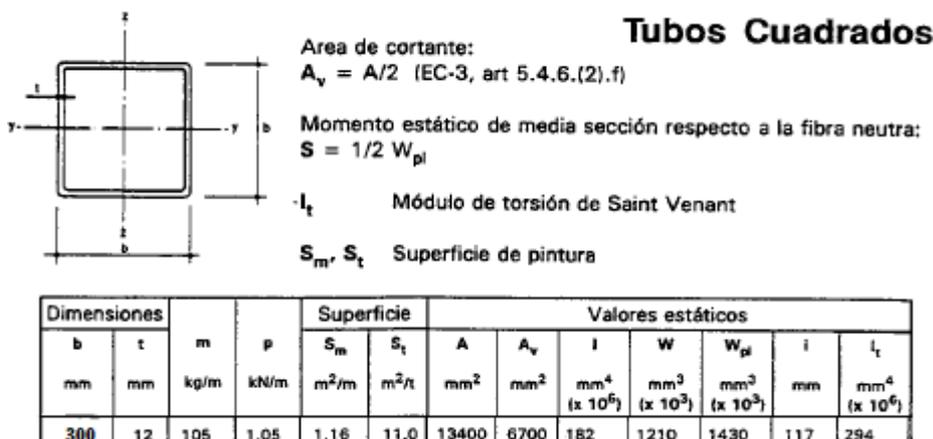


Tabla 35. Características del perfil 300x300x12

-PLANO DEL PÓRTICO XZ

En este plano las condiciones de sustentación son de empotramiento elástico en ambos extremos, debido a los soportes que sujetan a las vigas, impidiendo que se puedan desplazar horizontalmente. No hay posibilidad de movimiento relativo vertical entre apoyos dado que los pilares lo impiden (intraslacionalidad, GT=0).

Las condiciones de sustentación de las vigas se corresponden con el caso canónico de articulado – articulado. Además, a efecto de pandeo, se consideran las dos vigas como un elemento único.  $\beta = 1$  (Articulado --- articulado)

$\beta = 1$  (Empotrado--- articulado)

$L_{ky} = \beta \cdot L = 1 \cdot 40 = 40m$

$$\lambda_y = \frac{L_{ky}}{i_y} \times \sqrt{\frac{f_y}{E}} = \frac{40000}{117} \times \sqrt{\frac{275}{210000}} = 3,93 > 2 \rightarrow 2$$

$\phi_y = 0,5 \times [ 1 + \alpha \times (\lambda_y - 0,2) + \lambda_y^2 ]$

$\alpha$  es el coeficiente de imperfección elástica que adopta los valores según la curva de pandeo. La curva de pandeo depende de la sección transversal del perfil, en este caso se tiene

Tabla 6.2 Curva de pandeo en función de la sección transversal

| Tipo de sección   | Tipo de acero         | S235 a S355                  |   | S450           |                |
|---|-----------------------|------------------------------|---|----------------|----------------|
|   |                       | Eje de pandeo <sup>(1)</sup> |   | y              | z              |
| <br>Tubos de chapa simples o agrupados | laminados en caliente | a                            | a | a <sub>0</sub> | a <sub>0</sub> |
|   | conformados en frío   | c                            | c | c              | c              |

Tabla 36. Curva de pandeo del perfil 300x300x12 en ambos planos

Al eje “y” le corresponde la curva de pandeo “c”, para la cual el valor de  $\alpha = 0,49$

Tabla 6.3 Valores del coeficiente de pandeo ( $\chi$ )

| Esbeltez reducida                         | Curva de pandeo |      |      |      |      |
|---|-----------------|------|------|------|------|
|   | a <sub>0</sub>  | a    | b    | c    | d    |
| Coefficiente ( $\alpha$ ) de imperfección | 0,13            | 0,21 | 0,34 | 0,49 | 0,76 |

Tabla 37. Valor del coeficiente de imperfección para la curva de pandeo a

$$\phi_y = 0,5 \times [1 + 0,49 \times (2 - 0,2) + (2)^2] = 2,941$$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - (\lambda y)^2}} = \frac{1}{2,689 + \sqrt{2,689^2 - (2)^2}} = 0,19618 < 1 \checkmark$$

-PLANO PERPENDICULAR AL PÓRTICO YZ

En este plano, la viga tiene impedido el pandeo por efecto de las correas que arriostran a distancias regulares y pequeñas, por lo que  $\chi_z = 1$ .

#### CALCULO DEL COEFICIENTE DE REDUCCION DE PANDEO LATERAL

El ala comprimida se encuentra arriostrada de forma casi continua por las correas a distancias regulares y pequeñas, menores de  $40 \cdot i_z$  o de forma continua, para que no se produzca pandeo lateral.

$$40 \cdot i_z = 40 \cdot 117 = 4680\text{mm} = 4,68\text{m}$$

Por lo que arriostraremos las vigas cada 4m.

$$\lambda_z = \frac{Lkz}{i_z} \times \frac{\sqrt{\frac{f_y}{E}}}{\Pi} = \frac{4000}{67,4} \times \frac{\sqrt{\frac{275}{210000}}}{\Pi} = 1,211 < 2 \checkmark$$

En este caso no será necesario calcular los coeficientes de reducción por pandeo lateral por el dimensionamiento anterior. Por último, falta obtener los coeficientes de interacción según peor clase de la pieza según indica el CTE

Tabla 6.9 Coeficientes de interacción según peor clase de sección en la pieza

| Clase | Tipo de sección | $k_y$  | $k_z$  | $k_{yLT}$  |
|-------|-----------------|--|--|--|
| 1 y 2 | I, H, abiertas  | $1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{C,Rd}}$ | $1 + (2 \cdot \bar{\lambda}_z - 0,6) \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{C,Rd}}$ | el menor de<br>$1 - \frac{0,1 \cdot \bar{\lambda}_z}{(c_{mLT} - 0,25)} \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{C,Rd}}$ |
|       | Hueca delgada   |  | $1 + (\bar{\lambda}_z - 0,2) \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{C,Rd}}$         | $0,6 + \bar{\lambda}_z$  |

Tabla 38. Coeficientes de interacción según peor clase de sección en la pieza.

$$k_y = 1 + (2 - 0,2) \cdot \frac{107,456}{0,1961 \times 3509,523} = 1,2809$$

$$N_{pl,Rd} = A^* \cdot f_{yd} = 13400 \times 275 / 1,05 = 3509,523 \text{ KN}$$

El valor de  $A^*$  según indica la siguiente tabla coincide con el valor del área del perfil:

Tabla 6.8 Términos de comprobación, según peor clase de sección en la pieza

| Clase | $A^*$ | $W_y$      | $W_z$      | $\alpha_y$ | $\alpha_z$ | $e_{N,y}$ | $e_{N,z}$ |
|-------|-------|------------|------------|------------|------------|-----------|-----------|
| 1     | A     | $W_{pl,y}$ | $W_{pl,z}$ | 0,6        | 0,6        | 0         | 0         |
| 2     | A     | $W_{pl,y}$ | $W_{pl,z}$ | 0,6        | 0,6        | 0         | 0         |
| 3     | A     | $W_{el,y}$ | $W_{el,z}$ | 0,8        | 1          | 0         | 0         |

Tabla 39. Términos de comprobación para peor clase de sección en la pieza en pilares de pórtico interior.

Para obtener el valor de  $c_{mLT}$  es necesario calcular el coeficiente del momento equivalente, dato que encontramos en la siguiente tabla del CTE-DB-SE-A

Tabla 6.10 Coeficientes del momento equivalente

| Factor de momento flector | Eje de flexión | Puntos arriostrados en dirección |
|---------------------------|----------------|----------------------------------|
| $c_{m,y}$                 | y-y            | z-z                              |
| $c_{m,z}$                 | z-z            | y-y                              |
| $c_{m,LT}$                | y-y            | y-y                              |

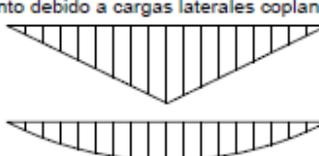
  

| Diagrama de Flectores | Factor de momento uniforme equivalente |
|-----------------------|--|
|                       | $c_{m,y} = c_{m,j} (i=y)$              |
|                       | $c_{m,z} = c_{m,j} (i=z)$              |
|                       | $c_{m,LT} = c_{m,j} (i=LT)$            |

| Momentos de extremo   |   |
|---|---|
|  | $c_{m,j} = 0,8 + 0,4 \cdot \psi \geq 0,4$ |

| Momento debido a cargas laterales coplanarias                                     |                                     |
|---|-------------------------------------|
|  | $c_{m,j} = 0,9$<br>$c_{m,j} = 0,95$ |

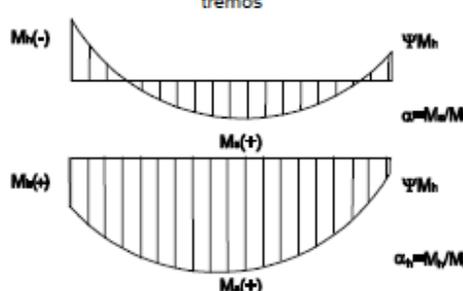
| Momentos debidos a cargas laterales y momentos de extremos                         |   |
|--|---|
|  | $c_{m,j} = 0,1 - 0,8 \cdot \alpha \geq 0,4$ si $-1 \leq \alpha \leq 0$<br>$c_{m,j} = 0,2 + 0,8 \cdot \alpha \geq 0,4$ si $0 \leq \alpha \leq 1$<br>$c_{m,j} = 0,95 + 0,05 \cdot \alpha_h$ con $-1 \leq \alpha_h \leq 1$ |

Tabla 40. Coeficientes del momento equivalente.

Debido a que el soporte no presenta un valor constante de cortante, el modelo que debemos utilizar para calcular el coeficiente de momento equivalente es el correspondiente a momentos extremos.

Tras realizar los cálculos pertinentes, el valor calculado es inferior al establecido por la norma, por lo tanto, se elige 0,4

El valor de  $k_{LT}$  será el menor de los dos siguientes:

$$1 - \frac{0,1 \times 1,21}{0,4 - 0,25} \times \frac{107,456}{1 \times 3509,523} = \underline{0,9753 \checkmark}$$

$$0,6 + 1,21 = 1,81$$

## COMPROBACIONES

– Para toda la pieza:

$$\frac{107,456 \times 10^3}{0,1961 \times 3509,523 \times 10^3} + 1,2472 \times \frac{0,4 \times 87,1816 \times 10^6}{1 \times 1430 \times 10^3 \times 275/1,05} = 0,2534 \leq 1 \quad \checkmark \quad \mathbf{CUMPLE}$$

- Además, para piezas susceptibles de pandeo por torsión:

$$\frac{107,456 \times 10^3}{1 \times 3509,523 \times 10^3} + 0,9753 \times \frac{87,1816 \times 10^6}{1 \times 1430 \times 10^3 \times 275/1,05} = 0,2576 \leq 1 \quad \checkmark \quad \mathbf{CUMPLE}$$

El perfil 300x300x12 cumple las comprobaciones a pandeo

## DIMENSIONAMIENTO DE LA CERCHA

### MONTANTES

Como sus longitudes son limitadas solo hay que comprobar a ELU

Los montantes dentro del sistema de la cercha Pratt trabajan principalmente a compresión. Como se pretenden colocar todos los montantes iguales por tema de comodidad a la hora del montaje en obra, se busca de entre los montantes de todas las cerchas, aquella que presenta un máximo valor de axil a compresión.

El máximo axil es  $N_{Ed} = 237,026 \text{ kN}$  obtenido para la combinación ELU48.

### COMPROBACIÓN E.L.U. PANDEO

Al estar sometido a compresión la comprobación más restrictiva a la hora de dimensionar será la de E.L.U. Pandeo  $N_{Ed} = 237,026 \text{ kN}$

El montante se considera como biapoyado y con  $GT=0 \rightarrow \beta = 1$

$$l_k = \beta \cdot l = 1 \cdot 2,436 = 2,436 \text{ m}$$

L es la distancia del montante.

$$\lambda' = \lambda / \lambda_{lim} = \frac{l_k}{i \cdot \lambda_{lim}} \leq 2$$

$$\lambda_{lim} = \sqrt{\frac{\pi^2 \cdot E}{f_y}} = 86,814$$

De esta fórmula se despeja el valor del radio de giro para elegir el perfil en función de ese criterio

$$i = l_k / 2 \cdot \lambda_{lim} = 2436 / 2 \cdot 86,814 = 14,0298 \text{ mm}$$

De entre los perfiles huecos redondos que aparecen en el prontuario se debe elegir uno cuyo radio de giro (i) sea mayor que el obtenido. A su vez, debido a que el axil obtenido es un valor grande, el perfil que se elija debe tener área suficiente como para poder soportar el esfuerzo axil.

Se elige el O150.6 cuyas especificaciones se muestran en la siguiente tabla

| Dimensiones |    | m    | p     | Superficie            |                       | Valores estáticos |               |                              |                              |                              |      |                              |
|-------------|----|------|-------|-----------------------|-----------------------|-------------------|---------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------|------------------------------|
| b           | t  |      |       | $S_m$                 | $S_t$                 | A                 | $A_v$         | I                            | W                            | $W_{pl}$                     | i    | $I_t$                        |
| mm          | mm | kg/m | kN/m  | $\text{m}^2/\text{m}$ | $\text{m}^2/\text{t}$ | $\text{mm}^2$     | $\text{mm}^2$ | $\text{mm}^4$<br>(x $10^6$ ) | $\text{mm}^3$<br>(x $10^3$ ) | $\text{mm}^3$<br>(x $10^3$ ) | mm   | $\text{mm}^4$<br>(x $10^6$ ) |
| 150         | 6  | 21.3 | 0.213 | 0.471                 | 22.1                  | 2710              | 1730          | 7.04                         | 93,9                         | 124                          | 50,9 | 14,0                         |

**Tabla 41. Características perfil O150.6**

$$\lambda_y = \frac{Lk}{i} \times \frac{\sqrt{\frac{fy}{E}}}{\pi} = \frac{2436}{50,9} \times \frac{\sqrt{\frac{275}{210000}}}{\pi} = 0,94 < 2 \quad \checkmark$$

$$\phi_y = 0,5 \times [ 1 + \alpha \times (\lambda_y - 0,2) + \lambda_y^2 ]$$

siendo

$\alpha$  el coeficiente de imperfección elástica que adopta su valor en función de la curva de pandeo que presente el perfil

Tabla 6.2 Curva de pandeo en función de la sección transversal

| Tipo de sección   | Tipo de acero<br>Eje de pandeo <sup>(1)</sup> | S235 a S355 |   | S450           |                |
|---|---|-------------|---|----------------|----------------|
|   |   | y           | z | y              | z              |
| <br>Tubos de chapa simples o agrupados | laminados en caliente                         | a           | a | a <sub>0</sub> | a <sub>0</sub> |
|   | conformados en frío                           | c           | c | c              | c              |

Tabla 42. Curva de pandeo para los montantes

A la curva de pandeo c le corresponde el siguiente valor de  $\alpha$ :

Tabla 6.3 Valores del coeficiente de pandeo ( $\chi$ )

| Esbeltez reducida<br>Coeficiente ( $\alpha$ )<br>de imperfección | Curva de pandeo |      |      |      |      |
|--|-----------------|------|------|------|------|
|  | a <sub>0</sub>  | a    | b    | c    | d    |
|  | 0,13            | 0,21 | 0,34 | 0,49 | 0,76 |

Tabla 43. Valor del coeficiente de imperfección para la curva de pandeo de los montantes.

$$\phi = 0,5 \times [ 1 + 0,49 \times (0,94 - 0,2) + (0,94)^2 ] = 1,2131$$

$$\chi = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - (\lambda_y)^2}} = \frac{1}{1,2131 + \sqrt{1,2131^2 - (0,94)^2}} = 0,5471 < 1 \quad \checkmark$$

Para elegir la fórmula correcta de la comprobación a pandeo es necesario determinar a qué clase pertenecen los perfiles huecos

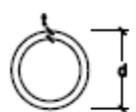
| Caso especial:  |                 |                                 |                                 |                                 |
|---|-----------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| sección tubular   | Compresión      |                                 |                                 |                                 |
|  | Flexión simple  | $\frac{d}{t} \leq 50\epsilon^2$ | $\frac{d}{t} \leq 70\epsilon^2$ | $\frac{d}{t} \leq 90\epsilon^2$ |
|   | Flexocompresión |                                 |                                 |                                 |
| Factor de reducción $\epsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}}$                             |                 |                                 |                                 |                                 |

Tabla 44. Límite de esbeltez para los perfiles huecos

$$\varepsilon = 0,9244$$

$$d/t = 150/6 = 25$$

$$d/t \leq 50 \cdot \varepsilon^2 \rightarrow 25 \leq 50 \cdot 0,9244^2 \rightarrow = 42,756 \rightarrow \text{CLASE 1}$$

El perfil pertenece a la clase 1 por lo que se debe utilizar la siguiente fórmula para la comprobación a pandeo

$$N_{ed}/\chi \cdot A^* \cdot f_{yd} \leq 1$$

$A^*$  toma el valor del área del perfil por ser clase 1, cuyo valor es  $A = 2710 \text{ mm}^2$

**Tabla 6.8 Términos de comprobación, según peor clase de sección en la pieza**

| Clase | $A^*$ | $W_y$      | $W_z$      | $\alpha_y$ | $\alpha_z$ | $e_{N,y}$ | $e_{N,z}$ |
|-------|-------|------------|------------|------------|------------|-----------|-----------|
| 1     | A     | $W_{pl,y}$ | $W_{pl,z}$ | 0,6        | 0,6        | 0         | 0         |
| 2     | A     | $W_{pl,y}$ | $W_{pl,z}$ | 0,6        | 0,6        | 0         | 0         |
| 3     | A     | $W_{el,y}$ | $W_{el,z}$ | 0,8        | 1          | 0         | 0         |

**Tabla 45. Terminos de comprobacion segun peor clase para los montantes**

$$\frac{237,026 \cdot 10^3}{0,5471 \cdot 2710 \cdot (275/1,05)} = 0,6104 \leq 1 \quad \checkmark \quad \text{CUMPLE}$$

El perfil O150.6 cumple la comprobación a pandeo

## DIAGONALES

Se decide colocar todas las diagonales iguales para, como en el caso de los montantes, facilitar la puesta en obra. Las diagonales trabajan principalmente a tracción.

### E.L.S. DEFORMACIÓN

Al estar trabajando con grandes luces, es necesario verificar el E.L.S. de deformación atendiendo al criterio de apariencia.  $l_{diagonal} = 4,4721\text{m}$

Las diagonales se consideran biapoyadas por lo que el valor de la flecha se corresponde con:

$$f = \frac{5 \cdot g \cdot l^4}{384 \cdot E \cdot I} \leq 1/300 \rightarrow I > 3,9 \cdot \frac{g \cdot l^3}{E}$$

$$\frac{I}{g} > 1661039,005$$

Donde  $I$  es el momento de inercia y  $g$  es el peso propio del perfil

El perfil que se elija debe tener un valor de la relación  $\frac{I}{g}$  superior al obtenido.

### E.L.U. RESISTENCIA

El máximo axil es  $N_{Ed} = 518,654$  kN obtenido para la combinación ELU48

Al ser un elemento que trabaja a tracción, comprobamos a tracción pura en Resistencia:

$$N_{Ed} = 518,654 \text{ Kn}$$

$$N_{Ed} < N_{pl,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

$$518,654 < 3950 \cdot (275 / 1.05) = 1034,523 \text{ Kn} \quad \checkmark \text{ CUMPLE}$$

### E.L.U. PANDEO

Este criterio de pandeo va a ser el más restrictivo y el que condicione el perfil a elegir, ya que al estar considerando que el perfil está sometido a compresión, se de evitar el pandeo de la diagonal.

$$\lambda' = \lambda / \lambda_{lim} = \frac{lk}{i \cdot \lambda_{lim}} \leq 3$$

$$\lambda_{lim} = \sqrt{\frac{\pi^2 \cdot E}{fy}} = 86,814$$

De esta fórmula se despeja el valor del radio de giro para elegir el perfil en función de ese criterio

$$i = lk / 2 \cdot \lambda_{lim} = 4472,1 / 3 \cdot 86,814 = 17,171 \text{ mm}$$

De entre los perfiles huecos redondos que aparecen en el prontuario se debe elegir uno cuyo radio de giro (i) sea mayor que el obtenido. A su vez, debido a que el axil obtenido es un valor grande, el perfil que se elija debe tener área suficiente como para poder soportar el esfuerzo axil y suficiente módulo resistente (W) para soportar el momento debido al peso propio de la diagonal.

Se elige el O165.8 cuyas características se exponen en la siguiente tabla:

| Dimensiones |    |      |       | Superficie        |                   | Valores estáticos |                 |   |   |   |      |   |
|-------------|----|------|-------|-------------------|-------------------|-------------------|-----------------|---|---|---|------|---|
| b           | t  | m    | p     | S <sub>m</sub>    | S <sub>t</sub>    | A                 | A <sub>v</sub>  | I                                       | W                                       | W <sub>pl</sub>                         | i    | i <sub>t</sub>                          |
| mm          | mm | kg/m | kN/m  | m <sup>2</sup> /m | m <sup>2</sup> /t | mm <sup>2</sup>   | mm <sup>2</sup> | mm <sup>4</sup><br>(x 10 <sup>6</sup> ) | mm <sup>3</sup><br>(x 10 <sup>3</sup> ) | mm <sup>3</sup><br>(x 10 <sup>3</sup> ) | mm   | mm <sup>4</sup><br>(x 10 <sup>6</sup> ) |
| 165         | 8  | 31,0 | 0,310 | 0,518             | 16,7              | 3950              | 2510            | 12,1                                    | 147                                     | 197                                     | 55,5 | 24,2                                    |

**Tabla 46. Características perfil O165.8**

además, cumple la condición de

$$l/g = 12,1 \cdot 10^6 / 0,310 = 39032258,06 > 1661039,005$$

Este perfil redondo tiene menor peso que el análogo cuadrado por eso se opta por utilizar este → PP=0,31 kN/m

Para elegir la fórmula correcta de la comprobación a pandeo es necesario determinar a qué clase pertenecen los perfiles huecos

$$\lambda_y = \frac{Lk}{i} \times \frac{\sqrt{f_y}}{\pi} = \frac{4472,1}{55,5} \times \frac{\sqrt{275}}{\pi} = 0,928 < 4 \checkmark$$

$$\phi_y = 0,5 \times [ 1 + \alpha \times (\lambda_y - 0,2) + \lambda_y^2 ]$$

siendo

$\alpha$  el coeficiente de imperfección elástica que adopta su valor en función de la curva de pandeo que presente el perfil

Tabla 6.2 Curva de pandeo en función de la sección transversal

| Tipo de sección   | Tipo de acero<br>Eje de pandeo <sup>(1)</sup> | \$235 a \$355 |   | \$450          |                |
|---|---|---------------|---|----------------|----------------|
|   |   | y             | z | y              | z              |
| Tubos de chapa simples o agrupados<br> | laminados en caliente                         | a             | a | a <sub>0</sub> | a <sub>0</sub> |
|   | conformados en frío                           | c             | c | c              | c              |

Tabla 47. Curva de pandeo para las diagonales

A la curva de pandeo c le corresponde el siguiente valor de  $\alpha$ :

Tabla 6.3 Valores del coeficiente de pandeo ( $\chi$ )

| Esbeltez reducida<br>Coeficiente ( $\alpha$ )<br>de imperfección | Curva de pandeo |      |      |      |      |
|--|-----------------|------|------|------|------|
|  | a <sub>0</sub>  | a    | b    | c    | d    |
|  | 0,13            | 0,21 | 0,34 | 0,49 | 0,76 |

Tabla 48. Valor del coeficiente de imperfección para la curva de pandeo de las diagonales.

$$\phi = 0,5 \times [ 1 + 0,49 \times (0,928 - 0,2) + (0,928)^2 ] = 1,105$$

$$\chi = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - (\lambda_y)^2}} = \frac{1}{1,105 + \sqrt{1,105^2 - (0,928)^2}} = 0,5863 < 1 \checkmark$$

Para elegir la fórmula correcta de la comprobación a pandeo es necesario determinar a qué clase pertenecen los perfiles huecos

Caso especial:

sección tubular



Compresión

Flexión simple

Flexocompresión

$$\frac{d}{t} \leq 50\epsilon^2$$

$$\frac{d}{t} \leq 70\epsilon^2$$

$$\frac{d}{t} \leq 90\epsilon^2$$

$$\text{Factor de reducción } \epsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}}$$

**Tabla 49. Límite de esbeltez para los perfiles huecos**

$$\epsilon = 0,9244$$

$$d/t = 165/8 = 20,625$$

$$d/t \leq 50 \cdot \epsilon^2 \rightarrow 20,625 \leq 50 \cdot 0,9244^2 \rightarrow = 42,756 \rightarrow \text{CLASE 1}$$

El perfil pertenece a la clase 1 por lo que se debe utilizar la siguiente fórmula para la comprobación a pandeo

$$N_{ed} / \chi \cdot A^* \cdot f_{yd} \leq 1$$

A\* toma el valor del área del perfil por ser clase 1, cuyo valor es A = 3950 mm<sup>2</sup>

**Tabla 6.8 Términos de comprobación, según peor clase de sección en la pieza**

| Clase | A* | W <sub>y</sub>    | W <sub>z</sub>    | α <sub>y</sub> | α <sub>z</sub> | e <sub>N,y</sub> | e <sub>N,z</sub> |
|-------|----|-------------------|-------------------|----------------|----------------|------------------|------------------|
| 1     | A  | W <sub>pl,y</sub> | W <sub>pl,z</sub> | 0,6            | 0,6            | 0                | 0                |
| 2     | A  | W <sub>pl,y</sub> | W <sub>pl,z</sub> | 0,6            | 0,6            | 0                | 0                |
| 3     | A  | W <sub>el,y</sub> | W <sub>el,z</sub> | 0,8            | 1              | 0                | 0                |

**Tabla 50. Terminos de comprobacion segun peor clase para los montantes**

$$\frac{518,654 \cdot 10^3}{0,5863 \cdot 3950 \cdot (275/1,05)} = 0,8551 \leq 1 \quad \checkmark \quad \text{CUMPLE}$$

El perfil O165.8 cumple la comprobación a pandeo.

## DIMENSIONAMIENTO DEL CORDON INFERIOR

### E.L.S. DEFORMACION

Al ser un elemento que se dimensiona trabajando a tracción Estado Límite de Servicio de Deformación de los cordones inferiores se van a comprobar los Criterios de Integridad y de Apariencia

Se decide emplear para las vigas perfiles tubulares, utilizados por su reducido peso y su gran aptitud para este servicio.

Después de realizar varias iteraciones, se observa que el perfil que más se ajusta a las restricciones, cumpliéndolas en todo caso, es el perfil 180x180x12.

#### CRITERIO DE INTEGRIDAD

Cuando se considere la integridad de los elementos constructivos, se admite que la estructura horizontal de un piso o cubierta es suficientemente rígida si, para cualquiera de sus piezas, ante cualquier combinación de acciones característica, considerando solo las deformaciones que se producen después de la puesta en obra del elemento, la flecha relativa es menor que:

- 1/500 en pisos con tabiques frágiles o pavimentos sin juntas
- 1/400 en pisos con tabiques ordinarios o pavimentos rígidos con juntas
- 1/300 en el resto de los casos

Tras analizar todas las combinaciones de ELS del Anejo 2, se elige la de mayor momento en el interior de las vigas, ya que será la que mayor carga aplicada tenga y, por tanto, la que mayor deformación provoque.

De estos dos valores, se escoge el mayor, en este caso la combinación ELS72.

Se comprueba que el máximo desplazamiento del punto mas desfavorable del cordón.

$$U1(x)/h \leq 1/250 \rightarrow 0,007177 / 8 = 8,97125 \times 10^{-4} < 1 / 250 = 4 \times 10^{-3} \quad \checkmark \text{ CUMPLE}$$

#### CRITERIO DE APARIENCIA

Para este criterio sólo se tiene una combinación que es la ELS96. Se comprueba que el máximo desplazamiento del punto de la cumbrera cumpla con el criterio de confort de los usuarios.

Para este criterio solo se tiene una combinación que es la ELS96, obteniendo el siguiente valor máximo:

$$U1(x) = -0,001065$$

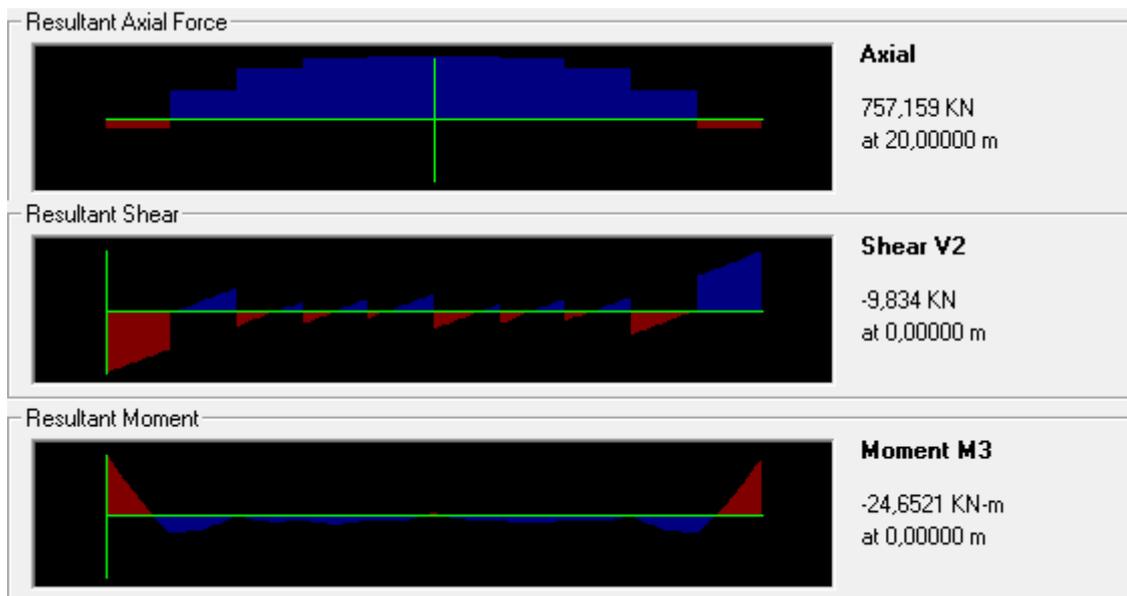
$$0,001065 / 8 = 1,33125 \times 10^{-4} < 1 / 250 = 4 \times 10^{-3} \quad \checkmark \text{ CUMPLE}$$

El perfil 180x180x12 cumple las condiciones de deformación.

## E.L.U. RESISTENCIA

El cordón inferior de una cercha esta traccionado y no pandea, por lo tanto, solo hay que comprobar ELU Resistencia.

Se procede buscando la combinación para la cual aparece el máximo momento en las vigas. Tras analizar todas las combinaciones de ELU del Anejo 2, se observa que el mayor momento (junto con sus esfuerzos concomitantes) lo provoca la combinación ELU48



**Figura 72. Diagrama de esfuerzos de viga**

Interacción con el cortante

Se debe comprobar si  $V_{Ed} \leq 0,5 \cdot V_{Pl,Rd}$ , en caso afirmativo no habrá interacción del cortante.

$$V_{Ed} = 9,834 \text{ kN}$$

$$V_{Pl,Rd} = A_v \times f_{yd} \times \sqrt{3} = 3810 \times 275 / 1,05 \times \sqrt{3} = 1728,339 \text{ kN}$$

$A_v$  es el área a cortante del perfil 180x180x12, valor que se obtiene del prontuario de perfiles laminados en caliente  $\rightarrow A_v = 3810 \text{ mm}^2$

$$\text{Resistencia de cálculo} \rightarrow f_{yd} = \frac{f_y}{\gamma_{M1}}$$

Siendo:

$$f_y \text{ la tensión del límite elástico del material, para acero S275JR} \rightarrow f_y = 275 \text{ N/mm}^2$$

$\gamma_{M1}$  el coeficiente parcial de seguridad del material relativo a los fenómenos de inestabilidad cuyo valor es 1,05

$$V_{Ed} = 9,834 \leq 0,5 \times V_{Pl,Rd} = 0,5 \times 1728,339 = 864,169 \text{ kN} \checkmark \text{ CUMPLE}$$

Por lo que no hay interacción con el cortante.

#### COMPROBACIÓN A FLEXIÓN COMPUESTA SIN CORTANTE

Un perfil 180x180x12 de acero S275JR sometido a flexión y compresión es de clase 1 según lo indica el prontuario CEDEX (Anejo 1)

$$\frac{N_{Ed}}{N_{Pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{Pl,Rdy}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{Pl,Rdz}} \leq 1$$

$$N_{Pl,Rd} = A \times f_{yd} = 7620 \times 275 / 1,05 = 1995,714 \text{ KN}$$

Siendo:

$$A_{180 \times 180 \times 12} = 7620 \text{ mm}^2$$

$$M_{Pl,Rdy} = W_{Pl,y} \times f_{yd} = 470 \times 10^3 \times 275 / 1,05 = 123,095 \text{ KN} \cdot \text{m}$$

siendo

$$W_{Pl,y} = 470 \times 10^3 \text{ mm}^3$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{Pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{Pl,Rdy}} = 0,5796 \leq 1 \checkmark \text{ CUMPLE}$$

Al cumplir esta condición no es necesario refuerzo en ninguno de los extremos del pilar, ya que por sí solo cumple holgadamente las condiciones de resistencia.

## DIMENSIONAMIENTO DE LAS CORREAS

Es necesario dimensionar las correas sobre las cuales se monta la cubierta de la nave industrial. Se trata de perfiles que deben soportar, además de su peso propio, las cargas actuantes en cubierta.

Se realizan las combinaciones de acciones con esas cargas para E.L.S Deformación y E.L.U. Resistencia (las combinaciones se desglosan en el Anejo 2) obteniendo los correspondientes esfuerzos.

La correa se dimensionará para E.L.S. Deformación ya que la flecha que pueda aparecer es más restrictiva y después se comprobará a resistencia.

Se opta por colocar perfiles ZF conformados en frío ya que son perfiles muy ligeros y de uso habitual para correas.

| Perfil   | Valores estáticos |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |       |       |       | m    | p     |       |
|----------|-------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|-------|-------|-------|------|-------|-------|
|          | A                 | $I_x$                                   | $I_y$                                   | $I_{xy}$                                | $I_{xx}$                                | $I_{yy}$                                | $I_{xy}$                                | $W_x$                                   | $W_y$                                   | $W_z$                                   | $W_s$                                   | $i_x$ | $i_y$ | $i_z$ |      |       | $i_s$ |
|          | mm <sup>2</sup>   | mm <sup>4</sup><br>(x 10 <sup>6</sup> ) | mm <sup>3</sup><br>(x 10 <sup>3</sup> ) | mm    | mm    | mm    | mm   |       |       |
| ZF 275-4 | 1770              | 18,69                                   | 1,70                                    | 3,99                                    | 19,58                                   | 0,804                                   | 132                                     | 22,5                                    | 129                                     | 16,1                                    | 103                                     | 31,0  | 105   | 21,3  | 13,9 | 0,139 |       |

**Tabla 51. Características perfil ZF 275.4**

### E.L.S. DEFORMACIÓN

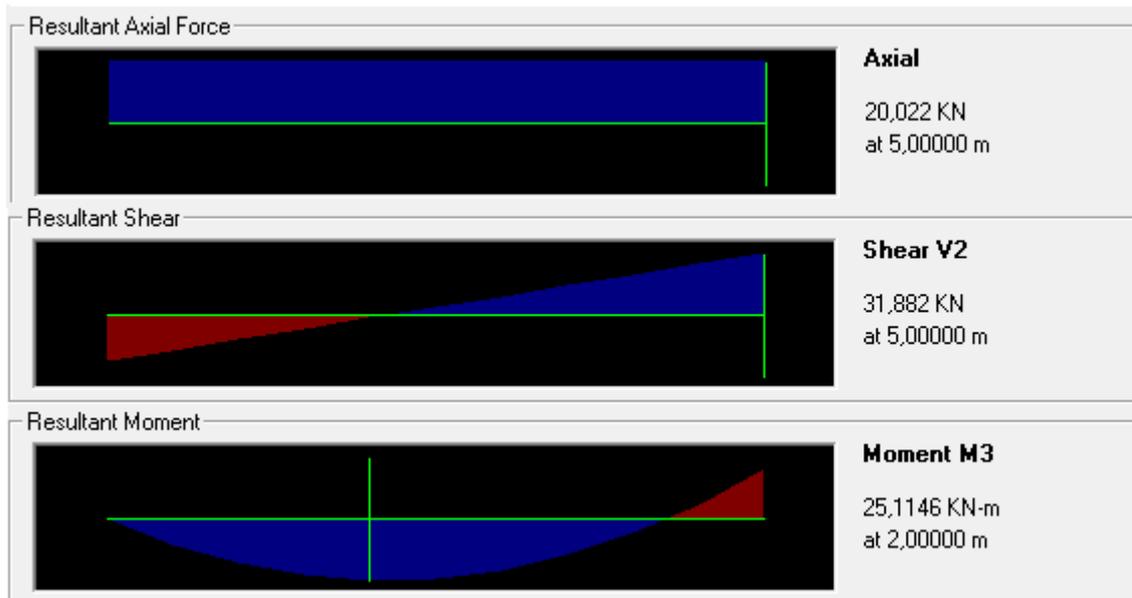
La máxima flecha se produce en el punto 370, en combinación ELS78 con un valor de 0,04356

$$f_{0 \rightarrow x1} = \frac{(y(0) - y(x1))}{2 \cdot (x0 - x1)} = \frac{0 - 0,04356}{2 \cdot (0 - 4)} = 5,445 \cdot 10^{-3} < 1/300 = 3,3 \cdot 10^{-3}$$

Como se puede comprobar el perfil cumple bastante bien el criterio de flecha.

### E.L.U. RESISTENCIA

El máximo momento en las correas se produce en la correa 550, para la combinación ELU 51 con un valor de  $M_{Ed} = 25,1146 \text{ kN}\cdot\text{m}$



**Figura 73. Esfuerzos máximos en las correas**

Se debe cumplir la siguiente relación:

$$\frac{M_{ED}}{W \cdot f_{yd}} \leq 1$$

$$\frac{25,1146 \cdot 10^{-6}}{132 \cdot 10^{-3} \cdot (275/1,05)} = 0,7264 \leq 1 \text{ CUMPLE}$$

El perfil ZF 275.4 cumple sobradamente a resistencia.

## DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA DE CONTRAVIENTO

A la hora de dimensionar los perfiles que van a formar parte del sistema a contraviento, tanto de fachada principal como lateral formado por diagonales que trabajan a tracción.

Para obtener los esfuerzos máximos se deben analizar las combinaciones de ELU en las que está presente el viento, descartando aquellas combinaciones en las que no aparezca ninguna hipótesis de viento.

De entre estas combinaciones se obtendrá el mayor axil de compresión, que será el que pueda provocar el pandeo de los perfiles y se procederá a su comprobación.

### DIAGONALES FACHADA

Se decide colocar todas las diagonales iguales para facilitar la puesta en obra.

Aunque las diagonales trabajan principalmente a tracción, el proceso de dimensionado que se seguirá será el de un elemento trabajando a compresión puesto que es el más desfavorable. Por ese motivo se utilizan también perfiles huecos para las diagonales.

El máximo axil es  $N_{Ed} = 235,83$  kN obtenido para la combinación ELU21 en la diagonal de la viga a contraviento de fachada.

### E.L.S. DEFORMACIÓN

Al estar trabajando con grandes luces, es necesario verificar el E.L.S. de deformación atendiendo al criterio de apariencia.  $l_{diagonal} = 11,1803$  m

Las diagonales se consideran biapoyadas por lo que el valor de la flecha se corresponde con:

$$f = \frac{5}{384} \frac{g \cdot l^4}{E \cdot I} \leq 1/300 \rightarrow I > 3,9 \cdot \frac{g \cdot l^3}{E}$$

$$\frac{I}{g} > 25954082,67$$

Donde  $I$  es el momento de inercia y  $g$  es el peso propio del perfil

El perfil que se elija debe tener un valor de la relación  $\frac{I}{g}$  superior al obtenido.

### E.L.U. RESISTENCIA

Al igual que los montantes, al ser un elemento que se dimensiona trabajando a compresión por ser más desfavorable, se tiene más en cuenta en el dimensionamiento el criterio de pandeo.

E.L.U. PANDEO

Este criterio de pandeo va a ser el más restrictivo y el que condicione el perfil a elegir, ya que al estar considerando que el perfil está sometido a compresión, se de evitar el pandeo de la diagonal.

$$\lambda' = \lambda / \lambda_{lim} = \frac{lk}{i \cdot \lambda_{lim}} \leq 2$$

$$\lambda_{lim} = \sqrt{\frac{\pi^2 \cdot E}{fy}} = 86,814$$

De esta fórmula se despeja el valor del radio de giro para elegir el perfil en función de ese criterio

$$i = lk / 2 \cdot \lambda_{lim} = 11180,3 / 2 \cdot 86,814 = 64,39 \text{ mm}$$

De entre los perfiles huecos redondos que aparecen en el prontuario se debe elegir uno cuyo radio de giro (i) sea mayor que el obtenido. A su vez, debido a que el axil obtenido es un valor grande, el perfil que se elija debe tener área suficiente como para poder soportar el esfuerzo axil y suficiente módulo resistente (W) para soportar el momento debido al peso propio de la diagonal.

Se elige el O200.8 cuyas características se exponen en la siguiente tabla:

| Dimensiones |    |      |       | Superficie        |                   | Valores estáticos |                 |   |   |   |      |   |
|-------------|----|------|-------|-------------------|-------------------|-------------------|-----------------|---|---|---|------|---|
| b           | t  | m    | p     | S <sub>m</sub>    | S <sub>t</sub>    | A                 | A <sub>v</sub>  | I                                       | W                                       | W <sub>pl</sub>                         | i    | i <sub>t</sub>                          |
| mm          | mm | kg/m | kN/m  | m <sup>2</sup> /m | m <sup>2</sup> /t | mm <sup>2</sup>   | mm <sup>2</sup> | mm <sup>4</sup><br>(x 10 <sup>6</sup> ) | mm <sup>3</sup><br>(x 10 <sup>3</sup> ) | mm <sup>3</sup><br>(x 10 <sup>3</sup> ) | mm   | mm <sup>4</sup><br>(x 10 <sup>6</sup> ) |
| 200         | 8  | 37,9 | 0,379 | 0,626             | 16,5              | 4830              | 3080            | 22,3                                    | 222                                     | 294                                     | 67,9 | 44,5                                    |

**Tabla 52. Características perfil O200.8**

además, cumple la condición de

$$I / g = 22,3 \cdot 10^6 / 0,379 = 58839050,13 > 25954082,67$$

Este perfil redondo tiene menor peso que el análogo cuadrado por eso se opta por utilizar este → PP=0,379 kN/m

Para elegir la fórmula correcta de la comprobación a pandeo es necesario determinar a qué clase pertenecen los perfiles huecos

$$\lambda y = \frac{Lk}{i} \times \frac{\sqrt{\frac{fy}{E}}}{\pi} = \frac{11180,3}{67,9} \times \frac{\sqrt{\frac{275}{210000}}}{\pi} = 1,896 < 2 \checkmark$$

$$\phi y = 0,5 \times [ 1 + \alpha \times (\lambda y - 0,2) + \lambda y^2 ]$$

siendo

$\alpha$  el coeficiente de imperfección elástica que adopta su valor en función de la curva de pandeo que presente el perfil

Tabla 6.2 Curva de pandeo en función de la sección transversal

| Tipo de sección   | Tipo de acero<br>Eje de pandeo <sup>(1)</sup> | S235 a S355 |   | S450           |                |
|---|---|-------------|---|----------------|----------------|
|   |   | y           | z | y              | z              |
| <br>Tubos de chapa simples o agrupados | laminados en caliente                         | a           | a | a <sub>0</sub> | a <sub>0</sub> |
|   | conformados en frío                           | c           | c | c              | c              |

Tabla 53. Curva de pandeo para las diagonales

A la curva de pandeo c le corresponde el siguiente valor de  $\alpha$ :

Tabla 6.3 Valores del coeficiente de pandeo ( $\chi$ )

| Esbeltez reducida                        | Curva de pandeo |      |      |      |      |
|--|-----------------|------|------|------|------|
|  | a <sub>0</sub>  | a    | b    | c    | d    |
| Coeficiente ( $\alpha$ ) de imperfección | 0,13            | 0,21 | 0,34 | 0,49 | 0,76 |

Tabla 54. Valor del coeficiente de imperfección para la curva de pandeo de las diagonales.

$$\phi = 0,5 \times [ 1 + 0,49 \times (1,896 - 0,2) + (1,896)^2 ] = 2,7129$$

$$\chi = \frac{1}{\phi y + \sqrt{\phi y^2 - (\lambda y)^2}} = \frac{1}{2,7129 + \sqrt{2,7129^2 - (1,896)^2}} = 0,2149 < 1 \checkmark$$

Para elegir la fórmula correcta de la comprobación a pandeo es necesario determinar a qué clase pertenecen los perfiles huecos

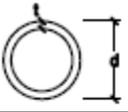
| Caso especial:  |                 |                                 |                                 |                                 |
|---|-----------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| sección tubular   | Compresión      |                                 |                                 |                                 |
|  | Flexión simple  | $\frac{d}{t} \leq 50\epsilon^2$ | $\frac{d}{t} \leq 70\epsilon^2$ | $\frac{d}{t} \leq 90\epsilon^2$ |
|   | Flexocompresión |                                 |                                 |                                 |
| Factor de reducción $\epsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}}$                             |                 |                                 |                                 |                                 |

Tabla 55. Límite de esbeltez para los perfiles huecos

$$\varepsilon = 0,9244$$

$$d/t = 200/8 = 25$$

$$d/t \leq 50 \cdot \varepsilon^2 \rightarrow 25 \leq 50 \cdot 0,9244^2 \rightarrow = 42,756 \rightarrow \text{CLASE 1}$$

El perfil pertenece a la clase 1 por lo que se debe utilizar la siguiente fórmula para la comprobación a pandeo

$$N_{ed}/\chi \cdot A^* \cdot f_{yd} \leq 1$$

$A^*$  toma el valor del área del perfil por ser clase 1, cuyo valor es  $A = 4830 \text{ mm}^2$

**Tabla 6.8 Términos de comprobación, según peor clase de sección en la pieza**

| Clase | $A^*$ | $W_y$      | $W_z$      | $\alpha_y$ | $\alpha_z$ | $e_{N,y}$ | $e_{N,z}$ |
|-------|-------|------------|------------|------------|------------|-----------|-----------|
| 1     | A     | $W_{pl,y}$ | $W_{pl,z}$ | 0,6        | 0,6        | 0         | 0         |
| 2     | A     | $W_{pl,y}$ | $W_{pl,z}$ | 0,6        | 0,6        | 0         | 0         |
| 3     | A     | $W_{el,y}$ | $W_{el,z}$ | 0,8        | 1          | 0         | 0         |

**Tabla 56. Términos de comprobación según peor clase para los montantes**

$$\frac{235,8305 \cdot 10^3}{0,2149 \cdot 4830 \cdot (275/1,05)} = 0,8675 \leq 1 \quad \checkmark \quad \text{CUMPLE}$$

El perfil O200.8 cumple la comprobación a pandeo.

### DIAGONALES CUBIERTA

La diagonal del arriostramiento es un elemento que trabaja a tracción con un valor máximo obtenido en SAP2000 de  $N_{ed} = 96,941 \text{ kN}$  para la combinación ELU42 en la diagonal 580.

Aunque hay dos tipos de diagonales, debido al criterio de colocar el mismo perfil en ambas, se dimensionará a resistencia para el mayor valor de axil y así cumplirá para el otro lado también.

A pesar de esta simplificación, el criterio de esbeltez debe cumplir para la diagonal que tenga mayor longitud.

### E.L.S. DEFORMACIÓN

La única carga que podría generar una flecha en la diagonal es el peso propio, en caso de que la longitud fuera mayor que 6.

En las diagonales frontales:  $l_{\text{diagonales}} = 6,4125 \text{ m} > 6$

No obstante, como la diagonal del arriostramiento no se configura horizontal sino inclinada, el peso propio del perfil no genera flechas significativas, por lo que no es necesario realizar esta comprobación.

#### E.L.U. PANDEO

La diagonal de arriostramiento no está sujeta a la comprobación de pandeo ya que trabaja a tracción (no a compresión), pero el perfil a colocar debe cumplir el criterio de esbeltez que para elementos traccionados se establece en

$$\lambda' = \lambda / \lambda_{lim} = \frac{l_k/2}{i \cdot \lambda_{lim}} \leq 3$$

$$\lambda_{lim} = \sqrt{\frac{\pi^2 \cdot E}{f_y}} = 86,814$$

De esta fórmula se despeja el valor del radio de giro para elegir el perfil en función de ese criterio, siendo  $l_k$  la mayor longitud de las diagonales:

$$i = \frac{l_k}{2} / 3 \cdot \lambda_{lim} = \frac{6412,5}{2} / 3 \cdot 86,814 = 12,31 \text{ mm}$$

De entre la gama de perfiles de la serie L (elementos que trabajan bien a tracción), se selecciona aquel que cumple el requerimiento de este radio mínimo para el plano más desfavorable del perfil.

El perfil elegido es el LPN 130.12 con un valor mínimo de  $i_v=25,4$  mm

#### E.L.U. RESISTENCIA

Se procede a comprobar que el perfil cumple a resistencia debido al esfuerzo de tracción al que está sometido, junto con el momento debido al peso propio del perfil.

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} + \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

| LPN    | Valores estáticos |   |   |       |      |   |       |       |   |       |          |          |
|--------|-------------------|---|---|-------|------|---|-------|-------|---|-------|----------|----------|
|        | A                 | $I_y$                                   | $W_y$                                   | $i_y$ | e    | $I_x$                                   | $i_x$ | $e_x$ | $I_z$                                   | $i_z$ | $e_{y1}$ | $e_{y2}$ |
|        | mm <sup>2</sup>   | mm <sup>4</sup><br>(x 10 <sup>6</sup> ) | mm <sup>3</sup><br>(x 10 <sup>3</sup> ) | mm    | mm   | mm <sup>4</sup><br>(x 10 <sup>6</sup> ) | mm    | mm    | mm <sup>4</sup><br>(x 10 <sup>6</sup> ) | mm    | mm       | mm       |
| 130-12 | 3000              | 4,72                                    | 50,4                                    | 39,7  | 38,4 | 7,50                                    | 50,0  | 92    | 1,94                                    | 25,4  | 51,5     | 46,0     |

**Tabla 57. Características LPN 130.12**

$$N_{t,Rd} = A \times f_y d = 3000 \times 275 / 1,05 = 785,714 \text{ KN}$$

Siendo:

$$ALPN130.12 = 3000 \text{ mm}^2$$

$$M_{c,Rd} = W_y \times f_{yd} = 50,4 \times 10^3 \cdot 275 / 1,05 = 13,2 \text{ KN} \cdot \text{m}$$

siendo

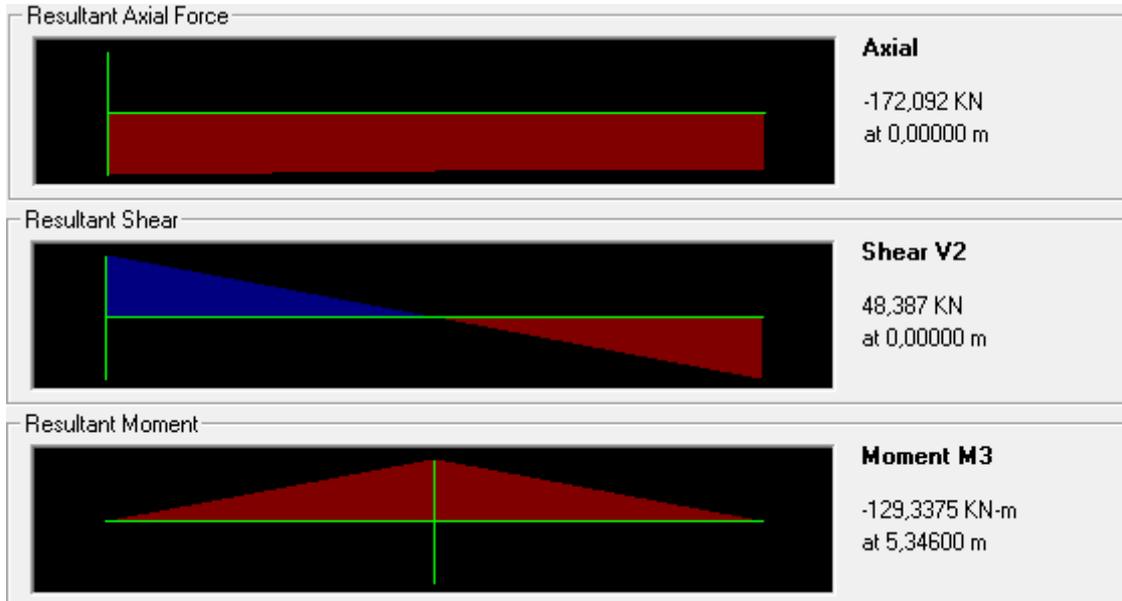
$$W_y = 50,4 \times 10^3 \text{ mm}^3$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,RD}} + \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} = 0,21656 \leq 1 \quad \checkmark \quad \text{CUMPLE}$$

Por tanto, para las diagonales de los arrastros de cubierta se utilizarán perfiles LPN 130.12

## DIMENSIONAMIENTO DE LA PLACA DE ANCLAJE

Se procede a dimensionar la placa de anclaje que une el pilar a la cimentación. Para ello se debe buscar la combinación de ELU que origine el mayor momento en la parte inferior de los pilares. Esa combinación es la ELU103



**Figura73. Esfuerzos máximos en soporte**

Obteniendo los siguientes valores para  $x=0$  :

$$NED = -172,09202 \text{ KN}$$

$$VED = 48,386646 \text{ KN}$$

$$MED = 0 \text{ KNm}$$

La zapata donde irá anclada el pilar será de hormigo armado HA-30 ( $\gamma = 1,5$ ) y el material de la placa, cartelas y pernos es S275JR ( $\gamma = 1,05$ )

## PREDIMENSIONAMIENTO

Como criterio de predimensionamiento se establece que el vuelo lateral de la placa sea de  $a=160\text{mm}$  en la dirección en la que se produce la flexión. En la dirección ortogonal, basta con asignarle un vuelo  $b=180\text{mm}$ .

Se dispondrá de dos pernos de anclaje de diámetro 25 mm, los cuales se situarán en el plano Y para así favorecer al momento de inercia  $I_y$ , para funcionar como un apoyo articulado en la práctica.

PILAR HEA 500

$$a = 2 \cdot 160 + 490 = 810 \text{ mm}$$

$$b = 2 \cdot 100 + 300 = 500 \text{ mm}$$

$$d' = 60 \text{ mm}$$

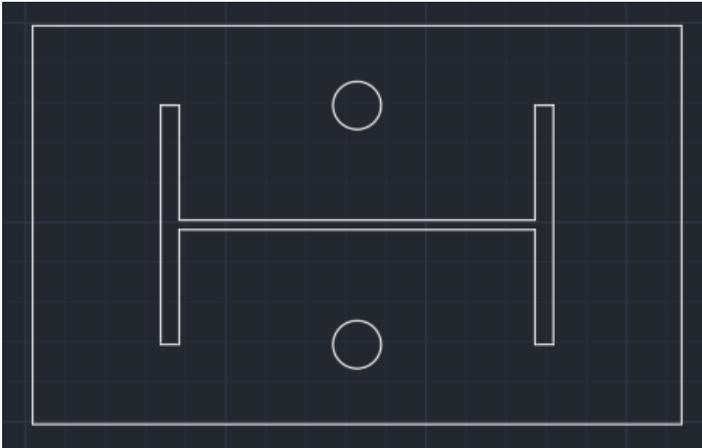


Figura 74. Predimensionamiento placa de anclaje en zapatas

### LIMITACIONES DE AREA EFICAZ

Previamente a realizar las comprobaciones de la basa, hay que confirmar que cumple los criterios exigidos por la normativa CTE-DB-SE-A para su correcto dimensionamiento.

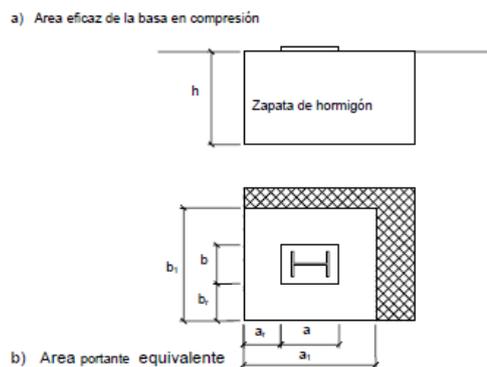


Figura 8.12 Basas de soportes

Tabla 8.2 Dimensiones del área portante equivalente

| $a_1$                           | $b_1$                           |
|---------------------------------|---------------------------------|
| $a_1 = a + 2 a_r$               | $b_1 = b + 2 b_r$               |
| $a_1 = 5 a$                     | $b_1 = 5 b$                     |
| $a_1 = a + h$                   | $b_1 = b + h$                   |
| $a_1 = 5 b_1$ pero $a_1 \geq a$ | $b_1 = 5 a_1$ pero $b_1 \geq b$ |

Figura 75. Limitaciones de área eficaz

$$f_{jd} = K_j \cdot \beta_j \cdot f_{cd} = 2/3 \cdot 1,7025 \cdot 30 / 1,5 = 22,7 \text{ N/mm}^2$$

Siendo:

$\beta_j$  el coeficiente de la unión igual a 2/3

$K_j$  el factor de concentración que viene dado por la siguiente expresión:

$$K_j = \sqrt{\frac{a_1 \cdot b_1}{a \cdot b}} = \sqrt{\frac{1000 \cdot 1000}{690 \cdot 500}} = 1,7025 < 5$$

Debiendo cumplirse

$$F_{jd} = 22,7 < 3,3 \cdot 30 / 1,5 = 55 \checkmark \text{ CUMPLE}$$

$$c < t \cdot \sqrt{\frac{f_{yd}}{3 \cdot f_{jd}}} = 10 \cdot \sqrt{\frac{275/1,05}{3 \cdot 22,7}} = 19,61 \text{ mm} \rightarrow 20 \text{ mm}$$

$$A_{ef} = 2 \cdot [(2 \cdot c + t_f) \cdot (h + 2 \cdot c)] + (h - 2 \cdot t_f - 2 \cdot c) \cdot (t_f + 2 \cdot c)$$

$$A_{ef} = 87788 \text{ mm}^2$$

#### RESISTENCIA A COMPRESION DEL HORMIGON

$$\sigma = N_{ed} / A_{ef} < f_{jd}$$

$$\sigma = 172192,02 / 87788 = 1,96 < 22,7$$

#### RESISTENCIA A CORTANTE DEL CONJUNTO

A continuación en la figura 81, extraída de la norma CTE-DB-SE-A, se nos muestran las condiciones a satisfacer.

- a) La resistencia de cálculo por rozamiento entre la placa base y el hormigón o mortero de nivelación, será:

$$F_{f,Rd} = C_{f,d} N_{c,Sd} \quad (8.33)$$

siendo

$C_{f,d}$  coeficiente de rozamiento entre la placa base y el hormigón, que podrá tomar los valores siguientes:

- para mortero de cemento y arena  $C_{f,d} = 0,20$ ;
- para morteros especiales y para el caso de contacto directo con el hormigón,  $C_{f,d} = 0,30$ .

$N_{c,Sd}$  fuerza de cálculo a compresión transmitida por el pilar.

- b) La resistencia a cortante de un perno de anclaje  $F_{vb,Rd}$  será el menor de los valores dados por:

i) la resistencia del perno;

ii) el valor:

$$F_{vb,Rd} = \frac{\alpha_b f_{ub} A_s}{\gamma_{M2}} \quad (8.34)$$

siendo

$$\gamma_{M2} = 1,25$$

$$\alpha_b = 0,44 - 0,0003 f_{yb}$$

$f_{yb}$  límite elástico del acero del perno en  $N/mm^2$ , (la expresión 0,0003 en  $\alpha_b$  tiene dimensiones de  $mm^2/N$ ).

$f_{ub}$  resistencia última del acero del perno

$A_s$  área resistente a tracción del perno.

- c) En el caso de no disponer de elementos especiales para transmitir el cortante, la resistencia de cálculo a cortante será:

$$F_{v,Rd} = F_{f,Rd} + n F_{vb,Rd} \quad (8.35)$$

siendo

$n$  número de pernos de la placa base.

**Figura 76. Comprobaciones a cortante**

$$F_{f,Rd} = C_{f,d} \cdot N_{c,Sd} = 0,3 \cdot 172192,02 = 51,657 \text{ KN}$$

Tabla 4.1 Características mecánicas mínimas de los aceros UNE EN 10025

| DESIGNACIÓN | Espesor nominal t (mm)                                   |             |             |   | Temperatura del ensayo Charpy<br>°C |
|-------------|--|-------------|-------------|---|-------------------------------------|
|             | Tensión de límite elástico<br>$f_y$ (N/mm <sup>2</sup> ) |             |             | Tensión de rotura<br>$f_u$ (N/mm <sup>2</sup> ) |                                     |
|             | t ≤ 16   | 16 < t ≤ 40 | 40 < t ≤ 63 | 3 ≤ t ≤ 100                                     |                                     |
| S235JR      |  |             |             |   | 20                                  |
| S235J0      | 235  | 225         | 215         | 360   | 0                                   |
| S235J2      |  |             |             |   | -20                                 |
| S275JR      |  |             |             |   | 20                                  |
| S275J0      | 275  | 265         | 255         | 410   | 0                                   |
| S275J2      |  |             |             |   | -20                                 |

**Tabla 58. Valor de fu**

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} = \frac{0,3617 \cdot 410 \cdot \frac{\pi \cdot 25^2}{4}}{1,25} = 58,236 \text{ KN}$$

$$F_{v,Rd} = F_{f,Rd} + n \cdot F_{v,Rd} = 51,657 + 2 \cdot 58,236 = 168,129 \text{ KN}$$

Debiendo cumplirse que:

$$V_{ed} = 48,386 < F_{v,Rd} = 168,129 \text{ KN} \checkmark \text{ CUMPLE}$$

### FLEXION DE LA CHAPA

$$M_{ed} = q \cdot c^2 / 2 = 1,96 \cdot 20^2 / 2 = 392 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

Debiendo cumplir:

$$M_{ed} < M_{rd} = t^2 \cdot f_{yd} / 4 = 10^2 \cdot 275 / 4 \cdot 1,05 = 6547,619 \text{ N} \cdot \text{mm} \checkmark \text{ CUMPLE}$$

### DIMENSIONAMIENTO DE LA UNION

Utilizaremos 2 pernos de diámetro 25 mm

$$A_s = 2 \cdot \pi \cdot 25^2 / 4 = 1963,495 \text{ mm}^2$$

Cumpliendo la condición:

$$A_s > A_{smin} = 0,1 \cdot N_{ed} / f_{yd}$$

Siendo:

$$A_{smin} = 0,1 \cdot 172092,02 / (400/1,15) = 49,48 \checkmark \text{ CUMPLE}$$

Además la sección de esta armadura debe ser mayor que el 4 ‰ de la superficie de la placa

$$0,004 \cdot 800 \cdot 500 = 1600 \text{ mm}^2 < 1963,495 \text{ mm}^2 \checkmark \text{ CUMPLE}$$

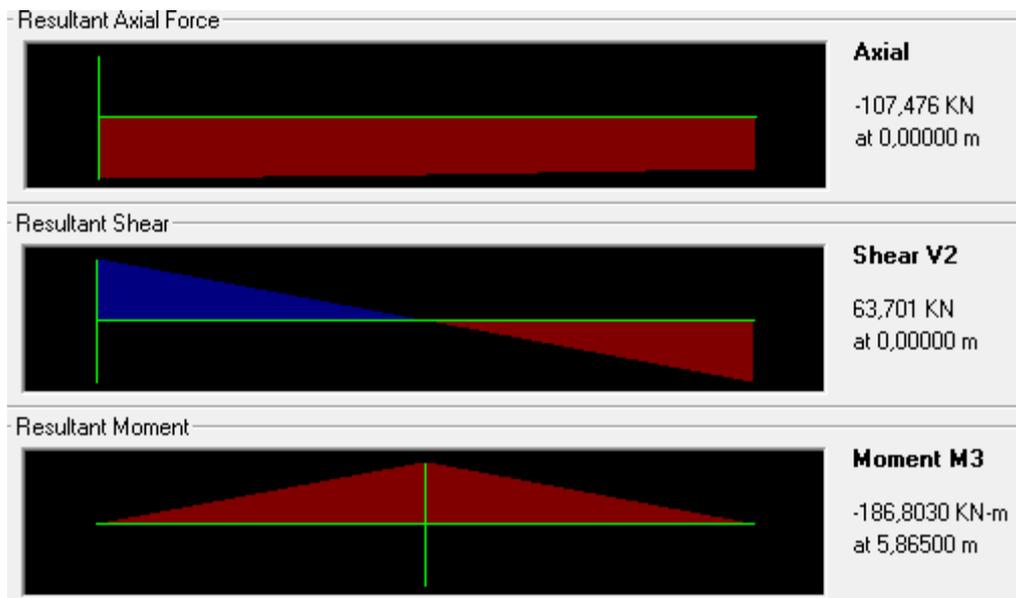
## DIMENSIONAMIENTO DE LA CIMENTACION

En este apartado se calcularán las zapatas de los pórticos interiores, las cuales se considerarán aisladas cuadradas con una profundidad de 0,7m. Estas zapatas deberán ser capaces de soportar las acciones, cuyos valores se han obtenido en SAP2000.

E.L.U. DE EQUILIBRIO.

### SEGURIDAD AL VUELCO

Se analizan las combinaciones de ELUV, obteniendo los esfuerzos máximos en las bases de los pilares:

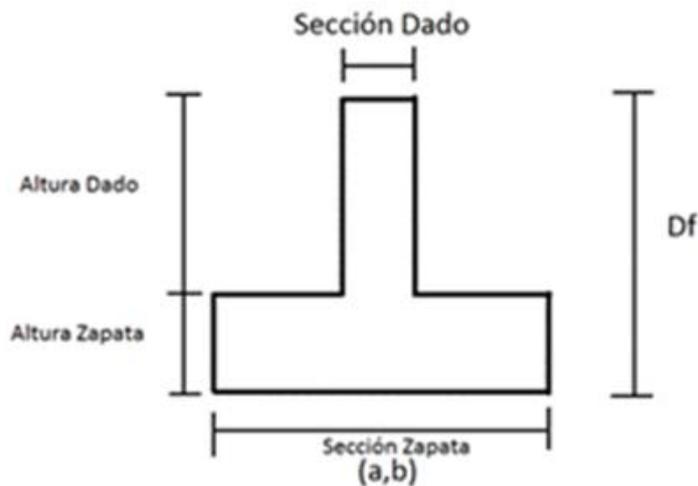


**Figura 77. Máximos esfuerzos correspondientes a la combinación de ELU103**

Para realizar las comprobaciones se utiliza la combinación que provoca el mayor momento en la base del pilar → ELU103

A estas acciones hay que sumarle el peso propio de la zapata:

$$P = L \cdot B \cdot h \cdot \gamma_{\text{hormigón}} = 25 \cdot 0,7 \cdot L^2 = 17,5 \cdot L^2$$



**Figura 78. Zapata aislada**

Los esfuerzos estabilizadores deben ser mayores que los esfuerzos desestabilizadores

$$(P + N) \cdot L / 2 > V \cdot h + M$$

$$(17,5 \cdot L^2 + 107,4756) \cdot L / 2 > 63,7 \cdot 0,7 \rightarrow L > 0,7587m$$

Por tanto, las dimensiones de las zapatas interiores serán:

$$L = 2 m$$

$$B = 2 m$$

$$h = 0,7 m$$

$$\text{Siendo el } PP_{\text{zapata}} \rightarrow PP = 17,5 \cdot 2 \cdot 2 = 70 kN$$

No es necesario calcular la seguridad al deslizamiento puesto que las zapatas irán arriostradas entre sí.

### E.L.U. DE AGOTAMIENTO DEL TERRENO

En la práctica, la mayoría de las zapatas de edificación se calculan con carga centrada, ya que los momentos son relativamente pequeños en comparación con la resultante N+P, y las excentricidades son despreciables en comparación con las dimensiones de la zapata.

En este caso, se tiene una resultante excéntrica en una sola dirección:

$$e = \frac{M + V \cdot h}{N + P} = \frac{0 + 63,7 \cdot 0,7}{177,4756} = 0,251$$

$$\eta = e / L = 0,251 / 2 = 0,125 < 1 / 6 = 0,167 \rightarrow \text{Excentricidad reducida}$$

Al tener una excentricidad reducida, está bien elegida la tipología de zapata cuadrada.

La presión máxima en el borde de la zapata para una situación de excentricidad elevada vale:

$$\sigma = N + P / L \cdot B$$

$$\sigma = 177,4756 / 2 \cdot 2 = 44,3689 \text{ Kn } /m^2$$

La tensión admisible de los terrenos varía entre 0,1MPa y 1Mpa.

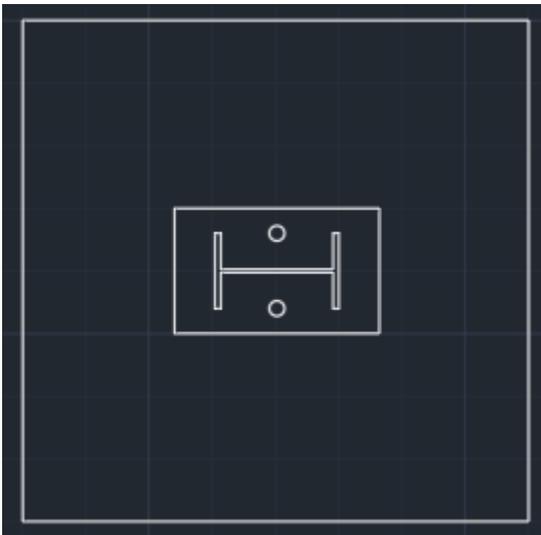
Como no se conoce el tipo de terreno debido a la ausencia de un estudio geotécnico, se elige la peor calidad del terreno con una

$$\sigma_{adm} = 0,1MPa \rightarrow 100 \text{ Kn } /m^2$$

$$\sigma = 44,3689 < 1,25 \cdot \sigma_{adm} = 1,25 \cdot 100 = 125 \checkmark \text{ CUMPLE}$$

#### E.L.U. DE AGOTAMIENTO DE LA CIMENTACION

Se dispone de zapatas con las siguientes características:



**Figura 79. Vista en planta de la zapata**

Para realizar esta comprobación se analizan todas las combinaciones de E.L.U. del Anejo 2, y como hemos obtenido en apartados anteriores, la combinación en E.L.U. 103 la que mas solicita a la cimentación.

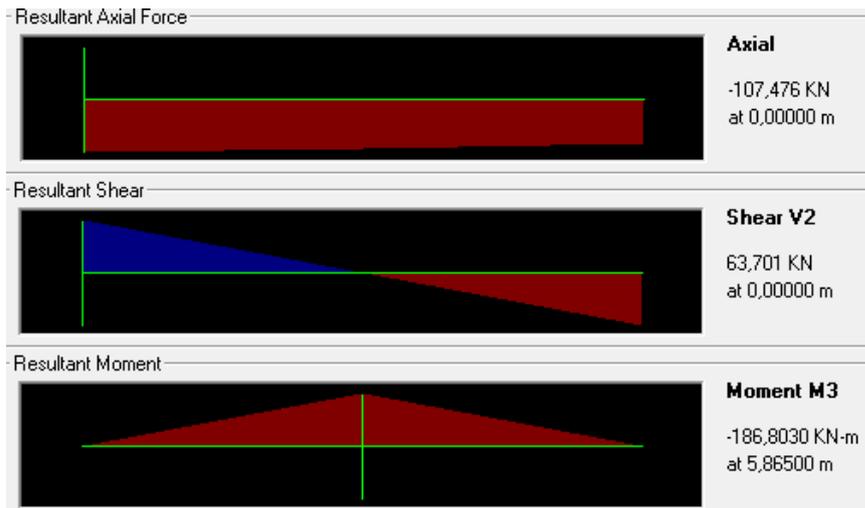


Figura 80. Máximo esfuerzo en zapatas

$$e = \frac{V \cdot h}{N + P} = \frac{63,7 \cdot 0,7}{177,4756} = 0,251 < a / 6 = 0,33$$

$$vuelo = 2000 - 300 / 2 = 850 \text{ mm} < 2 \cdot h = 2 \cdot 700 = 1400 \text{ mm}$$

Al ser una zapata rígida utilizaremos el método de bielas y tirantes para resolverla.

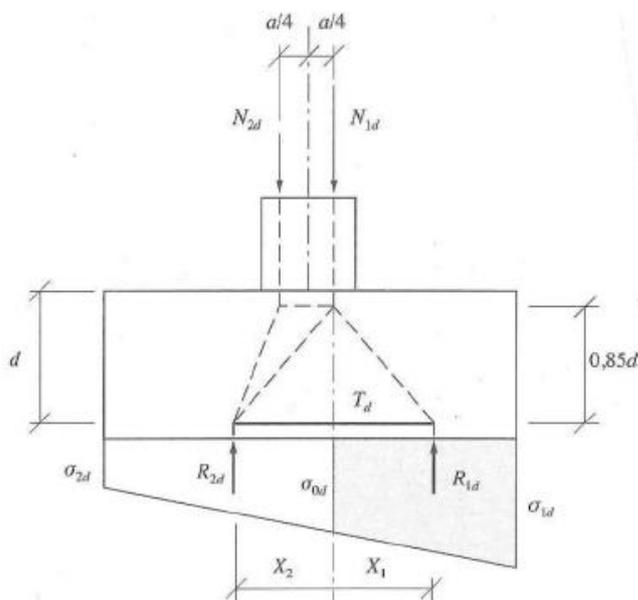


Figura 81. Esquema de zapata rígida

$$\sigma_{1d} = \frac{(N + P)}{L \cdot B} + \frac{M_{dmin} \cdot x}{(1/12) \cdot B \cdot L^3} = 64,595 \text{ Kn /m}^2$$

$$\sigma_{2d} = \frac{(N+P)}{L \cdot B} - \frac{M_{\text{min}} \cdot x}{(1/12) \cdot B \cdot L^3} = 24,14 \text{ Kn /m}^2$$

$$\sigma_{0d} = \frac{(N + P)}{L \cdot B} + \frac{M_{\text{min}} \cdot (h/4)}{(1/12) \cdot B \cdot L^3} = 46,845 \text{ Kn /m}^2$$

$$x_1 = 1/3 \cdot \left( \frac{2 \cdot \sigma_{1d} + \sigma_{0d}}{\sigma_{1d} + \sigma_{0d}} \right) \cdot (L/2 - a/4) = 0,462 \text{ m}$$

$$R_{1d} = \frac{(\sigma_{1d} + \sigma_{0d})}{2} \cdot (L/2 - a/4) \cdot B = 97,7886 \text{ Kn}$$

$$T_d = \frac{R_{1d} \cdot x_1}{0,85 \cdot d}$$

Se determina que el valor del recubrimiento mecánico de las armaduras de la zapata es de 50mm.

Para el valor de  $f_{yd}$  la EHE-08 determina que no puede sobrepasar los  $400\text{N/mm}^2$ .

Puesto que para las armaduras se ha elegido un acero B500SD, se establece un  $f_{yd} = 400 \text{ N/mm}^2$ .

$$T_d = \frac{97,7886 \cdot 0,462}{0,85 \cdot 0,65} = 81,77 \text{ KN}$$

$$A_s \cdot f_{yd} > T_d$$

$$A_s > 81770 / 400 = 204,42 \text{ mm}^2$$

| Tipo de elemento estructural | Tipo de acero  |                                     |     |
|------------------------------|--|-------------------------------------|-----|
|                              | Aceros con $f_y = 400\text{N/mm}^2$                            | Aceros con $f_y = 500\text{N/mm}^2$ |     |
| Pilares                      | 4,0  | 4,0                                 |     |
| Losas <sup>(1)</sup>         | 2,0  | 1,8                                 |     |
| Forjados unidireccionales    | Nervios <sup>(2)</sup>   | 4,0                                 | 3,0 |
|                              | Armadura de reparto perpendicular a los nervios <sup>(3)</sup> | 1,4                                 | 1,1 |
|                              | Armadura de reparto paralela a los nervios <sup>(3)</sup>      | 0,7                                 | 0,6 |
| Vigas <sup>(4)</sup>         | 3,3  | 2,8                                 |     |
| Muros <sup>(5)</sup>         | Armadura horizontal  | 4,0                                 | 3,2 |
|                              | Armadura vertical  | 1,2                                 | 0,9 |

**Tabla 59. Cuantías mínimas geométricas**

La cuantía mínima geométrica de armadura para una cimentación según la EHE-08 se establece en:

(1) Cuantía mínima de cada una de las armaduras, longitudinal y transversal repartida en las dos caras. Para losas de cimentación y zapatas armadas, se adoptará la mitad de estos valores en cada dirección dispuesto en la cara inferior.

(2) Los valores de la tabla están expresados en tanto por 1.000

se obtiene:

$$A_{smin} = \frac{1,8}{2 \cdot 700} \cdot 2000 \cdot 700 = 1800 \text{ mm}^2 > A_s = 204,42 \text{ mm}^2$$

por lo que se debe armar con cuantía mínima geométrica de armadura.

$$n_{\phi} = \frac{A_{s,min}}{A_{\phi}}$$

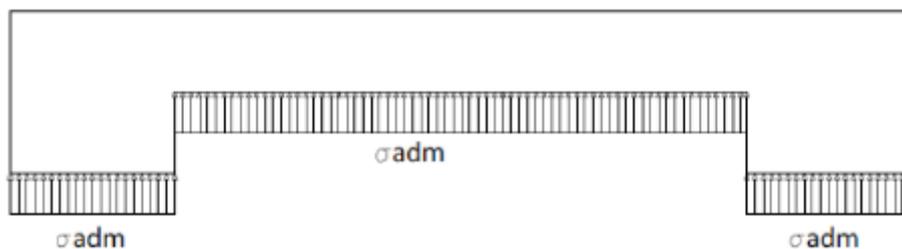
$$S_{\phi} = \frac{a - 2 \cdot r_{zap}}{n_{\phi} - 1}$$

Me decanto por poner 9 redondos de 16mm de diámetro a una separación de 23 cm, siendo el recubrimiento de las zapatas 80mm ya que van hormigonadas contra el terreno

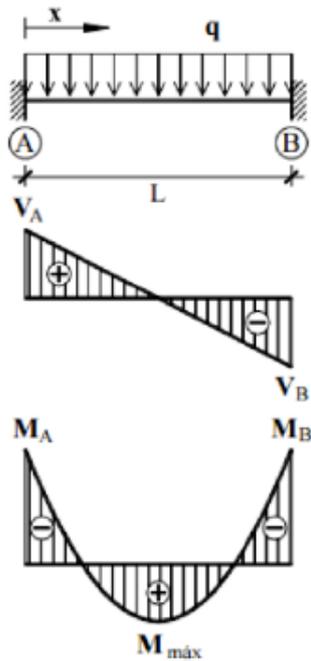
Al ser una zapata rígida, no hace falta comprobar a cortante ni a punzonamiento.

#### DIMENSIONAMIENTO DE LAS VIGAS RIOSTRAS

El cálculo de las vigas riostras que atarán todas las zapatas se realiza con ayuda del libro de "Hormigón Armado" de Montoya, Meseguer y Morán. Se considera que las vigas riostras se comportan como un elemento biempotrado con carga uniformemente distribuida:



**Figura 82. Distribucion de tensiones en las vigas riostras**



**Figura 83. Diagramas de esfuerzos cortantes y momentos flectores en vigas riostras**

Reacciones

$$R_a = R_b = q \cdot L / 2$$

Esfuerzos cortantes

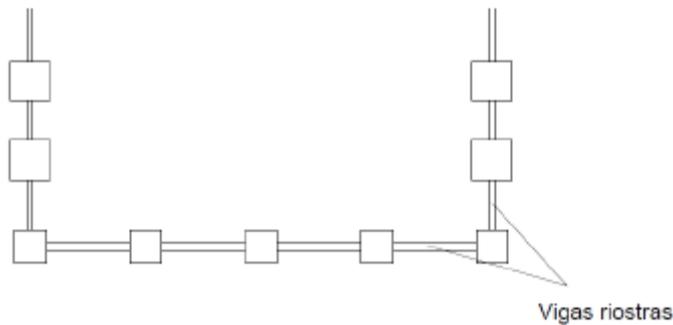
$$V_a = V_b = q \cdot L / 2$$

Momentos flectores  $M$

$$M_a = M_b = - q \cdot L^2 / 12$$

El axil actuante en las vigas riostras se supone nulo y solo se tendrá un momento que depende de la tensión admisible del terreno. Se considera el peor tipo de terreno posible, al que le corresponde un valor de

$$\sigma_{adm} = 0,1 \text{ MPa} = 100 \text{ kN/m}^2$$



**Figura 84. Ejemplo viga riostra**

#### VIGA RIOSTRA ENTRE CIMENTACIONES DE PÓRTICOS DE FACHADA

La mayor distancia entre las zapatas en el pórtico de fachada es de 12 metros, por lo que el valor del momento será:

$$M_{ed} = 100 \cdot 12^2 / 12 = 1200 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Las vigas riostras deben seguir algunos criterios como, por ejemplo, que el ancho sea como mínimo de 30cm o que el recubrimiento de las armaduras no sea inferior a 5cm.

Con ayuda de los "Diagramas de interacción para el cálculo de secciones rectangulares sometidas a flexión o compresión compuesta" del libro de "Hormigón Armado" de Montoya, Meseguer y Morán (se pueden consultar en el Anejo 1) se obtiene la cuantía de armadura longitudinal para una pieza de dimensiones  $h=0,45\text{m}$  y  $b=0,45\text{m}$  (elijo estos valores porque dejan un recubrimiento de armadura de 5cm) y HA-30

$$A \cdot f_{yd} / b = 2800 \text{ kN m} \rightarrow A = 2800 \cdot 450 / (500 / 1,15) = 2898 \text{ mm}^2$$

Para un  $\Phi 32$ , el número de redondos serán:

$$n = A / [ \pi \cdot (32^2 / 4) ] = 3,603 \rightarrow 4$$

Se colocarán  $4\Phi 32$  separados una distancia de  $s_t = 9,67 \text{ cm}$

Para la armadura transversal, se debe comprobar si es necesario colocar armadura de cortante:

Para  $\alpha = 90^\circ$  y  $\theta = 45^\circ$ .

$$V_{u1} = K \cdot f_{1cd} \cdot b_o \cdot d \cdot (\cot 45^\circ + \cot 90^\circ) / (1 + (\cot 45^\circ)^2)$$

$K = 1$  para estructuras sin esfuerzo axial

$$f_{1cd} = 0,6 \cdot f_{cd} \text{ para } f_{ck} \leq 60 \text{ N/mm}^2$$

$$\cot 45^\circ = 1$$

$$\cot 90^\circ = 0$$

$$V_{u1} = 1 \cdot 0,6 \cdot (30/1,5) \cdot 450 \cdot 400 \cdot (1/2) = 1080000 \text{ N} = 1080 \text{ kN}$$

$$V_d = q \cdot L/2 = 100 \cdot 12/2 = 600 \text{ kN}$$

Como  $V_d = 600 \text{ kN} < V_{u1} = 1080 \text{ kN}$  se cumple la comprobación de compresión oblicua del alma, por lo que no es necesario aumentar la sección de la viga riostra.

Para piezas sin armadura a cortante, el valor de  $V_{u2}$  se define como:

$$V_{u2} = [(0,18/1,5) \cdot \xi \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{cv})^{\frac{1}{3}}] \cdot b_0 \cdot d$$

$$\xi = 1 + \sqrt{\frac{200}{400}} = 1,707$$

$$\rho_l = A_s / (b_0 \cdot d) = 4 \cdot (\pi \cdot 32^2 / 4) / (450 \cdot 400) = 0,0178 < 0,02$$

$$V_{u2} = [(0,18/1,5) \cdot 1,707 \cdot (100 \cdot 0,0178 \cdot 30)^{\frac{1}{3}}] \cdot 450 \cdot 400 = 138,8463 \text{ KN}$$

Este valor no puede ser menor que :

$$V_{U2} = [(0,075/1,5) \cdot \xi^{\frac{3}{2}} \cdot f_{cv}^{\frac{1}{2}}] \cdot b_0 \cdot d$$

$$V_{U2} = [(0,075/1,5) \cdot 1,707^{\frac{3}{2}} \cdot 30^{\frac{1}{2}}] \cdot 450 \cdot 400 = 109,939 \text{ KN}$$

Como  $V_d = 600 \text{ kN} > V_{u2} = 138,85 \text{ kN}$  es necesario colocar armadura de cortante

$$V_{u2} = V_{cu} + V_{su}$$

$$V_{cu} = 0,15/0,18 \cdot V_{u2} = (0,15/0,18) \cdot 138846,32 = 115705,27 \text{ N}$$

$$V_{su} = V_d - V_{cu} = 600 \cdot 10^3 - 115705,27 = 484294,75 \text{ N}$$

$$V_{su} = 484294,75 = 0,9 \cdot d \cdot A_\alpha \cdot f_{y\alpha,d}$$

$f_{y\alpha,d}$  según establece la EHE-08 no puede sobrepasar los 400 N/mm<sup>2</sup> por lo que para un acero B500SD se adopta un valor de  $f_{y\alpha,d} = 400$

$$484294,75 = 0,9 \cdot 400 \cdot A_\alpha \cdot 400 \rightarrow A_\alpha = 3,36 \text{ mm}^2 / \text{mm}$$

Se colocará un estribo formando un cerco alrededor de las 4 armaduras (2 ramas) por lo que la separación entre estribos será:

$$S_t \leq [n^\circ \text{ ramas} \cdot (\pi \cdot \phi^2 / 4)] / A_\alpha \rightarrow S_t \leq 18,6 \text{ cm}$$

Se colocará 1 estribo de  $\phi 12$  cada 18 cm

VIGA RIOSTRA ENTRE CIMENTACIONES DE PÓRTICO DE FACHADA Y PÓRTICO INTERIOR  
La distancia entre las zapatas del pórtico interior y las de fachada es de 5 metros, por lo que el valor del momento será:

$$M_{ed} = 100 \cdot 5^2 / 12 = 208,33 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Con ayuda de los "Diagramas de interacción para el cálculo de secciones rectangulares sometidas a flexión o compresión compuesta" del libro de "Hormigón Armado" de Montoya, Meseguer y Morán (se pueden consultar en el Anejo 1) se obtiene la cuantía de armadura longitudinal para una pieza de dimensiones  $h=0,35\text{m}$  y  $b=0,35\text{m}$  (elijo estos valores porque dejan un recubrimiento de armadura de 5cm) y HA-30

$$A \cdot f_{yd} / b = 2100 \text{ kN m} \rightarrow A = 2100 \cdot 350 / (500 / 1,15) = 1690,5 \text{ mm}^2$$

Para un  $\Phi 32$ , el número de redondos serán:

$$n = A / [\pi \cdot (32^2 / 4)] = 2,1019 \rightarrow 2$$

Se colocarán  $3\Phi 32$  separados una distancia de  $s_t = 9,5 \text{ cm}$

Para la armadura transversal, se debe comprobar si es necesario colocar armadura de cortante:

Para  $\alpha = 90^\circ$  y  $\theta = 45^\circ$ .

$$V_{u1} = K \cdot f_{1cd} \cdot b_o \cdot d \cdot (\cot 45^\circ + \cot 90^\circ) / (1 + (\cot 45^\circ)^2)$$

$K=1$  para estructuras sin esfuerzo axial

$$f_{1cd} = 0,6 \cdot f_{cd} \text{ para } f_{ck} \leq 60 \text{ N/mm}^2$$

$$\cot 45^\circ = 1$$

$$\cot 90^\circ = 0$$

$$V_{u1} = 1 \cdot 0,6 \cdot (30 / 1,5) \cdot 350 \cdot 300 \cdot (1 / 2) = 630000 \text{ N} = 630 \text{ kN}$$

$$V_d = q \cdot L / 2 = 100 \cdot 5 / 2 = 250 \text{ kN}$$

Como  $V_d = 250 \text{ kN} < V_{u1} = 630 \text{ kN}$  se cumple la comprobación de compresión oblicua del alma, por lo que no es necesario aumentar la sección de la viga riostra.

Para piezas sin armadura a cortante, el valor de  $V_{u2}$  se define como:

$$V_{u2} = [(0,18 / 1,5) \cdot \xi \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{cv})^{\frac{1}{3}}] \cdot b_o \cdot d$$

$$\xi = 1 + \sqrt{\frac{200}{400}} = 1,707$$

$$\rho_l = A_s / (b_0 \cdot d) = 3 \cdot (\pi \cdot 32^2 / 4) / (350 \cdot 300) = 0,0197 < 0,02$$

$$V_{u2} = [(0,18 / 1,5) \cdot 1,707 \cdot (100 \cdot 0,0197 \cdot 30)^{\frac{1}{3}}] \cdot 350 \cdot 300 = 180,495 \text{ KN}$$

Este valor no puede ser menor que:

$$V_{U2} = [ (0,075 / 1,5) \cdot \xi^{\frac{3}{2}} \cdot f_{cv}^{\frac{1}{2}} ] \cdot b_0 \cdot d$$

$$V_{U2} = [ (0,075 / 1,5) \cdot 1,707^{\frac{3}{2}} \cdot 30^{\frac{1}{2}} ] \cdot 350 \cdot 300 = 64,131 \text{ KN}$$

Como  $V_d = 250 \text{ kN} > V_{u2} = 180,495 \text{ kN}$  es necesario colocar armadura de cortante

$$V_{u2} = V_{cu} + V_{su}$$

$$V_{cu} = 0,15 / 0,18 \cdot V_{u2} = (0,15 / 0,18) \cdot 180,495 = 150,4125 \text{ N}$$

$$V_{su} = V_d - V_{cu} = 250 \cdot 10^3 - 150412,5 = 99,587 \text{ KN}$$

$$V_{su} = 99587 = 0,9 \cdot d \cdot A_\alpha \cdot f_{y\alpha,d}$$

$f_{y\alpha,d}$  según establece la EHE-08 no puede sobrepasar los 400 N/mm<sup>2</sup> por lo que para un acero B500SD se adopta un valor de  $f_{y\alpha,d} = 400$

$$484294,75 = 0,9 \cdot 300 \cdot A_\alpha \cdot 400 \rightarrow A_\alpha = 0,922 \text{ mm}^2 / \text{mm}$$

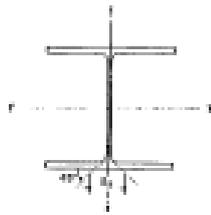
Se colocará un estribo formando un cerco alrededor de las 4 armaduras (2 ramas) por lo que la separación entre estribos será:

$$S_t \leq [n^\circ \text{ ramas} \cdot (\pi \cdot \phi^2 / 4)] / A_\alpha \rightarrow S_t \leq 17,03 \text{ cm} // 24,45$$

Se colocará 1 estribo de  $\phi 10$  cada 16 cm

# ANEJO 1

## TABLAS DE PERFILES



Area de costura:  
 $A_{cs} = 2 b t_f$  art 5.4.4.(2).a)  
 $A_{cs} = 2 b t_f$

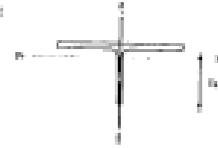
Momento estático de media sección respecto a la fibra neutra:  
 $S_x = 1/2 W_{pl,x}$   
 $S_y = 1/2 W_{pl,y}$

$I_x$  Módulo de torsión de Saint Venant

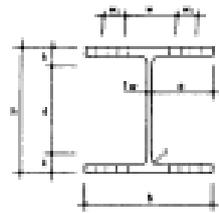
$a_y$  Ancho de apoyo (EC-3, art 5.7.2)

$I_{yy}$  Momento de inercia de medio perfil respecto al eje 1-1

Perfiles HEA



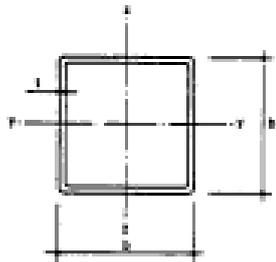
| HEA  | Valores estáticos |                 |                                      |                                      |                                      |                                      |                 |                                      |                                      |                                      |                                      |        |       |       |       |
|------|-------------------|-----------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|-----------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------|-------|-------|-------|
|      | a                 | $A_{cs}$        | $I_x$                                | $W_{pl,x}$                           | $W_{pl,y}$                           | $I_y$                                | $A_{cs}$        | $I_x$                                | $W_{pl,x}$                           | $W_{pl,y}$                           | $I_y$                                | $I_z$  | $i_x$ | $i_y$ | $i_z$ |
|      | mm                | mm <sup>2</sup> | mm <sup>4</sup> (x 10 <sup>8</sup> ) | mm <sup>3</sup> (x 10 <sup>3</sup> ) | mm <sup>3</sup> (x 10 <sup>3</sup> ) | mm <sup>4</sup> (x 10 <sup>8</sup> ) | mm <sup>2</sup> | mm <sup>4</sup> (x 10 <sup>8</sup> ) | mm <sup>3</sup> (x 10 <sup>3</sup> ) | mm <sup>3</sup> (x 10 <sup>3</sup> ) | mm <sup>4</sup> (x 10 <sup>8</sup> ) | mm     | mm    | mm    |       |
| 100  | 1120              | 752             | 5,48                                 | 73                                   | 83                                   | 40,8                                 | 1800            | 1,38                                 | 28,8                                 | 41,2                                 | 25,1                                 | 0,0400 | 26,1  | 28,2  | 0,118 |
| 120  | 1200              | 842             | 6,08                                 | 108                                  | 118                                  | 48,8                                 | 1920            | 2,01                                 | 38,5                                 | 50,9                                 | 30,2                                 | 0,0501 | 28,1  | 47,2  | 0,212 |
| 140  | 1310              | 1012            | 10,3                                 | 168                                  | 173                                  | 87,3                                 | 2388            | 3,89                                 | 55,8                                 | 84,7                                 | 35,3                                 | 0,0822 | 38,8  | 80,2  | 0,360 |
| 160  | 1380              | 1232            | 18,7                                 | 320                                  | 248                                  | 157,7                                | 2888            | 6,16                                 | 78,8                                 | 118                                  | 38,8                                 | 0,112  | 47,8  | 103,4 | 0,567 |
| 180  | 1480              | 1488            | 28,1                                 | 384                                  | 324                                  | 246,5                                | 3428            | 8,25                                 | 102                                  | 152                                  | 43,7                                 | 0,147  | 42,8  | 121,5 | 0,871 |
| 200  | 1580              | 1812            | 38,8                                 | 384                                  | 438                                  | 312,5                                | 4088            | 10,4                                 | 134                                  | 204                                  | 48,8                                 | 0,182  | 47,8  | 139,5 | 1,28  |
| 220  | 1680              | 2088            | 54,3                                 | 518                                  | 588                                  | 391,7                                | 4848            | 12,6                                 | 178                                  | 271                                  | 54,1                                 | 0,248  | 53,8  | 166,5 | 1,98  |
| 240  | 1780              | 2512            | 72,8                                 | 678                                  | 744                                  | 519,7                                | 5748            | 17,7                                 | 221                                  | 362                                  | 60,2                                 | 0,334  | 55,1  | 198,5 | 2,78  |
| 260  | 1880              | 3032            | 104,5                                | 838                                  | 920                                  | 710                                  | 6828            | 26,7                                 | 282                                  | 438                                  | 68,8                                 | 0,478  | 60,8  | 238   | 3,87  |
| 280  | 1980              | 3188            | 128,7                                | 1018                                 | 1102                                 | 918                                  | 7388            | 37,6                                 | 348                                  | 518                                  | 78,8                                 | 0,582  | 62,1  | 274   | 5,14  |
| 300  | 2100              | 3788            | 182,5                                | 1268                                 | 1382                                 | 122                                  | 8408            | 52,1                                 | 421                                  | 642                                  | 74,8                                 | 0,772  | 65,1  | 322   | 6,21  |
| 320  | 2200              | 4488            | 222,3                                | 1488                                 | 1628                                 | 138                                  | 9208            | 68,8                                 | 498                                  | 718                                  | 74,8                                 | 1,08   | 71,8  | 328   | 7,82  |
| 340  | 2300              | 5288            | 270,9                                | 1688                                 | 1882                                 | 143                                  | 9808            | 74,4                                 | 498                                  | 758                                  | 74,8                                 | 1,27   | 74,1  | 338   | 8,62  |
| 360  | 2400              | 6188            | 330,9                                | 1888                                 | 2182                                 | 143                                  | 10408           | 78,8                                 | 528                                  | 802                                  | 74,8                                 | 1,52   | 76,8  | 348   | 9,3   |
| 400  | 2600              | 8788            | 480,7                                | 2388                                 | 2882                                 | 188                                  | 11408           | 88,8                                 | 571                                  | 872                                  | 72,4                                 | 1,87   | 78,8  | 381   | 11,3  |
| 450  | 2780              | 10888           | 632,2                                | 2988                                 | 3282                                 | 188                                  | 12808           | 94,7                                 | 638                                  | 958                                  | 72,4                                 | 2,45   | 80,1  | 411   | 13,9  |
| 500  | 2980              | 13288           | 800,7                                | 3888                                 | 3882                                 | 213                                  | 13808           | 104                                  | 681                                  | 1058                                 | 72,4                                 | 3,47   | 82,8  | 438   | 18,8  |
| 550  | 3180              | 16088           | 1018                                 | 4788                                 | 4682                                 | 238                                  | 14808           | 108                                  | 721                                  | 1118                                 | 71,8                                 | 3,88   | 82,3  | 438   | 20,4  |
| 600  | 3380              | 19288           | 1282                                 | 5788                                 | 5582                                 | 258                                  | 15808           | 113                                  | 761                                  | 1188                                 | 70,8                                 | 4,84   | 84,8  | 437   | 21,3  |
| 650  | 3580              | 22888           | 1582                                 | 6788                                 | 6582                                 | 258                                  | 16808           | 117                                  | 782                                  | 1208                                 | 68,7                                 | 5,15   | 87,1  | 434   | 22,4  |
| 700  | 3880              | 27888           | 2182                                 | 8288                                 | 7982                                 | 288                                  | 18208           | 122                                  | 812                                  | 1268                                 | 68,4                                 | 6,81   | 100   | 471   | 22    |
| 800  | 4380              | 40888           | 3034                                 | 10288                                | 9782                                 | 328                                  | 20808           | 128                                  | 842                                  | 1312                                 | 68,8                                 | 8,73   | 108   | 504   | 28    |
| 900  | 4980              | 56888           | 4231                                 | 12488                                | 11982                                | 353                                  | 23808           | 138                                  | 882                                  | 1402                                 | 68,8                                 | 11,43  | 111   | 538   | 38    |
| 1000 | 5680              | 76888           | 5838                                 | 14888                                | 14282                                | 408                                  | 26808           | 148                                  | 924                                  | 1432                                 | 63,5                                 | 14,48  | 118   | 588   | 48    |



$S_{xx}, S_{yy}$  Superficie de pintura  
 $d_{max}$  Diámetro máximo de los tornillos

Perfiles HEA

| HEA  | m    | g     | Dimensiones de los perfiles |                |                |      |    |     | Datos constructivos |                |                |                |                  |                 | Superficie      |                   |                   |
|------|------|-------|-----------------------------|----------------|----------------|------|----|-----|---------------------|----------------|----------------|----------------|------------------|-----------------|-----------------|-------------------|-------------------|
|      |      |       | b                           | t <sub>f</sub> | t <sub>w</sub> | r    | d  | e   | h <sub>1</sub>      | h <sub>2</sub> | h <sub>3</sub> | h <sub>4</sub> | d <sub>max</sub> | S <sub>xx</sub> | S <sub>yy</sub> |                   |                   |
|      | kg/m | MPa   | mm                          | mm             | mm             | mm   | mm | mm  | mm                  | mm             | mm             | mm             | mm               | mm              | mm              | m <sup>2</sup> /a | m <sup>2</sup> /a |
| 100  | 18,7 | 0,167 | 88                          | 100            | 5,0            | 6,0  | 12 | 88  | 20                  | 47             | 58             |                | M12              | 0,681           | 33,8            |                   |                   |
| 120  | 19,8 | 0,188 | 114                         | 120            | 6,0            | 6,0  | 12 | 74  | 20                  | 57             | 68             |                | M18              | 0,877           | 34,0            |                   |                   |
| 140  | 24,7 | 0,247 | 133                         | 140            | 5,8            | 6,5  | 12 | 81  | 21                  | 67             | 76             |                | M20              | 0,764           | 32,1            |                   |                   |
| 160  | 33,4 | 0,334 | 162                         | 160            | 6,0            | 6,0  | 18 | 104 | 24                  | 77             | 88             |                | M20              | 0,808           | 29,8            |                   |                   |
| 180  | 35,5 | 0,355 | 171                         | 180            | 6,0            | 6,5  | 18 | 121 | 25                  | 87             | 100            |                | M24              | 1,022           | 29,7            |                   |                   |
| 200  | 42,3 | 0,423 | 190                         | 200            | 6,5            | 10,0 | 18 | 134 | 26                  | 88             | 110            |                | M24              | 1,14            | 29,0            |                   |                   |
| 220  | 50,8 | 0,508 | 210                         | 220            | 7,0            | 11,0 | 18 | 152 | 28                  | 100            | 120            |                | M24              | 1,26            | 24,0            |                   |                   |
| 240  | 60,3 | 0,603 | 230                         | 240            | 7,5            | 12,0 | 21 | 164 | 30                  | 116            | 84             | 38             |                  | M24             | 1,37            | 22,7              |                   |
| 260  | 68,2 | 0,682 | 250                         | 260            | 7,5            | 12,5 | 24 | 176 | 37                  | 120            | 100            | 40             |                  | M24             | 1,48            | 21,7              |                   |
| 280  | 78,4 | 0,784 | 270                         | 280            | 8,0            | 13,0 | 24 | 186 | 37                  | 136            | 110            | 45             |                  | M24             | 1,60            | 21,0              |                   |
| 300  | 85,7 | 0,857 | 290                         | 300            | 8,5            | 14,0 | 27 | 208 | 41                  | 148            | 130            | 45             |                  | M27             | 1,73            | 18,8              |                   |
| 320  | 97,8 | 0,978 | 310                         | 320            | 9,0            | 15,0 | 27 | 224 | 43                  | 148            | 130            | 48             |                  | M27             | 1,78            | 18,0              |                   |
| 340  | 105  | 1,05  | 330                         | 340            | 9,5            | 16,0 | 27 | 242 | 44                  | 148            | 130            | 48             |                  | M27             | 1,78            | 17,1              |                   |
| 360  | 112  | 1,12  | 348                         | 360            | 10,0           | 17,0 | 27 | 260 | 48                  | 148            | 128            | 48             |                  | M27             | 1,83            | 16,4              |                   |
| 400  | 125  | 1,25  | 390                         | 400            | 11,0           | 18,0 | 27 | 298 | 48                  | 144            | 120            | 48             |                  | M27             | 1,81            | 15,3              |                   |
| 450  | 140  | 1,40  | 440                         | 450            | 11,5           | 21,0 | 27 | 344 | 48                  | 144            | 120            | 48             |                  | M27             | 2,01            | 14,4              |                   |
| 500  | 155  | 1,55  | 490                         | 500            | 12,0           | 23,0 | 27 | 380 | 50                  | 144            | 120            | 48             |                  | M27             | 2,11            | 13,8              |                   |
| 550  | 168  | 1,68  | 540                         | 550            | 12,5           | 24,0 | 27 | 428 | 51                  | 143            | 120            | 48             |                  | M27             | 2,21            | 13,3              |                   |
| 600  | 178  | 1,78  | 590                         | 600            | 13,0           | 25,0 | 27 | 488 | 52                  | 143            | 120            | 48             |                  | M27             | 2,31            | 12,8              |                   |
| 650  | 190  | 1,90  | 640                         | 650            | 13,5           | 25,0 | 27 | 534 | 53                  | 143            | 120            | 48             |                  | M27             | 2,41            | 12,7              |                   |
| 700  | 204  | 2,04  | 690                         | 700            | 14,0           | 27,0 | 27 | 582 | 54                  | 143            | 120            | 48             |                  | M27             | 2,50            | 12,3              |                   |
| 800  | 234  | 2,34  | 790                         | 800            | 15,0           | 28,0 | 30 | 634 | 58                  | 142            | 120            | 48             |                  | M27             | 2,70            | 12,0              |                   |
| 900  | 252  | 2,52  | 860                         | 900            | 16,0           | 30,0 | 30 | 738 | 60                  | 142            | 120            | 48             |                  | M27             | 2,80            | 11,6              |                   |
| 1000 | 272  | 2,72  | 960                         | 1000           | 16,5           | 31,0 | 30 | 888 | 61                  | 141            | 120            | 48             |                  | M27             | 3,10            | 11,4              |                   |



### Tubos Cuadrados

Area de cortante:

$$A_v = A/2 \text{ (IEC-3, art 5.4.8.(2).f)}$$

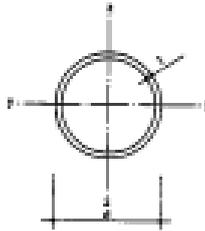
Momento estático de media sección respecto a la fibra neutra:

$$S = 1/2 W_{pl}$$

$I_t$  Módulo de torsión de Saint Venant

$S_m, S_t$  Superficie de pintura

| Dimensiones |      |       |       | Superficie        |                   | Valores estáticos |                 |   |   |   |      |   |
|-------------|------|-------|-------|-------------------|-------------------|-------------------|-----------------|---|---|---|------|---|
| a           | t    | m     | p     | $S_m$             | $S_t$             | A                 | $A_v$           | I                                       | W                                       | $W_{pl}$                                | I    | $I_t$                                   |
| mm          | mm   | kg/m  | kN/m  | m <sup>2</sup> /m | m <sup>2</sup> /t | mm <sup>2</sup>   | mm <sup>2</sup> | mm <sup>4</sup><br>(x 10 <sup>6</sup> ) | mm <sup>3</sup><br>(x 10 <sup>3</sup> ) | mm <sup>3</sup><br>(x 10 <sup>3</sup> ) | mm   | mm <sup>4</sup><br>(x 10 <sup>6</sup> ) |
| 125         | 4    | 14,9  | 0,149 | 0,485             | 32,6              | 1900              | 950             | 4,72                                    | 75,6                                    | 37,8                                    | 49,9 | 7,08                                    |
|             | 5    | 18,6  | 0,186 | 0,485             | 32,6              | 2360              | 1180            | 5,77                                    | 92,3                                    | 46,1                                    | 49,4 | 9,64                                    |
|             | 6    | 22,0  | 0,220 | 0,485             | 32,6              | 2810              | 1410            | 6,75                                    | 108                                     | 54,0                                    | 49,0 | 10,1                                    |
|             | 7    | 25,5  | 0,255 | 0,485             | 32,6              | 3250              | 1630            | 7,69                                    | 123                                     | 61,6                                    | 48,6 | 11,5                                    |
|             | 8    | 29,0  | 0,290 | 0,485             | 32,6              | 3690              | 1850            | 8,58                                    | 137                                     | 69                                      | 48,1 | 12,8                                    |
| 9           | 32,4 | 0,324 | 0,485 | 32,6              | 4130              | 2070              | 9,42            | 151                                     | 76,2                                    | 47,7                                    | 14,0 |   |
| 135         | 4    | 15,9  | 0,159 | 0,518             | 32,6              | 2020              | 1010            | 6,0                                     | 88,8                                    | 44,4                                    | 54,4 | 8,99                                    |
|             | 5    | 19,7  | 0,197 | 0,518             | 32,6              | 2510              | 1260            | 7,33                                    | 109                                     | 54,5                                    | 54,0 | 11,0                                    |
|             | 6    | 23,5  | 0,235 | 0,518             | 32,6              | 3000              | 1500            | 8,60                                    | 127                                     | 63,5                                    | 53,5 | 12,9                                    |
|             | 7    | 27,3  | 0,273 | 0,518             | 32,6              | 3470              | 1740            | 9,81                                    | 145                                     | 72                                      | 53,1 | 14,7                                    |
|             | 8    | 31,0  | 0,310 | 0,518             | 32,6              | 3950              | 1980            | 11,0                                    | 165                                     | 81,7                                    | 52,7 | 16,4                                    |
| 9           | 34,8 | 0,348 | 0,518 | 32,6              | 4410              | 2210              | 12,1            | 179                                     | 89,8                                    | 52,3                                    | 18,0 |   |
| 140         | 4    | 16,9  | 0,169 | 0,548             | 32,6              | 2150              | 1080            | 6,71                                    | 95,9                                    | 47,9                                    | 55,8 | 10,1                                    |
|             | 5    | 21,0  | 0,210 | 0,548             | 32,6              | 2670              | 1340            | 8,21                                    | 117                                     | 58,4                                    | 55,4 | 12,3                                    |
|             | 6    | 25,0  | 0,250 | 0,548             | 32,6              | 3190              | 1600            | 9,64                                    | 138                                     | 69,0                                    | 55,0 | 14,4                                    |
|             | 7    | 29,0  | 0,290 | 0,548             | 32,6              | 3690              | 1800            | 11,0                                    | 157                                     | 78,5                                    | 54,5 | 16,5                                    |
|             | 8    | 32,9  | 0,329 | 0,548             | 32,6              | 4200              | 2100            | 12,3                                    | 176                                     | 89,0                                    | 54,1 | 18,4                                    |
| 9           | 36,9 | 0,369 | 0,548 | 32,6              | 4690              | 2350              | 13,6            | 194                                     | 99,0                                    | 53,7                                    | 20,2 |   |
| 160         | 5    | 24,0  | 0,240 | 0,628             | 28,1              | 3080              | 1540            | 12,4                                    | 155                                     | 77,5                                    | 62,6 | 16,6                                    |
|             | 6    | 28,7  | 0,287 | 0,628             | 28,1              | 3680              | 1830            | 14,6                                    | 183                                     | 91,5                                    | 62,3 | 21,9                                    |
|             | 7    | 33,3  | 0,333 | 0,628             | 28,1              | 4240              | 2130            | 16,7                                    | 209                                     | 106                                     | 62,8 | 25,1                                    |
|             | 8    | 37,9  | 0,379 | 0,628             | 28,1              | 4830              | 2430            | 18,8                                    | 235                                     | 121                                     | 62,3 | 28,1                                    |
|             | 9    | 42,3  | 0,423 | 0,628             | 28,1              | 5450              | 2750            | 20,7                                    | 259                                     | 136                                     | 61,9 | 31,0                                    |
| 175         | 5    | 26,4  | 0,264 | 0,688             | 26,0              | 3380              | 1690            | 16,4                                    | 187                                     | 93,5                                    | 68,8 | 24,8                                    |
|             | 6    | 31,5  | 0,315 | 0,688             | 26,0              | 4010              | 2010            | 19,3                                    | 221                                     | 110                                     | 68,3 | 29,0                                    |
|             | 7    | 36,5  | 0,365 | 0,688             | 26,0              | 4660              | 2330            | 22,3                                    | 253                                     | 127                                     | 68,9 | 33,2                                    |
|             | 8    | 41,6  | 0,416 | 0,688             | 26,0              | 5300              | 2650            | 24,9                                    | 285                                     | 144                                     | 68,5 | 37,3                                    |
|             | 9    | 46,6  | 0,466 | 0,688             | 26,0              | 5940              | 2970            | 27,5                                    | 315                                     | 160                                     | 68,0 | 41,2                                    |
| 180         | 5    | 26,8  | 0,268 | 0,688             | 26,1              | 3420              | 1710            | 17,3                                    | 192                                     | 96                                      | 71,0 | 27,3                                    |
|             | 6    | 31,9  | 0,319 | 0,688             | 26,1              | 4080              | 2030            | 20,2                                    | 226                                     | 113                                     | 70,5 | 32,3                                    |
|             | 7    | 37,0  | 0,370 | 0,688             | 26,1              | 4760              | 2360            | 23,0                                    | 259                                     | 130                                     | 70,0 | 37,3                                    |
|             | 8    | 42,1  | 0,421 | 0,688             | 26,1              | 5440              | 2690            | 25,6                                    | 289                                     | 146                                     | 69,5 | 41,8                                    |
|             | 9    | 47,2  | 0,472 | 0,688             | 26,1              | 6120              | 3020            | 28,1                                    | 318                                     | 161                                     | 69,0 | 46,3                                    |
| 200         | 5    | 30,0  | 0,300 | 0,780             | 26,0              | 4020              | 2010            | 24,0                                    | 240                                     | 120                                     | 78,2 | 37,7                                    |
|             | 6    | 35,7  | 0,357 | 0,778             | 21,8              | 4550              | 2280            | 28,1                                    | 281                                     | 140                                     | 75,7 | 44,7                                    |
|             | 7    | 40,7  | 0,407 | 0,771             | 18,8              | 5050              | 2560            | 32,3                                    | 323                                     | 161                                     | 71,7 | 53,1                                    |
|             | 8    | 45,7  | 0,457 | 0,761             | 15,3              | 5520              | 2850            | 36,9                                    | 369                                     | 183                                     | 76,7 | 62,6                                    |
|             | 9    | 50,7  | 0,507 | 0,751             | 11,2              | 5960              | 3150            | 41,9                                    | 419                                     | 206                                     | 75,7 | 72,4                                    |
| 250         | 5    | 45,1  | 0,451 | 1,17              | 25,9              | 4820              | 2410            | 47,9                                    | 388                                     | 194                                     | 89,6 | 74,6                                    |
|             | 6    | 50,3  | 0,503 | 1,29              | 21,7              | 5750              | 2880            | 56,4                                    | 451                                     | 225                                     | 86,1 | 89,6                                    |
|             | 7    | 55,7  | 0,557 | 1,13              | 16,4              | 6550              | 3280            | 65,6                                    | 511                                     | 259                                     | 86,1 | 110                                     |
|             | 8    | 61,2  | 0,612 | 0,982             | 13,2              | 7290              | 3690            | 75,6                                    | 571                                     | 295                                     | 87,1 | 142                                     |
|             | 9    | 66,7  | 0,667 | 0,857             | 11,1              | 7990              | 4100            | 86,1                                    | 629                                     | 332                                     | 86,1 | 166                                     |
| 260         | 5    | 48,1  | 0,481 | 1,04              | 21,6              | 5990              | 2990            | 63,7                                    | 490                                     | 245                                     | 100  | 89,9                                    |
|             | 6    | 57,8  | 0,578 | 0,895             | 13,2              | 6690              | 3390            | 73,3                                    | 550                                     | 285                                     | 101  | 160                                     |
| 300         | 5    | 54,5  | 0,545 | 1,18              | 21,6              | 6950              | 3480            | 69,3                                    | 562                                     | 281                                     | 120  | 155                                     |
|             | 6    | 71,8  | 0,718 | 1,17              | 18,3              | 8150              | 4080            | 128                                     | 657                                     | 328                                     | 119  | 200                                     |
|             | 8    | 89,8  | 0,898 | 1,16              | 13,1              | 11300             | 5650            | 156                                     | 904                                     | 452                                     | 118  | 249                                     |
|             | 12   | 105   | 1,05  | 1,16              | 11,0              | 13400             | 6700            | 182                                     | 1070                                    | 535                                     | 117  | 294                                     |
| 350         | 5    | 86,3  | 0,863 | 1,40              | 16,2              | 16800             | 8400            | 208                                     | 1190                                    | 595                                     | 139  | 325                                     |
|             | 10   | 107   | 1,07  | 1,40              | 13,0              | 13300             | 6650            | 253                                     | 1450                                    | 725                                     | 138  | 401                                     |
|             | 12   | 128   | 1,28  | 1,40              | 10,3              | 15800             | 7900            | 296                                     | 1690                                    | 845                                     | 137  | 474                                     |



## Tubos Redondos

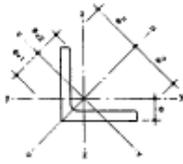
Área de corte:  
 $A_v = 2 A/t$  (EC-3, art 5.4.6.(2)-f)

Momento estático de media sección respecto a la fibra neutra:  
 $S = 1/2 W_{pl}$

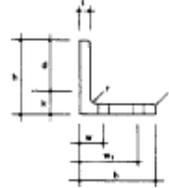
$I_t$  Módulo de torsión de Saint Venant

$S_{ps}$ ,  $S_f$  Superficie de pintura

| Dimensiones |       | m    | p     | Superficie        |                   | Valores estáticos |                 |   |   |   |      |   |
|-------------|-------|------|-------|-------------------|-------------------|-------------------|-----------------|---|---|---|------|---|
| b           | t     |      |       | $S_{ps}$          | $S_f$             | A                 | $A_v$           | I                                       | W                                       | $W_{pl}$                                | i    | $I_t$                                   |
| mm          | mm    | kg/m | kN/m  | m <sup>2</sup> /m | m <sup>2</sup> /m | mm <sup>2</sup>   | mm <sup>2</sup> | mm <sup>4</sup><br>(x 10 <sup>8</sup> ) | mm <sup>3</sup><br>(x 10 <sup>3</sup> ) | mm <sup>3</sup><br>(x 10 <sup>3</sup> ) | mm   | mm <sup>4</sup><br>(x 10 <sup>4</sup> ) |
| 155         | 4     | 14,9 | 0,149 | 0,485             | 32,8              | 1900              | 1210            | 5,41                                    | 70,0                                    | 31,0                                    | 53,4 | 10,8                                    |
|             | 5     | 16,5 | 0,165 | 0,485             | 28,3              | 2360              | 1500            | 6,63                                    | 88,0                                    | 112                                     | 53,0 | 13,3                                    |
|             | 6     | 22,0 | 0,220 | 0,485             | 22,0              | 2810              | 1790            | 7,80                                    | 100                                     | 133                                     | 52,7 | 16,6                                    |
|             | 7     | 25,5 | 0,255 | 0,485             | 19,0              | 3250              | 2070            | 8,93                                    | 115                                     | 153                                     | 52,9 | 17,9                                    |
|             | 8     | 29,0 | 0,290 | 0,485             | 16,7              | 3690              | 2350            | 10,0                                    | 129                                     | 172                                     | 53,0 | 20,0                                    |
|             | 9     | 32,4 | 0,324 | 0,485             | 15,0              | 4130              | 2630            | 11,0                                    | 142                                     | 191                                     | 51,7 | 22,0                                    |
| 165         | 4     | 15,9 | 0,159 | 0,518             | 32,8              | 2020              | 1290            | 5,52                                    | 79,0                                    | 103                                     | 56,9 | 13,1                                    |
|             | 5     | 17,7 | 0,177 | 0,518             | 28,2              | 2510              | 1600            | 6,65                                    | 97,0                                    | 128                                     | 56,5 | 16,1                                    |
|             | 6     | 23,5 | 0,235 | 0,518             | 22,0              | 3000              | 1910            | 7,48                                    | 114                                     | 151                                     | 56,2 | 19,0                                    |
|             | 7     | 27,3 | 0,273 | 0,518             | 19,0              | 3470              | 2210            | 10,9                                    | 131                                     | 174                                     | 56,8 | 21,7                                    |
|             | 8     | 31,0 | 0,310 | 0,518             | 16,7              | 3950              | 2510            | 12,1                                    | 147                                     | 197                                     | 55,5 | 24,2                                    |
|             | 9     | 34,6 | 0,346 | 0,518             | 14,9              | 4410              | 2810            | 13,5                                    | 163                                     | 219                                     | 55,2 | 26,9                                    |
| 175         | 4     | 16,9 | 0,169 | 0,548             | 32,5              | 2150              | 1370            | 7,95                                    | 90,0                                    | 116                                     | 60,4 | 15,7                                    |
|             | 5     | 21,0 | 0,210 | 0,548             | 26,2              | 2670              | 1700            | 9,65                                    | 110                                     | 144                                     | 60,1 | 19,3                                    |
|             | 6     | 25,0 | 0,250 | 0,548             | 21,9              | 3190              | 2030            | 11,0                                    | 130                                     | 171                                     | 59,7 | 22,8                                    |
|             | 7     | 29,0 | 0,290 | 0,548             | 18,9              | 3690              | 2350            | 13,0                                    | 149                                     | 197                                     | 59,4 | 26,1                                    |
|             | 8     | 33,9 | 0,339 | 0,548             | 16,6              | 4200              | 2670            | 14,7                                    | 167                                     | 223                                     | 59,1 | 29,3                                    |
|             | 9     | 38,8 | 0,388 | 0,548             | 14,9              | 4690              | 2990            | 16,2                                    | 185                                     | 248                                     | 58,7 | 32,4                                    |
| 200         | 5     | 24,0 | 0,240 | 0,625             | 26,1              | 3060              | 1900            | 14,6                                    | 145                                     | 190                                     | 68,9 | 29,1                                    |
|             | 6     | 29,7 | 0,297 | 0,625             | 21,8              | 3660              | 2330            | 17,3                                    | 172                                     | 225                                     | 68,6 | 34,4                                    |
|             | 7     | 33,3 | 0,333 | 0,625             | 18,8              | 4240              | 2700            | 19,8                                    | 197                                     | 260                                     | 68,2 | 39,6                                    |
|             | 8     | 37,9 | 0,379 | 0,625             | 16,5              | 4830              | 3080            | 22,3                                    | 222                                     | 294                                     | 67,9 | 44,5                                    |
|             | 9     | 42,4 | 0,424 | 0,625             | 14,8              | 5400              | 3440            | 24,7                                    | 248                                     | 328                                     | 67,6 | 49,4                                    |
| 215         | 5     | 26,4 | 0,264 | 0,686             | 26,0              | 3360              | 2140            | 19,3                                    | 175                                     | 228                                     | 75,6 | 38,5                                    |
|             | 6     | 31,5 | 0,315 | 0,686             | 21,8              | 4010              | 2590            | 22,8                                    | 208                                     | 273                                     | 75,3 | 45,6                                    |
|             | 7     | 36,6 | 0,366 | 0,686             | 18,7              | 4660              | 2970            | 26,2                                    | 239                                     | 314                                     | 74,9 | 52,4                                    |
|             | 8     | 41,6 | 0,416 | 0,686             | 16,5              | 5300              | 3370            | 29,6                                    | 269                                     | 356                                     | 74,6 | 59,1                                    |
|             | 9     | 46,6 | 0,466 | 0,686             | 14,7              | 5940              | 3780            | 32,2                                    | 299                                     | 396                                     | 74,3 | 65,6                                    |
| 244,5       | 6     | 35,3 | 0,353 | 0,344             | 21,8              | 4500              | 2860            | 32,0                                    | 262                                     | 341                                     | 84,3 | 64,0                                    |
|             | 8     | 46,7 | 0,467 | 0,344             | 16,5              | 5940              | 3780            | 41,6                                    | 340                                     | 448                                     | 83,7 | 83,2                                    |
|             | 10    | 57,8 | 0,578 | 0,344             | 13,3              | 7370              | 4690            | 50,7                                    | 415                                     | 550                                     | 83,0 | 101                                     |
|             | 12    | 68,8 | 0,688 | 0,344             | 11,2              | 8790              | 5590            | 59,4                                    | 486                                     | 649                                     | 82,3 | 119                                     |
|             | 14    | 79,8 | 0,798 | 0,344             | 9,65              | 10100             | 6430            | 67,6                                    | 553                                     | 746                                     | 81,6 | 135                                     |
| 273         | 6     | 39,5 | 0,395 | 0,858             | 21,7              | 5020              | 3200            | 44,9                                    | 329                                     | 428                                     | 94,4 | 89,7                                    |
|             | 8     | 52,3 | 0,523 | 0,858             | 16,4              | 6580              | 4240            | 58,5                                    | 429                                     | 562                                     | 93,7 | 117                                     |
|             | 10    | 64,9 | 0,649 | 0,858             | 13,2              | 8260              | 5260            | 71,6                                    | 524                                     | 692                                     | 93,0 | 143                                     |
|             | 12    | 77,2 | 0,772 | 0,858             | 11,1              | 9840              | 6260            | 84,0                                    | 615                                     | 818                                     | 92,4 | 168                                     |
|             | 14    | 89,4 | 0,894 | 0,858             | 9,59              | 11400             | 7250            | 95,8                                    | 702                                     | 940                                     | 91,7 | 192                                     |
| 323,9       | 8     | 62,3 | 0,623 | 1,02              | 16,3              | 7940              | 5060            | 99,1                                    | 612                                     | 798                                     | 112  | 195                                     |
|             | 10    | 77,4 | 0,774 | 1,02              | 13,1              | 9880              | 6260            | 122                                     | 751                                     | 986                                     | 111  | 243                                     |
|             | 12    | 92,3 | 0,923 | 1,02              | 11,0              | 11800             | 7510            | 143                                     | 894                                     | 1170                                    | 110  | 286                                     |
|             | 14    | 107  | 1,07  | 1,02              | 9,51              | 13600             | 8660            | 164                                     | 1010                                    | 1340                                    | 110  | 328                                     |
|             | 365,6 | 8    | 68,6  | 0,686             | 1,12              | 16,3              | 8340            | 5360                                    | 132                                     | 742                                     | 867  | 123                                     |
| 10          |       | 85,2 | 0,852 | 1,12              | 13,1              | 10300             | 6640            | 162                                     | 912                                     | 1190                                    | 122  | 324                                     |
| 12          |       | 102  | 1,02  | 1,12              | 11,0              | 12300             | 8210            | 191                                     | 1080                                    | 1420                                    | 122  | 383                                     |
| 14          |       | 118  | 1,18  | 1,12              | 9,47              | 14300             | 9530            | 219                                     | 1230                                    | 1690                                    | 121  | 439                                     |
| 406,4       |       | 8    | 75,6  | 0,756             | 1,28              | 16,2              | 10000           | 6370                                    | 199                                     | 978                                     | 1270 | 141                                     |
|             | 10    | 97,8 | 0,978 | 1,28              | 13,1              | 12400             | 7890            | 245                                     | 1200                                    | 1570                                    | 140  | 489                                     |
|             | 12    | 117  | 1,17  | 1,28              | 10,9              | 14900             | 9480            | 299                                     | 1420                                    | 1870                                    | 139  | 579                                     |
|             | 14    | 135  | 1,35  | 1,28              | 9,42              | 17300             | 11000           | 333                                     | 1640                                    | 2180                                    | 139  | 665                                     |



Perfiles LPN



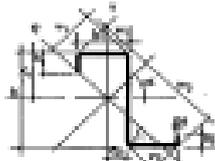
Perfiles LPN

$S_{p1}, S_{p2}$  Superficie de pintura

$d_{max}$  Diámetro máximo de los tornillos

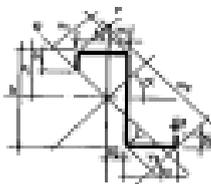
| LPN    | Valores estáticos |                                      |                                      |       |      |                                      |                                      |       |        |                                      |       |          |          |
|--------|-------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|-------|------|--------------------------------------|--------------------------------------|-------|--------|--------------------------------------|-------|----------|----------|
|        | A                 | $I_x$                                | $W_x$                                | $i_x$ | e    | $I_y$                                | $W_y$                                | $i_y$ | $e_y$  | $I_z$                                | $I_w$ | $r_{w1}$ | $r_{w2}$ |
|        | mm <sup>2</sup>   | mm <sup>4</sup> (x 10 <sup>8</sup> ) | mm <sup>3</sup> (x 10 <sup>6</sup> ) | mm    | mm   | mm <sup>4</sup> (x 10 <sup>8</sup> ) | mm <sup>3</sup> (x 10 <sup>6</sup> ) | mm    | mm     | mm <sup>4</sup> (x 10 <sup>8</sup> ) | mm    | mm       | mm       |
| 40-4   | 308               | 0,0448                               | 1,56                                 | 12,1  | 11,2 | 0,0709                               | 15,2                                 | 28,3  | 0,0188 | 7,8                                  | 15,8  | 14,0     |          |
| 6      | 438               | 0,0631                               | 2,26                                 | 11,9  | 12,0 | 0,0998                               | 14,5                                 | 28,3  | 0,0265 | 7,7                                  | 17,0  | 14,3     |          |
| 45-5   | 430               | 0,0783                               | 2,43                                 | 13,5  | 12,8 | 0,124                                | 17,0                                 | 31,8  | 0,0325 | 8,7                                  | 18,1  | 15,8     |          |
| 50-6   | 480               | 0,110                                | 3,05                                 | 15,1  | 14,0 | 0,174                                | 19,0                                 | 35,4  | 0,0454 | 9,7                                  | 19,9  | 17,6     |          |
| 7      | 656               | 0,146                                | 4,15                                 | 14,9  | 14,9 | 0,231                                | 18,5                                 | 35,4  | 0,0610 | 9,6                                  | 21,0  | 17,8     |          |
| 55-6   | 631               | 0,173                                | 4,40                                 | 16,6  | 15,6 | 0,274                                | 20,8                                 | 38,9  | 0,0724 | 10,7                                 | 22,1  | 19,4     |          |
| 60-6   | 691               | 0,228                                | 5,29                                 | 18,2  | 16,9 | 0,382                                | 22,9                                 | 42,4  | 0,0943 | 11,7                                 | 23,9  | 21,1     |          |
| 8      | 903               | 0,291                                | 6,88                                 | 18,0  | 17,7 | 0,462                                | 22,6                                 | 42,4  | 0,121  | 11,6                                 | 25,0  | 21,4     |          |
| 65-7   | 870               | 0,334                                | 7,18                                 | 19,6  | 18,5 | 0,530                                | 24,7                                 | 46,0  | 0,138  | 12,6                                 | 26,2  | 22,9     |          |
| 70-7   | 940               | 0,424                                | 8,43                                 | 21,2  | 18,7 | 0,671                                | 26,7                                 | 49,5  | 0,175  | 13,6                                 | 27,9  | 24,7     |          |
| 9      | 1190              | 0,526                                | 10,6                                 | 21,0  | 20,5 | 0,831                                | 26,4                                 | 49,5  | 0,220  | 13,6                                 | 29,0  | 25,0     |          |
| 75-8   | 1180              | 0,589                                | 11,0                                 | 22,6  | 21,3 | 0,933                                | 28,5                                 | 53,0  | 0,244  | 14,6                                 | 30,1  | 26,5     |          |
| 80-8   | 1230              | 0,723                                | 12,6                                 | 24,2  | 22,6 | 1,15                                 | 30,6                                 | 56,6  | 0,298  | 15,5                                 | 31,9  | 28,2     |          |
| 10     | 1510              | 0,875                                | 15,5                                 | 24,1  | 23,4 | 1,39                                 | 30,3                                 | 56,6  | 0,383  | 15,5                                 | 33,0  | 28,5     |          |
| 12     | 1790              | 1,02                                 | 18,2                                 | 23,9  | 24,1 | 1,61                                 | 30,0                                 | 56,6  | 0,427  | 15,5                                 | 34,1  | 28,9     |          |
| 90-9   | 1550              | 1,18                                 | 18,0                                 | 27,4  | 25,4 | 1,84                                 | 34,5                                 | 63,6  | 0,478  | 17,6                                 | 35,9  | 31,8     |          |
| 11     | 1870              | 1,38                                 | 21,6                                 | 27,2  | 26,2 | 2,18                                 | 34,0                                 | 63,6  | 0,571  | 17,5                                 | 37,0  | 32,1     |          |
| 100-8  | 1550              | 1,45                                 | 19,9                                 | 30,6  | 27,4 | 2,30                                 | 38,5                                 | 70,7  | 0,598  | 19,6                                 | 38,7  | 35,2     |          |
| 10     | 1920              | 1,77                                 | 24,7                                 | 30,4  | 28,2 | 2,80                                 | 38,3                                 | 70,7  | 0,729  | 19,5                                 | 39,8  | 35,4     |          |
| 12     | 2270              | 2,07                                 | 28,2                                 | 30,2  | 28,0 | 3,28                                 | 38,0                                 | 70,7  | 0,857  | 19,4                                 | 41,1  | 35,7     |          |
| 110-10 | 2120              | 2,39                                 | 30,1                                 | 33,6  | 30,7 | 3,79                                 | 42,3                                 | 77,8  | 0,985  | 21,6                                 | 43,4  | 38,9     |          |
| 120-11 | 2540              | 3,41                                 | 39,5                                 | 36,6  | 33,6 | 5,41                                 | 46,2                                 | 84,9  | 1,40   | 23,5                                 | 47,5  | 42,4     |          |
| 13     | 2970              | 3,94                                 | 46,0                                 | 36,4  | 34,4 | 6,25                                 | 45,9                                 | 84,9  | 1,62   | 23,4                                 | 48,6  | 42,7     |          |
| 15     | 3390              | 4,46                                 | 52,5                                 | 36,3  | 35,1 | 7,06                                 | 45,6                                 | 84,9  | 1,85   | 23,3                                 | 49,6  | 43,1     |          |
| 130-12 | 3000              | 4,72                                 | 50,4                                 | 39,7  | 36,4 | 7,50                                 | 50,0                                 | 92    | 1,94   | 25,4                                 | 51,5  | 46,0     |          |
| 14     | 3470              | 5,40                                 | 58,2                                 | 39,4  | 37,2 | 8,57                                 | 49,7                                 | 92    | 2,23   | 25,3                                 | 52,6  | 46,3     |          |
| 140-13 | 3900              | 6,38                                 | 63,3                                 | 42,7  | 39,2 | 10,1                                 | 53,8                                 | 99    | 2,62   | 27,4                                 | 55,4  | 49,5     |          |
| 15     | 4000              | 7,23                                 | 72,3                                 | 42,5  | 40,0 | 11,5                                 | 53,6                                 | 99    | 2,98   | 27,3                                 | 56,6  | 49,9     |          |
| 150-12 | 3480              | 7,37                                 | 67,7                                 | 45,0  | 41,2 | 11,7                                 | 58,0                                 | 106   | 3,03   | 29,5                                 | 58,3  | 52,9     |          |
| 14     | 4030              | 8,45                                 | 78,2                                 | 45,8  | 42,1 | 13,4                                 | 57,7                                 | 106   | 3,47   | 29,4                                 | 59,5  | 53,1     |          |
| 16     | 4570              | 9,49                                 | 88,7                                 | 45,5  | 42,9 | 15,1                                 | 57,4                                 | 106   | 3,91   | 29,3                                 | 60,7  | 53,4     |          |
| 160-15 | 4610              | 11,0                                 | 95,6                                 | 48,8  | 44,9 | 17,5                                 | 61,5                                 | 113   | 4,53   | 31,4                                 | 63,5  | 56,7     |          |
| 17     | 5180              | 12,3                                 | 108                                  | 48,6  | 45,7 | 19,5                                 | 61,3                                 | 113   | 5,06   | 31,3                                 | 64,6  | 57,0     |          |
| 180-16 | 5540              | 16,6                                 | 130                                  | 55,1  | 50,2 | 26,9                                 | 69,6                                 | 127   | 6,79   | 35,0                                 | 71,1  | 63,9     |          |
| 18     | 6190              | 18,7                                 | 148                                  | 54,9  | 51,0 | 29,6                                 | 69,2                                 | 127   | 7,57   | 34,9                                 | 72,2  | 64,1     |          |
| 200-16 | 6180              | 23,4                                 | 162                                  | 61,5  | 55,2 | 37,2                                 | 77,6                                 | 141   | 9,59   | 39,4                                 | 78,1  | 70,9     |          |
| 19     | 6910              | 26,0                                 | 181                                  | 61,3  | 56,0 | 41,3                                 | 77,3                                 | 141   | 10,7   | 39,3                                 | 79,3  | 71,2     |          |
| 20     | 7640              | 28,5                                 | 199                                  | 61,1  | 56,8 | 45,4                                 | 77,0                                 | 141   | 11,7   | 39,2                                 | 80,4  | 71,5     |          |

| LPN    | m    | p      | Datos geométricos |    |                |                |                | Datos constructivos |    |     |                |                  | Superficie      |                 |                 |                 |
|--------|------|--------|-------------------|----|----------------|----------------|----------------|---------------------|----|-----|----------------|------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
|        |      |        | h                 | t  | t <sub>w</sub> | r <sub>1</sub> | r <sub>2</sub> | d                   | k  | w   | w <sub>1</sub> | e <sub>max</sub> | S <sub>p1</sub> | S <sub>p2</sub> |                 |                 |
|        |      | kg/m   | mm                | mm | mm             | mm             | mm             | mm                  | mm | mm  | mm             | mm               | mm              | mm              | mm <sup>2</sup> | mm <sup>2</sup> |
| 40-4   | 2,42 | 0,0242 | 40                | 4  | 6              | 3              | 30             | 10                  | 22 |     |                |                  |                 | M10             | 0,155           | 64,2            |
| 6      | 3,52 | 0,0352 | 40                | 6  | 6              | 3              | 28             | 12                  | 22 |     |                |                  |                 | M10             | 0,155           | 44,0            |
| 45-5   | 2,38 | 0,0338 | 45                | 5  | 7              | 3,5            | 33             | 12                  | 25 |     |                |                  |                 | M10             | 0,174           | 51,5            |
| 50-5   | 3,77 | 0,0377 | 50                | 5  | 7              | 3,5            | 38             | 12                  | 25 |     |                |                  |                 | M12             | 0,194           | 51,5            |
| 7      | 5,15 | 0,0515 | 50                | 7  | 7              | 3,5            | 36             | 14                  | 30 |     |                |                  |                 | M12             | 0,194           | 37,7            |
| 55-6   | 4,95 | 0,050  | 55                | 6  | 8              | 4              | 41             | 14                  | 30 |     |                |                  |                 | M16             | 0,213           | 48,0            |
| 60-6   | 5,42 | 0,054  | 60                | 6  | 8              | 4              | 46             | 14                  | 35 |     |                |                  |                 | M16             | 0,233           | 43,0            |
| 8      | 7,09 | 0,071  | 60                | 8  | 8              | 4              | 44             | 16                  | 35 |     |                |                  |                 | M18             | 0,233           | 32,9            |
| 65-7   | 6,93 | 0,068  | 65                | 7  | 9              | 4,5            | 49             | 16                  | 35 |     |                |                  |                 | M20             | 0,252           | 36,9            |
| 70-7   | 7,38 | 0,074  | 70                | 7  | 9              | 4,5            | 54             | 16                  | 40 |     |                |                  |                 | M20             | 0,272           | 36,9            |
| 9      | 9,34 | 0,093  | 70                | 9  | 9              | 4,5            | 52             | 18                  | 40 |     |                |                  |                 | M20             | 0,272           | 29,1            |
| 75-8   | 8,03 | 0,090  | 75                | 8  | 10             | 5              | 57             | 18                  | 40 |     |                |                  |                 | M20             | 0,291           | 32,2            |
| 80-8   | 8,66 | 0,097  | 80                | 8  | 10             | 5              | 62             | 18                  | 46 |     |                |                  |                 | M20             | 0,311           | 32,2            |
| 10     | 11,5 | 0,119  | 80                | 10 | 10             | 5              | 60             | 20                  | 45 |     |                |                  |                 | M20             | 0,311           | 26,1            |
| 12     | 14,0 | 0,140  | 80                | 12 | 10             | 5              | 58             | 22                  | 45 |     |                |                  |                 | M20             | 0,311           | 22,1            |
| 90-9   | 12,2 | 0,122  | 90                | 9  | 11             | 5,5            | 70             | 20                  | 45 |     |                |                  |                 | M20             | 0,351           | 28,8            |
| 11     | 14,7 | 0,147  | 90                | 11 | 11             | 5,5            | 68             | 22                  | 50 |     |                |                  |                 | M20             | 0,351           | 23,9            |
| 100-8  | 12,2 | 0,122  | 100               | 8  | 12             | 6              | 80             | 20                  | 55 |     |                |                  |                 | M20             | 0,390           | 32,0            |
| 10     | 15,1 | 0,151  | 100               | 10 | 12             | 6              | 78             | 22                  | 55 |     |                |                  |                 | M24             | 0,390           | 29,8            |
| 12     | 17,8 | 0,178  | 100               | 12 | 12             | 6              | 76             | 24                  | 55 |     |                |                  |                 | M24             | 0,390           | 21,9            |
| 110-10 | 16,6 | 0,166  | 110               | 10 | 12             | 6              | 88             | 22                  | 45 | 70  |                |                  |                 | M24             | 0,430           | 29,8            |
| 120-11 | 19,9 | 0,182  | 120               | 10 | 13             | 6,5            | 97             | 23                  | 50 | 80  |                |                  |                 | M24             | 0,469           | 23,6            |
| 13     | 23,3 | 0,216  | 120               | 12 | 13             | 6,5            | 95             | 25                  | 50 | 80  |                |                  |                 | M24             | 0,469           | 20,1            |
| 15     | 26,8 | 0,268  | 120               | 15 | 13             | 6,5            | 92             | 28                  | 50 | 80  |                |                  |                 | M24             | 0,469           | 17,6            |
| 130-12 | 23,6 | 0,236  | 130               | 12 | 14             | 7              | 104            | 26                  | 50 | 80  |                |                  |                 | M24             | 0,508           | 21,5            |
| 14     | 27,2 | 0,272  | 130               | 14 | 14             | 7              | 102            | 28                  | 50 | 80  |                |                  |                 | M24             | 0,508           | 18,7            |
| 140-13 | 27,5 | 0,275  | 140               | 13 | 15             | 7,5            | 112            | 28                  | 55 | 95  |                |                  |                 | M27             | 0,547           | 19,9            |
| 15     | 31,4 | 0,314  | 140               | 15 | 15             | 7,5            | 110            | 30                  | 55 | 95  |                |                  |                 | M27             | 0,547           | 17,4            |
| 150-12 | 27,3 | 0,273  | 150               | 12 | 16             | 8              | 122            | 28                  | 55 | 110 |                |                  |                 | M27             | 0,586           | 21,5            |
| 14     | 31,6 | 0,316  | 150               | 14 | 16             | 8              | 120            | 30                  | 55 | 110 |                |                  |                 | M27             | 0,586           | 18,5            |
| 16     | 35,9 | 0,359  | 150               | 16 | 16             | 8              | 118            | 32                  | 55 | 110 |                |                  |                 | M27             | 0,586           | 16,3            |
| 160-15 | 36,2 | 0,362  | 160               | 15 | 17             | 8,5            | 128            | 32                  | 60 | 115 |                |                  |                 | M27             | 0,625           | 17,3            |
| 17     | 40,7 | 0,407  | 160               | 17 | 17             | 8,5            | 126            | 34                  | 60 | 115 |                |                  |                 | M27             | 0,625           | 16,4            |
| 180-16 | 43,5 | 0,435  | 180               | 16 | 18             | 9              | 146            | 34                  | 60 | 135 |                |                  |                 | M27             | 0,706           | 16,2            |
| 18     | 48,6 | 0,486  | 180               | 18 | 18             | 9              | 144            | 36                  | 60 | 135 |                |                  |                 | M27             | 0,706           | 14,5            |
| 200-16 | 48,5 | 0,485  | 200               | 16 | 18             | 9              | 168            | 34                  | 65 | 150 |                |                  |                 | M27             | 0,785           | 16,2            |
| 18     | 54,3 | 0,543  | 200               | 18 | 18             | 9              | 164            | 36                  | 65 | 150 |                |                  |                 | M27             | 0,785           | 14,5            |
| 20     | 59,9 | 0,599  | 200               | 20 | 18             | 9              | 162            | 38                  | 65 | 150 |                |                  |                 | M27             | 0,785           | 13,1            |



**Perfiles en**

| Perfil         | Valores estimados |   |   |   |   |   |   |   |   |   |                |                |                 |                 | m    | p     |
|----------------|-------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----------------|----------------|-----------------|-----------------|------|-------|
|                | A                 | I <sub>x</sub>                          | I <sub>y</sub>                          | I <sub>xy</sub>                         | I <sub>x</sub>                          | I <sub>y</sub>                          | W <sub>x</sub>                          | W <sub>y</sub>                          | W <sub>xx</sub>                         | W <sub>yy</sub>                         | i <sub>x</sub> | i <sub>y</sub> | i <sub>xy</sub> | i <sub>xy</sub> |      |       |
|                | mm <sup>2</sup>   | mm <sup>4</sup><br>(x 10 <sup>8</sup> ) | mm <sup>3</sup><br>(x 10 <sup>3</sup> ) | mm <sup>3</sup><br>(x 10 <sup>3</sup> ) | mm <sup>4</sup><br>(x 10 <sup>6</sup> ) | mm <sup>4</sup><br>(x 10 <sup>6</sup> ) | mm             | mm             | mm              | mm              |      |       |
| ZF 100-2       | 872               | 0,788                                   | 0,404                                   | 0,478                                   | 1,08                                    | 0,125                                   | 14,7                                    | 7,25                                    | 14,6                                    | 3,94                                    | 48,2           | 29,4           | 97,2            | 18,1            | 3,25 | 0,032 |
| ZF 100-2,5     | 884               | 0,838                                   | 0,443                                   | 0,519                                   | 1,16                                    | 0,149                                   | 16,0                                    | 8,81                                    | 17,9                                    | 4,19                                    | 49,2           | 29,1           | 98,8            | 18,4            | 4,58 | 0,038 |
| ZF 100-3       | 895               | 1,08                                    | 0,589                                   | 0,659                                   | 1,48                                    | 0,172                                   | 21,0                                    | 13,2                                    | 21,0                                    | 5,51                                    | 38,7           | 28,2           | 98,4            | 18,8            | 5,42 | 0,044 |
| ZF 100-3,5     | 917               | 1,17                                    | 0,608                                   | 0,682                                   | 1,43                                    | 0,162                                   | 18,8                                    | 12,1                                    | 19,2                                    | 4,29                                    | 42,7           | 28,2           | 92,9            | 18,7            | 4,87 | 0,040 |
| ZF 100-3,5-0,5 | 894               | 1,43                                    | 0,683                                   | 0,808                                   | 1,78                                    | 0,172                                   | 23,0                                    | 14,26                                   | 22,4                                    | 5,21                                    | 42,5           | 27,8           | 92,5            | 18,9            | 4,88 | 0,048 |
| ZF 100-3,5-1   | 791               | 1,87                                    | 0,888                                   | 0,738                                   | 2,04                                    | 0,188                                   | 26,8                                    | 19,2                                    | 26,0                                    | 6,81                                    | 42,2           | 27,5           | 92,1            | 18,3            | 5,88 | 0,058 |
| ZF 140-2       | 952               | 1,87                                    | 0,488                                   | 0,617                                   | 1,82                                    | 0,167                                   | 23,1                                    | 12,1                                    | 22,3                                    | 4,88                                    | 48,0           | 27,2           | 94,0            | 19,9            | 4,33 | 0,040 |
| ZF 140-2,5     | 984               | 2,85                                    | 0,484                                   | 0,751                                   | 2,39                                    | 0,181                                   | 28,4                                    | 17,9                                    | 27,4                                    | 6,84                                    | 44,8           | 26,9           | 94,7            | 19,7            | 5,31 | 0,050 |
| ZF 140-3       | 991               | 3,40                                    | 0,589                                   | 0,872                                   | 2,75                                    | 0,203                                   | 33,2                                    | 25,1                                    | 32,2                                    | 8,29                                    | 34,4           | 26,5           | 94,9            | 19,5            | 6,36 | 0,060 |
| ZF 140-3,5     | 880               | 2,38                                    | 0,408                                   | 0,711                                   | 2,82                                    | 0,179                                   | 27,7                                    | 12,38                                   | 26,8                                    | 4,78                                    | 42,1           | 26,3           | 93,9            | 19,9            | 4,98 | 0,048 |
| ZF 140-3,5-1   | 734               | 2,81                                    | 0,484                                   | 0,888                                   | 3,10                                    | 0,208                                   | 34,0                                    | 17,14                                   | 32,5                                    | 6,80                                    | 41,9           | 26,0           | 94,0            | 19,7            | 5,78 | 0,057 |
| ZF 140-3,5-2   | 871               | 2,30                                    | 0,508                                   | 1,01                                    | 3,55                                    | 0,239                                   | 40,0                                    | 19,1                                    | 38,8                                    | 8,70                                    | 41,9           | 26,0           | 94,8            | 19,4            | 6,84 | 0,068 |
| ZF 180-2       | 933               | 3,03                                    | 0,408                                   | 0,808                                   | 3,28                                    | 0,185                                   | 32,8                                    | 17,18                                   | 31,4                                    | 4,98                                    | 49,1           | 25,4           | 111,7           | 19,9            | 4,98 | 0,048 |
| ZF 180-2,5     | 784               | 3,71                                    | 0,484                                   | 0,881                                   | 3,88                                    | 0,218                                   | 40,1                                    | 19,32                                   | 38,8                                    | 6,01                                    | 48,8           | 25,1           | 111,9           | 19,1            | 6,18 | 0,058 |
| ZF 180-3       | 821               | 4,28                                    | 0,589                                   | 1,14                                    | 4,88                                    | 0,263                                   | 47,1                                    | 19,1                                    | 44,8                                    | 8,04                                    | 48,5           | 24,7           | 102,9           | 19,5            | 7,25 | 0,072 |
| ZF 200-2       | 764               | 4,78                                    | 0,573                                   | 1,59                                    | 5,21                                    | 0,291                                   | 49,8                                    | 12,8                                    | 44,1                                    | 8,38                                    | 78,8           | 26,6           | 112,2           | 20,6            | 6,01 | 0,050 |
| ZF 200-2,5     | 861               | 5,49                                    | 1,19                                    | 1,85                                    | 6,24                                    | 0,478                                   | 66,5                                    | 18,7                                    | 64,5                                    | 10,2                                    | 78,3           | 26,3           | 112,5           | 20,4            | 7,47 | 0,074 |
| ZF 200-3       | 1138              | 6,68                                    | 1,28                                    | 2,28                                    | 7,78                                    | 0,558                                   | 88,8                                    | 18,3                                    | 84,4                                    | 12,2                                    | 78,4           | 24,6           | 112,5           | 20,3            | 8,68 | 0,088 |
| ZF 220-2,5     | 1018              | 7,68                                    | 1,18                                    | 2,25                                    | 8,38                                    | 0,508                                   | 86,5                                    | 18,8                                    | 84,1                                    | 10,6                                    | 81,1           | 24,2           | 102,8           | 22,4            | 7,88 | 0,078 |
| ZF 220-3       | 1218              | 8,68                                    | 1,28                                    | 2,58                                    | 9,87                                    | 0,594                                   | 76,2                                    | 18,3                                    | 75,9                                    | 12,4                                    | 88,7           | 23,8           | 102,4           | 22,2            | 8,47 | 0,084 |
| ZF 220-4       | 1632              | 11,8                                    | 1,68                                    | 3,13                                    | 11,81                                   | 0,758                                   | 99,8                                    | 22,8                                    | 97,0                                    | 16,2                                    | 88,8           | 23,8           | 102,2           | 21,8            | 12,3 | 0,122 |
| ZF 250-2,5     | 1080              | 8,88                                    | 1,18                                    | 2,48                                    | 10,81                                   | 0,538                                   | 76,2                                    | 18,8                                    | 74,5                                    | 11,0                                    | 88,7           | 23,2           | 106,8           | 22,2            | 8,48 | 0,084 |
| ZF 250-3       | 1280              | 11,88                                   | 1,28                                    | 2,88                                    | 12,41                                   | 0,628                                   | 100,7                                   | 18,2                                    | 88,0                                    | 12,8                                    | 88,4           | 23,8           | 106,4           | 22,1            | 10,1 | 0,101 |
| ZF 250-4       | 1670              | 14,88                                   | 1,68                                    | 3,60                                    | 15,78                                   | 0,788                                   | 118                                     | 22,5                                    | 115                                     | 18,7                                    | 84,4           | 21,8           | 101,2           | 21,5            | 12,1 | 0,121 |
| ZF 270-2,5     | 1180              | 12,37                                   | 1,18                                    | 2,72                                    | 13,80                                   | 0,568                                   | 101,8                                   | 19,8                                    | 89,2                                    | 11,2                                    | 108            | 23,3           | 107             | 22,2            | 8,84 | 0,089 |
| ZF 270-3       | 1380              | 14,84                                   | 1,28                                    | 3,18                                    | 15,38                                   | 0,658                                   | 104                                     | 19,2                                    | 101                                     | 13,1                                    | 108            | 23,8           | 108             | 22,0            | 10,7 | 0,107 |
| ZF 270-4       | 1770              | 18,88                                   | 1,70                                    | 3,89                                    | 18,88                                   | 0,858                                   | 132                                     | 22,8                                    | 129                                     | 18,1                                    | 103            | 23,8           | 108             | 21,5            | 12,9 | 0,129 |
| ZF 300-2,5     | 1280              | 18,24                                   | 1,18                                    | 2,88                                    | 18,85                                   | 0,582                                   | 98,0                                    | 19,8                                    | 96,8                                    | 11,8                                    | 118            | 23,4           | 118             | 22,0            | 9,43 | 0,084 |
| ZF 300-3       | 1438              | 18,04                                   | 1,28                                    | 3,49                                    | 18,74                                   | 0,670                                   | 117                                     | 19,2                                    | 114                                     | 12,4                                    | 114            | 23,1           | 114             | 21,8            | 11,2 | 0,112 |
| ZF 300-4       | 1878              | 22,08                                   | 1,70                                    | 4,37                                    | 22,94                                   | 0,880                                   | 150                                     | 22,4                                    | 147                                     | 18,4                                    | 111            | 23,1           | 118             | 21,2            | 14,7 | 0,147 |

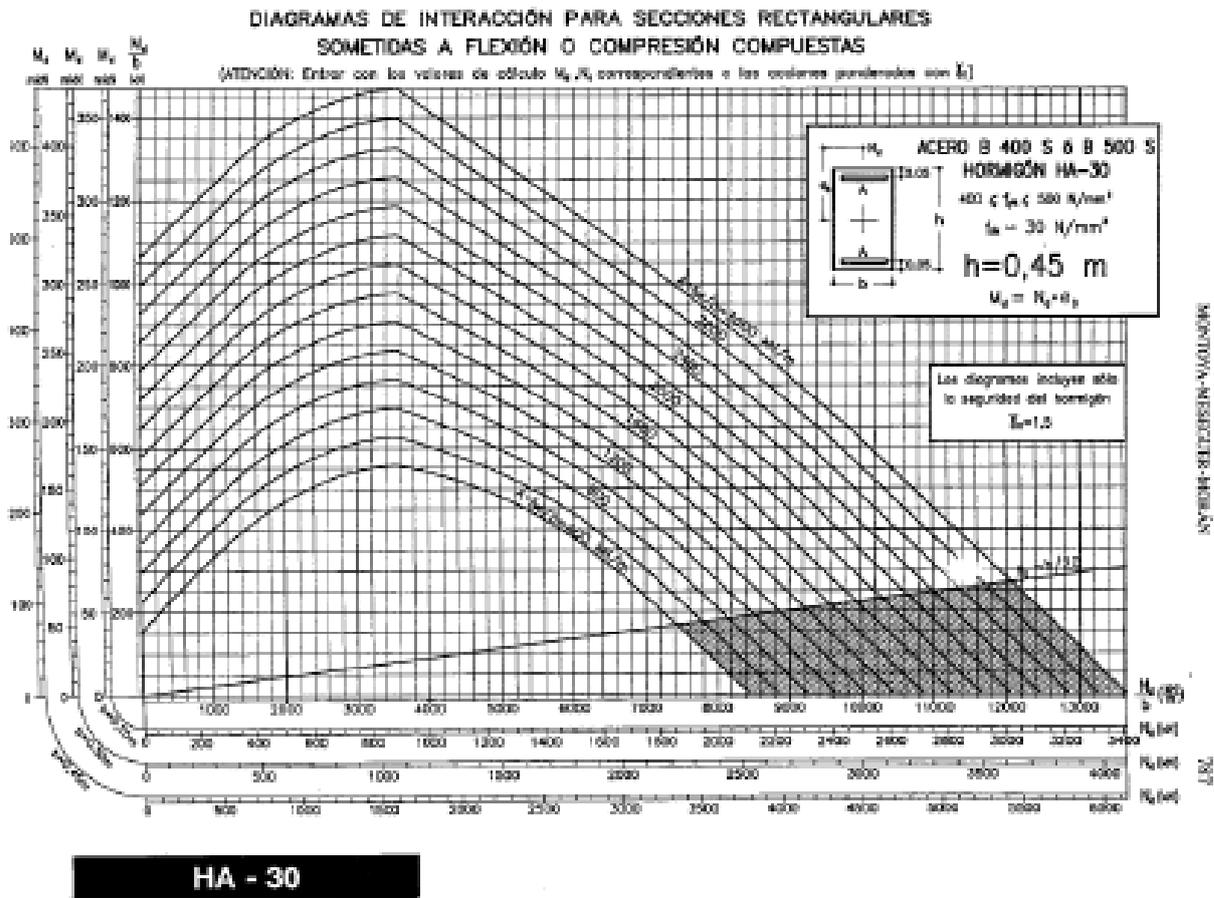


**Perfiles en Z**

| Perfil       | Dimensiones |                |                |                |                |    |     |      | Situación de los ejes |                |                |                |                |                |                |                |
|--------------|-------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----|-----|------|-----------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
|              | b           | b <sub>1</sub> | b <sub>2</sub> | a <sub>1</sub> | a <sub>2</sub> | e  | t   | r    | y <sub>1</sub>        | y <sub>2</sub> | y <sub>3</sub> | y <sub>4</sub> | y <sub>5</sub> | y <sub>6</sub> | y <sub>7</sub> | y <sub>8</sub> |
|              | mm          | mm             | mm             | mm             | mm             | mm | mm  | mm   | mm                    | mm             | mm             | mm             | mm             | mm             | mm             | mm             |
| ZF 100-2     | 100         | 60             | 63             | 20             | 11             | 3  | 2,5 | 476  | 481                   | 1,08           | 28,1           | 26,6           | 68,8           | 71,8           | 0,887          |                |
| ZF 100-2,5   | 100         | 60             | 63             | 20             | 11             | 3  | 2,5 | 472  | 481                   | 1,8            | 28,0           | 26,4           | 68,1           | 71,4           | 0,882          |                |
| ZF 100-3     | 100         | 60             | 63             | 20             | 13             | 3  | 3   | 487  | 481                   | 1,3            | 27,7           | 25,1           | 68,8           | 73,8           | 0,887          |                |
| ZF 100-3,5   | 100         | 60             | 63             | 20             | 13             | 3  | 3   | 478  | 478                   | 1,8            | 27,9           | 25,7           | 70,7           | 76,8           | 0,810          |                |
| ZF 100-3,5-1 | 100         | 60             | 63             | 20             | 13             | 3  | 2,5 | 512  | 479                   | 5,3            | 27,8           | 28,1           | 73,3           | 78,2           | 0,805          |                |
| ZF 100-3,5-2 | 100         | 60             | 63             | 20             | 13             | 3  | 3   | 560  | 479                   | 1,1            | 27,6           | 24,8           | 74,7           | 77,7           | 0,801          |                |
| ZF 140-2     | 140         | 60             | 63             | 20             | 17             | 3  | 2,5 | 588  | 477                   | 1,4            | 27,3           | 24,6           | 82,7           | 85,1           | 0,407          |                |
| ZF 140-2,5   | 140         | 60             | 63             | 20             | 17             | 3  | 2,5 | 582  | 477                   | 5,1            | 27,2           | 24,8           | 82,3           | 85,8           | 0,404          |                |
| ZF 140-3     | 140         | 60             | 63             | 20             | 17             | 3  | 3   | 647  | 477                   | 0,9            | 26,9           | 24,2           | 81,8           | 86,4           | 0,405          |                |
| ZF 140-3,5   | 140         | 60             | 63             | 20             | 17             | 3  | 2,8 | 688  | 775                   | 1,2            | 26,5           | 23,9           | 80,4           | 84,3           | 0,338          |                |
| ZF 140-3,5-1 | 140         | 60             | 63             | 20             | 17             | 3  | 2,8 | 682  | 775                   | 1,0            | 26,4           | 23,8           | 80,8           | 84,0           | 0,339          |                |
| ZF 140-3,5-2 | 140         | 60             | 63             | 20             | 17             | 3  | 3   | 687  | 775                   | 0,7            | 26,2           | 23,8           | 80,8           | 83,6           | 0,339          |                |
| ZF 180-2     | 180         | 60             | 63             | 20             | 17             | 3  | 2,5 | 836  | 873                   | 1,1            | 26,8           | 23,2           | 96,5           | 100            | 0,284          |                |
| ZF 180-2,5   | 180         | 60             | 63             | 20             | 17             | 3  | 2,5 | 830  | 873                   | 6,8            | 26,8           | 23,1           | 96,2           | 100            | 0,281          |                |
| ZF 180-3     | 180         | 60             | 63             | 20             | 17             | 3  | 3   | 827  | 873                   | 6,8            | 26,4           | 22,8           | 97,8           | 102            | 0,276          |                |
| ZF 180-3,5   | 180         | 60             | 70             | 28             | 22             | 3  | 2,5 | 770  | 956                   | 2,8            | 30,8           | 32,3           | 118            | 120            | 0,366          |                |
| ZF 180-3,5-1 | 200         | 60             | 70             | 28             | 22             | 3  | 2,5 | 768  | 968                   | 1,8            | 30,7           | 32,2           | 118            | 120            | 0,364          |                |
| ZF 180-3,5-2 | 200         | 60             | 70             | 28             | 22             | 3  | 3   | 783  | 968                   | 1,8            | 30,4           | 31,9           | 118            | 120            | 0,361          |                |
| ZF 220-2,5   | 220         | 60             | 70             | 28             | 22             | 3  | 2,5 | 818  | 1098                  | 1,8            | 34,7           | 31,3           | 128            | 131            | 0,367          |                |
| ZF 220-3     | 220         | 60             | 70             | 28             | 22             | 3  | 3   | 815  | 1098                  | 1,3            | 34,6           | 31,0           | 128            | 130            | 0,364          |                |
| ZF 220-4     | 220         | 60             | 70             | 28             | 22             | 4  | 6   | 782  | 1098                  | 0,88           | 33,4           | 30,0           | 124            | 129            | 0,288          |                |
| ZF 250-2,5   | 250         | 60             | 70             | 28             | 22             | 3  | 2,5 | 868  | 1232                  | 1,8            | 33,7           | 30,3           | 136            | 141            | 0,284          |                |
| ZF 250-3     | 250         | 60             | 70             | 28             | 22             | 3  | 3   | 881  | 1232                  | 1,2            | 33,4           | 30,1           | 136            | 141            | 0,282          |                |
| ZF 250-4     | 250         | 60             | 70             | 28             | 22             | 4  | 6   | 842  | 1232                  | 0,6            | 32,6           | 29,2           | 136            | 140            | 0,259          |                |
| ZF 270-2,5   | 270         | 60             | 70             | 28             | 22             | 3  | 2,5 | 910  | 1340                  | 1,8            | 32,2           | 28,8           | 147            | 152            | 0,230          |                |
| ZF 270-3     | 270         | 60             | 70             | 28             | 22             | 3  | 3   | 911  | 1340                  | 1,0            | 32,8           | 29,3           | 146            | 152            | 0,226          |                |
| ZF 270-4     | 270         | 60             | 70             | 28             | 22             | 4  | 6   | 882  | 1340                  | 0,8            | 31,8           | 28,4           | 146            | 151            | 0,223          |                |
| ZF 300-2,5   | 300         | 60             | 70             | 28             | 22             | 3  | 2,5 | 1008 | 1460                  | 1,1            | 31,8           | 28,8           | 158            | 164            | 0,208          |                |
| ZF 300-3     | 300         | 60             | 70             | 28             | 22             | 3  | 3   | 983  | 1460                  | 0,8            | 31,6           | 28,4           | 157            | 164            | 0,201          |                |
| ZF 300-4     | 300         | 60             | 70             | 28             | 22             | 4  | 6   | 942  | 1460                  | 0,4            | 30,7           | 27,6           | 158            | 163            | 0,192          |                |

**Clase de los perfiles más usuales de acero S 275 (Prontuario CEDEX)**

| TIPO          | FLEXIÓN | COMPRESIÓN |
|---------------|---------|------------|
| IPN           | 1       | 1          |
| UPN           | 1       | 1          |
| IPE 80 - 220  | 1       | 1          |
| 240 - 300     | 1       | 2          |
| 330 - 400     | 1       | 3          |
| 450 - 600     | 1       | 4          |
| HEB 100 - 550 | 1       | 1          |
| 600           | 1       | 2          |
| HEA 100 - 160 | 1       | 1          |
| 180 - 240     | 2       | 2          |
| 260 - 300     | 3       | 3          |
| 320           | 2       | 2          |
| 340 - 500     | 1       | 1          |
| 550           | 1       | 2          |
| 600           | 1       | 3          |



# ANEJO 2

# COMBINACIONES

| EL     | Situación   | PP  | W1p | W1s   | W2    | N      |   |
|--------|-------------|-----|-----|-------|-------|--------|---|
| 1 ELU  | Persistente | 0.8 |     | 0     | 0     | 0      | 0 |
| 2 ELU  | Persistente | 0.8 |     | 0     | 0     | 0 0.75 |   |
| 3 ELU  | Persistente | 0.8 |     | 0     | 0 0.9 |        | 0 |
| 4 ELU  | Persistente | 0.8 |     | 0     | 0 0.9 | 0.75   |   |
| 5 ELU  | Persistente | 0.8 | 1.5 |       | 0     | 0      | 0 |
| 6 ELU  | Persistente | 0.8 | 1.5 |       | 0     | 0 0.75 |   |
| 7 ELU  | Persistente | 0.8 | 1.5 |       | 0 0.9 |        | 0 |
| 8 ELU  | Persistente | 0.8 | 1.5 |       | 0 0.9 | 0.75   |   |
| 9 ELU  | Persistente | 0.8 |     | 0 1.5 |       | 0      | 0 |
| 10 ELU | Persistente | 0.8 |     | 0 1.5 |       | 0 0.75 |   |
| 11 ELU | Persistente | 0.8 |     | 0 1.5 | 0.9   |        | 0 |
| 12 ELU | Persistente | 0.8 |     | 0 1.5 | 0.9   | 0.75   |   |
| 13 ELU | Persistente | 0.8 |     | 0     | 0 1.5 |        | 0 |
| 14 ELU | Persistente | 0.8 |     | 0     | 0 1.5 | 0.75   |   |
| 15 ELU | Persistente | 0.8 |     | 0 0.9 |       | 0      | 0 |
| 16 ELU | Persistente | 0.8 |     | 0 0.9 |       | 0 0.75 |   |
| 17 ELU | Persistente | 0.8 |     | 0 0.9 | 1.5   |        | 0 |
| 18 ELU | Persistente | 0.8 |     | 0 0.9 | 1.5   | 0.75   |   |
| 19 ELU | Persistente | 0.8 | 0.9 |       | 0     | 0      | 0 |
| 20 ELU | Persistente | 0.8 | 0.9 |       | 0     | 0 0.75 |   |
| 21 ELU | Persistente | 0.8 | 0.9 |       | 0 1.5 |        | 0 |
| 22 ELU | Persistente | 0.8 | 0.9 |       | 0 1.5 | 0.75   |   |
| 23 ELU | Persistente | 0.8 |     | 0     | 0     | 0 1.5  |   |
| 24 ELU | Persistente | 0.8 |     | 0     | 0 0.9 | 1.5    |   |
| 25 ELU | Persistente | 0.8 |     | 0 0.9 |       | 0 1.5  |   |

| EL | Situación | PP          | W1p  | W1s | W2    | N     |        |
|----|-----------|-------------|------|-----|-------|-------|--------|
| 26 | ELU       | Persistente | 0.8  |     | 0 0.9 | 0.9   | 0      |
| 27 | ELU       | Persistente | 0.8  |     | 0 0.9 | 0.9   | 1.5    |
| 28 | ELU       | Persistente | 0.8  | 0.9 |       | 0     | 0 1.5  |
| 29 | ELU       | Persistente | 0.8  | 0.9 |       | 0 0.9 | 0      |
| 30 | ELU       | Persistente | 0.8  | 0.9 |       | 0 0.9 | 1.5    |
| 31 | ELU       | Persistente | 1.35 |     | 0     | 0     | 0      |
| 32 | ELU       | Persistente | 1.35 |     | 0     | 0     | 0 0.75 |
| 33 | ELU       | Persistente | 1.35 |     | 0     | 0 0.9 | 0      |
| 34 | ELU       | Persistente | 1.35 |     | 0     | 0 0.9 | 0.75   |
| 35 | ELU       | Persistente | 1.35 | 1.5 |       | 0     | 0      |
| 36 | ELU       | Persistente | 1.35 | 1.5 |       | 0     | 0 0.75 |
| 37 | ELU       | Persistente | 1.35 | 1.5 |       | 0 0.9 | 0      |
| 38 | ELU       | Persistente | 1.35 | 1.5 |       | 0 0.9 | 0.75   |
| 39 | ELU       | Persistente | 1.35 |     | 0 1.5 |       | 0      |
| 40 | ELU       | Persistente | 1.35 |     | 0 1.5 |       | 0 0.75 |
| 41 | ELU       | Persistente | 1.35 |     | 0 1.5 | 0.9   | 0      |
| 42 | ELU       | Persistente | 1.35 |     | 0 1.5 | 0.9   | 0.75   |
| 43 | ELU       | Persistente | 1.35 |     | 0     | 0 1.5 | 0      |
| 44 | ELU       | Persistente | 1.35 |     | 0     | 0 1.5 | 0.75   |
| 45 | ELU       | Persistente | 1.35 |     | 0 0.9 |       | 0      |
| 46 | ELU       | Persistente | 1.35 |     | 0 0.9 |       | 0 0.75 |
| 47 | ELU       | Persistente | 1.35 |     | 0 0.9 | 1.5   | 0      |
| 48 | ELU       | Persistente | 1.35 |     | 0 0.9 | 1.5   | 0.75   |
| 49 | ELU       | Persistente | 1.35 | 0.9 |       | 0     | 0      |
| 50 | ELU       | Persistente | 1.35 | 0.9 |       | 0     | 0 0.75 |

| EL     | Situación      | PP   | W1p | W1s   | W2    | N     |   |
|--------|----------------|------|-----|-------|-------|-------|---|
| 51 ELU | Persistente    | 1.35 | 0.9 |       | 0 1.5 |       | 0 |
| 52 ELU | Persistente    | 1.35 | 0.9 |       | 0 1.5 | 0.75  |   |
| 53 ELU | Persistente    | 1.35 |     | 0     | 0     | 0 1.5 |   |
| 54 ELU | Persistente    | 1.35 |     | 0     | 0 0.9 | 1.5   |   |
| 55 ELU | Persistente    | 1.35 |     | 0 0.9 |       | 0 1.5 |   |
| 56 ELU | Persistente    | 1.35 |     | 0 0.9 | 0.9   |       | 0 |
| 57 ELU | Persistente    | 1.35 |     | 0 0.9 | 0.9   | 1.5   |   |
| 58 ELU | Persistente    | 1.35 | 0.9 |       | 0     | 0 1.5 |   |
| 59 ELU | Persistente    | 1.35 | 0.9 |       | 0 0.9 |       | 0 |
| 60 ELU | Persistente    | 1.35 | 0.9 |       | 0 0.9 | 1.5   |   |
| 61 ELS | Característica |      | 1   | 0     | 0     | 0     | 0 |
| 62 ELS | Característica |      | 1   | 0     | 0     | 0 0.5 |   |
| 63 ELS | Característica |      | 1   | 0     | 0 0.6 |       | 0 |
| 64 ELS | Característica |      | 1   | 0     | 0 0.6 | 0.5   |   |
| 65 ELS | Característica |      | 1   | 1     | 0     | 0     | 0 |
| 66 ELS | Característica |      | 1   | 1     | 0     | 0 0.5 |   |
| 67 ELS | Característica |      | 1   | 1     | 0 0.6 |       | 0 |
| 68 ELS | Característica |      | 1   | 1     | 0 0.6 | 0.5   |   |
| 69 ELS | Característica |      | 1   | 0     | 1     | 0     | 0 |
| 70 ELS | Característica |      | 1   | 0     | 1     | 0 0.5 |   |
| 71 ELS | Característica |      | 1   | 0     | 1 0.6 |       | 0 |
| 72 ELS | Característica |      | 1   | 0     | 1 0.6 | 0.5   |   |
| 73 ELS | Característica |      | 1   | 0     | 0     | 1     | 0 |
| 74 ELS | Característica |      | 1   | 0     | 0     | 1 0.5 |   |
| 75 ELS | Característica |      | 1   | 0 0.6 |       | 0     | 0 |

| EL      | Situación      | PP | W1p   | W1s   | W2    | N     |   |
|---------|----------------|----|-------|-------|-------|-------|---|
| 76 ELS  | Característica |    | 1     | 0 0.6 |       | 0 0.5 |   |
| 77 ELS  | Característica |    | 1     | 0 0.6 |       | 1     | 0 |
| 78 ELS  | Característica |    | 1     | 0 0.6 |       | 1 0.5 |   |
| 79 ELS  | Característica |    | 1 0.6 |       | 0     | 0     | 0 |
| 80 ELS  | Característica |    | 1 0.6 |       | 0     | 0 0.5 |   |
| 81 ELS  | Característica |    | 1 0.6 |       | 0     | 1     | 0 |
| 82 ELS  | Característica |    | 1 0.6 |       | 0     | 1 0.5 |   |
| 83 ELS  | Característica |    | 1     | 0     | 0     | 0     | 1 |
| 84 ELS  | Característica |    | 1     | 0     | 0 0.6 |       | 1 |
| 85 ELS  | Característica |    | 1     | 0 0.6 |       | 0     | 1 |
| 86 ELS  | Característica |    | 1     | 0 0.6 | 0.6   |       | 0 |
| 87 ELS  | Característica |    | 1     | 0 0.6 | 0.6   |       | 1 |
| 88 ELS  | Característica |    | 1 0.6 |       | 0     | 0     | 1 |
| 89 ELS  | Característica |    | 1 0.6 |       | 0 0.6 |       | 0 |
| 90 ELS  | Característica |    | 1 0.6 |       | 0 0.6 |       | 1 |
| 91 ELS  | Frecuente      |    | 1     | 0     | 0     | 0     | 0 |
| 92 ELS  | Frecuente      |    | 1 0.5 |       | 0     | 0     | 0 |
| 93 ELS  | Frecuente      |    | 1     | 0 0.5 |       | 0     | 0 |
| 94 ELS  | Frecuente      |    | 1     | 0     | 0 0.5 |       | 0 |
| 95 ELS  | Frecuente      |    | 1     | 0     | 0     | 0 0.2 |   |
| 96 ELS  | Casipermanente |    | 1     | 0     | 0     | 0     | 0 |
| 97 ELU  | Estabilidad    |    | 1     | 0     | 0     | 0     | 0 |
| 98 ELU  | Estabilidad    |    | 1     | 0     | 0     | 0 0.5 |   |
| 99 ELU  | Estabilidad    |    | 1     | 0     | 0 0.6 |       | 0 |
| 100 ELU | Estabilidad    |    | 1     | 0     | 0 0.6 | 0.5   |   |

| EL  | Situación | PP          | W1p | W1s | W2  | N   |     |
|-----|-----------|-------------|-----|-----|-----|-----|-----|
| 101 | ELU       | Estabilidad | 1   | 1   | 0   | 0   | 0   |
| 102 | ELU       | Estabilidad | 1   | 1   | 0   | 0   | 0.5 |
| 103 | ELU       | Estabilidad | 1   | 1   | 0   | 0.6 | 0   |
| 104 | ELU       | Estabilidad | 1   | 1   | 0   | 0.6 | 0.5 |
| 105 | ELU       | Estabilidad | 1   | 0   | 1   | 0   | 0   |
| 106 | ELU       | Estabilidad | 1   | 0   | 1   | 0   | 0.5 |
| 107 | ELU       | Estabilidad | 1   | 0   | 1   | 0.6 | 0   |
| 108 | ELU       | Estabilidad | 1   | 0   | 1   | 0.6 | 0.5 |
| 109 | ELU       | Estabilidad | 1   | 0   | 0   | 1   | 0   |
| 110 | ELU       | Estabilidad | 1   | 0   | 0   | 1   | 0.5 |
| 111 | ELU       | Estabilidad | 1   | 0   | 0.6 | 0   | 0   |
| 112 | ELU       | Estabilidad | 1   | 0   | 0.6 | 0   | 0.5 |
| 113 | ELU       | Estabilidad | 1   | 0   | 0.6 | 1   | 0   |
| 114 | ELU       | Estabilidad | 1   | 0   | 0.6 | 1   | 0.5 |
| 115 | ELU       | Estabilidad | 1   | 0.6 | 0   | 0   | 0   |
| 116 | ELU       | Estabilidad | 1   | 0.6 | 0   | 0   | 0.5 |
| 117 | ELU       | Estabilidad | 1   | 0.6 | 0   | 1   | 0   |
| 118 | ELU       | Estabilidad | 1   | 0.6 | 0   | 1   | 0.5 |
| 119 | ELU       | Estabilidad | 1   | 0   | 0   | 0   | 1   |
| 120 | ELU       | Estabilidad | 1   | 0   | 0   | 0.6 | 1   |
| 121 | ELU       | Estabilidad | 1   | 0   | 0.6 | 0   | 1   |
| 122 | ELU       | Estabilidad | 1   | 0   | 0.6 | 0.6 | 0   |
| 123 | ELU       | Estabilidad | 1   | 0   | 0.6 | 0.6 | 1   |
| 124 | ELU       | Estabilidad | 1   | 0.6 | 0   | 0   | 1   |
| 125 | ELU       | Estabilidad | 1   | 0.6 | 0   | 0.6 | 0   |

| EL  | Situación | PP          | W1p | W1s | W2  | N   |     |
|-----|-----------|-------------|-----|-----|-----|-----|-----|
| 126 | ELU       | Estabilidad | 1   | 0.6 | 0   | 0.6 | 1   |
| 127 | ELU       | Estabilidad | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   |
| 128 | ELU       | Estabilidad | 1   | 0.5 | 0   | 0   | 0   |
| 129 | ELU       | Estabilidad | 1   | 0   | 0.5 | 0   | 0   |
| 130 | ELU       | Estabilidad | 1   | 0   | 0   | 0.5 | 0   |
| 131 | ELU       | Estabilidad | 1   | 0   | 0   | 0   | 0.2 |

# ANEJO 3

# PLANOS