



**Universidad de Valladolid**



**ESCUELA DE INGENIERÍAS  
INDUSTRIALES**

**UNIVERSIDAD DE VALLADOLID**

**ESCUELA DE INGENIERIAS INDUSTRIALES**

**Grado en Ingeniería Mecánica**

# **Auto-dimensionado del pórtico central de una nave industrial con SAP2000**

**Autor:**

**González Diez, Jorge**

**Tutores:**

**Lorenzana Iban, Antolín**

**Magdaleno González, Álvaro**

**Departamento de Construcciones**

**Arquitectónicas, Ingeniería del**

**Terreno y Mecánica de los Medios**

**Continuos y Teoría de estructuras**

**Valladolid, Septiembre 2024.**

## AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, agradecer a mis tutores del proyecto Antolín Lorenzana Iban y Álvaro Magdaleno González, su gran implicación y ayuda que han llevado a la culminación de este trabajo, así como su paciencia durante todos estos meses.

A mi familia por supuesto. Mis padres Federico y Begoña por proporcionarme todo aquello que he necesitado y que siempre me han apoyado de forma incondicional a lo largo de esta aventura. Pero, sobre todo, agradezco a mi madre la ayuda, el empuje y la paciencia que durante estos años ha demostrado. Este proyecto se lo dedico a ella.

A mi hermano Federico por estar en los buenos y malos momentos.

Finalmente, a los compañeros de clase y amigos, por estar ahí y ayudarme en los momentos más difíciles y estar siempre a mi lado. Gracias.

## RESUMEN

Con este trabajo fin de grado se busca realizar el dimensionamiento de un pórtico central de una nave industrial, así como la realización de una guía para dimensionar un pórtico o cualquier otra estructura mediante el programa de cálculo estructural SAP2000. Trataremos de detallar todos los pasos para modelar el pórtico en el programa, así como el origen de las cargas aplicadas sobre la estructura y las comprobaciones de los criterios de fallo establecidos en los diferentes documentos del código técnico de edificación.

## PALABRAS CLAVE

Dimensionamiento, SAP2000, Nave industrial, Pórtico

## ABSTRACT

This final degree project seeks to sizing a central porch of an industrial warehouse, as well as creating a guide for sizing a porch or any other structure using the SAP2000 structural calculation program. We will try to detail all the steps to model the frame in the program, as well as the origin of the loads applied to the structure and the verifications of the failure criteria established in the different documents of the technical building code.

## KEYWORDS

Structural Desing, SAP2000, Industrial Building, Frame.

## Índice

Capítulo I: Introducción y objetivos.....	1
1.1. Introducción.....	2
1.2. Motivación. ....	3
1.3. Objetivos. ....	3
1.4. Planificación del proyecto.....	3
Capítulo II: Conocimientos teóricos.....	5
2.1. Definición de estructura. ....	6
2.2. Elección de los materiales.....	7
2.2.1. Hormigón armado. ....	7
2.2.2. Madera.....	8
2.2.3. Acero. ....	8
2.3. Tipos de naves pórticos/cerchas. ....	10
2.4. Características mecánicas del acero.....	11
2.5. Herramienta de cálculo SAP2000. ....	12
Capítulo III: Descripción de la nave y normativa .....	15
3.1. Descripción de la nave.....	16
3.2. Cumplimiento de la normativa urbanística. ....	17
3.3. Cargas consideradas. ....	17
3.4. Bases de cálculo. ....	18
3.4.1. Capacidad portante.....	18
3.4.2. Aptitud al servicio. ....	21
Capítulo IV: Determinación de las cargas. ....	25
4.1. Acciones permanentes. ....	26
4.1.1. Peso propio.....	26
4.1.2. Peso de la cubierta. ....	26
4.2. Acciones variables.....	26
4.2.1. Sobrecarga de uso. ....	26
4.2.2. Viento. ....	27
4.2.3. Nieve. ....	32
4.2.4. Acciones térmicas. ....	33
4.3. Acciones accidentales. ....	34
4.3.1. Sismo y acciones del terreno. ....	34
4.4. Resumen de las cargas. ....	34
Capítulo V: Dimensionado con SAP2000.....	35
5.1. Creación de la malla. ....	36
5.2. Creación del material.....	40

5.3. Creación /importación de perfiles y “Auto Select List” .....	42
5.4. Creación de Casos/Patrones/Combinaciones de carga. ....	46
5.5. Creación de barras/estructura.....	52
5.6. Aplicación de las condiciones de contorno. ....	53
5.7. Aplicación de las cargas. ....	54
5.8. Calculo y visualización del resultado. ....	56
5.9. Configuración de la herramienta “Strart Steel desing/Check of stucture”....	65
5.10. Análisis del primer resultado de la carga de SU.....	67
5.11. Resolución de pandeo lateral (vuelco del pórtico). ....	69
5.12. Análisis del segundo resultado de la carga de SU. ....	73
5.13. Creación /Asignación/Calculo de “Grupos”.....	74
5.14. Análisis del resultado final de la carga de SU.....	77
5.15. Creación/combinación/aplicación carga de nieve.....	81
5.16. Análisis del resultado de carga de nieve.....	84
5.17. Creación/Combinación/aplicación carga de viento1.....	88
5.18. Análisis de la combinación de viento1, Nieve, DEAD.....	92
5.19. Creación/Combinación/aplicación carga de viento2.....	96
5.20. Análisis de la combinación de viento2, Nieve y DEAD. ....	99
5.21. Análisis de todos los casos de carga.....	102
5.22. Estudio de pandeo.....	105
Capítulo VI: Conclusiones.....	113
6.1. Conclusiones. ....	114
6.2. Líneas futuras.....	114
6.3 Consideraciones generales .....	114
6.3.1. Planificación del trabajo. Diagrama de Gantt. ....	114
6.3.2. Coste en horas del trabajo. ....	115
6.3.3. Presupuesto.....	115
6.3.4. Impacto ambiental .....	116
Referencias bibliográficas.....	118
ANEXO I: Planos .....	119

## Índice de figuras.

Figura 1. Tipos de cerchas y pórticos.....	11
Figura 2. Localización de la parcela.[5] .....	16
Figura 3. Pórtico de la nave industrial .....	17
Figura 4. Desplome total y parcial. [2] .....	22
Figura 5. Esquema de cerramiento de cubierta.....	26
Figura 6. Zonas los distintos coeficientes de presión dinámica.[4] .....	28
Figura 7. Resumen de la actuación de las cargas de viento. [4].....	30
Figura 8. Ventana de configuración de la malla SAP2000.....	36
Figura 9. Configuración de la rejilla.....	37
Figura 10. Ventana de trabajo y opciones de visualización. ....	38
Figura 11. Resumen y medidas de la rejilla. ....	39
Figura 12. Configuración de las dimensiones de la rejilla.....	39
Figura 13. Rejilla de trabajo. ....	40
Figura 14. Lista inicial de materiales. ....	41
Figura 15. Configuración del material.....	41
Figura 16. Lista final de materiales. ....	42
Figura 17. Propiedades del nuevo material (S355-1). ....	42
Figura 18. Cuadro de diálogo para definir secciones. ....	43
Figura 19. Listado de normativa para la selección de perfiles comerciales.....	44
Figura 20. Perfiles seleccionados del documento Euro.pro.....	44
Figura 21. Configuración de los perfiles comerciales introducidos en SAP2000. ...	45
Figura 22. Creación de "Auto select list" .....	45
Figura 23. Configuración de "Auto select list". ....	46
Figura 24. Cuadro de diálogo de creación del caso de carga de SU.....	48
Figura 25. Listado de los casos de carga. ....	48
Figura 26. Cuadro de diálogo de modificación del patrón de carga SU.....	49
Figura 27. Cuadro de diálogo "Add default combos..". ....	49
Figura 28. Cuadro de diálogo de creación de las combinaciones de carga. ....	50
Figura 29. Combinaciones de carga creadas.....	50
Figura 30. Cuadro de diálogo de modificación de la combinación de carga "UDSTL1" .....	51
Figura 31. Herramientas de dibujo y visualización de resultados. ....	52
Figura 32. Ventana de configuración para la creación de las barras.....	52
Figura 33. Modelado del pórtico. ....	53
Figura 34. Ventana de creación de apoyos. ....	54
Figura 36. Cuadro de diálogo para la aplicación de la carga de SU.....	55
Figura 37. Resultado final de la aplicación de la carga de SU sobre la estructura..	56
Figura 38. Configuración de SAP2000. resolución de un modelo plano. ....	56
Figura 39. Selección de toda estructura seleccionada. ....	57
Figura 40. Asignación de la Autolista al pórtico. ....	58
Figura 41. Ventana de ejecución del cálculo. ....	58
Figura 42. Cuadro de diálogo para la visualización de los resultados. ....	60
Figura 43. Cuadro de diálogo para mostrar las reacciones en los apoyos .....	61
Figura 44. Cuadro de diálogo para visualizar las tensiones del caso de carga seleccionado.....	61
Figura 45. Diagrama de tensiones sobre la estructura (DEAD). ....	62
Figura 46. Ventana de navegación sobre las barras (tensiones). ....	63

Figura 47. Visualización del diagrama de momentos flectores sobre la estructura (DEAD).	64
Figura 48. Ventana de navegación sobre las barras (Forces).	64
Figura 49. Configuración de la herramienta "Start Steel desing/check of structure".	65
Figura 50. Cuadro de diálogo con las combinaciones de carga de diseño.	66
Figura 51. Resultado del dimensionamiento del pórtico (Sin restricciones de pandeo lateral).	67
Figura 52. Ventana del resultado de dimensionamiento para la carga de SU.	68
Figura 53. Diagrama de tensiones para la combinación de carga "UDSTL2".	69
Figura 54. Cuadro de diálogo de división de barras.	70
Figura 55. Modelo de las barras divididas que componen el pórtico.	71
Figura 56. Cuadro de diálogo para restringir el movimiento de los grados de libertad fuera del plano.	72
Figura 57. Modelo del pórtico restringiendo el movimiento fuera del plano.	72
Figura 59. Vista extruida de los perfiles dimensionados que conforman el pórtico.	74
Figura 60. Distribución de la asignación de los grupos sobre la estructura del pórtico.	74
Figura 61. Lista inicial de los grupos.	75
Figura 62. Cuadro de creación de grupos.	75
Figura 63. Resultado final de los grupos creados.	76
Figura 64. Asignación de los grupos para el dimensionamiento del pórtico.	76
Figura 65. Dimensionamiento de los perfiles de cada grupo que conforman el pórtico (DEAD SU).	77
Figura 66. Dimensionamiento de los perfiles para los grupos Pilar y R. Pilares (DEAD SU).	77
Figura 67. Dimensionado del perfil de los grupos (Pilares, Cartelas, Cercha) (DEAD SU).	78
Figura 68. Dimensionamiento de los perfiles asignados a los grupos cartela y dintel (DEAD SU).	79
Figura 69. Dimensionado del perfil para la combinación de carga "UDSTL2".	79
Figura 70. Diagrama de momentos flectores (UDSTL2).	80
Figura 71. Deformada e indeformada (UDSTL2).	80
Figura 72. Creación del patrón de nieve.	81
Figura 73. Inicio de la creación de la combinación de nieve y peso.	81
Figura 74. Configuración final para crear la combinación de carga de Nieve y DEAD.	82
Figura 75. Lista de las combinaciones de carga creadas.	82
Figura 76. Modificación del patrón de nieve.	83
Figura 77. Lista final de las combinaciones de carga Nieve y DEAD.	83
Figura 78. Modelado de la carga de nieve sobre la cubierta.	84
Figura 79. Resultado del dimensionamiento de las combinaciones de carga Nieve y DEAD.	85
Figura 80. Dimensionamiento del perfil en los grupo R. Pilar y Pilares.	85
Figura 81. Dimensionamiento de los perfiles pertenecientes a los grupos: Pilares, Cartela, Cercha.	86
Figura 82. Dimensionamiento de los perfiles asignados a los grupos Dintel y Cercha.	86
Figura 83. Diagrama de momentos flectores sobre el pórtico (UDSTL6).	87
Figura 84. Deformada e indeformada para la combinación de carga UDSTL6.	87

Figura 85. Modelado de la carga de viento1 sobre la estructura.....	88
Figura 86. Creación del patrón de carga Viento1. ....	88
Figura 87. Configuración para crear las combinaciones de carga (Viento1, DEAD, Nieve). ....	89
Figura 88. Lista de las nuevas combinaciones de carga (DEAD, Nieve y Viento1). .	89
Figura 89. Configuración de la asignación de la carga de viento1 al modelo. (Pilares). ....	90
Figura 90. Configuración de la asignación de la carga de viento1 al modelo. (Cubierta).....	91
Figura 91. Resultado de la aplicación de la carga de viento1 al modelo. ....	91
Figura 92. Resultado del dimensionamiento del pórtico (DEAD, Nieve y Viento1)...	92
Figura 93. Diagramas de momentos flectores (UDSTL14).....	93
Figura 94. Dimensionamiento de los perfiles pertenecientes a los grupos R. Pilares y Pilares (DEAD, Viento1, Nieve). ....	93
Figura 95. Combinación de diseño (DEAD, Viento1, Nieve). ....	94
Figura 96. Dimensionamiento de los perfiles del grupo: Cartelas, Cercha y Pilar....	94
Figura 97. Dimensionamiento de los perfiles pertenecientes al grupo: Dintel y Cercha .....	95
Figura 98. Deformada e indeformada asociada a la combinación de carga de diseño (UDSTL14).....	95
Figura 99. Modelado de las cargas de Viento2.....	96
Figura 100. Creación del patrón de carga Viento2. ....	96
Figura 101. Creación de las combinaciones de carga (DEAD, viento2 y Nieve).....	97
Figura 102. Aplicación de la carga de viento2 sobre el pórtico.....	98
Figura 103. Configuración del lanzamiento del cálculo. ....	98
Figura 104. Resultado del dimensionamiento del pórtico (DEAD, Nieve, viento2). .	99
Figura 105. Diagrama de momentos flectores (UDSTL26). ....	100
Figura 106. Diagrama de tensiones (UDSTL26). ....	100
Figura 107. Dimensionamiento de los grupos Pilar y R.pilar. (DEAD, Viento2, Nieve). ....	101
Figura 108. Dimensionamiento de los perfiles perteneciente a los grupos: Cartelas, Cercha y Pilar. ....	101
Figura 109. Deformada e indeformada (UDSTL26).....	102
Figura 110. Configuración del lanzamiento del cálculo (todos los casos de carga). ....	102
Figura 111. Resultado de dimensionamiento de los perfiles del pórtico (DEAD, SU, Nieve, Viento1, Viento2).....	103
Figura 112. Dimensionamiento de los perfiles pertenecientes a los grupos: R.Pilar y Pilares.....	103
Figura 113. Dimensionamiento de los perfiles de los grupos: Cartelas, Cercha y Pilar. (Todos los casos de carga). ....	104
Figura 114. Dimensionamiento de los grupos: Dintel y Cercha.....	104
Figura 115. Configuración del caso de carga de pandeo (DEAD y SU). ....	106
Figura 116. Configuración del caso de carga de pandeo (DEAD, Nieve, Viento2). .	106
Figura 117. Lista de todos los casos de carga.....	107
Figura 118. Solución del caso de pandeo (DEAD y SU).....	107
Figura 119. Resultado del caso de pandeo (DEAD, Nieve y Viento2). ....	108



## Índice de tablas.

Tabla 1. Tipos de acero estructural.....	11
Tabla 2. Requisitos urbanísticos. ....	17
Tabla 3. Coeficientes parciales de seguridad [2].....	20
Tabla 4. Coeficientes de simultaneidad. [2].....	20
Tabla 5. Elementos de cerramiento de cubierta. [4] .....	26
Tabla 6. Tipos de carga de SU según el uso de la cubierta. [4].....	27
Tabla 7. Tabla de los coeficientes de exposición [4] .....	29
Tabla 8. Elección de los coeficientes de exposición. ....	29
Tabla 9. Coeficientes eólicos de los laterales de la nave.....	30
Tabla 10. Coeficientes eólicos según zona de cubierta. [4].....	31
Tabla 11. Resumen de los coeficientes eólicos elegidos de cubierta. [4].....	31
Tabla 12. Resumen de las cargas de viento que actúan sobre la estructura. ....	32
Tabla 13. Valores característicos de la carga de nieve en función de la altitud y zona geográfica. [4].....	33
Tabla 14. Resumen de las cargas que actúan sobre la estructura. (kN/m <sup>2</sup> ) .....	34
Tabla 15. Resumen de las cargas que actúan sobre la estructura (kN/m).....	34
Tabla 16. Factores de carga de las combinaciones de carga UDSTL1...UDSTL4.....	51
Tabla 17. Factores de carga de las combinaciones de carga (UDSTL5...UDSTL8). ..	84
Tabla 18. Factores de carga de las combinaciones de carga (UDSTL9, ...UDSTL20). .....	90
Tabla 19. Factores de carga de las combinaciones de carga (UDSTL21...UDSTL32). .....	97
Tabla 20. Diagrama de Gantt .....	115
Tabla 21. Precio de los perfiles. ....	115
Tabla 22. Resumen del precio de la estructura.....	116

Auto-dimensionado del pórtico central de una nave industrial con SAP2000.

# Capítulo I: Introducción y objetivos

- 1.1. Introducción.
- 1.2. Motivación.
- 1.3. Objetivos.
- 1.4. Planificación del proyecto.

## 1.1. Introducción.

En este trabajo fin de grado se va a realizar el dimensionamiento de un pórtico central de una nave industrial localizada en el municipio de Villarmienzo (Palencia). Para realizar el dimensionamiento emplearemos los conocimientos obtenidos del grado de Ingeniería Mecánica, más concretamente, conocimientos adquiridos de las asignaturas cursadas de Resistencia de materiales, Elasticidad y resistencia de materiales I, Elasticidad y resistencia de materiales II, y Estructuras y construcción industriales, además también se calculará el pórtico con el programa de cálculo estructural SAP2000.

Hoy en día, el uso de software para el cálculo de edificaciones es primordial para un ingeniero. Mediante el uso de programas, se puede realizar el cálculo de cualquier estructura de manera simple y fiable, lo que nos permite sustituir cálculos que tradicionalmente se hacen a mano. Aunque el programa nos facilite el trabajo es indispensable el análisis y la interpretación de los resultados obtenidos.

Mediante el programa SAP2000 se puede calcular estructuras de acero, hormigón, madera u otro material del cual dispongamos sus propiedades. En este caso, se ha empleado este software para realizar el dimensionamiento del pórtico central de la nave, es decir, saber los perfiles necesarios para su construcción.

Las dimensiones principales de la nave se definen en función de la localización y las actividades que se van a realizar en ella. A partir de las dimensiones y de las cargas se iterará el perfil para cumplir las exigencias de seguridad establecidas en el CTE, más concretamente CTE-DBSE-AE.

Una vez analizadas todas las alternativas, se debe elegir aquella que mejor se adapte a los requerimientos, siguiendo criterios estructurales y económicos. Esta solución elegida debe desarrollarse, definiendo claramente los perfiles que se emplearán y cómo van a trabajar.

También como en el grado de Ingeniería Mecánica se emplea SAP2000 en las prácticas de las asignaturas, se hará una guía de los pasos que hay que realizar para que el propio programa elija el perfil en función de las solicitaciones introducidas en la estructura.

En este documento también va a quedar reflejado la metodología seguida durante la realización del trabajo. De esta manera, quedan reflejados los pasos seguidos durante todo el proyecto, así como los cálculos y análisis realizados para la obtención de la solución estructural que se ha considerado más conveniente.

Por último, se realizarán planos para definir el pórtico y la nave en los que se definirán claramente todas las dimensiones y secciones de los diferentes elementos que constituyen la estructura.

## 1.2. Motivación.

El trabajo fin de grado aquí presente se ha realizado con el objetivo de conocer un proceso de dimensionamiento real de una estructura. A lo largo de todo el grado, nos enfrentamos a problemas con un resultado concreto o metodologías de resolución aprendidas o enseñadas por los profesores. Intentar entender y aprender el proceso de dimensionamiento y poder aplicarlo a un caso real es lo que me convenció para realizar este documento.

## 1.3. Objetivos.

El proyecto presentado a continuación, tiene como objetivo general realizar el dimensionamiento de un pórtico central de una nave industrial mediante el programa de cálculo estructural SAP2000, ya que SAP2000 dispone de una herramienta muy potente de auto-dimensionado, pero poco conocida. Simultáneamente se realizará los cálculos de dimensionamiento y elaboraremos una guía de esta herramienta de cálculo. Otros de los objetivos perseguidos es introducirnos en el CTE para entender y conocer la normativa de construcción específicamente en construcciones metálicas. Finalmente obtendremos un presupuesto aproximado de la estructura resistente de la nave y conoceremos los posibles impactos ambientales de esta construcción.

## 1.4. Planificación del proyecto.

- Primer paso: Definir la estructura.

En la primera etapa se definen los tipos configuraciones de pórticos en una nave y los diferentes tipos de materiales que disponemos para construir la nave.

- Segundo paso: Definir dimensiones.

En esta segunda etapa referida al capítulo 3, estableceremos las dimensiones de la estructura, el lugar geográfico donde se realizará la construcción de la nave, el cumplimiento de la normativa urbanística y explicación de las diferentes bases de cálculo y criterios de fallo de la estructura.

- Tercer paso: Establecimiento de las cargas.

En esta sección del trabajo fin de grado (capítulo 4), estableceremos como se determinan las cargas sobre la estructura, mostraremos las diferentes formas para conocer el valor numérico de las acciones permanentes y variables sobre la estructura.

- Cuarto paso. Dimensionamiento del pórtico con SAP2000.

Esta es la parte principal del trabajo fin de grado. Se elaborará una guía detallada de todos los pasos necesarios para dimensionar el pórtico con la herramienta “*Start Steel desing/Check of stucture*”.

- Quinto paso: Extracción de conclusiones.

Auto-dimensionado del pórtico central de una nave industrial con SAP2000.

# Capítulo II: Conocimientos teóricos

- 2.1. Definición de estructura.
- 2.2. Elección de materiales.
  - 2.2.1 Hormigón armado.
  - 2.2.2. Madera.
  - 2.2.3. Acero.
- 2.3. Tipos de naves pórticos/cerchas.
- 2.4. Características mecánicas del acero.
- 2.5. Herramienta de cálculo SAP2000.

En este capítulo se establecen las alternativas de construcción que disponemos para la fabricación de la nave. Estableceremos los materiales comúnmente usados para la construcción de la estructura resistente de la nave, así como los posibles tipos de pórticos que se emplean.

## 2.1. Definición de estructura.

Una estructura es un sistema integrado de componentes que están diseñados para trabajar juntos, respondiendo a las fuerzas que actúan sobre ellos. Su objetivo principal, es soportar y distribuir las cargas del edificio hacia sus puntos de apoyo manteniendo su forma original sin deformaciones significativas. Las cargas que afectan a una estructura pueden ser clasificadas en diferentes categorías, como:

- Peso propio.
- Cargas de funcionamiento.
- Acciones varias.

Cuando hablamos de peso propio, se incluyen la carga de la estructura, así como las cargas reológicas, las cuales son producidas por las deformaciones que experimenta los materiales debido al paso del tiempo por retracción, fluencia bajo cargas u otras causas.

Las cargas de funcionamiento son aquellas que actúan sobre la construcción, por ejemplo: Maquinaria, grúas, mobiliario...

Dentro de las acciones variables, podemos encontrar temperaturas (dilatación-contracción), nieve, colisión de vehículos, incendios, viento, sismo etc. Para garantizar la seguridad de la estructura, ésta debe soportar la combinación más desfavorable entre todas ellas.

Las verificaciones se establecen en el CTE más los criterios de plastificación y pandeo. Principalmente el CTE nos establece:

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

La estabilidad de una estructura asegura que, considerada como un cuerpo sólido y estable, cumpla con las reglas de la estática cuando se vea afectada por fuerzas externas y su propio peso.

La resistencia obliga a que no se supere las tensiones admisibles del material y que no plastifique o en el peor caso se fracture alguna sección.

La deformación limitada implica que se mantenga dentro de unos límites. Toda estructura se deforma bajo la acción de cargas, pero esta deformación debe ser controlada de tal manera que no afecte al confort de los usuarios y a la integridad estructural de otros elementos secundarios.

Los elementos estructurales de la nave son:



- ✓ Vigas directriz rectas. Suelen trabajar a flexión.
- ✓ Los pilares. Generalmente trabajan a compresión o flexo-compresión.
- ✓ Zapatas. Aunque “pertenecen a la cimentación” es el último elemento que transmite las cargas de la nave al suelo.

## 2.2. Elección de los materiales.

Antes de decidir el material para la realización de la nave, tenemos que analizar las tres principales alternativas de material que principalmente se están usando actualmente en la construcción estas son: el acero, hormigón y madera. Siguiendo la referencia bibliográfica [1], se van establecer las características de cada uno, así como sus ventajas y desventajas. De esta forma se establecerá cuál de esos tres materiales es el más adecuado para el proyecto.

### 2.2.1. Hormigón armado.

El hormigón es un material compuesto fabricado de la mezcla de áridos de distintos tamaños con cemento en cantidades controladas de agua. El cemento se mezcla con el agua ocasionado una reacción química conocida como fraguado.

- Resistencia estructural: El hormigón es muy resistente a compresión su resistencia varía entre 25-100 N/mm<sup>2</sup>. Es un material poco resistente a tracción, por lo que debe ser reforzado con barras de acero corrugado introducidas dentro del concreto antes de que fragüe, de esta manera se obtiene el hormigón armado.
- Resistencia al fuego: Las estructuras realizadas mediante hormigón armado tienen una elevada resistencia al fuego sin necesidad de ningún tipo de protección adicional. Además, la resistencia al fuego se puede modificar realizando recubrimiento o sobredimensionado los elementos para cumplir exigencias. Hablamos de buena resistencia del fuego, ya que a diferencia del acero el hormigón es mal conductor del calor, luego el calor penetra lentamente hacia el interior del elemento de construcción, además, el hormigón es un material incombustible es decir no arde, por consiguiente, no genera humo ni gases luego sirve de elemento de contención.
- Versatilidad de formas: El hormigón armado se obtiene a partir de verter hormigón en un molde, lo que permite obtener curvas, escuadras y cualquier tipo de perfil de diferentes tamaños y formas.
- Durabilidad: El hormigón proporciona una adecuada protección a las armaduras y elementos metálicos embebidos en él, lo que supone una ventaja respecto al acero de modo que es adecuado para construir en medios agresivos.

Auto-dimensionado del pórtico central de una nave industrial con SAP2000.

Las principales desventajas son:

- La elevada estabilidad le otorga la gran cantidad de material que necesita, por lo cual, posee un excesivo peso y volumen.
- Tiene un difícil control de calidad. A pesar de que se establecen ciertas normas sobre las cantidades de materiales y tiempo de fraguado mínimo, no garantiza completamente que se realice de la manera correcta.
- Los materiales no son recuperables tras la demolición.
- La ejecución es lenta, debido al fraguado y al endurecimiento de la masa. Este tiempo oscila en un mes de duración.

### **2.2.2. Madera.**

La madera puede ser utilizada de forma natural (madera aserrada) o en formas de láminas pegadas (madera laminada). La madera laminada se forma uniendo laminas entre si mediante adhesivos, dando lugar a una “barra” mucho más flexible y resistente, lo que nos permite generar piezas de gran canto necesarias para salvar grandes luces. La resistencia de este tipo de material depende del tipo de madera que se emplea.

Ventajas:

- Ofrece una gran resistencia frente a agentes químicos agresivos.
- Presenta una gran relación resistencia/peso.
- Es un excelente aislante térmico y acústico. Esto repercute en una reducción del consumo energético.

Inconvenientes:

- Las uniones en las estructuras de madera constituyen un punto débil en caso de incendio.
- Al tratarse de un material orgánico, es un material susceptible a sufrir alteraciones por diferentes factores como la humedad o insectos xilófagos, como las termitas o la carcoma. Lo que implica tener que realizar acciones de mantenimiento.

### **2.2.3. Acero.**

La estructura metálica de acero tiene un gran protagonismo en edificaciones de carácter industrial, ya que tiene una serie de ventajas sobre otros materiales. Puede afirmarse que la gran mayoría de las naves realizadas son de acero. Entre las propiedades más importantes del acero se pueden destacar las siguientes:

- Resistencia estructural: El acero estructural es un material que posee una alta resistencia a tracción como a compresión, de modo que no tenemos que reforzarlo con otro material para que trabaje correctamente. Tiene una alta resistencia mecánica, lo que implica que tiene reducido peso propio, ya que nos permite utilizar secciones resistentes menores y permite tener grandes luces perfectas para edificios industriales. Uno de los peligros debido a su ligereza y esbeltez es la inestabilidad local sin haberse agotado la capacidad

resistente. Esto obliga a realizar un arriostramiento de los distintos elementos estructurales.

Una de las desventajas es la susceptibilidad a pandeo, lo que conlleva a emplear elementos de arriostramientos para obtener rigidez tales como: cruces de san Andrés y nudos rígidos.

Como se ha comentado anteriormente, debido a su resistencia permite obtener grandes deformaciones de la “barra” sin que plastifique el material, a pesar de parecer una ventaja es una desventaja, debido al impacto visual que genera observar una barra con una considerable deformación.

Como el acero se trata de un material dúctil, implica que antes de alcanzar el límite de rotura se deforma plásticamente hasta un cierto límite. Gracias a esto se dicen que las estructuras metálicas “avisan” antes del fallo.

- Durabilidad: Uno de los principales problemas por no decir el único en este aspecto, es que la durabilidad se ve afectada según la corrosión del material. Hoy en día, hay gran cantidad de tratamientos químicos que permiten tanto prevenir la aparición de la corrosión como proteger a la estructura de ella (ánodos de sacrificio, pintura, galvanizado...), lo que implica realizar mantenimiento de la estructura metálica en ambientes agresivos.
- Reciclaje: Las estructuras de acero tienen una gran ventaja adicional frente al hormigón. El reciclaje del acero es muy simple, ya que la mayoría del acero empleado es secundario y su reciclaje consistiría en el transporte y posterior fusión en siderurgias para volver a obtener acero secundario.
- Resistencia al fuego: El acero es un material sensible al fuego. Las características mecánicas de éste disminuyen rápidamente con la temperatura, por lo que las estructuras metálicas deben protegerse del fuego.
- Versatilidad y geometría. El proceso de obtención de los perfiles de acero es un proceso estandarizado porque el proceso de conformado de perfiles conlleva gran aporte de energía, a pesar de ello, actualmente existe gran variedad de perfiles para edificación con gran variedad de geometrías (L, C, V, H, Z, T...) así como de dimensiones.

Además de las características mencionadas anteriormente hay que destacar ciertos aspectos económicos y constructivos del acero.

- Facilidad de montaje y transporte.
- Rapidez en la ejecución de la obra, ya que la mayoría de las piezas se fabrican en taller, uniéndose en obra de forma sencilla mediante tornillos o soldaduras.
- Fácil control de ejecución y calidad, ya que la fabricación en talleres permite un control adecuado debido a la realización de pruebas pertinentes.

Auto-dimensionado del pórtico central de una nave industrial con SAP2000.

- La estructura metálica requiere cimentaciones de menor proporción, lo que genera una disminución en los costes de las excavaciones.
- Se puede utilizar en construcciones que requieren grandes luces.
- Necesita mantenimiento y supervisión periódica en ambientes altamente corrosivos.
- En estructuras de acero es posible la realización de modificaciones o ampliaciones de manera relativamente sencilla.
- La precisión dimensional con la que se fabrican los perfiles laminados sigue estándares que permiten definir con gran exactitud las propiedades geométricas de la sección.
- El acero permite soportar grandes deformaciones y grandes esfuerzos en tensión, ayudando a visualizar los posibles fallos antes de llegar a la rotura.
- El acero es un material conductor que favorece la propagación del calor en la estructura, por lo que es especialmente susceptible a incendios.

Para la realización del dimensionamiento del pórtico emplearemos este material.

### 2.3. Tipos de naves pórticos/cerchas.

Se puede decir que existen dos tipos de configuraciones de naves, las realizadas por pórticos o por cerchas. La figura 1, muestra las cerchas y pórticos más empleados en la edificación de naves industriales. A continuación, se definirán en qué consisten y que ventajas tienen una respecto a otra.

En primer lugar, una nave de cerchas, es un tipo especial de viga formada por estructuras triangulares compuestas por vigas horizontales y diagonales que se unen en sus extremos para crear un armazón rígido. Las vigas que conforman la cercha generalmente trabajan a axil (tracción o compresión). Las cerchas son excelentes en términos de resistencia y peso, la disposición triangular en celosías de las vigas proporciona una adecuada estabilidad y capacidad de carga permitiendo grandes luces.

Las cerchas son estructuras diseñadas para soportar cargas verticales, pero menos eficientes para soportar cargas laterales provocadas, por ejemplo, por el viento. Lo que conlleva, a experimentar fuerzas a flexión y torsión dependiendo de la magnitud y dirección de las cargas laterales las cerchas pueden deformarse o sufrir desplazamientos laterales significativos. Para solventar esto, pueden emplearse refuerzos adicionales, o contrafuertes para mejorar la estabilidad lateral de la estructura.

La nave de pórticos es una estructura formada por vigas y pilares. Las vigas se apoyan sobre los pilares transmitiendo la carga sobre ellos. Es una estructura más simple en comparación a una viga cercha, con los pórticos tenemos una mayor altura útil esencial para operaciones de descarga o trabajar con un puente grúa, pero la luz que puede cubrir un solo pórtico respecto las cerchas es menor.

Al igual que con cerchas cuando los pórticos experimentan cargas fuera del plano peligran la estabilidad de la estructura de modo que se emplean elementos

rigidizadores entre pórticos para garantizar la estabilidad de la nave (cruces de San Andres).

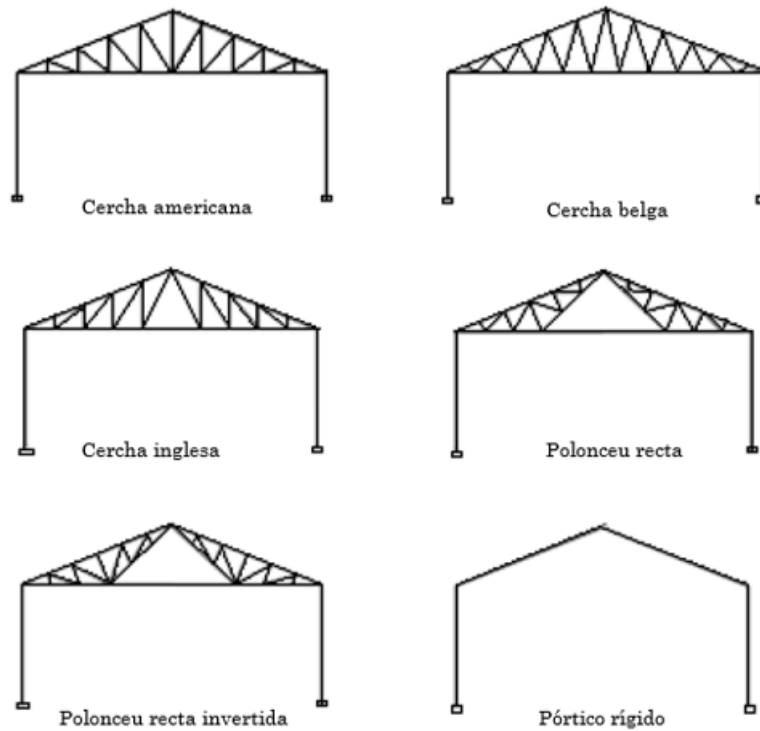


Figura 1. Tipos de cerchas y pórticos.

## 2.4. Características mecánicas del acero.

El acero ordinario es el más empleado para la construcción. En la tabla 1, se pueden apreciar los diferentes tipos de acero comúnmente utilizados.

S235JR	S235J0	S235J2
S275JR	S275J0	S275J2
S355JR	S355J0	S355J2

Tabla 1. Tipos de acero estructural.

La primera sigla “S” es de Steel, (acero en inglés), el “número” hace referencia al límite elástico en Megapascals. Las ultimas siglas indican la sensibilidad a la rotura frágil y su soldabilidad:

- JR para construcciones ordinarias.
- J0 cuando se requiere alta soldabilidad y resistencia a rotura frágil
- J2 para exigencias especiales de resiliencia, resistencia a la rotura frágil y soldabilidad.

Para nuestra estructura elegiremos el S355 JR, dado que tiene un alto limite elástico ( $\sigma_y = 355 \text{ MPa}$ ) nos permite reducir las secciones de los perfiles y un límite de rotura

Auto-dimensionado del pórtico central de una nave industrial con SAP2000.

(460 - 630 MPa). También hay que destacar parámetros imprescindibles para el cálculo dimensional que son comunes para todos los aceros.

- Módulo de Elasticidad:  $E = 210 \text{ GPa}$
- Módulo de Rigidez:  $G = 81 \text{ GPa}$
- Coeficiente de Poisson:  $\nu = 0,3$
- Coeficiente de dilatación térmica:  $\alpha = 1,2 \cdot 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$
- Densidad:  $\rho = 7.850 \text{ kg/m}^3$

## 2.5. Herramienta de cálculo SAP2000.

El cálculo del pórtico central de la nave se llevará a cabo con el programa SAP2000, unos de los programas de análisis y diseño estructural más empleados y reconocidos en el ámbito de la ingeniería civil. Se trata de una potente aplicación de cálculo para cualquier tipo de estructura.

SAP2000 basa los cálculos en principios fundamentales de la mecánica cuántica estructural y la teoría de elementos finitos (FEM).

A continuación, se detallan los conceptos clave y los métodos que SAP2000 utiliza para sus cálculos:

- **División de la estructura en elementos finitos:**
  1. La estructura se divide en elementos más pequeños y manejables (elementos finitos), como barras, vigas, placas....
  2. Cada elemento tiene propiedades específicas (material, sección transversal) y se conectan en nodos.
- **Formulación de las ecuaciones:**
  1. Se definen ecuaciones de equilibrios para cada elemento, que relacionan las fuerzas internas y externas.
  2. Estas ecuaciones se combinan para formar un sistema de ecuaciones global que representa el comportamiento de la estructura
- **Matrices de rigidez:**
  1. Se construye una matriz de rigidez para cada elemento, que describe como el elemento resiste las deformaciones.
  2. Las matrices de rigidez de los elementos se ensamblan en una matriz de rigidez global para toda la estructura.

- **Condiciones de contorno y cargas:**
  1. Se aplica condiciones de contorno (apoyos, restricciones) y las cargas externas al modelo estructural.
  2. Las cargas pueden ser estáticas (fuerzas, momentos) o dinámicas (aceleraciones, desplazamientos, vibraciones...).
  
- **Resolución del sistema de ecuaciones.**
  1. El sistema de ecuaciones resultantes se resuelve para encontrar los desplazamientos en los nodos de la estructura.

Auto-dimensionado del pórtico central de una nave industrial con SAP2000.



# Capítulo III: Descripción de la nave y normativa

- 3.1. Descripción de la nave.
- 3.2. Cumplimiento de la normativa urbanística.
- 3.3. Cargas consideradas.
- 3.4. Bases del cálculo.
  - 3.4.1 Capacidad portante
  - 3.4.2 Aptitud al servicio.

En este capítulo se presentarán las características y necesidades que estará sometida la nave debido a sus dimensiones y localización. Se describe su ubicación, el tamaño de la estructura, el cumplimiento de edificación urbanística y las bases de cálculo para la determinación de los perfiles comerciales que constituyen la nave.

### 3.1. Descripción de la nave.

La nave se va a construir en la pedanía de Villarmienzo perteneciente al municipio de Quintanilla de Osoña, provincia de Palencia. Concretamente según referencia catastral la parcela 20051 polígono 22. La parcela ocupa una superficie total de 1,682 ha, con un frente de acceso a la parcela de 112 m tal y como se muestra en la figura 2.

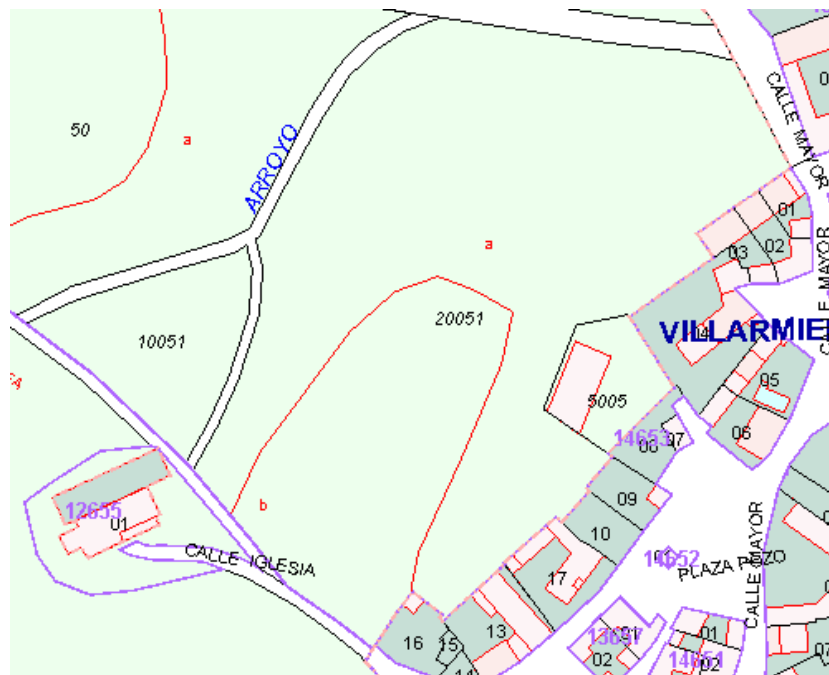


Figura 2. Localización de la parcela.[5]

La parcela colinda en el este con viviendas urbanas, en el oeste con parcelas agrícolas y acceso en el norte con la carretera P-2401. La nave posee unas dimensiones de 20 m de luz y 40 m de largo, es decir, una superficie total de 800 m<sup>2</sup>.

La superficie total de ocupación de la parcela y teniendo en cuenta el PGOU vigente de la provincia de Palencia, no puede ser superior al 50% de la totalidad de la superficie existente, tal como aparece en la tabla 2 referente a la justificación urbanística. Por lo que el límite de construcción es:

$$Superficie_{maxima\ construida} = 1,682 \cdot 0,5\% = 841\ m^2$$

$$Superficie_{edificada} = 20 \times 40 = 800\ m^2$$

$$Superficie_{maxima\ construida} > Superficie_{edificada} \quad (1)$$

La estructura estará formada por pórticos a dos aguas separados entre sí una distancia de 6 m. La altura de los pilares del pórtico es de 10 m, la pendiente es de 15 °, lo que nos provoca que la altura máxima de la nave sea de 12,67 m. El PGOU nos indica que la máxima altura de edificación es de 13 m luego, cumplimos los requisitos para poder edificar la nave.

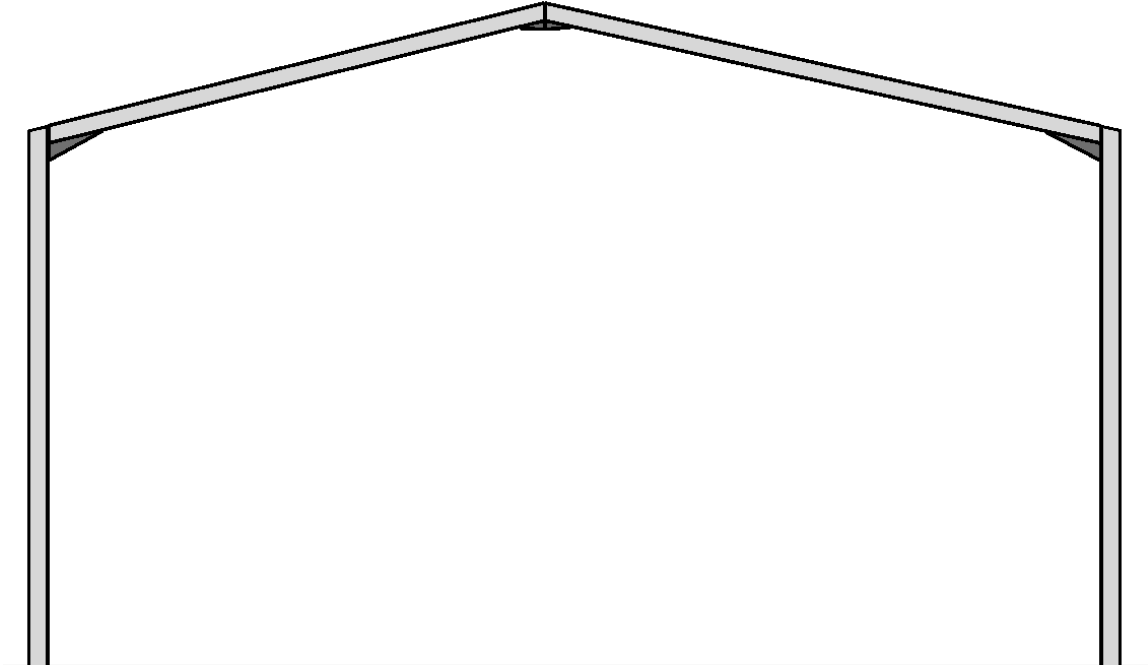


Figura 3. Pórtico de la nave industrial.

### 3.2. Cumplimiento de la normativa urbanística.

En tabla 2, se muestra un resumen de los requisitos urbanísticos establecidos por el Plan General de Ordenación Urbanística (PGOU) de la provincia de Palencia y las características urbanísticas de la nave.

Requisitos del PGOU	Características Nave
Edificación aislada	Edificio aislado
Edificabilidad 0,5% de la superficie de la parcela	841 m <sup>2</sup>
Retranqueos a linderos públicos	10 m
Retranqueos a linderos privados	10 m
Alturas máximas	13 m

Tabla 2. Requisitos urbanísticos.

### 3.3. Cargas consideradas.

Al tratarse de una nave industrial las cargas que debe soportar se establecen en el documento CTE-DB-SE-AE. En él, nos indica que las cargas pueden actuar de manera aislada o conjuntamente entre ellas, esto quiere decir, que a las cargas de origen gravitatorio como el peso de la estructura (pilares, correas, cerchas, cubierta...), también debe soportar cargas debido al viento, nieve ... A continuación, se expone las cargas que actúan sobre la estructura.

**Acciones permanentes:**

- Peso propio
- Pretensado (No se van a considerar)
- Acciones del terreno (No se van a considerar)

**Acciones variables:**

- Sobrecarga de uso
- Acciones sobre barandillas y elementos divisorios (No se van a considerar)
- Viento
- Acciones térmicas
- Nieve

**Acciones accidentales:**

- Sismo (No se van a considerar)
- Incendio (No se van a considerar)
- Impacto (No se van a considerar)

En el siguiente capítulo se establecerá como calcular el valor de las cargas.

### 3.4. Bases de cálculo.

Una vez realizado el modelo de la estructura y establecidas las cargas debemos comprobar que nuestra estructura es adecuada, para ello, tenemos que observar los documentos: CTE-DB-SE [2] y CTE-DB-SE-A [3]. En concreto, tenemos que verificar que se cumplen los estados límites últimos y de servicio.

#### 3.4.1. Capacidad portante.

Se define capacidad portante a la aptitud de un edificio para asegurar la fiabilidad requerida, la estabilidad del conjunto y la resistencia necesaria durante un tiempo determinado, denominado periodo de servicio establecido en 50 años.

▪ Verificaciones

1. Estabilidad: en toda estructura o en cualquiera de sus partes se debe verificar que el efecto de las acciones estabilizadoras ( $E_{d,stab}$ ) es mayor o igual que el de las desestabilizadoras ( $E_{d,des}$ ):

$$E_{d,stab} > E_{d,des} \quad (2)$$

2. Resistencia: Se considera que hay suficiente resistencia de la estructura portante, de un elemento estructural, sección, punto o de una unión entre elementos, si para todas las situaciones de dimensionado pertinentes, se cumple la siguiente condición.

$$E_d \leq R_d \quad (3)$$

$E_d$ : valor de cálculo del efecto de las acciones

$R_d$ : valor de cálculo de la resistencia correspondiente

▪ Combinaciones de acciones.

1. El valor de cálculo de los efectos de las acciones correspondientes a una situación persistente o transitoria, se determina mediante la combinación de acciones a partir de la expresión:

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i \geq 1} \gamma_{Q,i} \cdot \Psi_{0,i} \cdot G_{k,j} \quad (4)$$

Siendo:

$\gamma$ : Coeficiente parcial de seguridad. El subíndice G es para las acciones permanentes, el P para el pretensado y el Q para las acciones variables.

$\Psi$ : Coeficiente de simultaneidad. Cuando actúan varias acciones variables, se toma una como principal ( $\gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1}$ ) y el resto en combinación ( $\gamma_{Q,i} \cdot \Psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}$ ), debiendo adoptarse como tal una tras otra sucesivamente en los distintos análisis.

G: Es el valor de cálculo de las acciones permanentes.

P: El valor de cálculo del pretensado.

Q: Es el valor de cálculo de una acción variable.

Los valores de los coeficientes de seguridad,  $\gamma$ , se establecen en la tabla 3.2 [2] para cada tipo de acción, atendiendo para comprobaciones de resistencia a si su efecto es desfavorable o favorable, (siendo desfavorables las que actúan en la misma dirección de las permanentes y favorables en sentido contrario).

Para comprobaciones de estabilidad, se diferenciará, aun dentro de la misma acción, la parte favorable (la estabilizadora), de la desfavorable (desestabilizadora). Los valores de los coeficientes de simultaneidad,  $\psi$ , se establecen en la tabla 3.3. [2]

2. El valor de cálculo de los efectos de las acciones correspondientes a una situación extraordinaria, se determina mediante combinaciones de acciones a partir de la expresión:

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + \gamma_P \cdot P + A_d + \gamma_{Q,1} \cdot \Psi_{1,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i \geq 1} \gamma_{Q,i} \cdot \Psi_{2,i} \cdot G_{k,j} \quad (5)$$

3. En los casos en los que la acción accidental sea la acción sísmica, todas las acciones variables concomitantes se tendrán en cuenta con su valor casi permanente, según la expresión:

Auto-dimensionado del pórtico central de una nave industrial con SAP2000.

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + A_d + \sum_{i \geq 1} \Psi_{2,i} \cdot G_{k,j} \quad (6)$$

De las tres condiciones expuestas, hemos elegido que las acciones y situaciones que le sucedan a la estructura son de carácter persistente o transitorio, lo que corresponde a la primera ecuación de la combinación de acciones para el cálculo de la capacidad portante (4).

En las tablas 2 y tabla 3, muestran los coeficientes parciales de seguridad ( $\gamma$ ) y los coeficientes de simultaneidad( $\psi$ ), proporcionados por el CTE-DB-SE [2].

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

Tabla 3. Coeficientes parciales de seguridad [2]

	$\psi_0$	$\psi_1$	$\psi_2$
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 4. Coeficientes de simultaneidad. [2]

Como se muestra en la tabla 4, se pueden observar tres columnas, para los diferentes tipos de cargas, sus significados son los siguientes:

- ❖ *Valor de combinación  $\psi_0$* : Intensidad de la misma en el caso de que, en un determinado periodo de referencia, actúe simultáneamente con otra

acción variable estadísticamente independiente cuya intensidad sea extrema.

- ❖ *Valor frecuente*  $\psi_1$ : Superado durante el 1% del tiempo de referencia.
- ❖ *Valor casi permanente*  $\psi_2$ : Superado durante el 50% del tiempo de referencia.

### 3.4.2. Aptitud al servicio.

Se denomina aptitud al servicio a la capacidad de asegurar el funcionamiento de la obra, el confort de los usuarios y de mantener el aspecto visual.

- Verificaciones

Se considera que hay un comportamiento adecuado, en relación con las deformaciones, las vibraciones o el deterioro, si se cumple que el efecto de las acciones no alcanza el valor límite admisible establecido para dicho efecto. Se establecen unas limitaciones en relación con los desplazamientos que sufren los elementos constructivos:

- Flechas

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 la flecha relativa es menor que:

- a) 1/500 en pisos con tabiques frágiles (como los de gran formato, rasillones, o placas) o pavimentos rígidos sin juntas.
- b) 1/400 en pisos con tabiques ordinarios o pavimentos rígidos con juntas.
- c) 1/300 en el resto de los casos.

- Desplazamientos horizontales

Cuando se considere la integridad de los elementos constructivos, susceptibles de ser dañados por desplazamientos horizontales, tales como tabiques o fachadas rígidas, se admite que la estructura global tiene suficiente rigidez lateral, si ante cualquier combinación de acciones característica, el desplome (véase figura 4) es menor de:

- a) Desplome total: 1/500 de la altura total del edificio;
- b) Desplome local: 1/250 de la altura de la planta, en cualquiera de ellas.

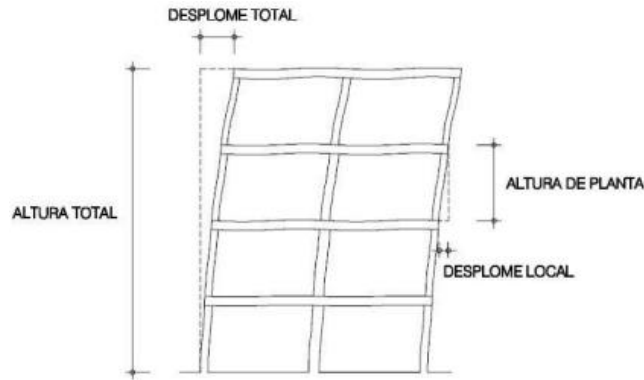


Figura 4. Desplome total y parcial. [2]

▪ Combinación de acciones

Para cada situación de dimensionado y criterio considerado, los efectos de las acciones se determinarán a partir de la correspondiente combinación de acciones e influencias simultáneas, de acuerdo con los criterios que se establecen a continuación.

1. Los efectos debidos a las acciones de corta duración que pueden resultar irreversibles, se determinan mediante combinaciones de acciones a partir de la expresión:

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + Q_{k,1} + \sum_{i \geq 1} \Psi_{0,i} \cdot G_{k,j} \quad (7)$$

Considerando la acción simultánea de:

- a. Acciones permanentes ( $G_k$ ) y pretensado (P).
- b. La acción de la carga variables principal ( $Q_k$ ).
- c. El resto de las cargas variables excluyendo la principal seleccionada en el apartado b ( $\psi_0 G_{k,j}$ )

2. Los efectos de las acciones de corta duración que pueden resultar reversibles, se determinan mediante combinaciones de acciones, del tipo frecuente, a partir de la expresión:

$$\sum_{i \geq 1} G_{k,j} + P + \Psi_{1,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i \geq 1} \Psi_{2,i} \cdot G_{k,j} \quad (8)$$

- a. Acciones permanentes ( $G_k$ ) y pretensado (P).
- b. La acción de la carga variables principal ( $Q_k$ ).
- c. El resto de las cargas variables excluyendo la principal seleccionada en el apartado b ( $\psi_0 G_{k,j}$ )

3. Los efectos debidos a las acciones de larga duración, se determinan mediante combinaciones de acciones, del tipo casi permanente, a partir de la expresión:



$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + \sum_{i \geq 1} \Psi_{2,i} \cdot G_{k,j} \quad (9)$$

a) todas las acciones permanentes, en valor característico (  $G_k$  ).

b) todas las acciones variables, en valor casi permanente (  $\psi_2 \cdot Q_k$  ).

Como base de cálculo se realizará el análisis a partir de las acciones y situaciones de corta duración y carácter irreversibles.

Auto-dimensionado del pórtico central de una nave industrial con SAP2000.

# Capítulo IV: Determinación de las cargas.

## 4.1. Acciones Permanentes

4.1.1. Peso propio.

4.1.2. Peso cubierto.

## 4.2. Acciones variables

4.2.1. Sobrecargas de uso.

4.2.2. Viento.

4.2.3. Nieve.

4.2.4. Acciones térmicas.

## 4.3. Acciones accidentales

4.3.1. Sismo

4.3.2. Acciones del terreno.

## 4.4. Resumen de cargas

En este capítulo se mostrará como se obtienen las cargas que actúan en el pórtico, estas cargas se pueden dividir en permanentes (actúan siempre en la estructura), variables (cuando actúan de forma puntual) y accidentales (no se analizarán). El valor numérico de las cargas se obtiene del CTE-DB-SE-AE [4].

#### 4.1. Acciones permanentes.

##### 4.1.1 Peso propio.

Como se trata de una nave diáfana y analizamos la estructura en un modelo plano 2D, el peso propio que actúa en la estructura es el peso de la cubierta, correas y la estructura del pórtico. Como buscamos obtener el perfil que sea capaz de soportar las solicitaciones, concretizar un valor exacto sobre este tipo de carga es complejo, ya que el peso varía en función de la sección del perfil seleccionado. El programa es capaz de incluir el peso propio en los cálculos dependiendo del perfil.

##### 4.1.2. Peso de la cubierta.

Para cerramiento de la cubierta se ha elegido chapa grecada de acero de 0,080 m de canto y 0,008 m de espesor. Atendiendo al CTE-DB-SE-AE [4], el peso de la chapa es 0,12 kN/m<sup>2</sup>.

Materiales y elementos	Peso kN/m <sup>2</sup>	Materiales y elementos	Peso kN/m <sup>2</sup>
Aislante (lana de vidrio o roca) por cada 10 mm de espesor	0,02	Tablero de madera, 25 mm espesor	0,15
Chapas grecadas, canto 80 mm, Acero 0,8 mm espesor	0,12	Tablero de rasilla, una hoja una hoja sin revestir	0,40
Aluminio, 0 8 mm espesor	0,04	una hoja más tendido de yeso	0,50
Plomo, 1,5 mm espesor	0,18	Tejas planas (sin enlistonado) ligeras (24 kg/pieza)	0,30
Zinc, 1,2 mm espesor	0,10	corrientes (3,0 kg/pieza)	0,40
Cartón embreado, por capa	0,05	pesadas (3,6 kg/pieza)	0,50
Enlistonado	0,05	Tejas curvas (sin enlistonado) ligeras (1,6 kg/pieza)	0,40
Hoja de plástico armada, 1,2 mm	0,02	corrientes (2,0 kg/pieza)	0,50
Pizarra, sin enlistonado solape simple	0,20	pesadas (2,4 kg/pieza)	0,60
solape doble	0,30	Vidriera (incluida la carpintería) vidrio normal, 5 mm espesor	0,25
Placas de fibrocemento, 6 mm espesor	0,18	vidrio armado, 6 mm espesor	0,35

Tabla 5. Elementos de cerramiento de cubierta. [4]

El peso que debe soportar el pórtico de la cubierta es de:  $q = 0,12 \text{ kN/m}^2$ .

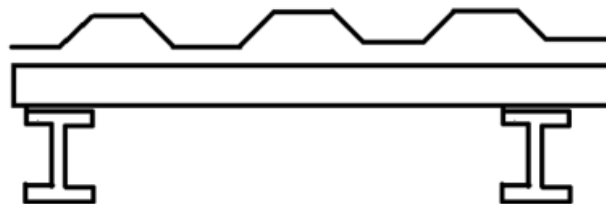


Figura 5. Esquema de cerramiento de cubierta.

#### 4.2. Acciones variables

##### 4.2.1 Sobrecarga de uso.

Se define sobrecarga de uso como, todo el peso que puede gravitar sobre el edificio por razón de su uso. La sobrecarga de uso se modela como una carga vertical distribuida uniformemente. En la tabla 6 obtenida del CTE-DB-SE-AE [4], nos indica los valores característicos en relación al uso destinado de la nave.

Como se ha mencionado anteriormente, el valor de la carga varía en función del uso, en nuestro caso, se trata de una cubierta accesible únicamente para conservación en concreto “cubiertas con inclinación inferior a 20 °”.

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

Tabla 6. Tipos de carga de SU según el uso de la cubierta. [4]

De modo que la sobrecarga de uso superficial es de 1 kN/m<sup>2</sup>.

#### 4.2.2. Viento.

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

La acción de viento se puede modelar como una fuerza perpendicular a la superficie de cada punto expuesto, también se denomina presión estática ( $q_e$ ) puede expresarse como:

$$q_e = q_b \cdot C_e \cdot C_p \quad (10)$$

$q_e$  = presión estática del viento en kN/m<sup>2</sup>.

$q_b$  = presión dinámica del viento en kN/m<sup>2</sup>.

$C_e$  = coeficiente de exposición adimensional de acuerdo con el subepígrafe 3.3.3[4]

$C_p$  = coeficiente eólico o de presión adimensional. Tomará valores positivos (presión) o negativos (succión), de acuerdo con el su epígrafe 3.3.5[4]

### q<sub>b</sub> Presi3n din3mica del viento

En el CTE-DB-SE-AE [4] concretamente en el apartado 3.3.2, nos informa que el coeficiente de presi3n din3mica en toda Espa3a puede adquirir el valor de 0.5 kN/m<sup>2</sup>. Por otro lado, en el anejo D, nos muestra la siguiente ecuaci3n para obtener el valor de presi3n din3mica m3s preciso:

$$q_b = 0,5 \cdot \delta \cdot v_b^2 \quad (11)$$

Donde  $\delta$  es el valor de la densidad del aire y  $v_b$  el valor de la velocidad del viento.

En nuestro caso no hemos elegido ninguno de las dos opciones comentadas anteriormente. El valor de presi3n din3mica, se ha obtenido tambi3n del anejo D. En 3l, nos indica los valores de presi3n din3mica en funci3n de la zona en la que se encuentre la nave, figura 6. En esta figura tambi3n se muestra la velocidad del viento dependiendo de la zona geogr3fica de la pen3nsula, por lo que pod3amos aplicar la ecuaci3n anteriormente comentada.



Figura 6. Zonas los distintos coeficientes de presi3n din3mica.[4]

Como la nave se encuentra dentro de la zona B, el valor de presi3n reducida,

$$q_b = 0,45 \text{ kN/m}^2.$$

### C<sub>e</sub>: Coeficiente de exposici3n

El coeficiente de exposici3n tiene en cuenta los efectos de las turbulencias originadas por el relieve y la topograf3a del terreno. Su valor se puede tomar de la tabla 3.4 del CTE-DB-SE-AE [4] (Tabla7) siendo la altura del punto considerado la medida respecto a la rasante media de la fachada a barlovento.

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

Tabla 7. Tabla de los coeficientes de exposición [4]

Con el objetivo de obtener un resultado más preciso, optamos por elegir dos coeficientes de exposición, ya que los pilares y la cubierta se encuentran en alturas diferentes.

	Pilares	Cubierta
Coeficiente Exposición	2,3	2,5
	1,7	1,9

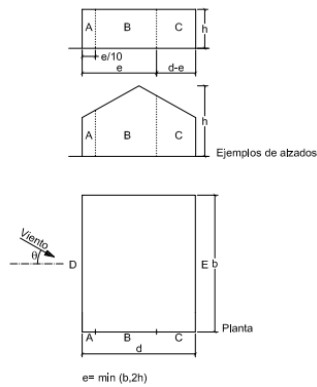
Tabla 8. Elección de los coeficientes de exposición.

#### Cp: Coeficiente eólico

Como el proyecto es realizar una nave, se puede asimilar a una construcción diáfana y sin forjaos que conecten las fachadas, luego la acción del viento debe individualizarse en cada elemento de la superficie exterior.

A efectos del cálculo de la estructura, utilizaremos los valores del anejo D.3 del CTE-DB-SE-AE [4], que recogen el valor más pésimos en cada punto debido a varias direcciones de viento. De modo que si individualizamos los elementos de la nave y sabiendo que se va estudiar el pórtico como un problema plano serán: cubierta y fachada.

❖ Fachada



A (m <sup>2</sup> )	h/d	Zona (según figura), -45° < θ < 45°				
		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 9. Coeficientes eólicos de los laterales de

	C <sub>p</sub>
Fachada de incidencia	0,8
Fachada opuesta	-0,5

Tabla 10. Coeficientes eólicos seleccionados.

Como se observa en la tabla 9, el valor del coeficiente eólico sobre las fachadas E y D, depende de la esbeltez y del área de la nave definidas en el capítulo 3. El coeficiente eólico puede tener signo positivo o negativo. Positivo (presión) quiere decir que estamos ejerciendo presión sobre la estructura y negativo (succión) todo lo contrario, estaríamos ejerciendo una fuerza similar a intentar arrancar la estructura.

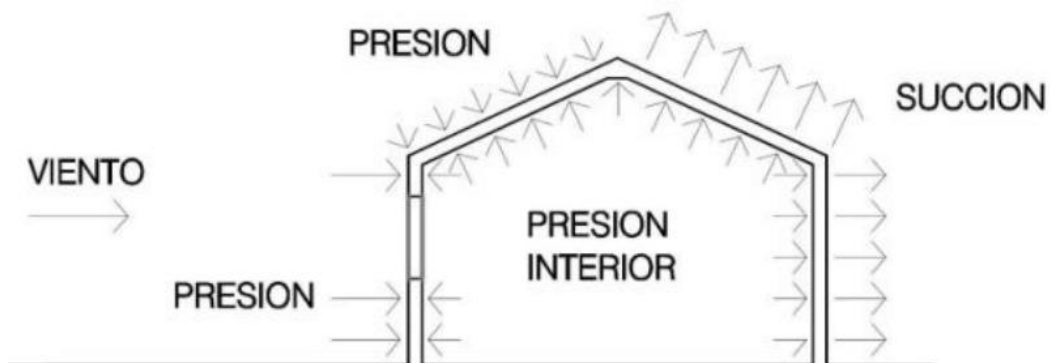
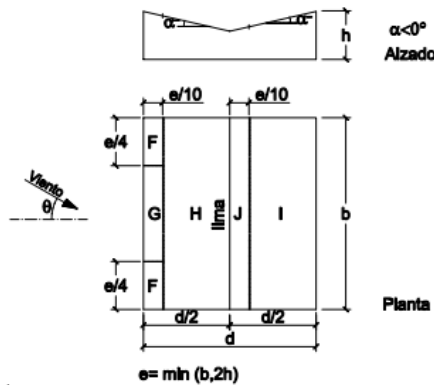


Figura 7. Resumen de la actuación de las cargas de viento. [4]



❖ Cubierta



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

Tabla 10. Coeficientes eólicos según zona de cubierta. [4]

Para obtener en coeficiente de presión sobre la cubierta recordamos que la inclinación es de 15° con un área >10 además, como estamos estudiando un pórtico central nos centramos en las zonas H e I de la tabla 10. La tabla 11, muestra el valor numérico de los coeficientes eólicos seleccionados.

	Cubierta Incidencia	Cubierta Opuesta
Succión	-0,3	-0,4
Presión	0,2	0

Tabla 11. Resumen de los coeficientes eólicos elegidos de cubierta. [4]

Puesto que ya tenemos todos los datos necesarios, empleamos la ecuación 10, para obtener el valor de la carga de viento por unidad de superficie. La tabla 12, muestra el valor numérico de las cargas superficiales de la acción del viento en cada elemento de la estructura.

Auto-dimensionado del pórtico central de una nave industrial con SAP2000.

$q_e$ kN/m <sup>2</sup>			
Fachada	Incidencia	Presión	0.612
	Opuesto	Succión	-0.3825
Cubierta	Faldón incidencia	Succión	-0.2565
		Presión	0.171
	Faldón opuesto	Succión	-0.342
		Presión	0

Tabla 12. Resumen de las cargas de viento que actúan sobre la estructura.

#### 4.2.3 Nieve.

En el apartado 3.5 del CTE-DB-SE-AE [4] nos indica los pasos para determinar la carga de nieve, en él, refleja el valor de carga de nieve por unidad de superficie en proyección horizontal,  $q_n$ , viene dado por la ecuación 12.

$$q_n = \mu \cdot s_k \quad (12)$$

$\mu$ : es el coeficiente de forma tabla 3.5.3 del CTE-DE-SE-AE [4]. En nuestro caso tomamos la opción 1, en la que se establece un valor igual a 1 para cubiertas con inclinación menor o igual que 30 °, ya que la inclinación de la cubierta es de 15 %,  $\mu = 1$ .

$s_k$ : el valor característico de la carga de nieve sobre un terreno horizontal, apartado 3.5.2 o en el anejo E del CTE-DB-SE-AE [4]. En nuestro caso, el valor característico lo hemos obtenido de la tabla 13, donde se establecen los valores en función de la latitud y la zona en la que este situado el proyecto. Como está situado en Palencia a una latitud de 900 m el valor característico de  $s_k = 0,6$  kN/m<sup>2</sup>.

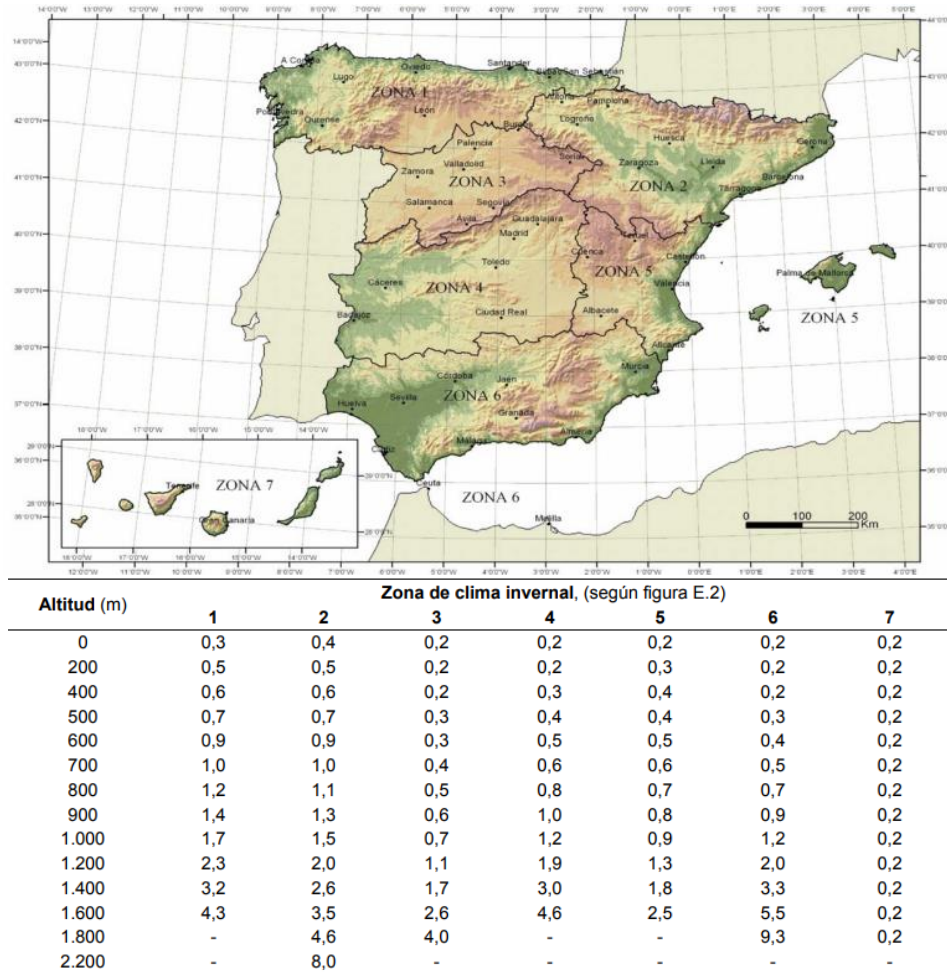


Tabla 13. Valores característicos de la carga de nieve en función de la altitud y zona geográfica. [4].

El CTE-DB-SE-AE [4] informa que, si la nave se encuentra en un emplazamiento fuertemente expuesto, el valor deberá aumentarse en un 20%, de modo que la carga de nieve es de:

$$q_n = 1,20 \cdot \mu \cdot S_k = 1,20 \cdot 0,6 \cdot 1 = 0,72 \text{ kN/m}^2$$

#### 4.2.4 Acciones térmicas.

Las acciones térmicas son las producidas por las deformaciones debidas a los cambios de temperatura. No se analizarán acciones térmicas y reológicas ya que según el CTE-DB-SE-A en el apartado 3.4.1.3 [3] informa no considerar las acciones térmicas cuando se dispongan juntas de dilatación o cuando no existan elementos continuos de más de 40 m de longitud.

### 4.3. Acciones accidentales.

#### 4.3.1 Sismo y acciones del terreno.

En este proyecto no se van a tener en cuenta este tipo de acciones luego no es necesario modelar este tipo de carga.

### 4.4. Resumen de las cargas.

En la tabla 14, se muestra las cargas que actúan sobre el pórtico

Q (kN/m <sup>2</sup> )					
Peso de la cubierta	0,12				
Sobrecarga de uso	1				
Nieve	0,72				
Viento	Fachada	Incidencia	0,828		
		Opuesto	-0,5175		
	Cubierta	Faldón Incidencia	Succión	-0,3375	
			Presión	0,225	
		Faldón opuesto	Succión	-0,45	
			Presión	0	

Tabla 14. Resumen de las cargas que actúan sobre la estructura. (kN/m<sup>2</sup>)

Como hemos comentado, estamos analizando un pórtico central, lo que quiere decir que el pórtico soporta la mitad de la carga superficial de los módulos adyacentes, de modo que tenemos que transformar esta carga superficial en lineal para poder analizar el pórtico como un problema plano. Esto se hace multiplicando los valores de la tabla 14 por el módulo de la nave y así obtenemos la tabla 15.

Q ( kN/m)					
Peso de la cubierta	0,72				
Sobrecarga de uso	6				
Nieve	4,32				
Viento	Fachada	Incidencia	3.472		
		Opuesto	-2.295		
	Cubierta	Faldón Incidencia	Succión	-	
			Presión	1.026	
		Faldón opuesto	Succión	-	
			Presión	2.052	
			0		

Tabla 15. Resumen de las cargas que actúan sobre la estructura (kN/m).

# Capitulo V: Dimensionado con SAP2000

- 5.1. Creación de la malla.
- 5.2. Creación de materiales.
- 5.3. Creación /importación de perfiles y “Auto Select List”
- 5.4. Creación de Casos/Patrones/Combinaciones de carga.
- 5.5. Creación de barras/estructura.
- 5.6. Aplicación de las condiciones de contorno.
- 5.7. Aplicación de las cargas.
- 5.8. Calculo y visualización del resultado.
- 5.9. Configuración en la herramienta “Strart Steel desing/Chec of stucture”
- 5.10. Análisis del primer resultado de la carga de SU.
- 5.11. Resolución de pandeo lateral (vuelco del pórtico).
- 5.12. Análisis del segundo resultado de la carga de SU.
- 5.13. Creación /Asignación/Calculo de “Grupos”.
- 5.14. Análisis del resultado final de la carga de SU.
- 5.15. Creación/combinación/aplicación carga de nieve
- 5.16. Análisis del resultado de carga de nieve.
- 5.17. Creación/Combinación/aplicación carga de viento1.
- 5.18. Análís de la combinación de viento1, Nieve y DEAD.
- 5.19. Creación/Combinación/aplicación carga de viento2,
- 5.20. Análisis de la combinación de viento2, Nieve y DEAD
- 5.21. Análisis de todos los casos de carga.
- 5.22. Estudio de Pandeo.

En este capítulo, vamos a realizar una guía de dimensionado para una estructura y cargas dadas mediante el programa de cálculo SAP2000. Aunque nos vamos a centrar en un pórtico de una nave industrial, esta guía puede emplearse en cualquier otro tipo de estructuras.

Introduciremos los principales comandos y herramientas del programa a la vez que realizamos el dimensionamiento de los perfiles de la nave para la carga de SU. Posteriormente comentaremos los resultados de las cargas de viento, nieve y la combinación de ambos.

Para hacer más accesible la guía, dividiremos este capítulo en las principales configuraciones que hay que realizar dentro del programa para poder obtener un buen análisis de la estructura.

### 5.1. Creación de la malla.

Tras abrir SAP2000, aparecerá una pantalla en blanco donde solo hay unos pocos botones activos. Para empezar a diseñar, hay que crear un nuevo modelo haciendo clic en el icono (📄) o bien en *File* → *New model...* Se abrirá una nueva ventana, figura 8, en esta ventana se puede configurar el sistema de unidades empleado y la plantilla sobre la cual se va a trabajar. Se empleará el sistema internacional de unidades seleccionando del desplegable “*Initialize Model from Defaults with Units*” la opción de “N, m, C” (Newton, metro y grados Celsius).

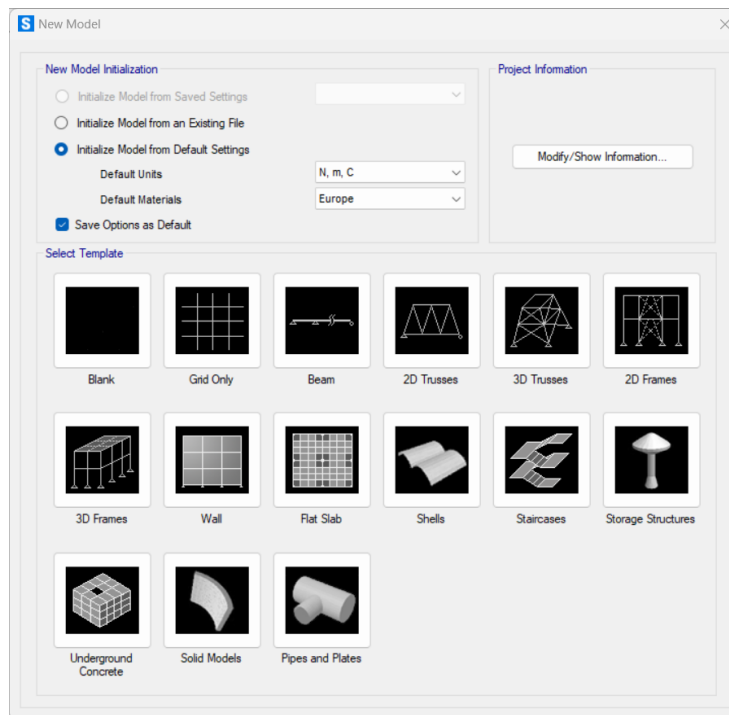


Figura 8. Ventana de configuración de la malla SAP2000.

Como plantilla (“*Template*”) la opción elegida es “*Grid Only*”. Esta configuración permite crear una rejilla tridimensional que sirve de soporte para crear la geometría. Como se aprecia en la figura 8, existen otras plantillas con tipología estructural

predefinidas las cuales pueden tener mayor o menor utilidad en función de la estructura que se quiera calcular.

Tras hacer clic sobre “*Grid Only*” se abre una nueva ventana para configurar la rejilla. Como se aprecia en la figura 9, podemos configurar la rejilla en coordenadas cartesianas o cilíndricas (“Cartesian”, “Cylindrical”). Para nuestra configuración emplearemos coordenadas cartesianas, de modo que tenemos que configurar tres parámetros:

“*Number of Grid Lines*”: Indica en la dirección de cada eje cuantas líneas o planos van a necesitar todos los puntos de la estructura. Hay que tener presente que N líneas genera N-1 espacios entre ellas.

“*Grid Spacing*”: Indica la distancia entre las líneas o planos en cada dirección y con la magnitud de las unidades que se hayan indicado antes (nuestro caso metros). Esta distancia es constante para todos los huecos, posteriormente modificaremos esta distancia.

“*First Grid Line Location*”: Indica en que posición se comienza a dibujar la rejilla, al comenzar el modelo, el valor de estas casillas es de 0.

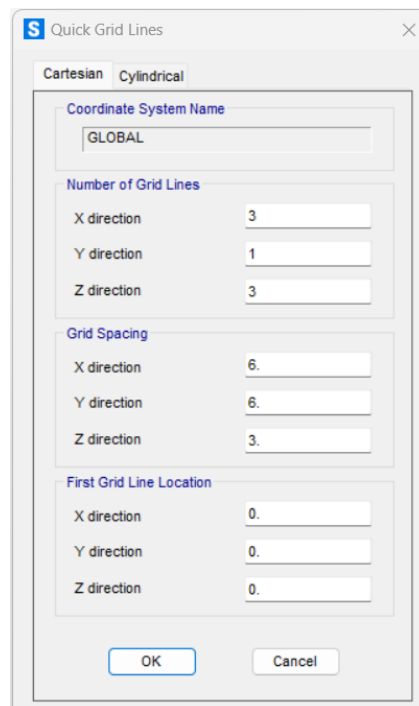


Figura 9. Configuración de la rejilla.

La figura 9, muestra los valores que se emplearán para dimensionar el pórtico (los valores de “*Grid Spacing*” no son los definitivos). Lo que buscamos con la creación de la rejilla es obtener los puntos de unión entre barras “nudos”.

Hay que destacar que este programa utiliza un triedro de coordenadas donde la horizontal del plano principal de trabajo es “Eje X” y la altura del plano es “Eje Z”, de modo que el “eje Y” es el eje perpendicular al plano XZ, es decir, corresponde al eje

## Auto-dimensionado del pórtico central de una nave industrial con SAP2000.

fuera del plano. Para dibujar la malla necesitamos tres cotas en X, una en Y y otras tres en Z.

Al hacer clic en “OK”, se iniciará el modelo similar al de la figura 10. Puesto que vamos a analizar un problema plano, la vista 3D que se muestra en la derecha de la figura 10 es innecesaria, por lo que para trabajar de forma más cómoda se recomienda cerrar la ventana. Por defecto SAP2000 nos muestra la vista 2D del plano XY (los ejes azules de la figura 10). Como se ha comentado anteriormente nuestro plano de trabajo es XZ de modo que para trabajar en ese plano tenemos que hacer clic en el icono ( **XZ** ) de las opciones básicas de visualización.

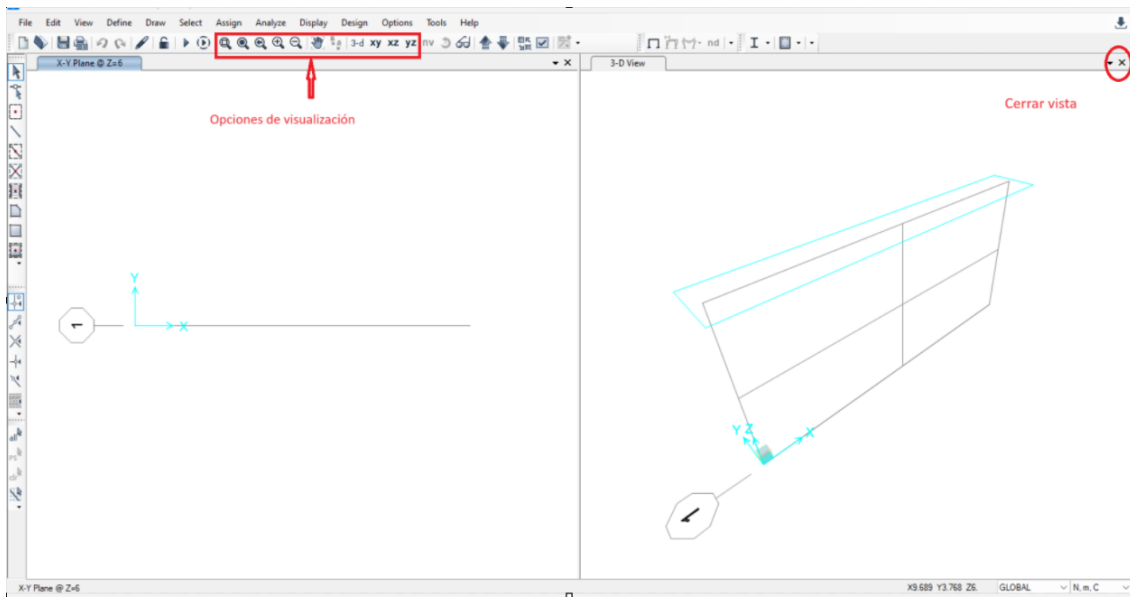


Figura 10. Ventana de trabajo y opciones de visualización.

Tras pulsar el icono ( **XZ** ), ha aparecido una rejilla similar a la figura 11, esta figura es un resumen de lo que hemos hecho y de las medidas que vamos a emplear en el pórtico, para que posteriormente se entienda como modificar la distancia de la malla.



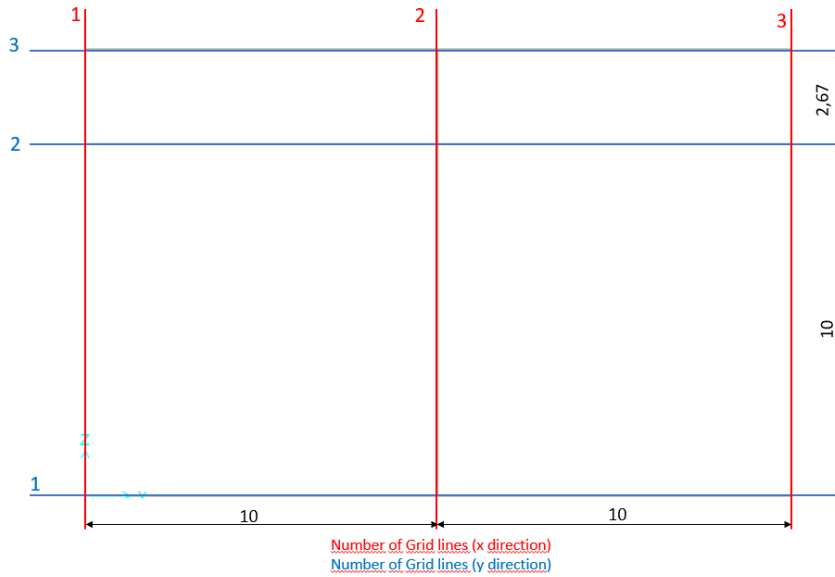


Figura 11. Resumen y medidas de la rejilla.

En el modelo de la rejilla de trabajo aparecen unas burbujas hexagonales grandes numerando los puntos que conforman la rejilla. Estas burbujas son útiles en grandes modelos o en mallados con gran cantidad de líneas, pero resultan molestas en la mayoría de las veces. Para finalizar este apartado, modificaremos el tamaño de las burbujas y cambiaremos la longitud de los tramos de la rejilla. Para ello debemos hacer clic derecho sobre el espacio en blanco del área del modelo y en el menú que se despliega, seleccionar “*Edit Grid Data...*”. A continuación, con “*Global*” seleccionado (el sistema de referencia por defecto asociado a la rejilla que tenemos creada) clicamos en “*Modify/Show System...*”. Se abrirá la ventana de la figura 12.

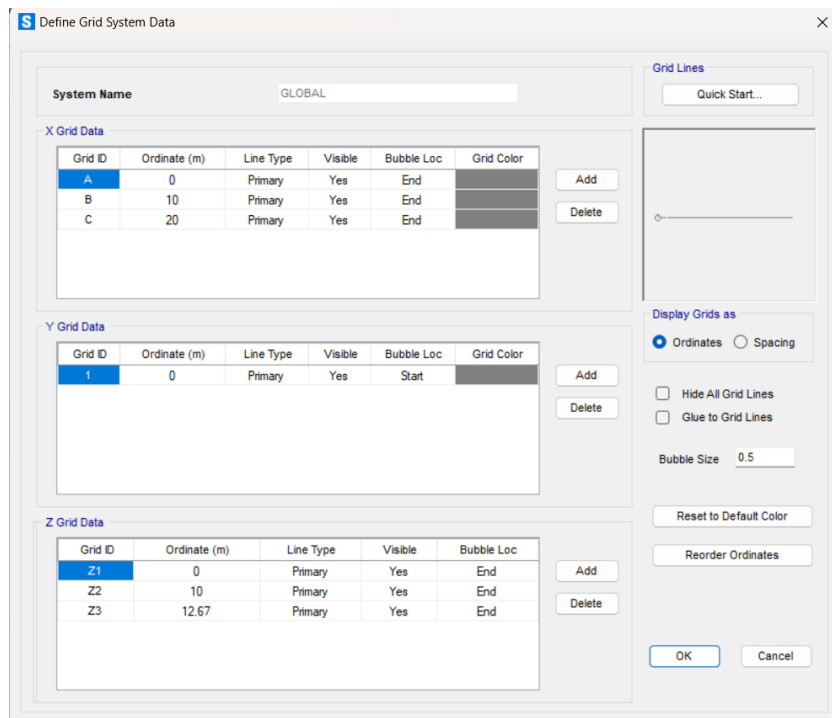


Figura 12. Configuración de las dimensiones de la rejilla.

## Auto-dimensionado del pórtico central de una nave industrial con SAP2000.

Aparece un cuadro de diálogo donde por defecto figuran las coordenadas absolutas de los puntos de la rejilla de los tres ejes “*X Grid Data*”, “*Y Grid Data*” y “*Z Grid Data*”. Se pueden cambiar de coordenadas absolutas a valores de espaciamiento entre líneas haciendo clic en la opción “*Spacing*” (distancias entre las líneas de la malla). Para modificar el tamaño de la burbuja la opción de la que disponemos es disminuir su tamaño para ello, por ejemplo, en el recuadro situado a la derecha de “*Bubble size*” escribimos 0,5.

Para la configuración de nuestro pórtico de luz de 20 m y altura de 12,67 m. Empleamos la opción de “*Spacing*”, de modo que como se aprecia en la figura 12, tenemos que escribir en “*Spacing*” de la “casilla A” 10 y repetimos el valor en la casilla B”, “*X Grid data*”, “*Y Grid data*” le dejamos la opción predeterminada y en “*Z Grid data*” tenemos que escribir el valor de 10 en la “casilla Z1” (que sería la altura del pilar) y en la “casilla Z2” 2,67 (que es la altura entre el dintel y el final de pilar). Al hacer clic en “Ok”, aparecerá la malla modificada con las distancias introducidas anteriormente. La figura 13, muestra el modelo final de rejilla que sirve de soporte para la creación de la estructura del pórtico.

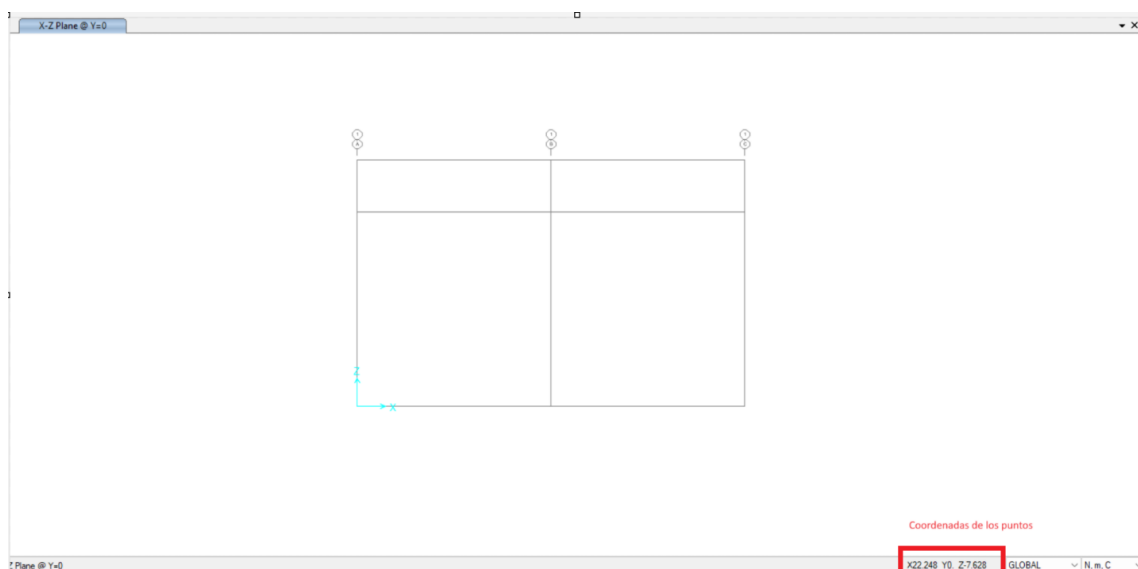


Figura 13. Rejilla de trabajo.

Como comprobación final si situamos el cursor sobre uno de los nudos de la malla podemos observar las coordenadas de ese punto en la parte inferior derecha de la ventana como se aprecia en la figura 13.

### 5.2. Creación del material.

La definición/creación de todas propiedades y parámetros se realiza a través del menú “*Define*”, en cambio la asignación de los parámetros y propiedades al modelo se realiza a través del menú “*Assign*”.

Para definir el material, hacemos clic en “*Define*” → “*Materials...*”. Se abrirá un cuadro de diálogo similar a la figura 14, se puede observar, que por defecto aparecen dos materiales creados y las opciones: “*Add New Material...*” (añadir nuevo material),

“Add copy of Material...” (añadir una copia del material), “Modify/show Material...” (modificar o ver el material) y “Delete Material...” (Eliminar material).

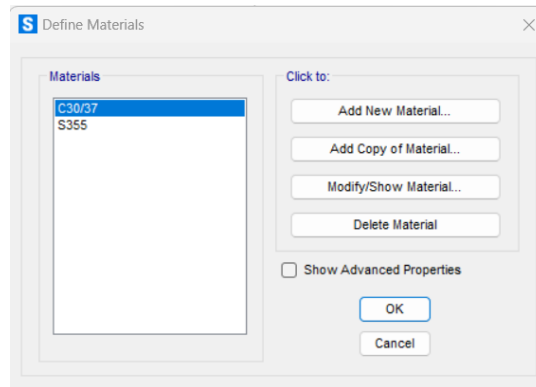


Figura 14. Lista inicial de materiales.

Como queremos crear un material seleccionamos “Add New Material...”. Se abrirá una nueva ventana para crear el nuevo material. El pórtico es de “acero de construcción” que en España esta estandarizado según las normas de ámbito europeo. Seleccionamos “Europe” en el campo de “Region”, dejamos “Steel” en el campo “Material Type” y el campo “Standard” “EN 1993-1-1 per EN 10025-2”, en el campo “Grade” se pueden seleccionar los aceros más conocidos, en nuestro caso, empleamos un acero S355, tal y como muestra la figura 15.

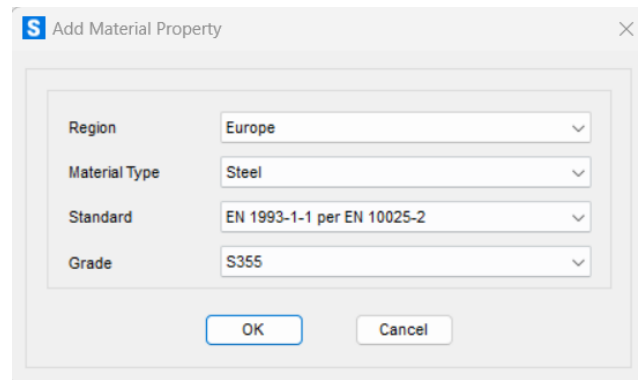


Figura 15. Configuración del material.

Una vez configurado el acero, haremos clic en “OK”. De esta forma, se ha creado el acero. La figura 16, muestra la lista de aceros definidos en el programa, donde se puede apreciar el nuevo acero creado “S355-1”

Auto-dimensionado del pórtico central de una nave industrial con SAP2000.

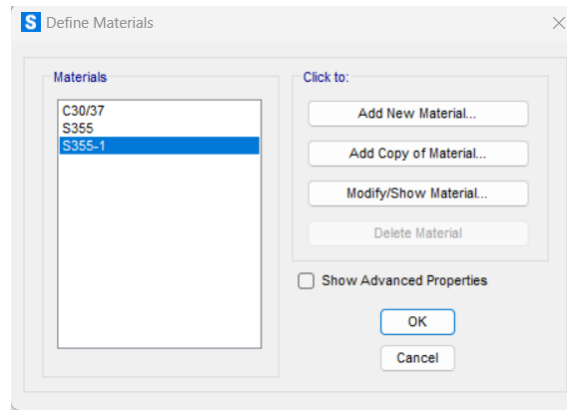


Figura 16. Lista final de materiales.

Si seleccionamos el nuevo acero y hacemos clic en “*Modify/show Material...*” nos aparecerá una nueva ventana similar a la figura 17, donde se puede apreciar las principales propiedades del acero: Densidad, módulo de elasticidad, coeficiente de Poisson.

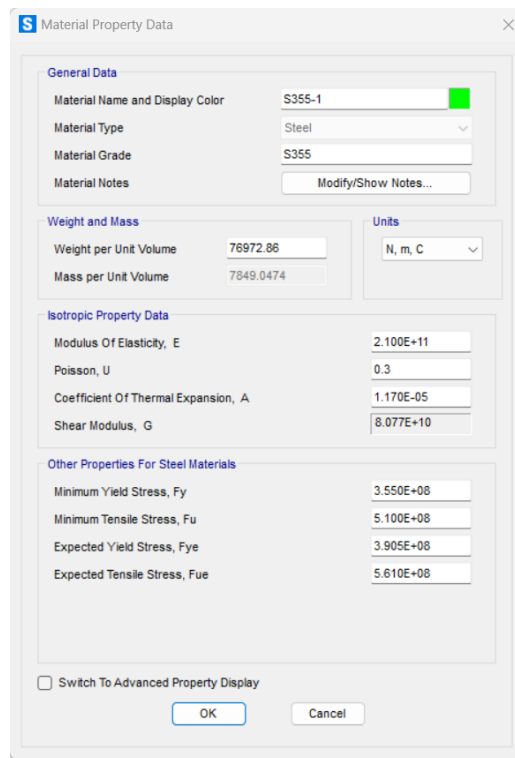


Figura 17. Propiedades del nuevo material (S355-1).

### 5.3. Creación /importación de perfiles y “Auto Select List”.

Antes de enseñar como importar o crear perfiles, se va a explicar como hace SAP2000 para dimensionar el perfil adecuado para las cargas aplicadas y las comprobaciones tanto de tensiones y deflexión que realiza.

Para entender de manera sencilla como SAP2000 calcula el perfil. Aparte de crear el material sobre el que se realiza la estructura, tenemos que crear una lista con los perfiles que creamos convenientes (H, I, T...) que importaremos desde una librería propia del programa con todas las dimensiones de los perfiles comerciales (por

ejemplo, desde un IPE 100 hasta IPE750), una vez importados los perfiles tenemos que crear una lista con todos los perfiles importados o creados. Después, tenemos que crear las barras de la estructura y asignar a esas barras la lista de perfiles. Posteriormente, crearemos las cargas y las combinaciones de carga. Por último, tenemos que configurar una serie de parámetros al programa como el código europeo, deflexión.... Tras hacer esto el programa empezara a iterar el perfil, es decir, asignará automáticamente un perfil (más pequeño) y comprobará los criterios de fallo tanto de tensiones y deflexión dentro y fuera del plano. Si el perfil no cumple los criterios de fallo, SAP2000 de forma automática empleará a iterar con siguiente perfil de la lista y volverá a realizar las comprobaciones de los criterios de fallos, así sucesivamente, hasta que la sección del perfil asignado a la estructura cumpla los criterios de fallo.

Para crear secciones de barras tenemos que dirigirnos al menú “*Define*” → “*Section Properties*” → “*Frame sections...*” Se abrirá un diálogo que es muy similar al de creación de materiales, figura18, podemos observar las opciones para poder importar, crear, modificar y copiar secciones. En nuestro caso, queremos importar las secciones desde un fichero externo que incluye las secciones comerciales típicas, por lo que no es necesario teclear las propiedades de los distintos perfiles.

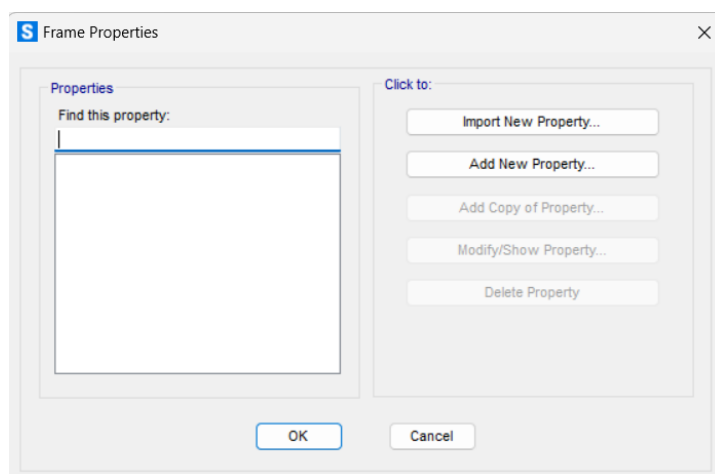


Figura 18. Cuadro de diálogo para definir secciones.

Tenemos que hacer clic en “*Import New Property...*”, después se abrirá un cuadro de diálogo con las principales morfologías de los perfiles (T, C ,L...), como nuestro pórtico se va a construir con un perfil IPE seleccionamos la opción de “*I/Wide Flange*” (en caso de necesitar otro perfil, los siguientes pasos que se mostraran a continuación son muy similares), se puede observar que de forma automática se ha abierto una ventana donde se muestran una serie de carpetas y archivos acabados con la extensión “.pro”, como se aprecia en la figura 19. Como los perfiles están tipificados según las normas europeas tenemos que buscar y hacer doble clic en el archivo “*Euro.pro*”.

## Auto-dimensionado del pórtico central de una nave industrial con SAP2000.

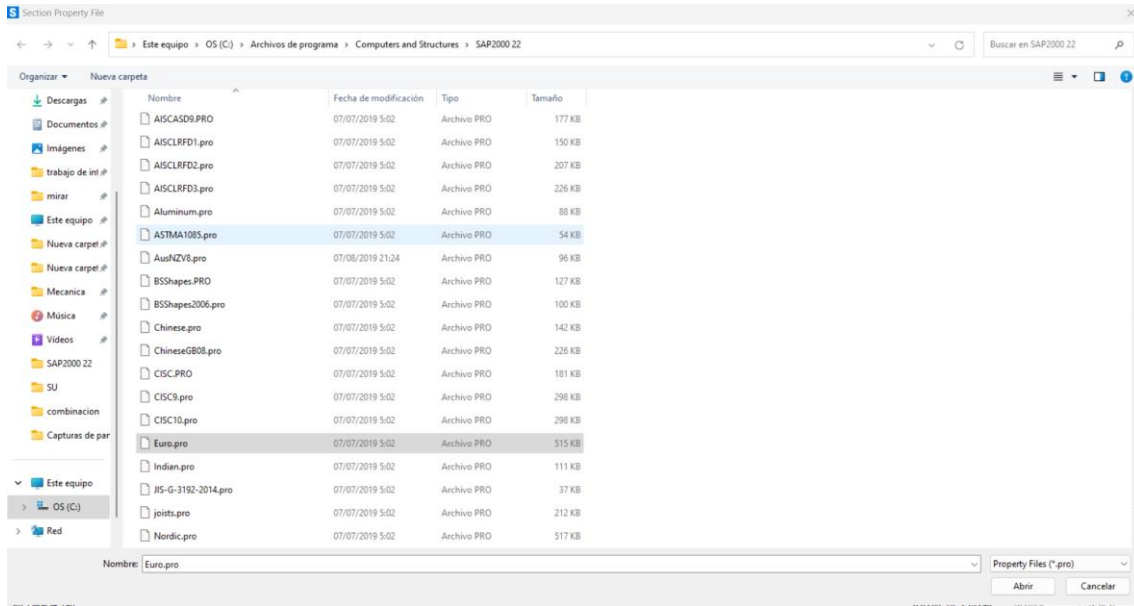


Figura 19. Listado de normativa para la selección de perfiles comerciales.

Tras hacer clic en el fichero se abre un cuadro de selección en los que existen todos los perfiles comerciales. Para nuestro pórtico nos interesa solo los perfiles IPE de modo que tenemos que seleccionar desde el IPE 100 hasta el IPE 750, dejando al margen los perfiles que tengan una letra después del número (ejm IPE140R). En la figura 20 puede apreciarse la lista de todos perfiles IPE que importaremos dentro del programa y el material asignado a esos perfiles importados.

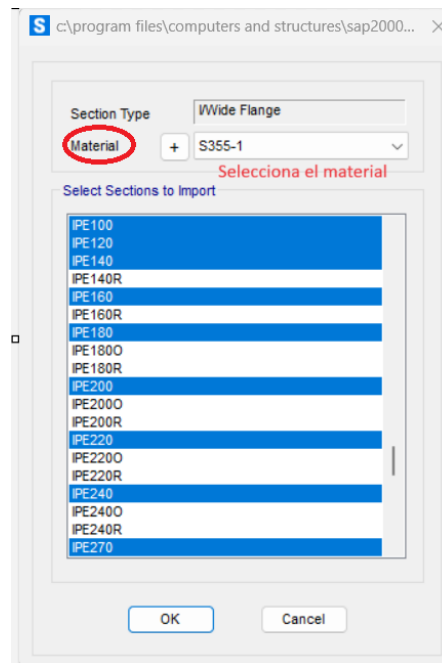


Figura 20. Perfiles seleccionados del documento Euro.pro.

Si pulsamos "Ok", se abre una nueva ventana similar a la figura 21, donde se pueden ver las principales dimensiones de los perfiles. En los delegables de "Material" y "Section Name", podemos comprobar los perfiles importados y la elección del material de cada perfil.

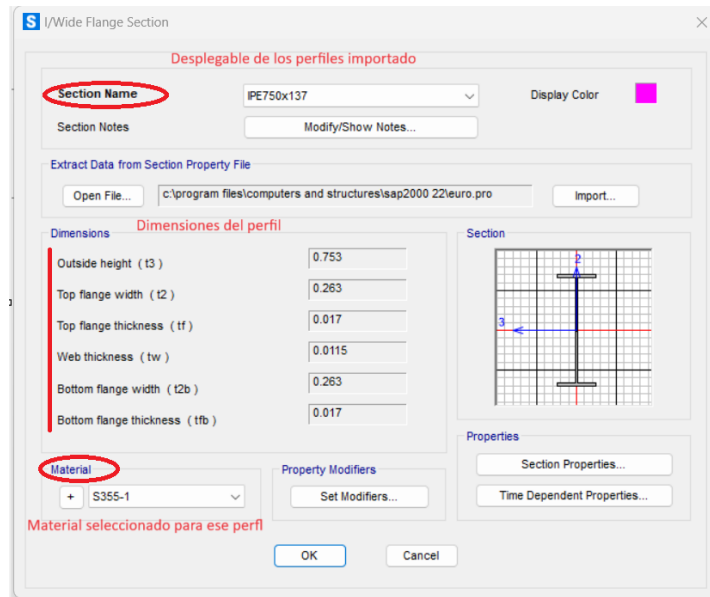


Figura 21. Configuración de los perfiles comerciales introducidos en SAP2000.

Pulsando “Ok” tendremos importados los perfiles con el material seleccionado dentro del modelo como se puede observar en el cuadro de diálogo “*Frame Properties*” de la figura 22. El siguiente paso, es crear una lista con todos los perfiles, para que SAP2000 pueda realizar las comprobaciones. Para ello, en el cuadro de diálogo de “*Frame Properties*” debemos hacer clic en “*Add New property...*” se abrirá un nuevo cuadro de diálogo ya conocido, en la parte inferior de ese cuadro aparece un icono de un folio en la que esa escrito “*Auto select List*” de modo que se hará clic en él.

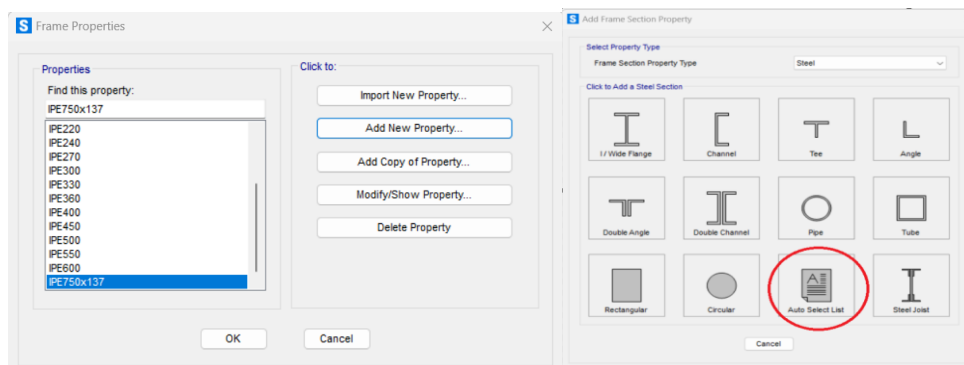


Figura 22. Creación de “Auto select list”.

De nuevo, se ha abierto una nueva ventana similar a la figura 23. En esta ventana podemos cambiar el nombre de la seccion que en este caso es el nombre de la lista de perfiles “*Auto Section Name*” (lo dejaremos por defecto en “Auto1”), en el recuadro de letras azules “*Chose Sections:*”, podemos observar debajo de “*List of Section*” todos los perfiles creados/importados.

En la zona derecha tenemos una region en blanco debajo de “*Auto Sedections*” (es decir, los perfiles que componen la lista de iteracion), como queremos asignar todos los perfiles importados a la lista de Auto 1, tenemos que seleccionar todos los perfiles

Auto-dimensionado del pórtico central de una nave industrial con SAP2000.

de la izquierda y hacer clic en “Add→”. De esta forma, todos los perfiles de la izquierda pasan a lado derecho y por tanto quedan asignados a la lista de “Auto 1”.

Por ultimo, la ultima modificacion que tenemos que cambiar en esta ventana, se realiza en el recuadro de “Starting Section”. Este recuadro hace referencia al primer perfil que se asigna a la lista a la hora de hacer las comprobaciones, es decir, el primer perfil con el que empieza a iterar el programa para saber si cumple los criterios de fallo. Es conveniente cambiarlo al menor de los perfiles importados/creados. Para cambiarlo tenemos que hacer clic en “Overwrite...”, de nuevo se abrirá una lista con todos los perfiles asignados a la lista “Auto 1” de modo que seleccionamos en nuestro caso IPE100 y hacemos clic en “OK”.

Tras realizar todo lo comentado anteriormente, tendremos una configuracion de la ventana “Auto selection sections” similar a la figura 23.



Figura 23. Configuración de "Auto select list".

De esta forma tras hacer clic en “Ok” ya hemos creado la lista con los distintos perfiles necesarios para el dimensionamiento.

#### 5.4. Creación de Casos/Patrones/Combinaciones de carga.

El siguiente paso es crear las cargas que se van a aplicar en la estructura. Para ello, lo primero es conocer como gestiona SAP2000 las cargas mediante los llamados patrones de carga “Load Pattern”, casos de carga “Load Cases” y combinaciones de carga” Load combinations”. A continuación, se explica resumidamente cada uno de ellos.

Los patrones de carga (son o deben ser) el conjunto de las cargas que representan un mismo fenómeno. Por ejemplo, varias fuerzas distribuidas horizontales en los pilares y dintel del pórtico debido a la acción del viento, cargas distribuidas verticales descendentes debido a la acción de la nieve o una serie de cargas puntuales debido



a cualquier otro fenómeno, de modo que todas las cargas que representen un mismo fenómeno deben ser incluidas en el mismo "*Load Pattern*".

Los casos de cargas se crean a partir de patrones de carga para indicar que tipo de análisis se desea realizar con ellos. Así, con el mismo patrón de cargas se puede desear analizar el comportamiento estático de la estructura (lineal o no), el factor de carga de pandeo o las rótulas plásticas que se forman y cuando se forman, por lo que habría que crear diferentes casos de carga para el mismo patrón. También se puede incluir varios patrones de carga en el mismo caso y además ponderarlos por diferentes factores de participación.

Las combinaciones de carga son agrupaciones de los patrones de carga que permiten agrupar la acción de los patrones de carga combinados sobre la estructura y multiplicar dichos patrones de carga por un factor de escala.

Una vez definido los tres principales parámetros de SAP2000 para modelar las cargas tenemos que créalos en el programa.

Para crear los patrones de carga tenemos que ir al menú "*Define*" → "*Load patterns*", se abrirá un cuadro de diálogo similar a los comentados anteriormente, con una lista de patrones ya creados y un conjunto de botones para crear, editar y modificar. La diferencia con otros diálogos es que aquí, al pulsar en "*Add New Load Pattern*" no se abre una ventana nueva, sino que se añade a la lista el patrón que se defina en la parte superior de la lista. Si, al pulsar en añadir, ya existe un "*Load Pattern*" con el mismo nombre el programa arroja un error y no añade nada.

Como vamos a calcular el pórtico en función de la carga de sobreuso y peso (patrón que ya está creado por defecto por SAP2000 "DEAD" → patrón de carga de peso propio de la estructura en función del perfil que se seleccione de la lista). Tenemos que indicar el nombre del patrón de carga en la casilla "*Load pattern Name*" en nuestro caso lo denominamos "SU", en "*Type*" el tipo de carga al que hace referencia (viento, nieve, peso, otro...), en nuestro caso la carga de sobreuso se modela como "Live" ("peso muerto"), también tenemos que indicar que no se desea incluir el peso propio en este patrón de carga de modo que el factor multiplicativo "*Self Weight Multiplier*" es igual a cero, debemos hacer clic en "*Add New Load Pattern*" para añadir el patrón de carga. Al final tendremos un cuadro de diálogo con los patrones de carga similar a la figura 24.

## Auto-dimensionado del pórtico central de una nave industrial con SAP2000.

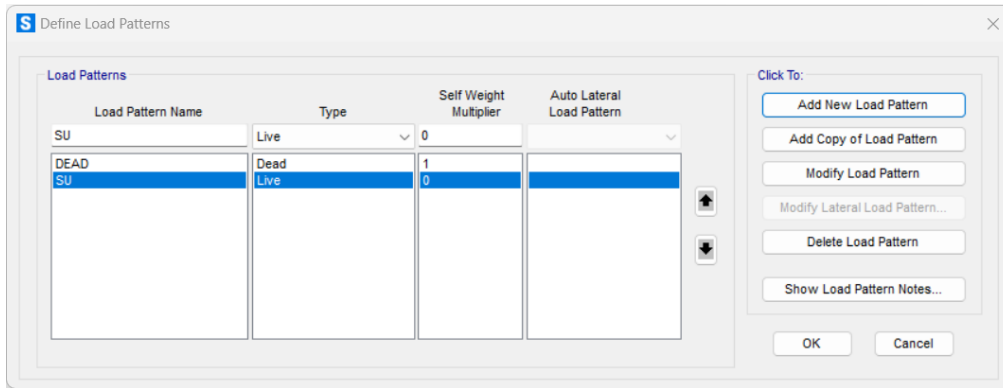


Figura 24. Cuadro de diálogo de creación del caso de carga de SU.

Para crear los casos de carga volveremos a pulsar en el menú “Define” → “Load Cases...”, se abrirá un diálogo con la lista de casos de carga ya creados junto a su tipo y varios botones para crear nuevos, editarlos o eliminarlos, figura 25. Lo primero que se aprecia es que ya existen tres casos creados. Los dos primeros, DEAD y MODAL son los casos que vienen creados por defecto. El primero es el análisis estático de la estructura sometida únicamente a su propio peso. El segundo es un caso de análisis nodal (no se utilizará en el modelo). A continuación, aparece el caso de carga idéntico al nombre del patrón de carga que se ha creado antes (“SU”). Esto se debe a que, al crear nuevos patrones de carga, SAP2000 crea automáticamente casos de carga estático lineares (“Linear Static”) asociados a los patrones de carga. Es justamente ese tipo de análisis que se desea realizar además para cada patrón por separado.

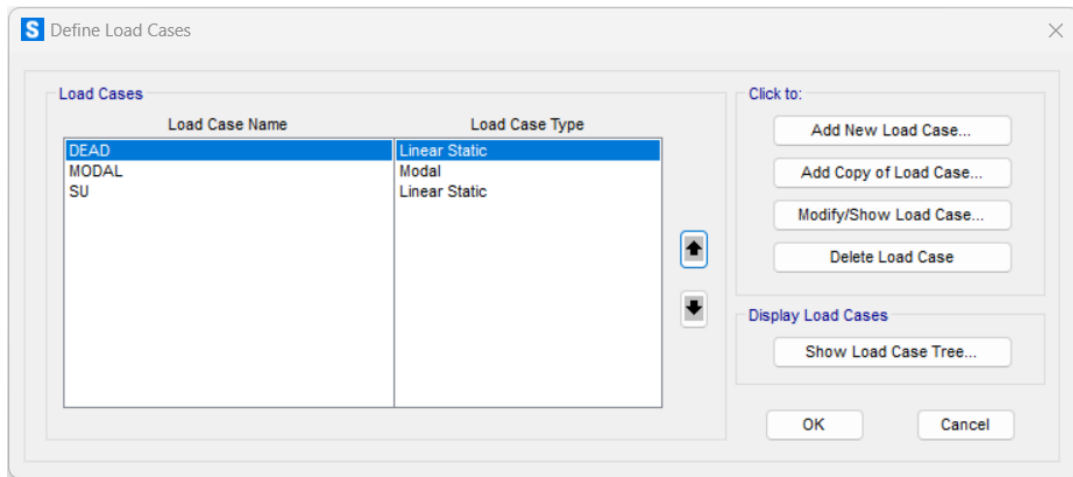


Figura 25. Listado de los casos de carga.

Posteriormente, cuando se modele la configuración del pórtico definitiva tendremos que venir a la ventana de la figura 26 para hacer clic en “Modify/Show Load Case...” para cambiar la opción de “Static a Buckling” para poder estudiar el pandeo.

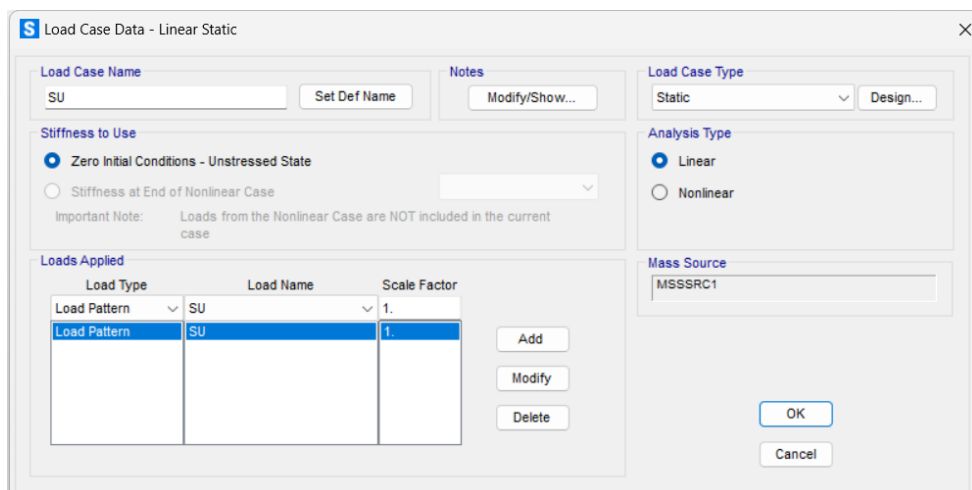


Figura 26. Cuadro de diálogo de modificación del patrón de carga SU.

Finalmente, hay que crear las combinaciones de carga, para ello en vez de crear manualmente las combinaciones con los factores multiplicativos que afectan a cada caso de carga y luego hacer la combinación, SAP2000 resulta ventajoso, ya que el propio programa crea las combinaciones con los distintos casos de carga y factores multiplicativos según normativa. Para realizar esto, tenemos que ir al menú “*Define*” → “*Load combinations...*”, se abrirá un nuevo cuadro de diálogo muy similar a los comentados anteriormente, donde se pueden ver opciones de añadir, modificar, borrar... combinaciones de carga. Como hemos comentado antes, sí queremos añadir la combinación de cargas manualmente tendríamos que hacer clic en la opción “*Add New combo*”, pero para que SAP2000 cree las combinaciones de carga de forma automática tenemos que hacer clic en “*Add Default Design Combos...*”, de nuevo se abrirá una pestaña similar a la figura 27.

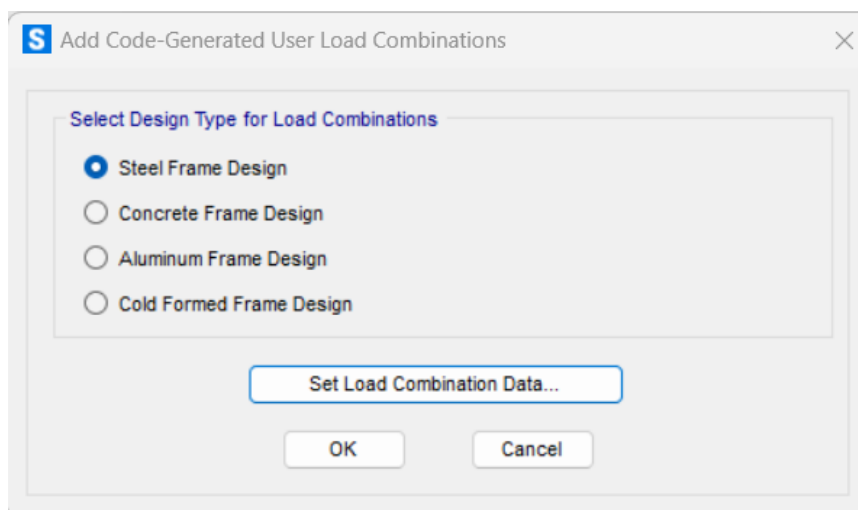


Figura 27. Cuadro de diálogo “Add default combos...”.

Como trabajamos con acero, dejamos la opción predeterminada “*Steel frame Design*”. Si hacemos clic en “*Set load Combination Data...*”, de nuevo se abrirá un cuadro de diálogo nuevo como el de la figura 28, además aparecen marcadas las opciones “*Strength y deflection*”. Para que SAP2000 cree las combinaciones con los

## Auto-dimensionado del pórtico central de una nave industrial con SAP2000.

casos de carga que queremos debemos situar en el recuadro derecho perteneciente a “*Load cases for User Defined Load Combination*” todos los casos de carga que se desea combinar, en nuestro caso para el estudio de la carga de sobreesfuerzo los casos de carga “DEAD Y SU”.

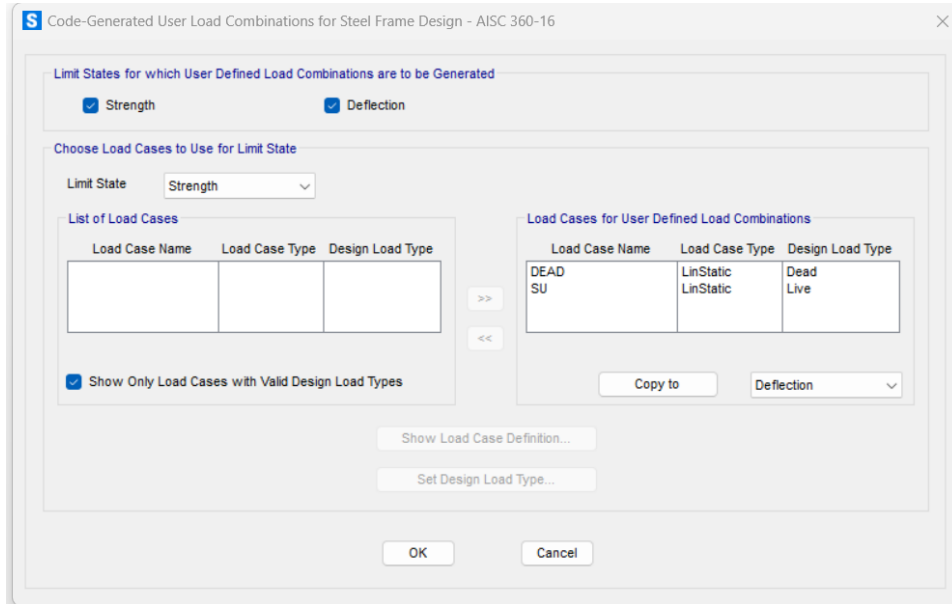


Figura 28. Cuadro de diálogo de creación de las combinaciones de carga.

Debemos hacer clic en “OK” hasta crear las combinaciones de carga. Como se puede apreciar en la figura 29, se han creado de forma automática cuatro combinaciones de carga con el nombre “UDSTL1 hasta UDSTL4”. Si hacemos clic en cada “UDSTL” y oprimimos “*Modify/Show combo...*” podremos observar los casos de carga de cada combinación y el factor multiplicativo que afecta a cada patrón de carga.

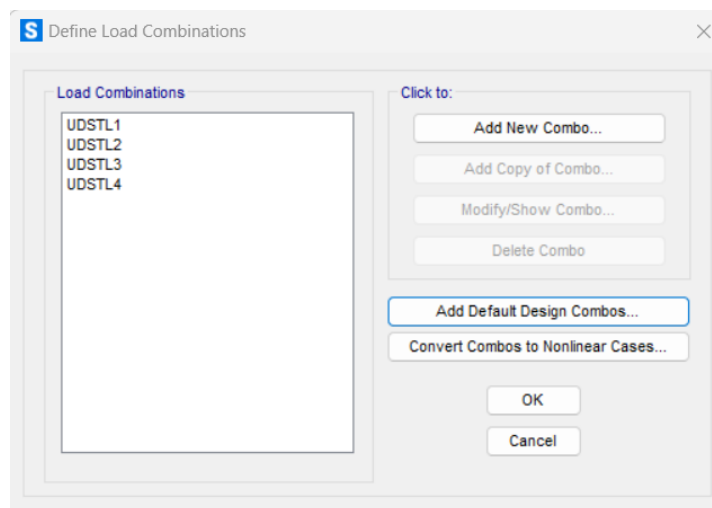


Figura 29. Combinaciones de carga creadas.

Por ejemplo, si oprimimos “*Modify Combo*” seleccionando UDSTL1, se abre un cuadro de diálogo similar a la figura 30. En él, podemos modificar el nombre de la combinación de carga “*Load combination Name*”, así como el factor multiplicativo “*Scale Factor*” que afecta al caso de carga de peso propio.

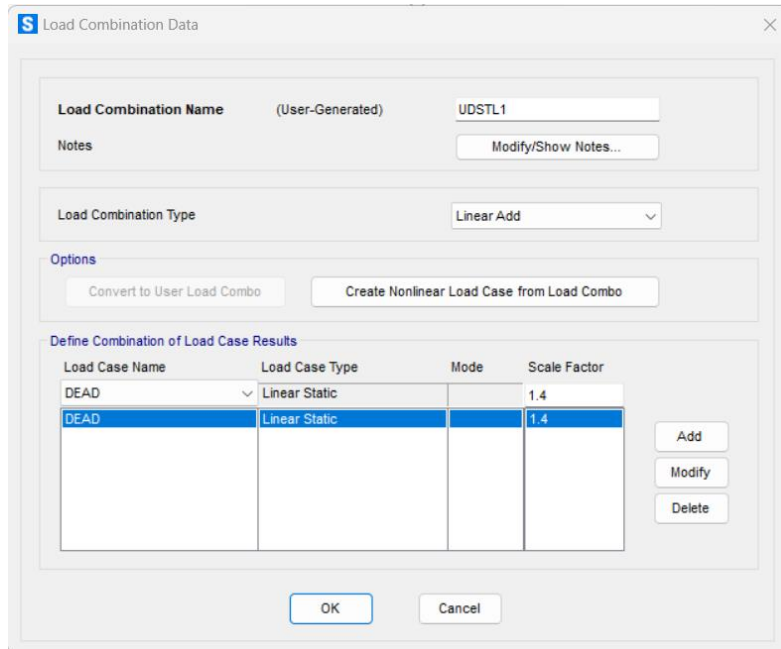


Figura 30. Cuadro de diálogo de modificación de la combinación de carga “UDSTL1”

En la tabla 16, se muestra el resto de combinaciones de carga creados, así como los casos de carga de los que están compuesto y los factores de carga.

Patrones de carga	Peso propio	Carga de sobreuso
UDSTL 1	1,4	0
UDSTL 2	1,2	1,6
UDSTL 3	1	0
UDSTL 4	1	1

Tabla 16. Factores de carga de las combinaciones de carga UDSTL1...UDSTL4.

Se puede observar que los patrones de carga UDSTL 1 y 2, tienen factor de escala mayor a 1, esto se debe a que esos patrones van a ir destinado a las comprobaciones de tensiones, mientras que los patrones de carga UDSTL 3 y 4 van a ser destinados a la comprobación por deflexión ya que su factor de escala es igual a la unidad.

## 5.5. Creación de barras/estructura.

El siguiente paso es dibujar la geometría del problema. Para ello, se van a emplear las herramientas de la figura 31.

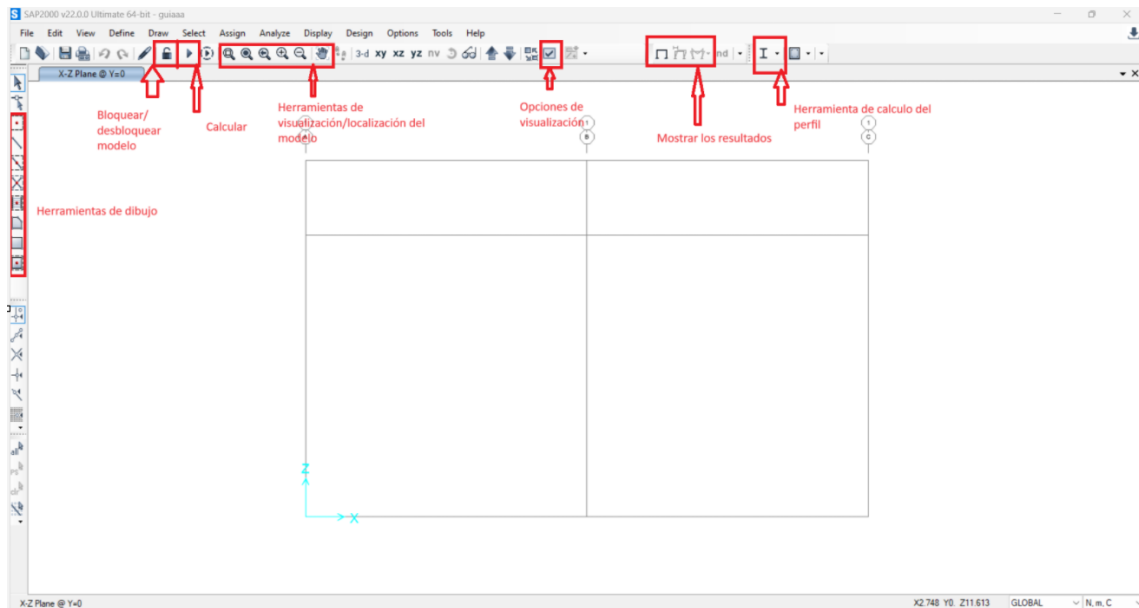


Figura 31. Herramientas de dibujo y visualización de resultados.

Si seleccionamos la herramienta “*Draw frames/Cable*” (↘), se observa que cambia la forma del cursor y además se abre un diálogo auxiliar como el de la figura 32.

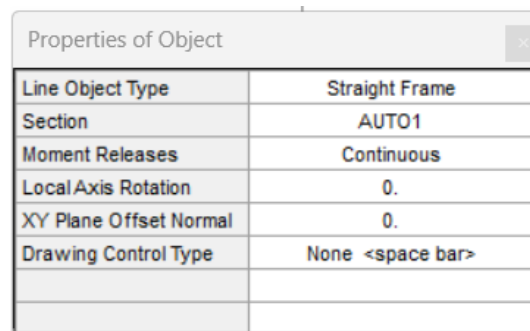


Figura 32. Ventana de configuración para la creación de las barras.

En este nuevo cuadro de diálogo se muestra tres opciones importantes. En primer lugar, hay que seleccionar el tipo de sólido a dibujar barra recta (“*Straight Frame*”), barra curvada (“*Curved Frame*”), cable (“*Cable*”) o cable pretensado (“*Tendon*”). Para este pórtico únicamente se emplea la barra recta, de modo que mantenemos seleccionada la opción de “*Straight Frame*”. En el segundo lugar, debemos seleccionar la sección que se aplicará a la barra que queremos dibujar, en el desplegable aparecen las secciones creadas hasta el momento. Seleccionaremos el nombre de la lista con los perfiles importados/creados (AUTO 1). Para concluir, la opción “*Moment Releases*” indican la creación automática de rótulas en los extremos (“*Pinned*”) o si por el contrario la barra se une rígidamente al resto de la estructura (“*Continuous*”). Aunque, la capacidad de crear rótulas en los extremos de la barra es útil en algunos casos, para modelar la unión física de las barras entre si emplearemos la opción de “*Continuous*”.

Con las opciones adecuadas seleccionadas, haremos clic en el punto de inicio de la barra así como en el final apoyándonos en la líneas de la rejilla, una vez creada la primera barra no tendremos que volver a seleccionar el punto principal de la segunda barra, ya que el programa reconoce que el final de una barra es el principio de la siguiente, de modo que seleccionaremos el punto final de la segunda barra y continuaremos seleccionado los puntos finales de las posteriores barras hasta que tengamos modelada la estructura. Cuando no se dese crear más barras oprimimos la tecla “Esc” del teclado. Al finalizar la creación del pórtico tendremos una estructura similar a la figura 33.

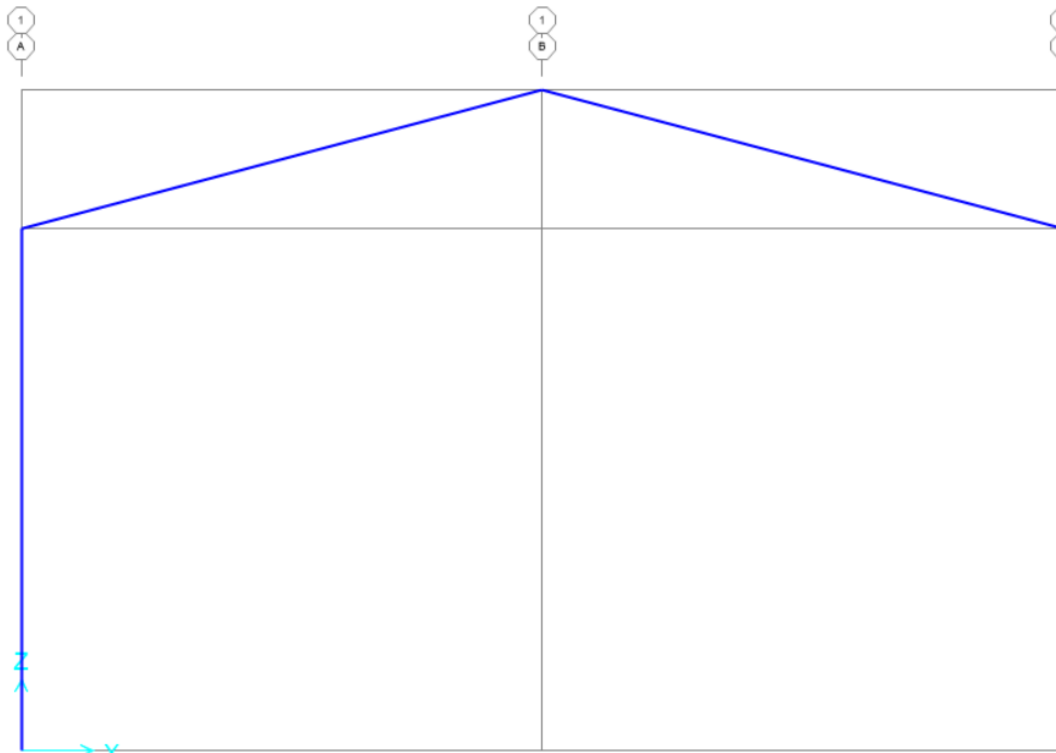


Figura 33. Modelado del pórtico.

### 5.6. Aplicación de las condiciones de contorno.

SAP2000, considera las condiciones de contorno como propiedades de un punto (“Joint”), como no tenemos que crearlo sino asignarlos, tenemos que ir al menú “Assign” → “Joint” → “Restraints...”. En la nueva ventana abierta, figura 34, se pueden observar unos cuadros selectores con las distintas translaciones y rotaciones de los ejes y pictogramas conocidos. Para asignar las restricciones de las condiciones de contorno tenemos que seleccionar en el modelo los puntos que queremos restringir y seleccionar las restricciones pertinentes para cada punto.

## Auto-dimensionado del pórtico central de una nave industrial con SAP2000.

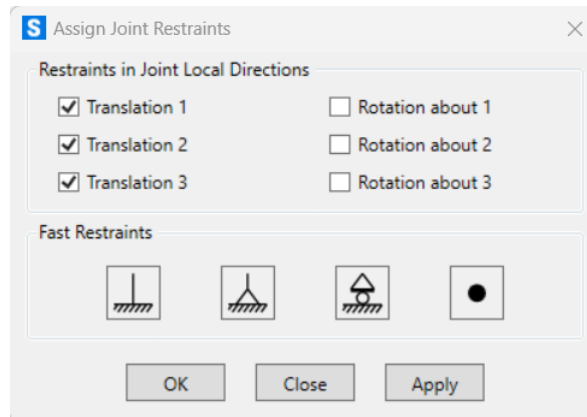


Figura 34. Ventana de creación de apoyos.

En nuestro caso, solo tenemos que restringir los apoyos del pórtico y estos se modelan como un empotramiento (restringe tres translaciones y rotación de los tres ejes). Si seleccionamos los dos puntos donde se debe apoyar el pórtico y hacemos clic en el icono del empotramiento, se aprecia que en esos puntos seleccionados se han creado una especie de rectángulo verde, figura 35, así es, como SAP2000 modela el empotramiento.

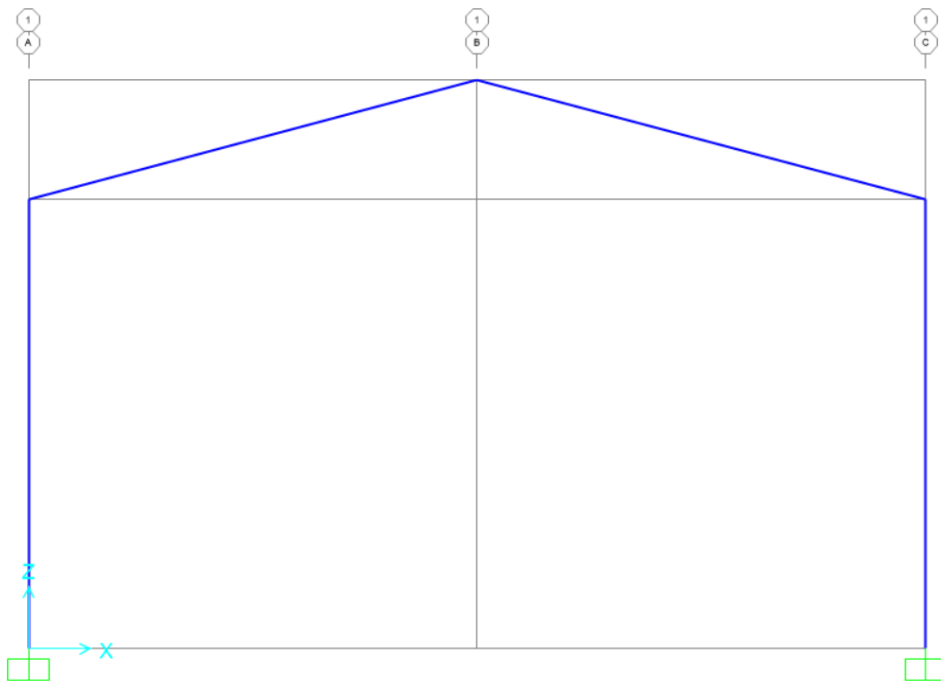


Figura 35. Modelo pórtico más apoyos.

### 5.7. Aplicación de las cargas.

Las cargas en SAP2000, se asignan a elementos estructurales como cualquier otra propiedad. Para ello, hay que seleccionar el elemento o elementos que acogen la carga y acudir al menú "Assign". Aquí, hay una serie de submenús ("Joint Loads", "Frame Loads", etc...) donde se puede seleccionar el tipo de carga concreta que se desea aplicar (Cargas puntuales o intraelementales). En nuestro caso, la carga de sobreeso según el CTE, se modela como una carga distribuida vertical que actúa a favor de la gravedad. Por tanto, tenemos que seleccionar las dos cerchas del pórtico



(las dos barras inclinadas), ir al menú “*Assign*” → “*Frame Loads*” → “*Distributed...*”. Se abrirá un nuevo cuadro de diálogo similar al de la figura 36.

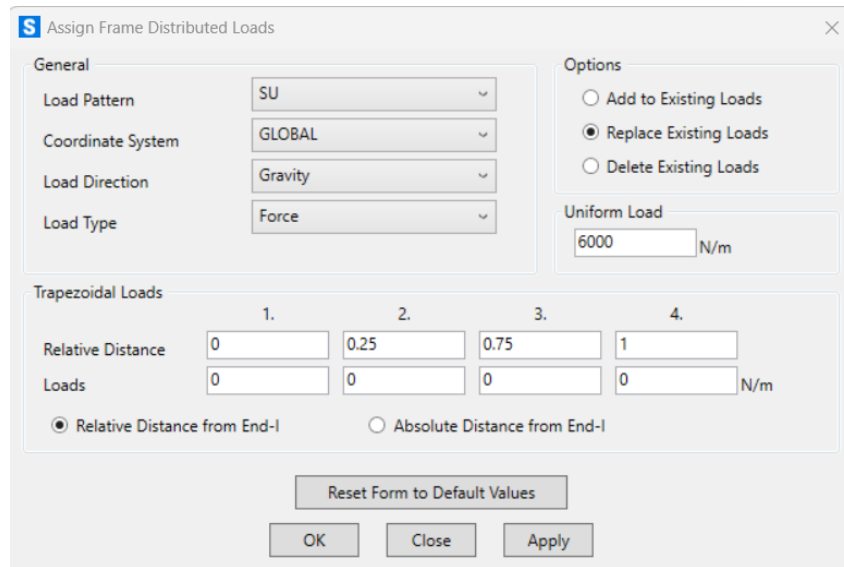


Figura 36. Cuadro de diálogo para la aplicación de la carga de SU.

En esta ventana, se debe indicar el patrón de carga (“*Load Pattern*”) dentro del cual se va a añadir la carga y el sistema de coordenadas (“*Coordinate System*”) empleado para definir la fuerza y la dirección de la misma “*Load Direction*”. La dirección de la carga puede ser X, Y, Z o 1,2,3 según el sistema de referencia escogido. La opción de “*Gravity*” indica la dirección y sentido de la aceleración de la gravedad, por defecto, en el programa es la dirección Z. El desplegable de “*Load Type*” nos indica si se está produciendo una fuerza puntual o un momento concentrado y “*Opcion*”, si la carga se añade, reemplaza o elimina otras cargas del mismo tipo en la misma barra y en el mismo patrón de carga.

En la parte inferior de la ventana, veras una matriz con cuatro columnas para añadir simultáneamente la carga distribuida en la misma dirección y sentido entre la cotas relativas o absolutas de la barra, es decir, si la carga distribuida no afecta a toda la barra, tenemos que indicar el valor numérico de la carga en el punto de inicio y final donde se sitúa dicha carga.

Para nuestro caso de carga, como la carga es de sobreuso, le asociamos a su patrón de carga (SU). Las coordenadas las dejamos por defecto en “global”, así como la dirección (*Gravity*), tampoco modificamos “*Load type*” ya que aplicamos una carga. Por último, en la casilla de “*Uniform Load*” escribimos el valor de la carga que va a afectar a toda la barra. En nuestro caso, la carga de sobreuso es de 1 kN/m<sup>2</sup>, tras multiplicarlo por el módulo de la nave para así obtener la resultante por unida de longitud que actúa sobre el pórtico obtenemos un valor de 6000 N/m. En la figura 36, se puede ver el resumen de la aplicación de la carga de SU a la estructura. Tras aplicar la carga, el modelo en SAP2000 debe ser similar a la figura 37.

Auto-dimensionado del pórtico central de una nave industrial con SAP2000.

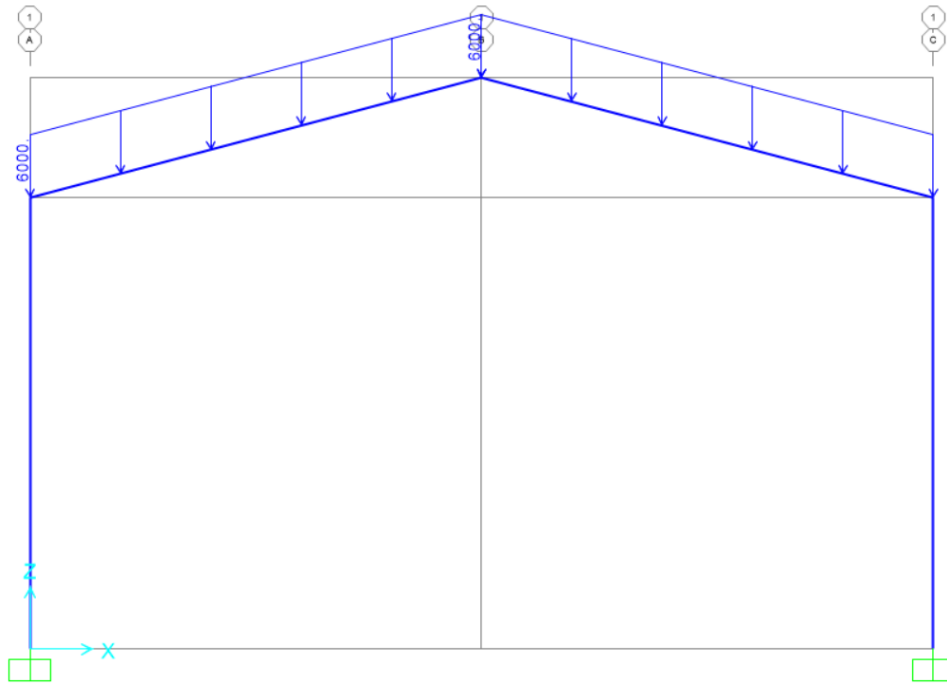


Figura 37. Resultado final de la aplicación de la carga de SU sobre la estructura.

### 5.8. Cálculo y visualización del resultado.

Para calcular el modelo tenemos que indicarle al programa que se trata de un problema plano para que ignore ciertos grados de libertad. Con este fin, pulsaremos en “Analyze” → “Set Analysis Options...” se abrirá una ventana mostrada en la figura 38. Aquí, desmarcaremos los grados de libertad que no queremos que sean tenidos en cuenta durante el análisis. En este caso, hay que quedarse únicamente con los desplazamientos en X, en Z y giro en Y. De manera más rápida se puede seleccionar esas restricciones si hacemos clic en (“Plane Frame – XZ plane”) y se marcan automáticamente los grados de libertad adecuados para la resolución de un problema plano. La configuración final se muestra en la figura 38.

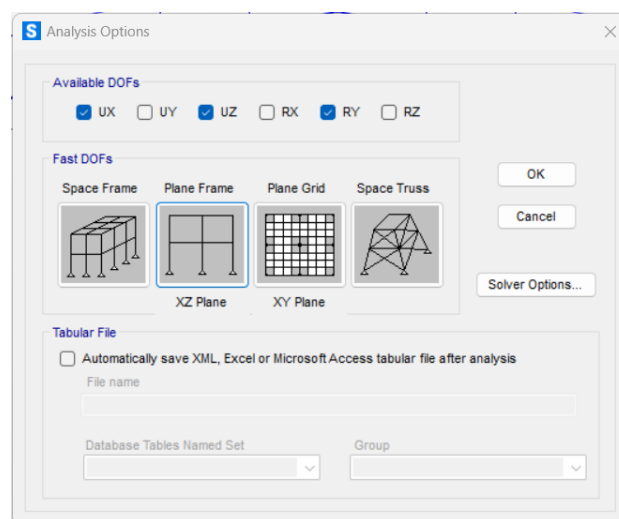


Figura 38. Configuración de SAP2000. resolución de un modelo plano.

Como comprobación, antes de empezar el análisis del modelo, tenemos que asegurarnos tener asignada la lista de iteración de los perfiles a todas las barras de la estructura. Para ello, tenemos que hacer clic derecho en un extremo de superior izquierda del modelo y arrastramos hacia la parte inferior derecha de la pantalla, de modo que se creara un recuadro formado por líneas discontinuas azules con el cual tendremos que englobar toda la estructura. Si se ha seleccionado toda la estructura, se puede observar cómo las barras se vuelven discontinuas intercalando el color azul y amarillo como se muestra en la figura 39.

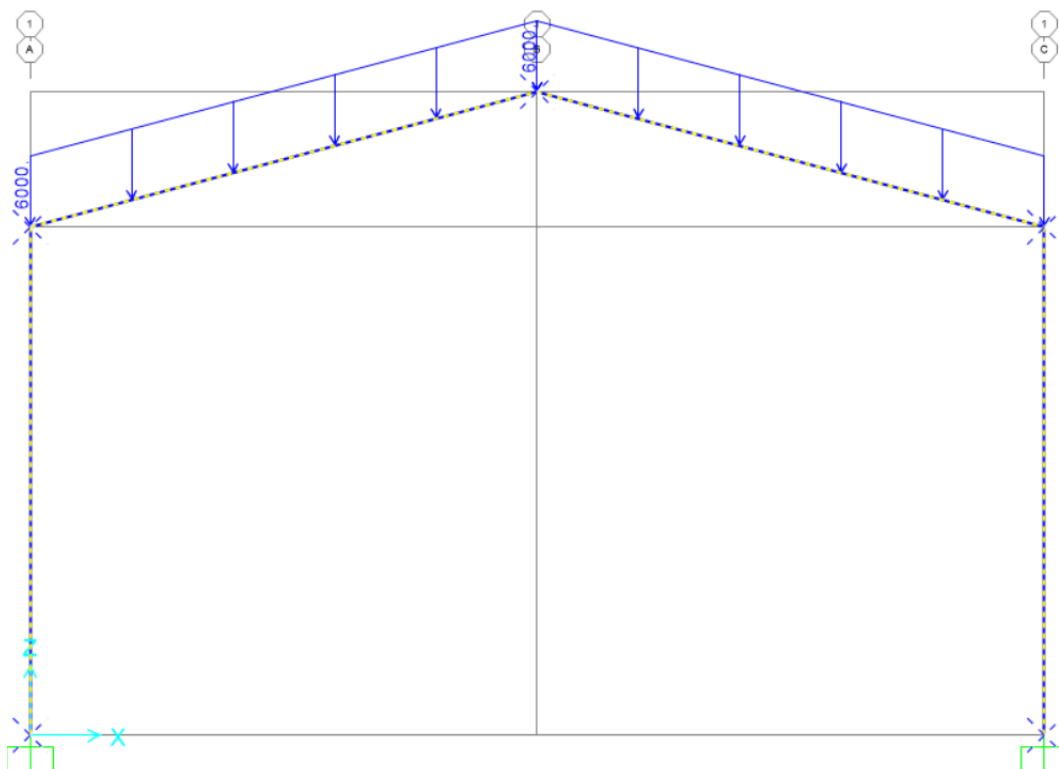


Figura 39. Selección de toda estructura seleccionada.

Con toda la estructura seleccionada debemos ir al menú “*Assign*” → “*Frame*” → “*Frame Sections ...*” y seleccionar el nombre de la lista de perfiles, en nuestro caso (AUTO1) y hacer clic en “*Apply*”. En la figura 40, puede apreciarse cómo debe quedar el modelo, como se puede observar encima de cada barra aparece el nombre de la lista y el primer perfil seleccionado de la lista, también se observa que ha desaparecido la carga aplicada en la cubierta, esto se debe a que SAP2000 muestra siempre el último paso asignado a la estructura. Para comprobar que la carga todavía persiste, debemos hacer clic izquierdo en las barras, se abrirá una nueva ventana donde podemos ver todas las características de la barra (asignaciones (“*Assignments*”), cargas (“*Loads*”)), este último cuadro también muestra el valor de la carga, el eje y dirección en la que esta aplicada.

## Auto-dimensionado del pórtico central de una nave industrial con SAP2000.

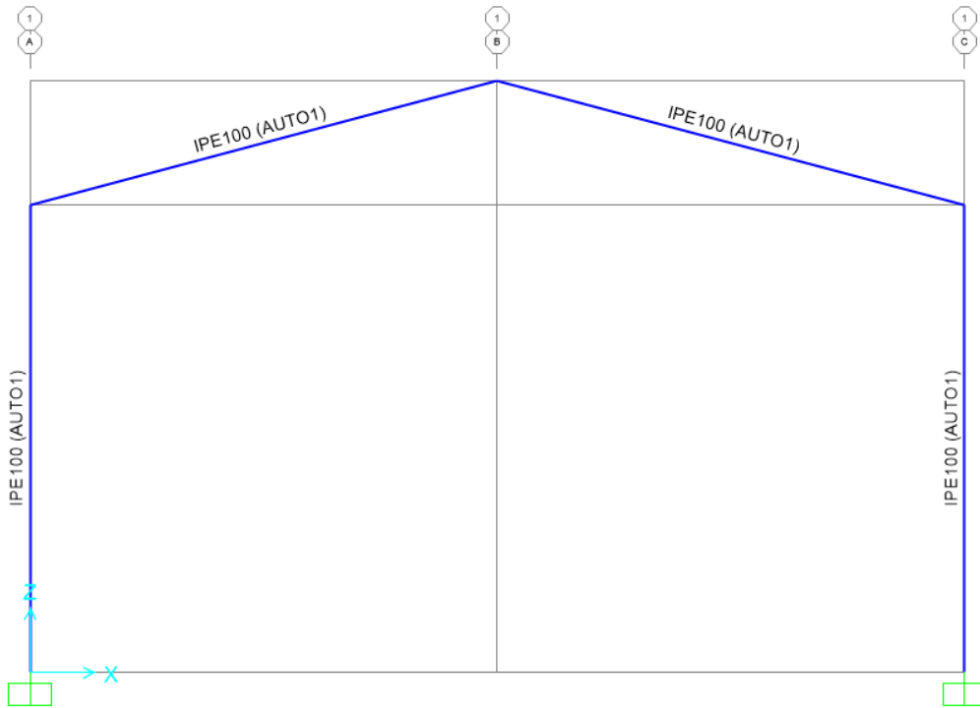



Figura 40. Asignación de la Autolista al pórtico.

Finalmente, para lanzar el cálculo hay que pulsar en el icono (  ), cuando se pulse se abre una ventana donde se muestran un listado de todos los casos de carga creados. En la derecha de todos los casos de carga aparecen la palabra “Run” debajo del cuadro “Action”. Esto indica, que todos los casos se van a calcular. Para optimizar el tiempo y ahorrar esfuerzo computacional se puede indicar a SAP2000 los casos de carga que puede dejar de calcular. Para ello, seleccionamos los casos de carga que no se desea calcular, en nuestro caso, “MODAL” y cuando este sombreado en azul pulsamos en “Run/Do Not Run Case”, su estado (“Action”) ha cambiado a (“Do Not Run”), quedando únicamente los casos de peso propio (DEAD) y la carga de sobreesfuerzo (SU). Una vez configurada la pestaña “Set Load Cases to Run” como en la figura 41, pulsaremos en “Run Now” para lanzar el cálculo.

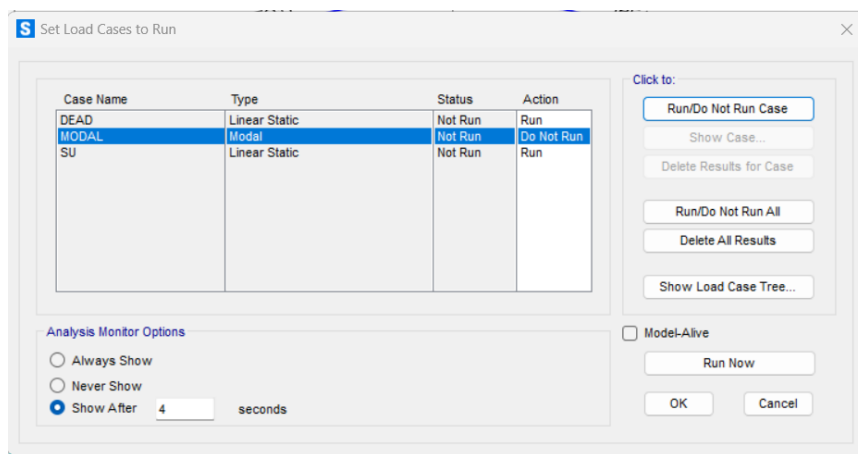


Figura 41. Ventana de ejecución del cálculo.

Antes de mostrar el resultado, el programa pide guardar el modelo si no se ha hecho antes. Es aconsejable crear un nuevo directorio para cada modelo porque se crean

muchos ficheros tanto al guardar el modelo como en su cálculo. Cuando este guardado, el cálculo se lanza solo, por defecto, aparecerá la deformada asociada a uno de los casos de carga. Cuando el modelo está calculado, el fichero de forma automática se bloquea para evitar modificaciones accidentales. Para deshacer esto basta con pulsar el icono (🔒), pero los resultados del análisis se borrarán. Al pulsar en “Aceptar” el modelo estará desbloqueado pero los resultados se habrán perdido y habrá que volver a ejecutar el cálculo.

A continuación, se explicará brevemente como obtener cada uno de los parámetros de interés para analizar el modelo (deformada, tensiones, desplazamientos...). Para ello se emplearán dos botones “*Show Deformed Shape*” (📐) y “*Show Forces/Stresses*” (🔍). Con estas herramientas se puede ver la deformada, esfuerzos internos y tensiones.

#### Deformada. Desplazamientos y giros.

Para ver deformadas y consultar desplazamientos y giros se hará clic en “*Show Deformed Shape*” (📐). Se abrirá un cuadro de diálogo como el de la figura 42. En esta ventana, lo principal es seleccionar en la parte superior el caso de carga o combinaciones de carga que se desea visualizar. Además, se puede elegir una escala para la deformada, ya que como suelen ser desplazamientos y giros muy pequeños a escala real no se podrían apreciar. También se puede elegir si colorear la deformada según los valores de desplazamiento globales “*Contour Options*”. La opción “*Draw Contours on Objects*”, se puede elegir en un desplegable si colorear la estructura para mostrar visualmente solo desplazamientos  $U_x$ ,  $U_y$ ,  $U_z$ , una resultante o el desplazamiento normal a las superficies. Por último, la opción “*Wire Shadow*” permite ver la inderformada de la estructura con una línea fina negra para compárala con la deformada. Con las opciones seleccionadas en nuestro caso, por ejemplo dejamos las opciones predeterminadas ya que solo es un ejemplo para mostrar cómo se obtienen tantos giros, desplazamientos y tensiones (figura 42) hacemos clic en “Apply” (la ventana se nos cierra) o en “Ok” (la ventana se cierra).

## Auto-dimensionado del pórtico central de una nave industrial con SAP2000.

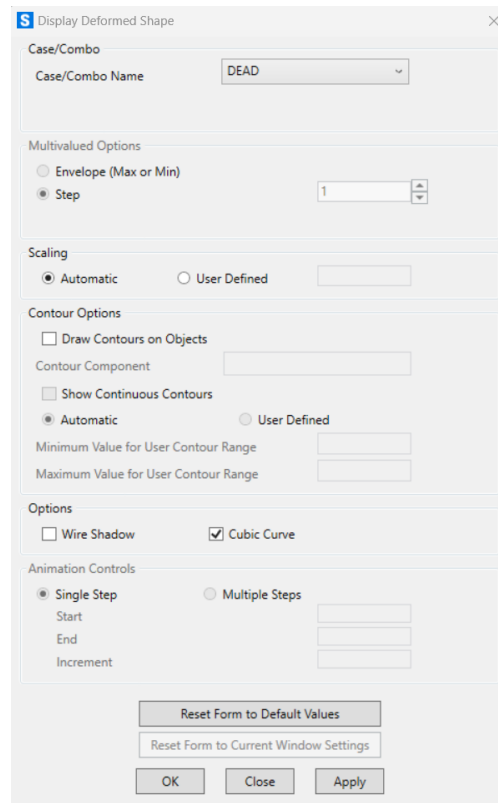


Figura 42. Cuadro de diálogo para la visualización de los resultados.

Sobre el diagrama de la deformada se puede navegar, mostrando una breve información contextual en los puntos de cálculo (nudos de la estructura). Si pasamos el cursor sobre ellos, podemos apreciar el valor de los tres desplazamientos y de los tres giros. No es posible hacer esto con los puntos intermedios (barras). Mas tarde se mostrará como se puede navegar por el dominio de la barra.

### Esfuerzos interno y tensiones

Si hacemos clic en el icono “*Show Forces/Stresses*” (M), se abre un desplegable con tipos de elementos estructurales donde solo están activos aquellos elementos que contiene el modelo analizado. En este caso solo se puede escoger entre “*Joints..*” y “*Frames/Cables/Tendons...*”. Si elegimos “*Joints*” se abre una nueva ventana para visualizar las reacciones en los apoyos de cada caso de carga y combinación como se aprecia en la figura 43.

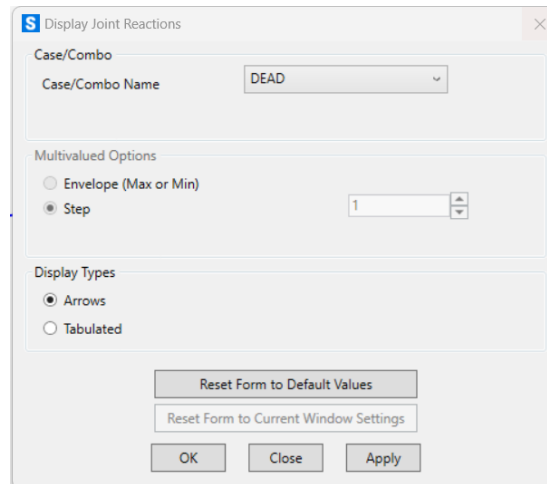


Figura 43. Cuadro de diálogo para mostrar las reacciones en los apoyos

En cambio, si elijamos la opción “*Frames/Cables/Tendons...*”, se abre un cuadro de diálogo similar a la figura 44 para visualizar leyes de esfuerzos y tensiones.

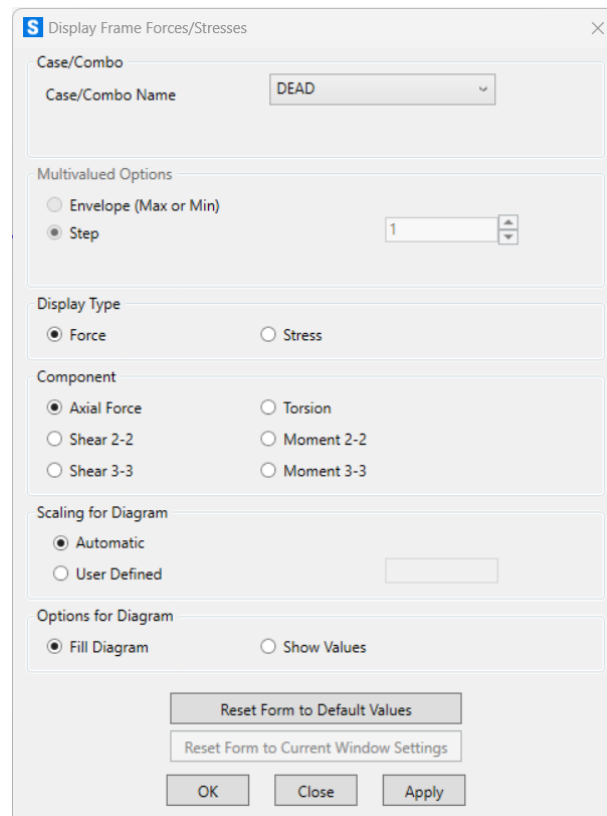


Figura 44. Cuadro de diálogo para visualizar las tensiones del caso de carga seleccionado.

Si seleccionamos esta opción, se puede seleccionar el caso de carga o combinación, hay que elegir entre dos grandes opciones bajo “*Display Type*”, “*Force*” hace referencia a lo que conocemos por esfuerzos internos y “*Stress*” a tensiones. Si seleccionamos una u otra las opciones del recuadro “*Component*” cambian. En el caso de “*Forces*”, se puede escoger para visualizar en el modelo cualquiera de los seis esfuerzos internos. Hay que tener presente que “*shear 2-2*” es el esfuerzo cortante en la dirección local de la barra y “*Shear 3-3*” el mismo esfuerzo, pero en la

## Auto-dimensionado del pórtico central de una nave industrial con SAP2000.

dirección 3. Lo mismo ocurre con los momentos flectores “*Moment 2-2*” y “*Moment 3-3*”. Como curiosidad, podemos mostrar los ejes locales en cada barra, para ello tenemos que hacer clic en el icono () y seleccionar “*Local Axes*” bajo el epígrafe “*Frames*”. Finalmente, en la parte inferior de la ventana, figura 43, se puede escoger entre visualizar un diagrama “*Fill Diagram*” o visualizar los valores “*Show Values*”.

En el caso de elegir la opción “*Stress*” se puede escoger entre las tres tensiones no nulas en el modelo de la barra (“*S11*” corresponde a la tensión normal, en la dirección local 1 de la barra, “*S12*” y “*S13*” son las tensiones tangenciales en las direcciones 2 y 3 locales de la barra). Además, se puede mostrar un gráfico con la tensión máxima y mínima (Considerando signos) y la tensión de plastificación de Von Mises (“*SVM*”). Cuando el modelo se realice con secciones genéricas, solo está disponible para mostrar la tensión normal, siendo las demás nulas. Las tensiones se pueden calcular en cada punto (y,z) dentro de cada sección (x), lo que hacen de ellas una magnitud tridimensional, algo imposible para mostrar en un gráfico. Para resolverlo, SAP2000 proporciona gráficos sobre la línea media, pero se puede elegir el punto de la sección del cual se muestra la tensión. Esto se realiza escogiendo una opción del desplegable “*Stress Point*”. Por defecto esta seleccionada la opción “*Stress Max*” que muestra la línea media la tensión máxima de la sección, suceda en el punto que suceda (y, z) dentro de cada sección. Se puede pedir la máxima o la mínima (calculada en valor absoluto, pero luego mostrada con su signo), o en un punto concreto numerado del 0 al 8. Finalmente, se puede pedir un diagrama de las tensiones solicitadas o un diagrama de colores similar al de los esfuerzos internos.

Tras configurar esta ventana pulsaremos en “*Apply*” (no se cierra la ventana) o en “*OK*” (se cierra la ventana). Se podrá apreciar un resultado similar a la figura 45.

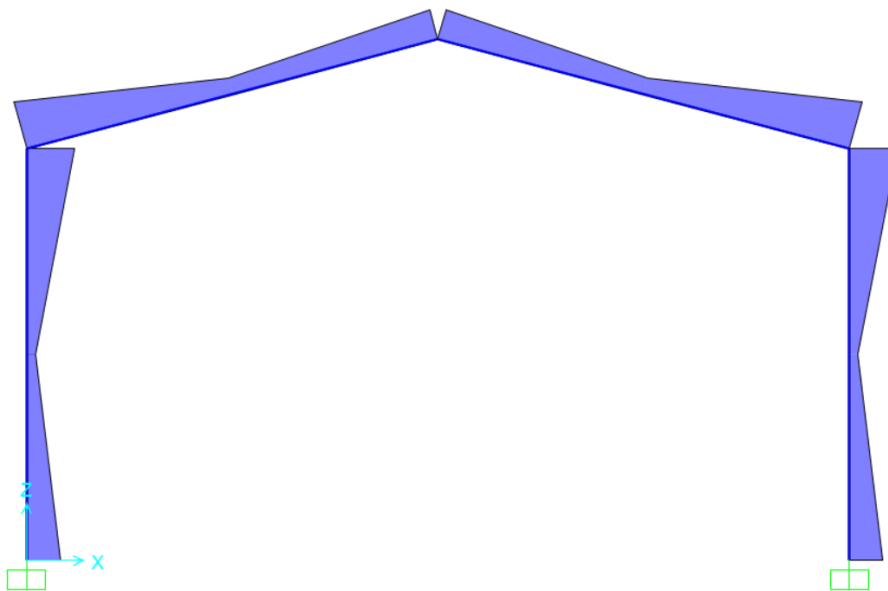


Figura 45. Diagrama de tensiones sobre la estructura (DEAD).



La figura anterior muestra, las tensiones de Von Mises asociadas al caso de carga de peso propio (DEAD). Si pasamos el cursor por las barras podemos consultar los valores de los diagramas. Para acceder a la información completa en toda la barra basta con hacer clic derecho encima de la barra para seleccionarla y luego clic izquierdo sobre la misma, de esta forma, se abre un nuevo cuadro de diálogo similar al de la figura 46.

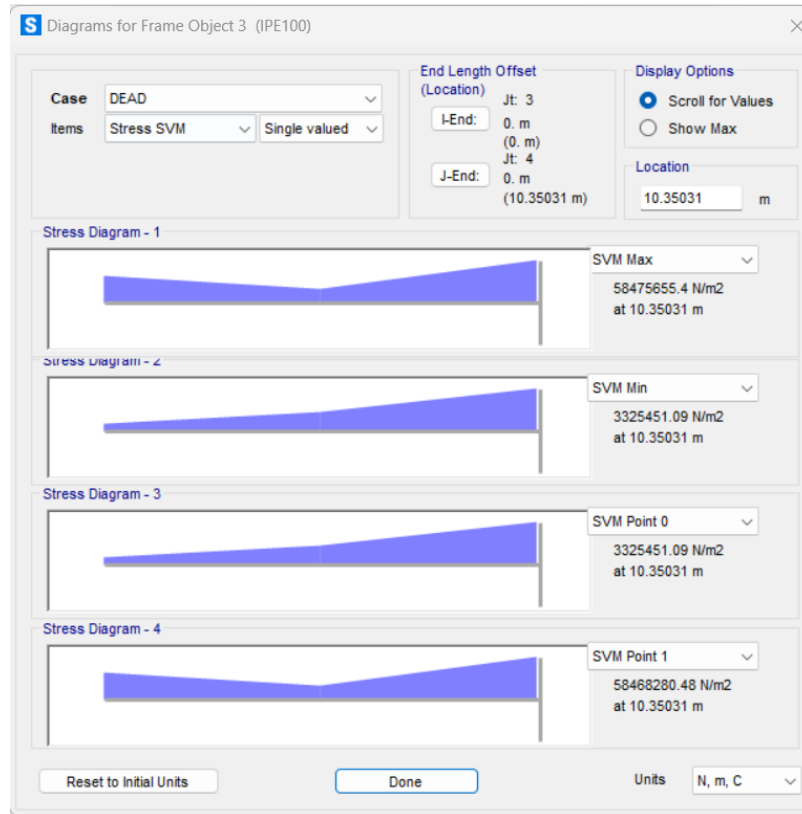


Figura 46. Ventana de navegación sobre las barras (tensiones).

En esta ventana, como estamos en el caso de tensiones, más concretamente, mostrando el diagrama de tensiones de Von Mises, se muestra lo comentado anteriormente, las tensiones máximas de VM máximas y mínimas. Además, si deseamos, saber el valor de las tensiones en un punto concreto de la barra, se puede desplazar el testigo vertical gris a el punto deseado, para ello, basta con pulsar con el clic derecho el testigo y mantenerlo pulsado para desplazarlo, al desplazarlo se observa que aparte de cambiar el valor de la tensión también cambia el número "location", ya que muestra la posición en la que te encuentras de la barra, de modo que podemos teclear la distancia concreta de la barra para saber el valor de la tensión en ese punto (lo mismo sucede con los esfuerzos internos).

Hemos visto como mostrar los diagramas de tensión. Para mostrar los diagramas de esfuerzos internos, debemos hacer clic de "Show Forces/Stresses" y seleccionar "Force" debajo de "Display Type" seleccionamos la opción de "momento 3-3" (para el caso de carga DEAD) hacemos clic en "Apply" y "OK". En la figura 47, se muestra el resultado de momentos flectores para el caso de carga de peso propio.

## Auto-dimensionado del pórtico central de una nave industrial con SAP2000.

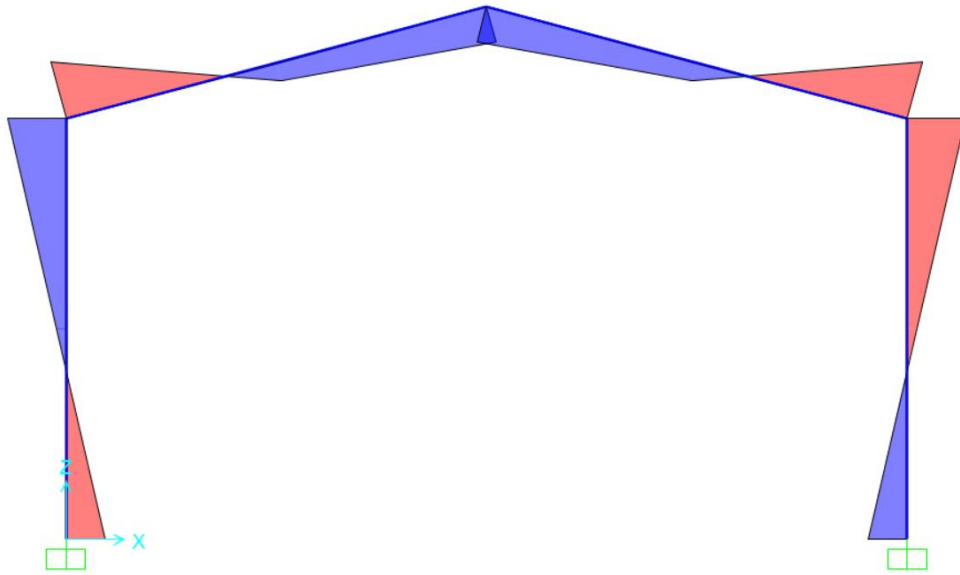


Figura 47. Visualización del diagrama de momentos flectores sobre la estructura (DEAD).

A diferencia, que en caso de tensiones de Von Mises, ahora se observa dos colores, el rojo nos indica tensiones y esfuerzos internos negativos, mientras que el color azul los positivos. Como antes es posible abrir la ventana de navegación de cada barra haciendo clic derecho sobre una barra que tenga dibujados los diagramas de esfuerzos o tensiones. Al hacerlo, se abre la ventana de la figura 48.

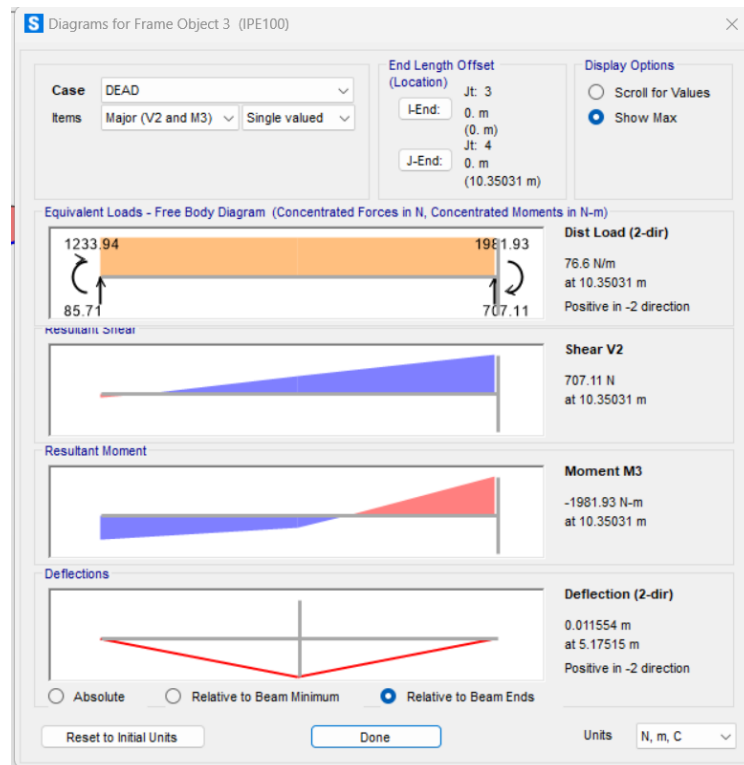


Figura 48. Ventana de navegación sobre las barras (Forces)

Esta ventana a diferencia que en la figura 46, se muestran todos los esfuerzos internos que afectan a la barra (axil, cortante y momentos flectores) al igual que

antes podemos desplazar por la barra el testigo gris. En la parte superior de esta ventana (“Case”) se puede seleccionar la combinación para visualizar los esfuerzos internos sin necesidad de volver a la ventana de la figura 44. También podemos ver y medir la deformada (se recomienda visualizar en “*Absolute*” por claridad). Al igual que antes en el margen derecho figuran los valores de las magnitudes correspondientes de los esfuerzos y desplazamientos con su signo.

### 5.9. Configuración de la herramienta “Start Steel desing/Check of stucture”.

Ya hemos visto como definir materiales, perfiles, listado de perfiles, casos de carga, combinaciones de carga y como visualizar tanto esfuerzos internos como tensiones. Por último, nos queda hablar de la herramienta “Start steel desing/Check of structure” (I). Esta herramienta es la encargada de mostrarnos el perfil más favorable para las solicitaciones a las que hemos sometido la estructura mediante las comprobaciones de estados límites de servicio y estados limites últimos. Antes de hacer clic en (I), tenemos que configurar esta herramienta, para ello, debemos pulsar en la flecha negra situado al lado del icono. Al pulsar en la flecha, se abre un desplegable con una serie de opciones para configurar.

En primer lugar, en el desplegable tenemos que hacer clic en “View/Revise Preferences...”. Se abrirá una nueva ventana similar a la figura 49.

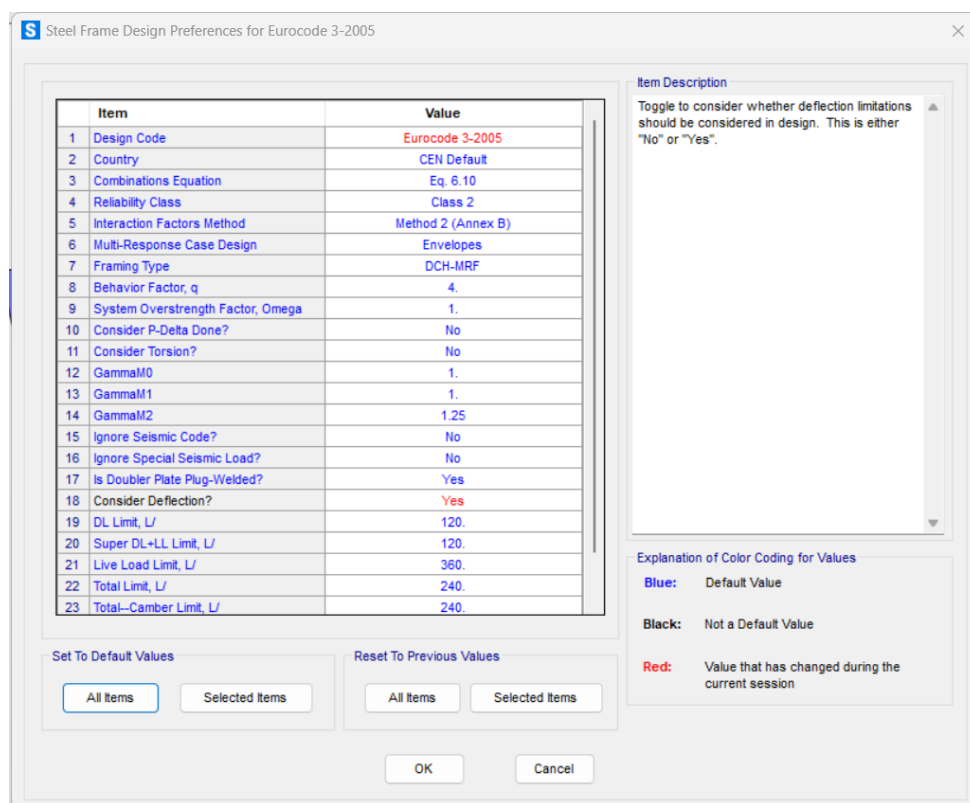


Figura 49. Configuración de la herramienta "Start Steel desing/check of structure".

Como puede verse en la figura 49, hay una tabla enumerada con los distintos parámetros que se pueden configurar, por defecto, vamos a dejar todos

## Auto-dimensionado del pórtico central de una nave industrial con SAP2000.

predeterminados salvo dos. Por un lado, el primer parámetro “*Desing Code*” hace referencia a la norma para “diseñar” el perfil, por defecto aparece “*AISC 360-16*” pero como estamos en España tenemos que seleccionar “*Eurocode 3-2005*”. Al escoger el eurocodigo algunos parámetros de la lista han cambiado. Para terminar la configuración de esta ventana, en la casilla 18 “*Consider Deflection*” se puede observar que está escrito “*No*” debemos cambiar esta opción a si, para que compruebe la deflexión, tenemos que hacer clic en “*No*” y se abrirá un desplegable con la opción “*S*” para pulsar en ella. La configuración final de este cuadro de diálogo se puede observar en la figura 49.

Finalmente debemos hacer clic en el desplegable “*Start steel desing /Check of strcture*” → “*Select Desing Combos...*”. Se abre un nuevo cuadro de diálogo similar a la figura 50.

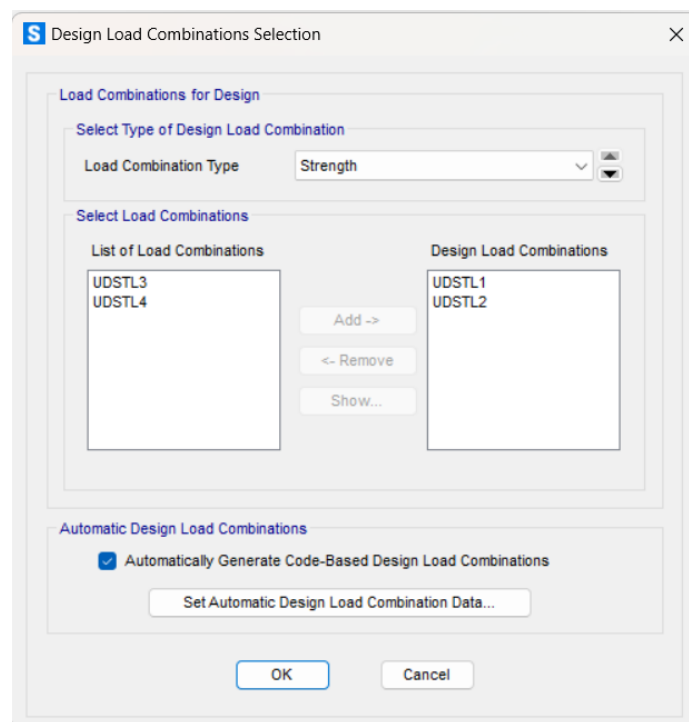



Figura 50. Cuadro de diálogo con las combinaciones de carga de diseño.

Esta ventana, es similar a las cometidas anteriormente, en este caso en el lado izquierdo están la combinación de cargas que se pueden seleccionar y en el lado derecho las seleccionadas. Se observa que en este cuadro están asignadas de forma automática la combinación de carga (UDSTL 1 y UDSTL 2 ) para la opción “*Strength*” y si cambiamos la opción del desplegable “*Load Combination Type*” a “*Deflection*” están seleccionadas la combinación de cargas (UDSTL 3 y UDSTL 4). Esto ya lo comentamos en el apartado 5.4. En resumen, cuando escogemos la opción “*Deflection*” se asocian todas las combinaciones de carga con el factor multiplicativo igual a la unidad y en “*Strength*” la combinación de carga con los factores de escala distintos a la unidad. Para concluir, la configuración de esta ventana, debemos desmarcar el “tick” azul () de la opción “*Automatically Generate Code- Based Desing Load Combination*”, desmarcamos esta opción, ya que si la mantenemos

marcada se crearán nuevas combinaciones de cargas con los casos de carga creados, luego resulta redundante porque ya están creados. Para finalizar pulsaremos “OK”.

Ya tenemos todo lo necesario para que el programa nos muestre el perfil que cumpla todos los estados límites últimos y de servicio para las combinaciones de carga establecidas. De modo, que ahora sí, pulsamos sobre el icono (  ). Podemos apreciar que las barras empiezan a parpadear mientras carga una barra verde en la parte inferior de la pantalla.

### 5.10. Análisis del primer resultado de la carga de SU

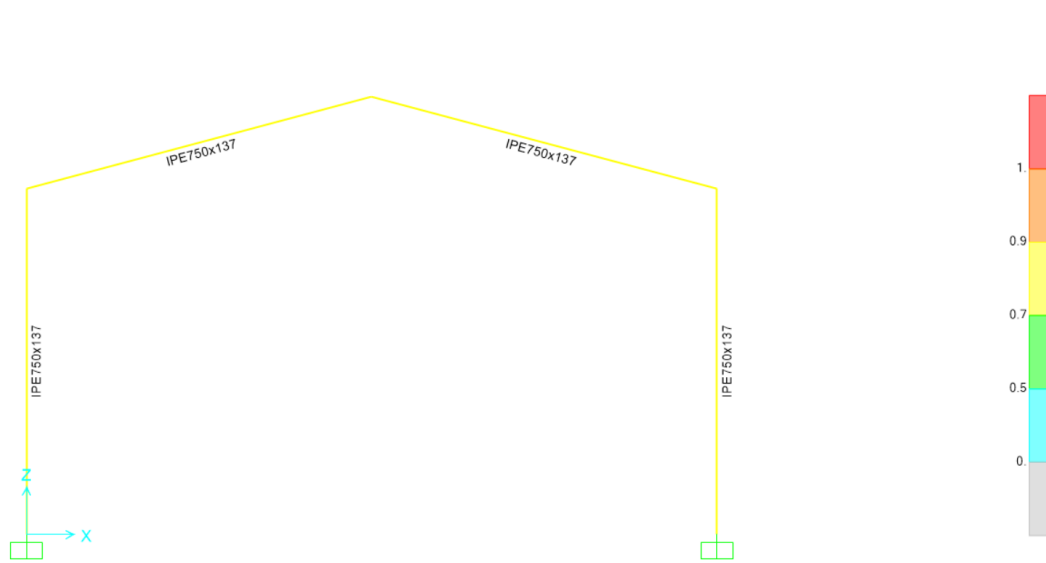


Figura 51. Resultado del dimensionamiento del pórtico (Sin restricciones de pandeo lateral).

Una vez SAP2000 finaliza el cálculo, arroja el resultado y asigna el perfil a cada barra de la estructura, junto con un color, figura 51. El color muestra el “rendimiento” de la estructura, es decir, el aprovechamiento del perfil. Podemos observar que ha asignado a los dos pilares y cerchas un IPE 750x137 (no tiene por qué mostrar el mismo perfil en toda la estructura, simplemente el análisis así lo ha indicado). Antes de analizar por qué esta asignado un perfil tan grande, si hacemos clic derecho sobre cualquiera de las barras aparecerá una nueva ventana, figura 52. En esta ventana, aparte de mostrar el perfil, podemos ver que esta subrayado en azul la combinación de carga más desfavorable con la que dimensiona el perfil (UDSTL2).

## Auto-dimensionado del pórtico central de una nave industrial con SAP2000.

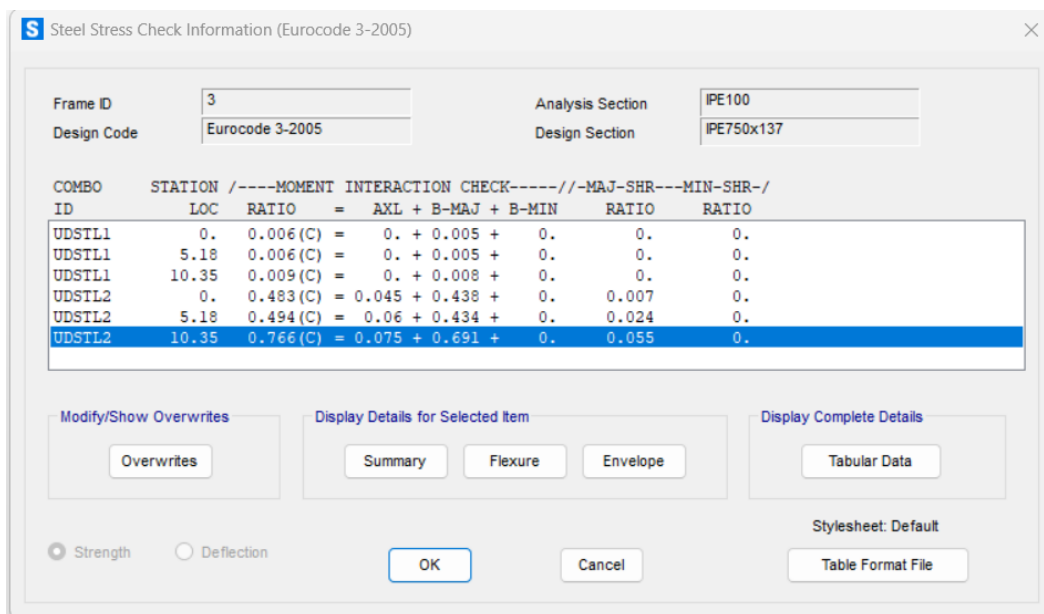


Figura 52. Ventana del resultado de dimensionamiento para la carga de SU.

Uno de los parámetros interesantes del recuadro es “RATIO”, que equivale al rendimiento de ese elemento de construcción. Este parámetro determina si el elemento aguanta ( $<0,95$ ) o no ( $\geq 0,95$ ). Una de las cosas interesantes del RATIO es que está compuesto por varias contribuciones. En este ejemplo, el RATIO de 0,766, se obtiene de sumar la parte del axil que “consume” 0,075 de la capacidad resistente del elemento y el flector en el eje y que “consume” 0,691. Además de eso, si hacemos clic en “Summary” aparece un resumen con todas las cuentas que ha hecho el programa para llegar a ese resultado. Hay gran cantidad de parámetros: inercias, el número  $\chi$ , valores de axiles, cortantes, flectores... Nosotros nos vamos a fijar en los parámetros definidos en el CTE-DB-SE-A[3]. Estos parámetros son los parámetros definidos por el CTE para comprobar el fallo de la estructura ( $N_{Ed}, V_{Ed}, M_{Ed}, N_{c,Rd}, V_{p,Rd}, M_{D,Rd}$ ). Los parámetros con el subíndice (Ed) es el parámetro al que está sometido la barra, (Rd) es el parámetro (axil, cortante o flector) máximo que puede resistir esa barra. El CTE-DB-SE-A establece que  $N_{Ed} < N_{c,Rd}$  (lo mismo sucede con el cortante y el momento flector), de modo que si buscamos estos parámetros en los datos arrojados de la opción “Summary” comprobamos que la estructura no falla con un IPE 750x137.

A pesar de que no falla la estructura, podemos afirmar que se trata de un perfil excesivo para una nave de 20 metros de luz con una carga de 6000N/m. Además, si obtenemos el diagrama de tensiones de Von Mises del patrón de carga para el cual ha elegido ese perfil (UDSTL2), figura 53, se puede apreciar que el valor de las tensiones está muy lejos del valor de la tensión de plastificación del material (“Show Forces/Stresses” → “Frame/cable/Tendons” → “Stress”).

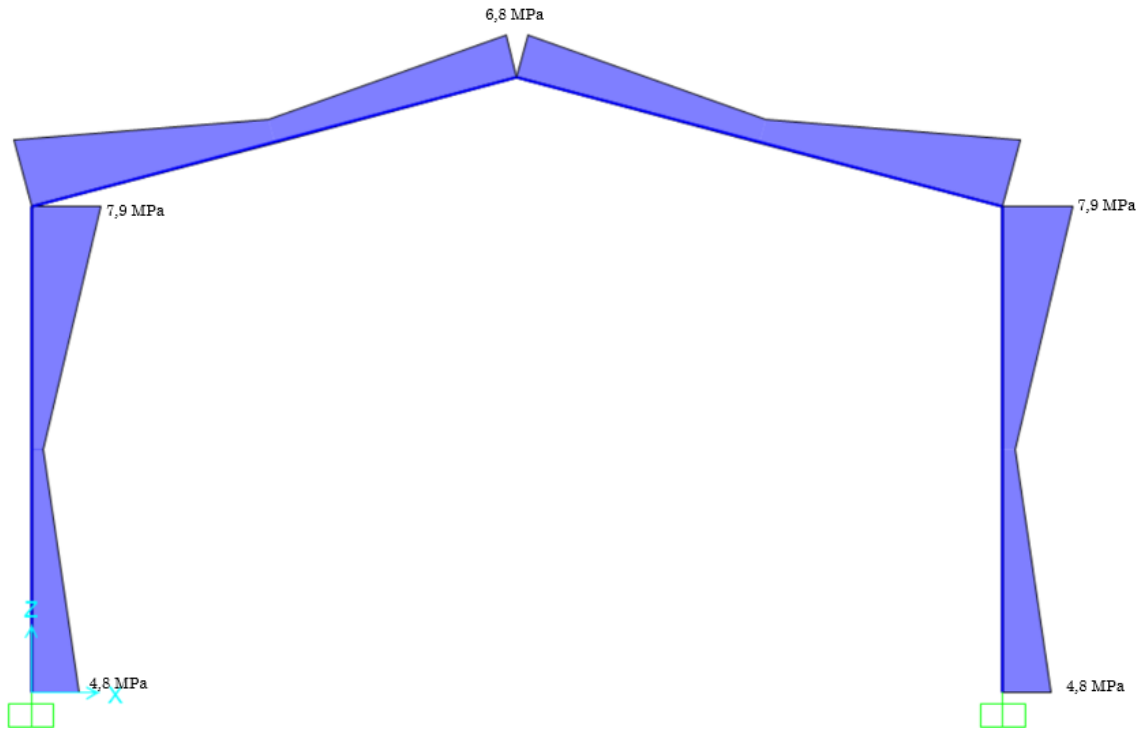


Figura 53. Diagrama de tensiones para la combinación de carga "UDSTL2"

Si buscamos el valor de la máxima tensión de Von Mises en la figura 53, este se sitúa en el extremo superior de los pilares, su valor se aproxima a 7,9 MPa muy inferior al límite elástico del material 355 MPa. A pesar de que SAP2000 nos muestre que es el perfil adecuado para las sollicitaciones y superar las comprobaciones podemos afirmar que este perfil no es el correcto ya que estamos desaprovechando el perfil. Esto no quiere decir que SAP2000 se equivoque, si no nosotros. Sucede porque a pesar de indicarle a SAP2000 que analice el modelo como un problema plano, las comprobaciones que realiza para comprobar la estructura también las aplica fuera del plano, de modo que para evitar el pandeo lateral tiene que aumentar el perfil.

En la realidad, el pandeo fuera del plano (pandeo lateral o "vuelco") esta restringirlo por elementos de construcción que unen los pórticos entre si como las correas o cruces de San Andrés, además de la propia fachada. Debemos de imponer al modelo nuevas condiciones de contorno que restrinjan los desplazamientos fuera del plano, de esta forma, aparte de crear un "modelo más realista" forzamos a que analice la estructura como un problema plano.

### 5.11. Resolución de pandeo lateral (vuelco del pórtico).

Como hemos comentado en el apartado anterior, tenemos que forzar al modelo a comportarse como un problema plano. Para ello tenemos que desbloquear el modelo (☐) para poder trabajar en él. Antes de resolver el problema de pandeo fuera del plano, se va a exponer de manera breve como resolver el problema.

En primer lugar, lo que tenemos que hacer es dividir todas las barras (pilares y cerchas) en barras más pequeñas, para que la longitud de pandeo fuera del plano no sea la distancia de toda la barra entera si no la longitud de cada una de las barras

## Auto-dimensionado del pórtico central de una nave industrial con SAP2000.

que la componen. (Con esto resolvemos el problema de longitud de pandeo). Al dividir tanto los pilares como la cercha la estructura estará formada por pequeñas barras las cuales mantienen la unión entre ellas lo único que, en vez de tener un solo sólido rígido, tenemos muchos sólidos rígidos que componen un sólido rígido mayor. Por último, tenemos que restringir los desplazamientos fuera del plano en cada unión de cada barra “pequeña” con el resto de barras pequeñas a las que se une. De modo que en vez de tener las restricciones de movimiento fuera del plano a 10 m de distancia, ahora tenemos restricciones más próximas (longitud de las barras pequeñas) con una longitud de pandeo menor.

Para seccionar la estructura en barras de menor tamaño, tenemos que seleccionar todas las barras que componen el pórtico (bien haciendo clic en cada barra o haciendo clic derecho en el extremo superior de modelo y arrastrar hacia el extremo inferior derecho englobando la estructura). Una vez toda la estructura se vea discontinua de color azul y amarillo, nos dirigiremos al menú “*Edit*” → “*Lines*” → “*Divide Frames...*” se abrirá un cuadro de diálogo como el de la figura 54.

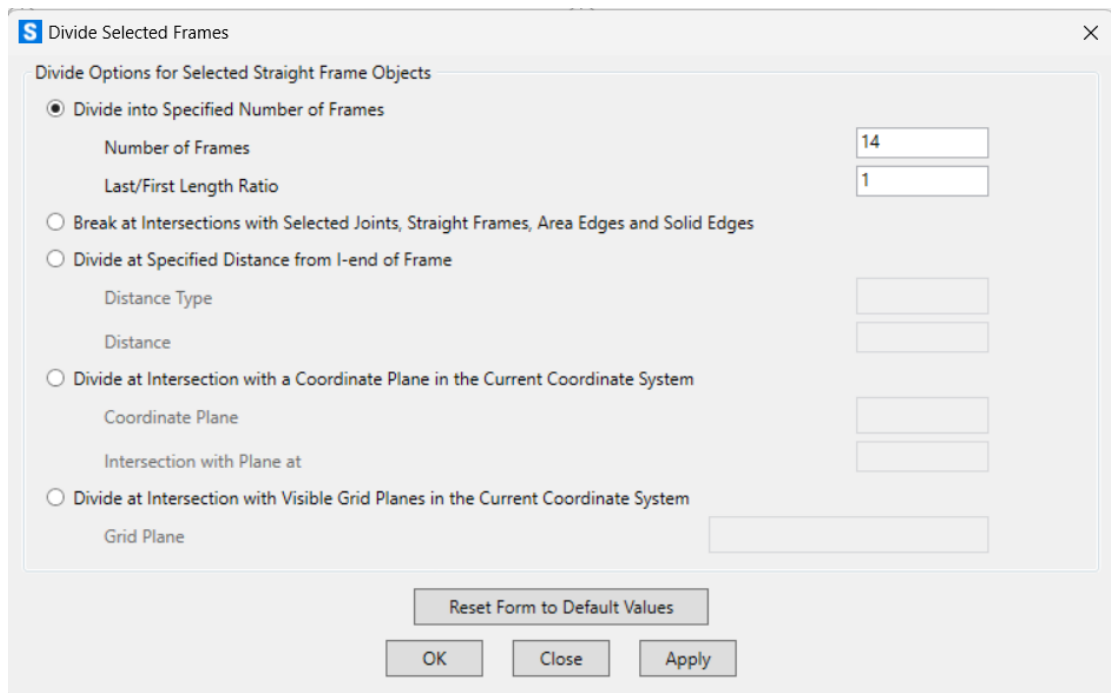


Figura 54. Cuadro de diálogo de división de barras.

“*Number of Frames*” hace referencia al número de barras que queremos dividir las barras principales, para este modelo se eligen 14, de modo que las barras pequeñas del pilar tienen una longitud de 0,71 m y las del dintel 0,73 m.

La opción de “*Last /First Length Ratio*” (expresa una relación entre longitudes) dejamos la opción predeterminada. El resto de seleccionables no se van a utilizar. Una vez configurado la ventana, pulsaremos en “*Apply*” para aplicar los cambios al modelo y luego en “*OK*” para cerrar la ventana.

Una vez dividida la estructura se puede apreciar el modelo del pórtico, pero sin “nada nuevo”. Si pasamos el cursor por encima de cada barra se aprecia que cada cierta



distancia aparece un círculo rojo con la palabra "Point". Esos "puntos" son el inicio y final de las barras pequeñas que componen la barra pilar o cercha.

Ahora solo nos falta aplicar las restricciones de movimiento fuera del plano, para ello de nuevo, debemos seleccionar toda la estructura tanto las barras como todos los puntos de unión de las barras y para no crear de nuevo otra restricción, tenemos que hacer clic en los nudos de los dos empotramientos para deseleccionarlos.

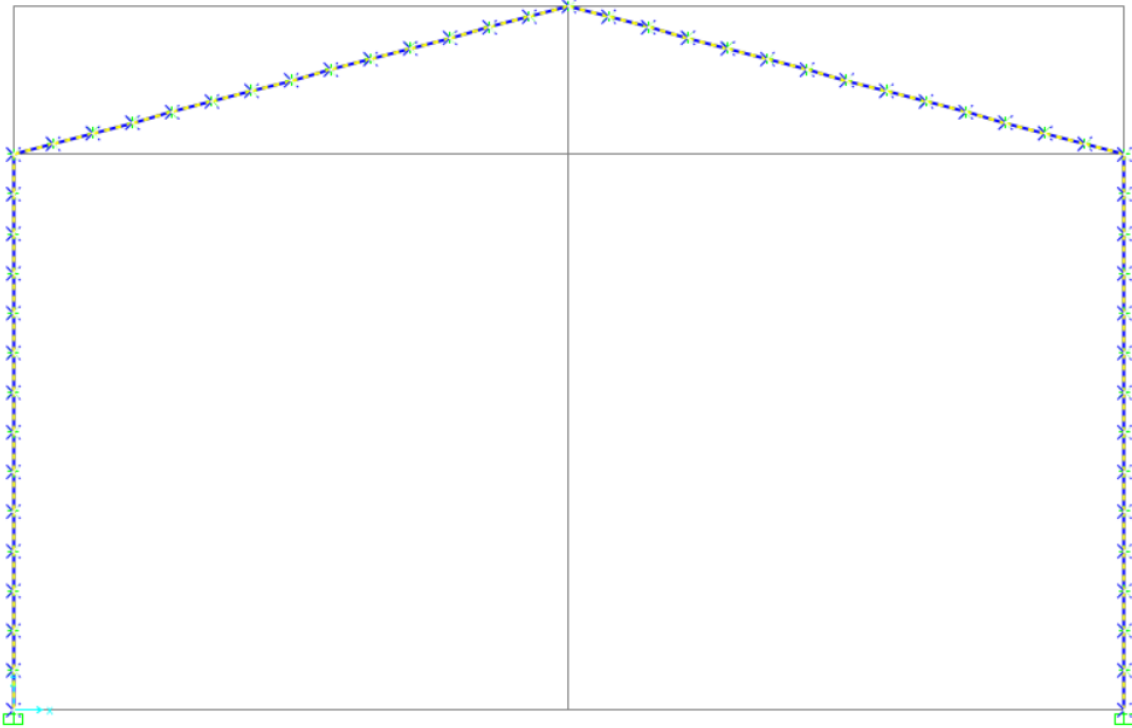


Figura 55. Modelo de las barras divididas que componen el pórtico.

Cuando tengamos la estructura como en la figura 55, debemos ir al menú "Assign" → "Joint" → "Restraints". Se abrirá una nueva ventana comentada en el apartado 5,6. Para restringir el movimiento fuera del plano tenemos que seleccionar "Translation Z" que es el desplazamiento en el eje y (hay que tener presente que estamos trabajando en el plano XZ) y "Rotation about 1" y "Rotation about 3". Estamos obligados a seleccionar estas restricciones, ya que si restringimos la "rotación del eje 2" el pórtico no se puede mover en el plano de trabajo XZ, por lo que es necesario restringir la rotación sobre el eje 1 y 3 para evitar que vuelque el pórtico. En la figura 56, se muestra las restricciones, cuando seleccionemos las restricciones haremos clic en "Apply" y luego en "Ok".

## Auto-dimensionado del pórtico central de una nave industrial con SAP2000.

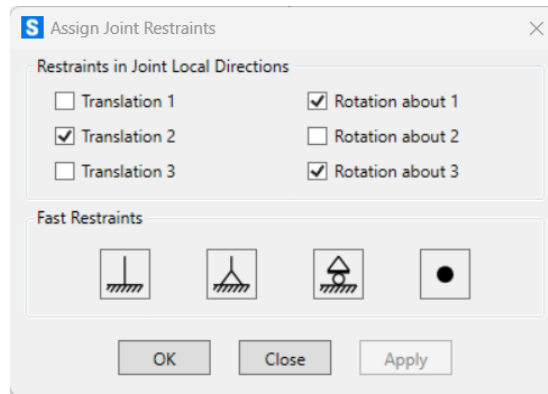


Figura 56. Cuadro de diálogo para restringir el movimiento de los grados de libertad fuera del plano.

Tras aplicar las restricciones, se aprecia una cruz verde simbolizando las restricciones en todos los puntos divisores de barras.

Importante, como ya hemos hecho un análisis de la estructura y nos ha arrojado el perfil IPE750x137 al desbloquear el modelo una vez calculado, ese perfil se asigna a la estructura de forma automática. De modo que, tenemos que seleccionar todas las barras del modelo y asignar de nuevo la lista con todos los perfiles. "Assign" → "Frames" → "Frame Sections..." → "Auto!". Tras aplicar las restricciones de pandeo fuera del plano y asignar de nuevo la lista de perfiles, el modelo debe parecerse a la figura 57.

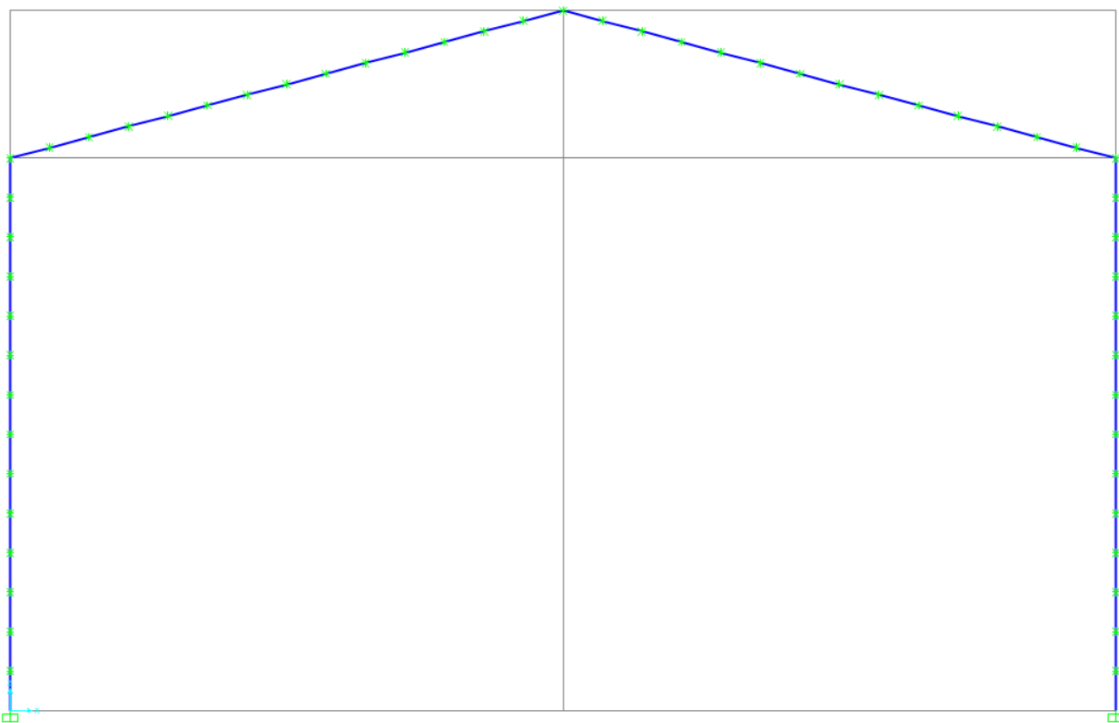




Figura 57. Modelo del pórtico restringiendo el movimiento fuera del plano.

Ya solo nos falta hacer clic en (  ) y luego una vez calculado, pulsar en (  ).

### 5.12. Análisis del segundo resultado de la carga de SU.

SAP2000 arrojará una solución al dimensionamiento del pórtico similar a la figura 58.

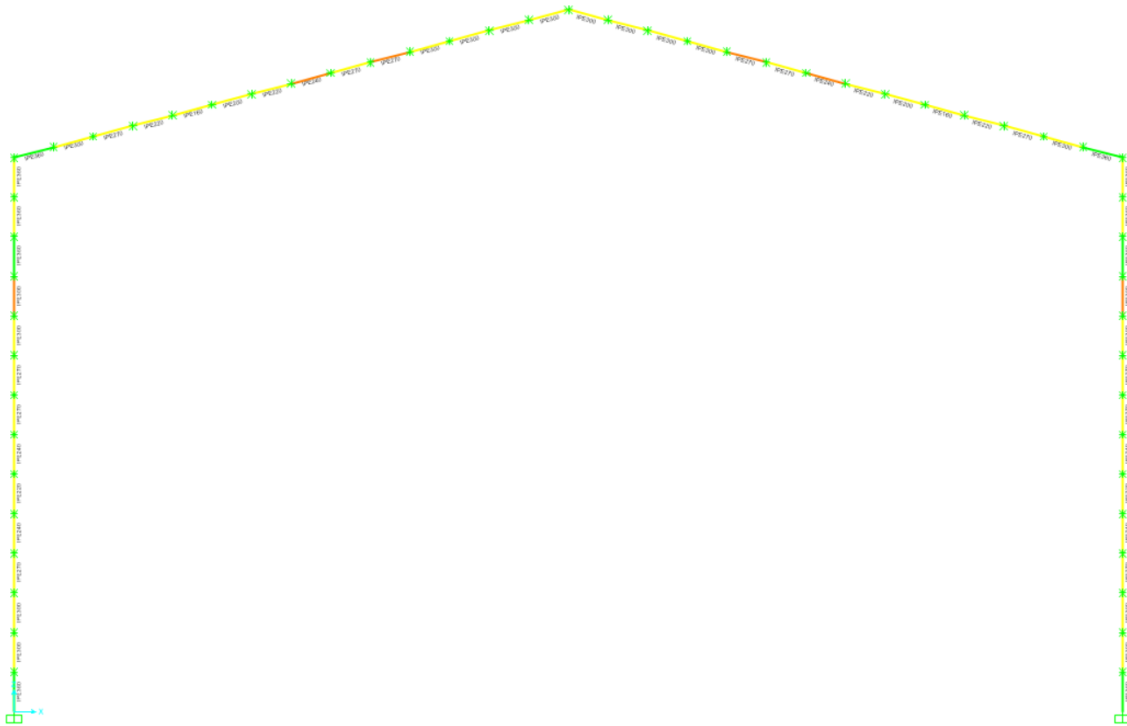


Figura 58. Resultado del dimensionamiento del pórtico resolviendo el problema de pandeo lateral (DEAD SU).

En esta imagen se observa dos cosas, la primera, es que hemos el solucionado el problema de pandeo lateral (Vuelco del pórtico), ya que hemos pasado de tener un IPE750x137 a una variedad de perfiles comprendidos desde un IPE240 hasta un IPE360, algo más lógico para la luz de la nave y carga aplicada. En segundo lugar, cada una de las barras pequeñas que conforman la estructura, tienen asignado un perfil diferente. Realizar esto en una estructura real es inviable debido a su complejidad y peligrosidad. Para que SAP2000 nos muestre único perfil para cada elemento estructural (pilares y cerchas) tenemos que acudir a la opción “Grupos” de SAP2000.

Como curiosidad si hacemos clic en  y seleccionamos la opción “*Extrude*” en la ventana “*General options*” y seleccionamos ( 3-d ) para ver el modelo en perspectiva, podemos ver de forma extruida los perfiles del modelo, figura 59, de esta manera demostramos que es inviable fabricar un pórtico mediante la composición de diferentes perfiles en una misma “barra”.

Auto-dimensionado del pórtico central de una nave industrial con SAP2000.

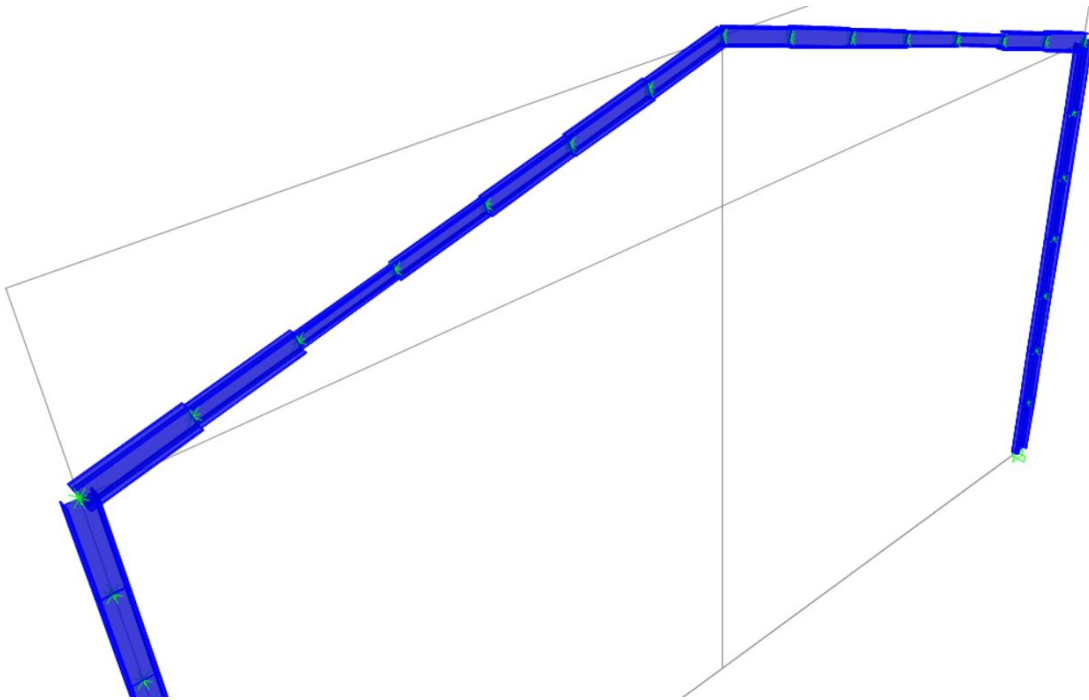


Figura 59. Vista extruida de los perfiles dimensionados que conforman el pórtico.

### 5.13. Creación /Asignación/Calculo de “Grupos”.

Se denominan grupos en SAP2000, a la asociación de barras que desempeñan una misma función en la estructura (pilares, correas, cerchas, cartelas...).

Para que resulte más fácil analizar los resultados de las distintas combinaciones de carga que va a soportar el pórtico, tenemos que crear cinco grupos en SAP2000. La figura 60, muestra la distribución de los grupos sobre la estructura. Esta distribución de grupos nos permite comentar los resultados de los puntos más críticos y la unión de las barras del pórtico,

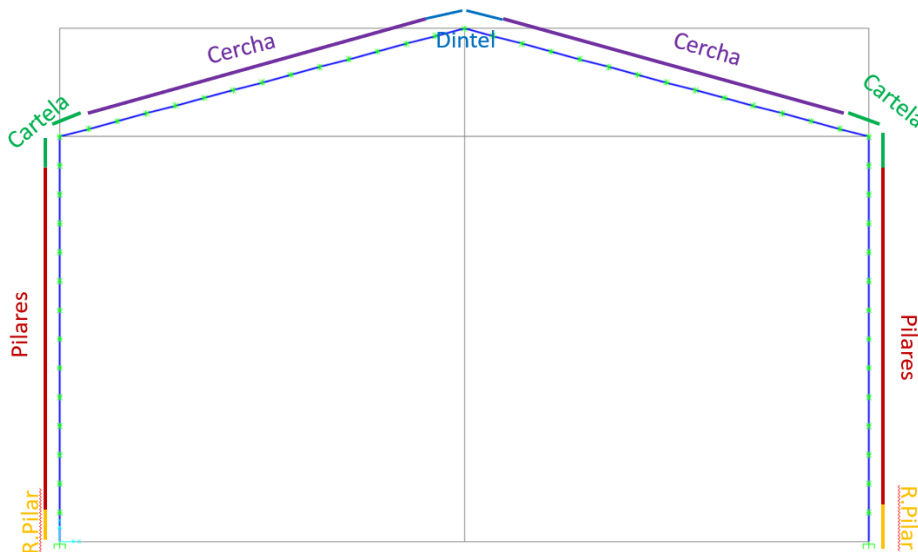


Figura 60. Distribución de la asignación de los grupos sobre la estructura del pórtico.

Para crear los grupos tenemos que ir al menú “Define” → “Groups”. Se abrirá una ventana similar a la figura 61.

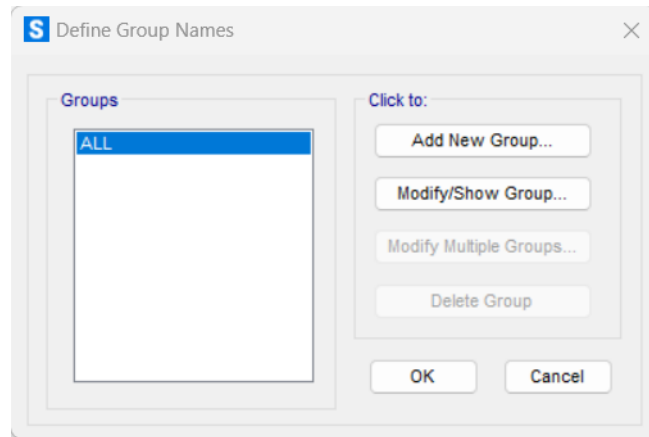


Figura 61. Lista inicial de los grupos.

Tenemos que hacer clic en “Add New Group” para crear un grupo. Al realizarlo, se abrirá otro cuadro diálogo similar al de la figura 62. En “Group name” cambiaremos la denominación a “Pilares”, el resto de opciones dejamos las predeterminadas.

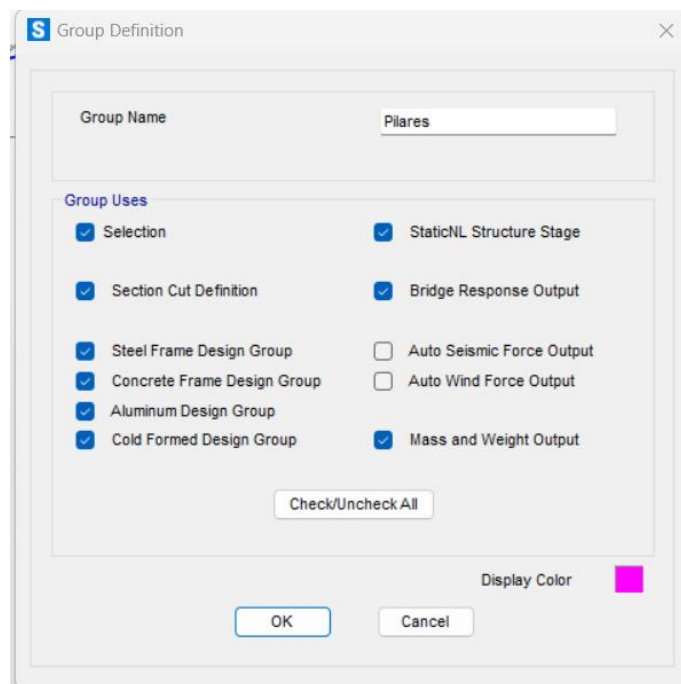


Figura 62. Cuadro de creación de grupos.

Una vez cambiado el nombre, hacemos clic en “Ok” para crear el grupo “Piales”. De igual manera crearemos el resto de grupos “R.Pilar”, “Cercha” y “Dintel”. Una vez realizado, la ventana “Define Goups Names” será similar a la figura 63.

## Auto-dimensionado del pórtico central de una nave industrial con SAP2000.

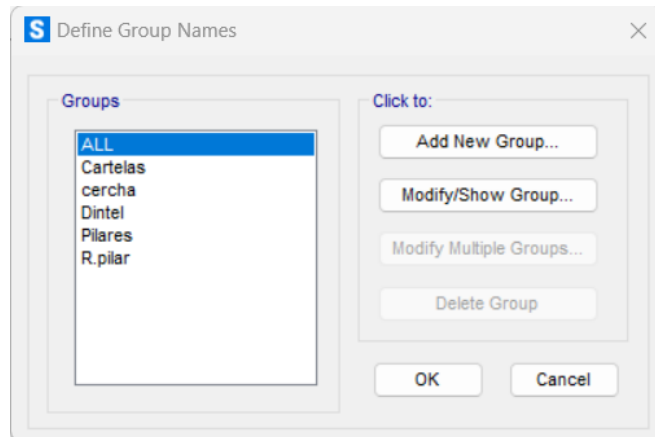



Figura 63. Resultado final de los grupos creados.

Como ya hemos creado los grupos, tenemos que asignar a cada barra el grupo al que pertenece. Para ello, tenemos que seleccionar todas las barras que conforman el grupo “Pilar” y hacer clic en “Assign” → “Assign to group...” se abrirá una ventana con los grupos creados “Dintel” y “Pilar “... como estamos asignando el grupo a las barras que forman el pilar, seleccionamos el grupo “Pilar” y hacemos clic en “Apply” y luego en “OK”. De la misma manera tenemos que seleccionar todas las barras que conforman cada uno de los distintos grupos y asígneles el grupo al que pertenecen.

Como hemos creado una nueva variable tenemos que indicarle a SAP2000 que la tenga en cuenta en el cálculo del perfil. Para ello, tenemos que hacer clic en la flecha de la herramienta (  ) y pinchar en “Select Design Groups...”. Como siempre, se abrirá una nueva ventana, figura 64, en el lado izquierdo tenemos en este caso todos los grupos creados y en el derecho la casilla de grupos asignados para el cálculo. De modo que, tras seleccionar todos los grupos tenemos que hacer clic en “Add” para añadirles a la casilla de “Diseño de Grupos”. Cuando la ventana “Steel Design Groups Selection” sea igual a la figura 64 se hará clic en “OK” para finalizar la asignación de los grupos al dimensionamiento.

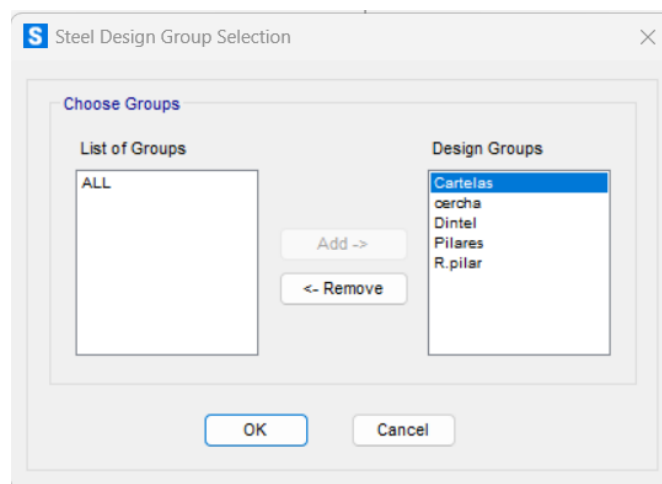


Figura 64. Asignación de los grupos para el dimensionamiento del pórtico.

Antes de ejecutar el modelo debemos asegurarnos que todas las barras de la estructura estén asignadas a la lista de perfiles (AUTO1). “Assign” → “Frames” →

"Frame Sections..." → "(AUTO 1)". Una vez asignada la lista de perfiles haremos clic en el icono (▶) y después en (I) para que nos muestre el cálculo del perfil.

### 5.14. Análisis del resultado final de la carga de SU.

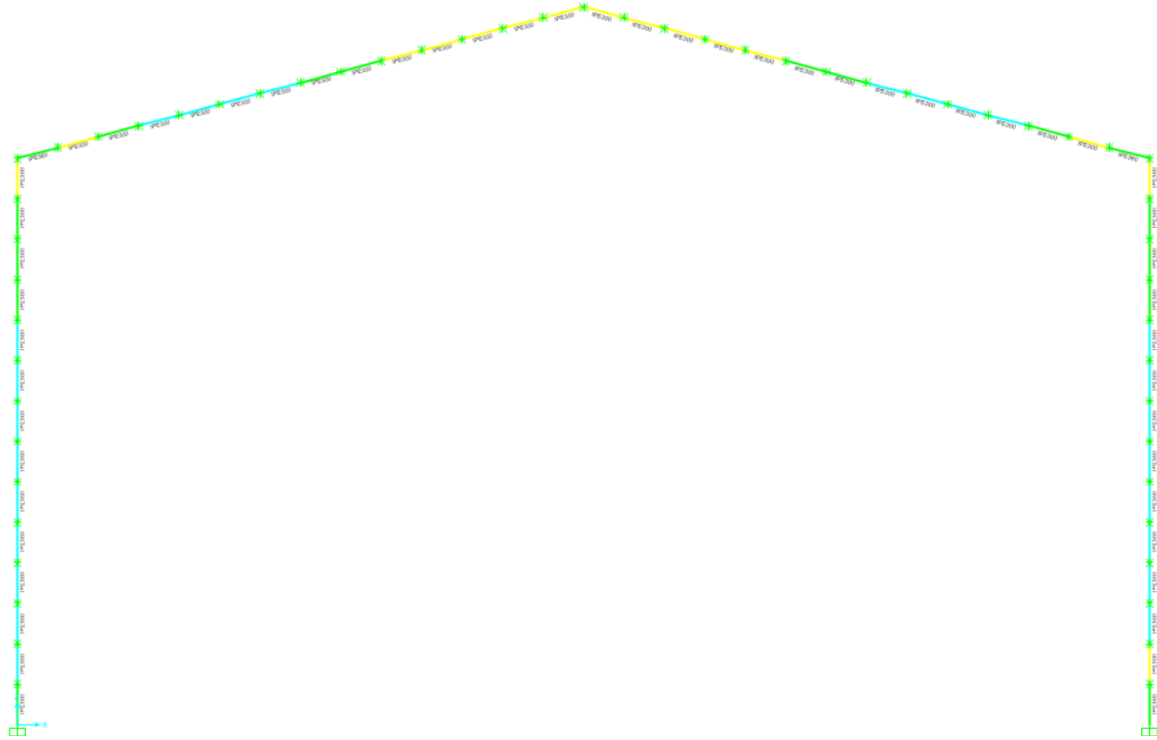


Figura 65. Dimensionamiento de los perfiles de cada grupo que conforman el pórtico (DEAD SU).

Como se aprecia en la figura 65, el resultado del dimensionamiento del pórtico se realiza con dos perfiles un IPE300 y un IPE360. Para un mejor análisis y como la carga y la estructura son simétricas podemos ampliar con la herramienta (🔍) en los puntos de interés que son la unión del pilar con el apoyo y la unión de los pilares con la cercha.



Figura 66. Dimensionamiento de los perfiles para los grupos Pilar y R. Pilares (DEAD SU).

En primer lugar, el dimensionamiento del perfil para los grupos “Pilar” y “R. Pilar “ (Refuerzo pilar) es el mismo, se trata de un IPE360. La justificación de crear y asignar un grupo en la base de los pilares, se debe a la posibilidad que debido a la combinación de carga que soporta el pórtico y para evitar excesivos desplazamientos horizontales de la parte superior del pórtico y garantizar el cumplimiento de ELU y ELS, SAP2000 dimensiona esa parte baja del pilar con un perfil mayor, de modo que si solo tuviésemos el grupo “pilares” ese primer tramo se asignaría a todo solidio pilar con un perfil mucho mayor al que necesita. De esta manera, si el perfil asignado al grupo “R.Pilar” (refuerzo pilar) es mayor que el del grupo “Pilar” podemos construir todo el pilar con el perfil asignado al grupo “Pilar” y rigidizar el tramo de 0,71 m perteneciente al grupo “R.Pilar” mediante el uso de platabandas o rigidizadores para obtener una inercia de similar al perfil asignado a ese tramo. La figura 66, muestra como el dimensionamiento de los perfiles en los dos grupos es igual de modo que para esta combinación de carga no es necesario utilizar refuerzos.

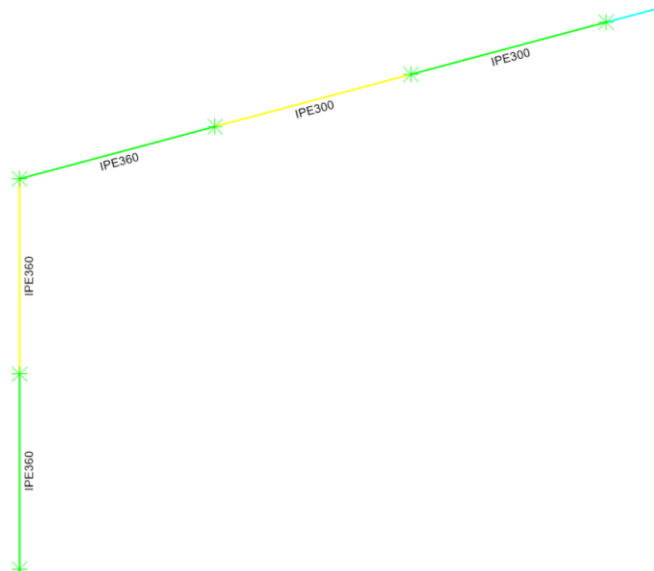


Figura 67. Dimensionado del perfil de los grupos (Pilares, Cartelas, Cercha) (DEAD SU).

Otro de los puntos de importante relevancia para el dimensionamiento de la estructura debido a la concentración de tensiones y nexo de unión entre el pilar y la cercha, son las esquinas superiores del pórtico. En la figura 67, se puede ver la asignación de los perfiles a los grupos cercha (IPE300), cartelas (IPE360) y Pilar (IPE360). En esta figura, lo único que podemos comentar, es que mediante la implantación de una cartela podemos rigidizar la estructura y reducir el primer tramo de IPE360 situado en el elemento estructural cercha para construir toda la cercha con un IPE300.

La figura 68, muestra la asignación del perfil IPE 300 a los grupos “Dintel” y “Cercha”. En este caso, no tienen impórtate relevancia, ya que al estar calculando el modelo para la carga simétrica de SU y peso toda la parte donde se sitúa el dintel está sometida a los mismos esfuerzos.



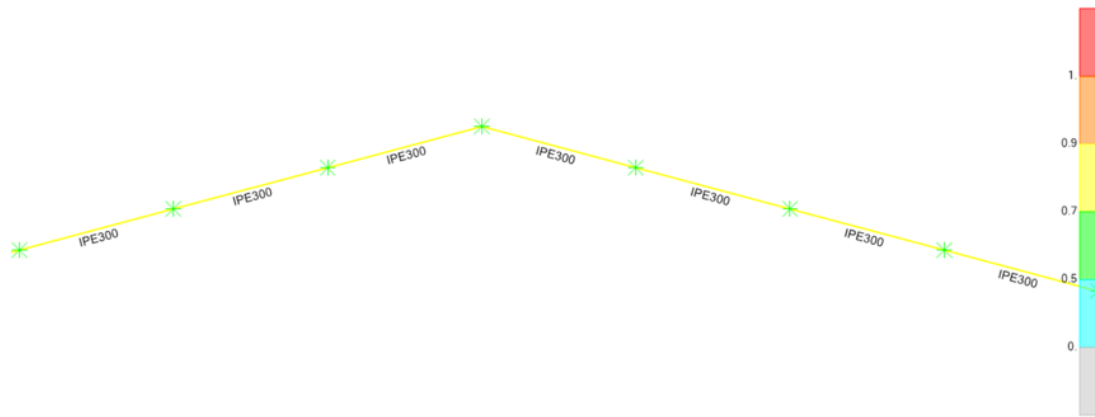


Figura 68. Dimensionado de los perfiles asignados a los grupos cartela y dintel (DEAD SU).

Antes de mostrar los diagramas de esfuerzos, si hacemos clic derecho sobre una barra de la estructura, SAP2000 nos mostrara un cuadro de diálogo similar a la figura 69. Como se aprecia en esa figura, la combinación de carga UDSTL2 (DEAD y SU) esta subrayada de azul, esto quiere decir que es la combinación más desfavorable y por tanto es la combinación de carga elegida por el programa para el dimensionamiento del pórtico. Como hemos comentado anteriormente, el valor numérico del parámetro "Ratio" para que el elemento estructural resista debe ser menor de 0,95 y lo conforman "el desgaste" que sufre el perfil calculado por la contribución de los esfuerzos axiales y flectores. Hay que destacar que el parámetro "Ratio" varía en función del tramo del elemento estructural sobre el que hagamos clic, podemos afirmar que en aquellos tramos de la estructura con mayores esfuerzos internos el valor numérico del parámetro "RATIO" aumenta.

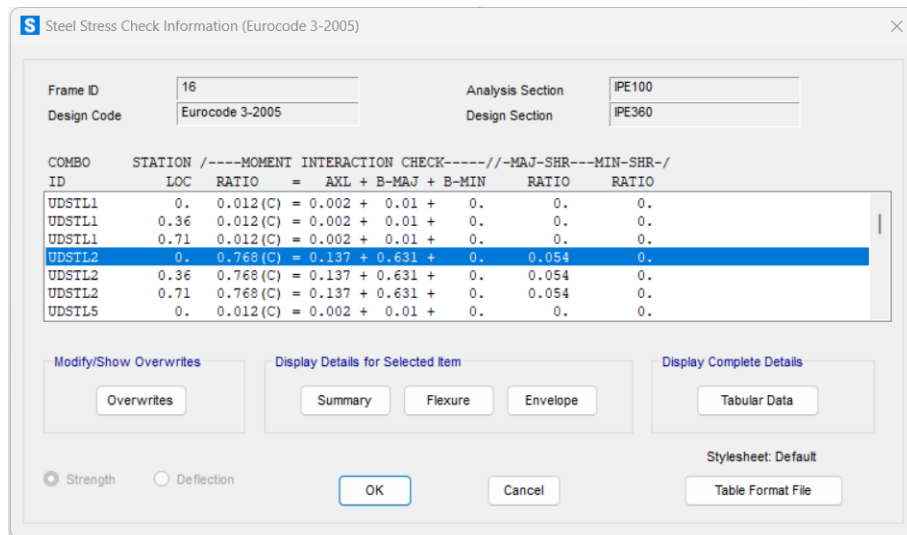


Figura 69. Dimensionado del perfil para la combinación de carga "UDSTL2".

Esto lo podemos comprobar si obtenemos el diagrama de momentos flectores de la estructura. En la figura 70, podemos observar dos cosas: La primera es que los puntos redondeados son los que soportan mayor momento flector y por tanto tienen un mayor ratio siendo la unión del pilar con la cartela el punto más solicitado

Auto-dimensionado del pórtico central de una nave industrial con SAP2000.

(RATIO=0.768) y la unión con el apoyo el siguiente punto más solicitado (RATIO=0.665). La segunda que podemos comentar, es la unión entre los elementos estructurales cercha y pilares y si lo relacionamos con lo comentado en la figura 67 y viendo el diagrama de esfuerzos, la implementación de cartelas en el pórtico nos permitiría “liberar tensiones “en esa unión y por tanto podríamos emplear un IPE300 como cercha.

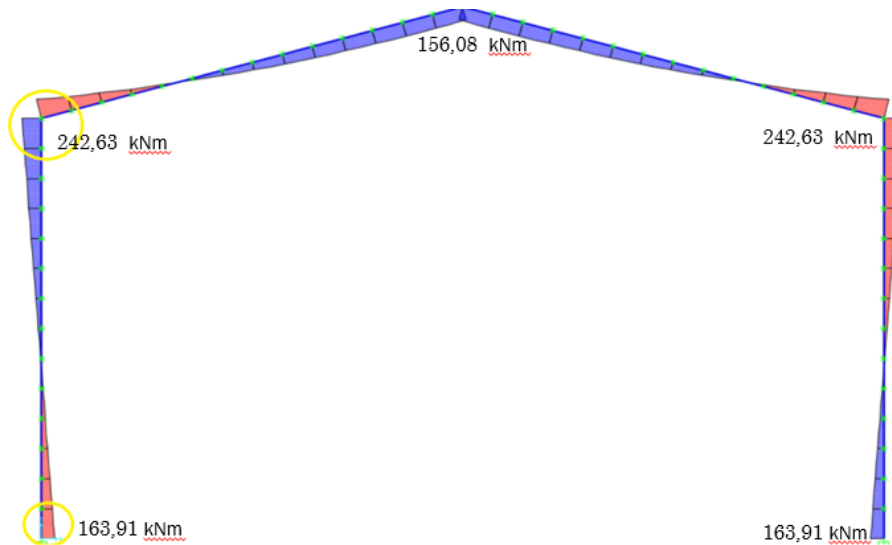


Figura 70. Diagrama de momentos flectores (UDSTL2).

En la figura 71, podemos comparar la deformada del pórtico para el caso de carga de dimensionado (UDSTL2) y la indeformada. Si visualizamos los valores de desplazamiento podemos afirmar que son menores a 0,04 m en desplazamiento vertical y 0,03 m en desplazamiento horizontal, luego cumplimos las especificaciones de desplazamientos.

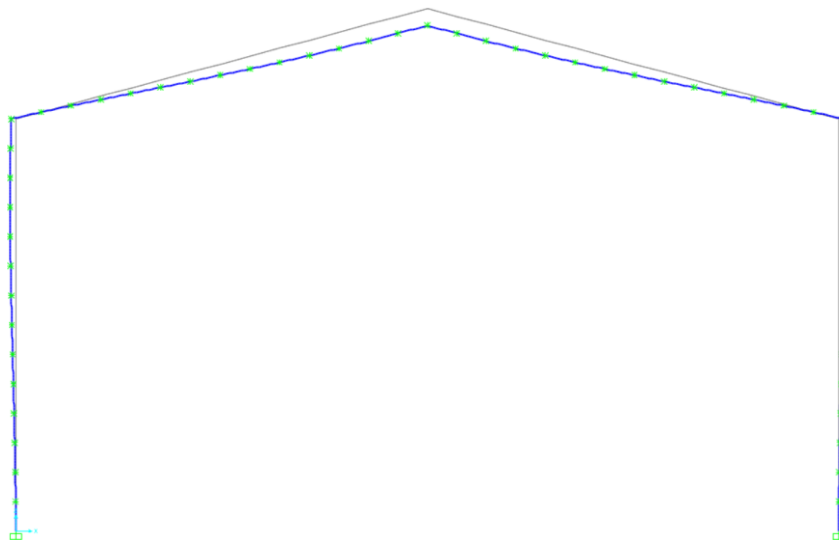


Figura 71. Deformada e indeformada (UDSTL2).

### 5.15. Creación/combinación/aplicación carga de nieve.

Como vamos a analizar el pórtico con una nueva carga debemos crear el patrón de carga de nieve en el programa. “Define” → “Load Patterns...”. Como hicimos con el patrón de la carga de sobreeso, debemos introducir el nombre del patrón de carga y el tipo de carga al que hace referencia. La figura 72, muestra la configuración del patrón de nieve.

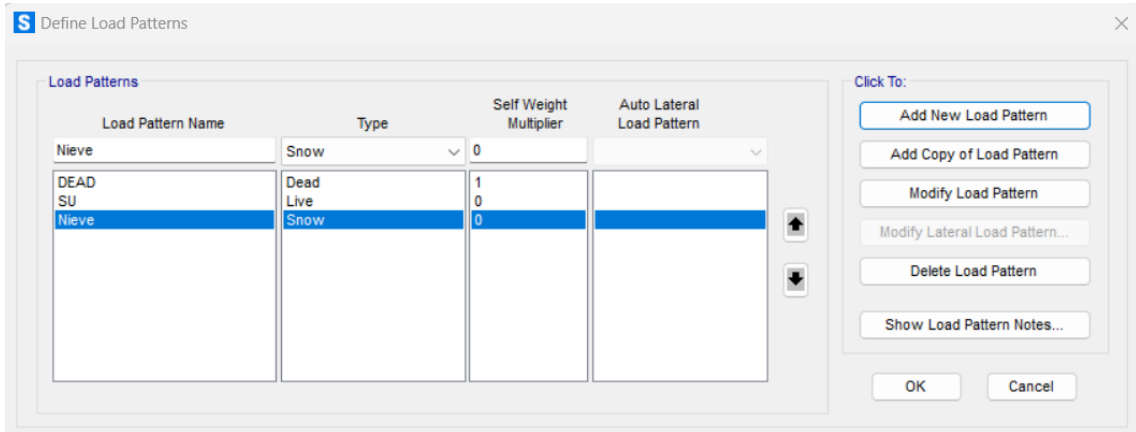


Figura 72. Creación del patrón de nieve.

Una vez creado el patrón, tenemos que crear la combinación de cargas. Debemos recordar que no puede darse simultáneamente la combinación de carga de nieve y SU. Para que el programa combine los patrones de carga por sí solo y aplicando los factores de escala “tipificados” vamos al menú “Define” → “Load Combinations...” → “Add Default Design Combos...” → “Set Load Combination Data...”. Se abre una ventana similar al de la figura 73.

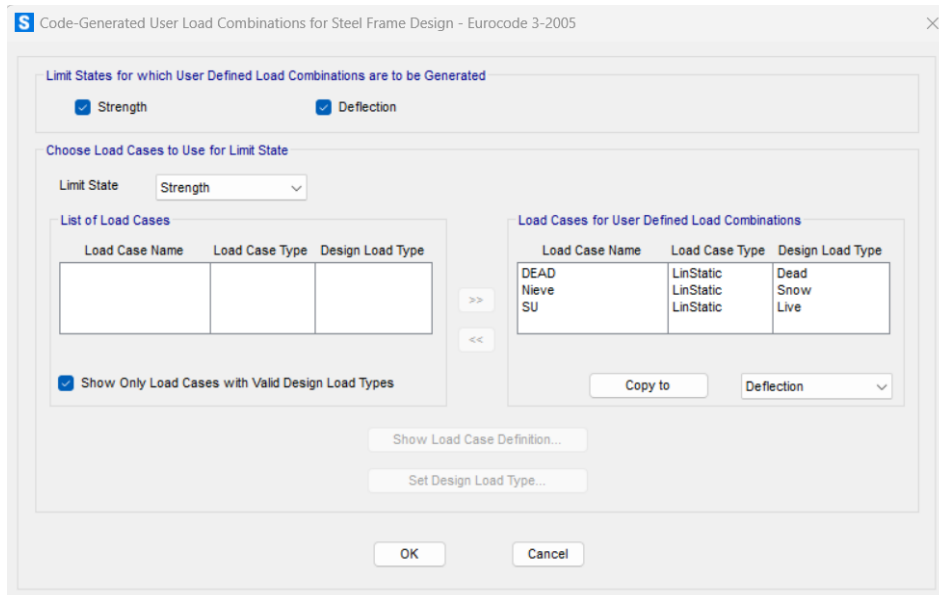


Figura 73. Inicio de la creación de la combinación de nieve y peso.

Como se aprecia en esa figura, en el recuadro de letras azules “Load Cases for User Load Combinations”, están los tres casos de carga creados. Como solo queremos la

## Auto-dimensionado del pórtico central de una nave industrial con SAP2000.

combinación de los casos de “Nieve” y “DEAD”, tenemos que seleccionar “SU” y desplazarle haciendo clic en el icono (<<) al recuadro de los casos de carga.

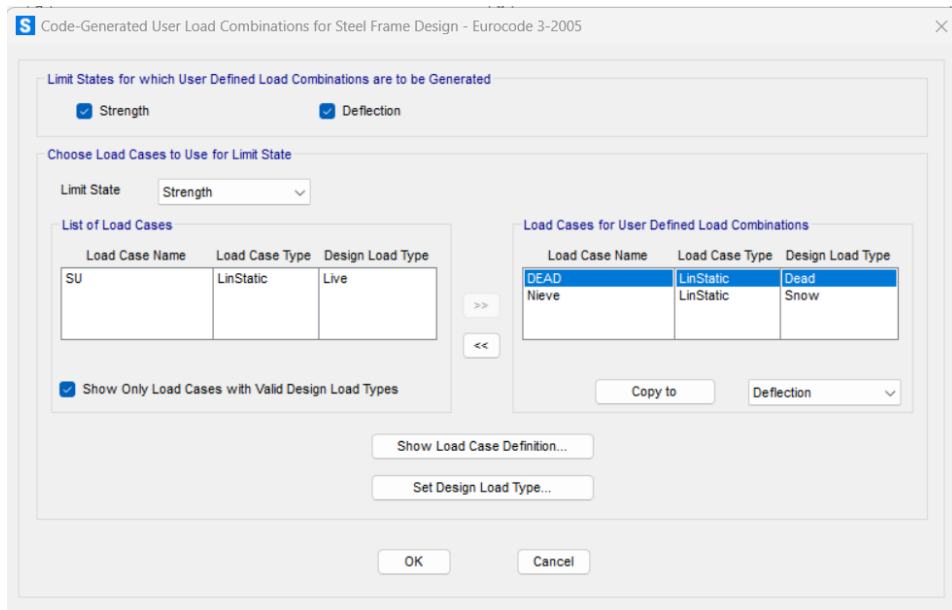


Figura 74. Configuración final para crear la combinación de carga de Nieve y DEAD.

Cuando tengamos el cuadro de diálogo similar al de la figura 74, se pulsará “OK” hasta ver la lista de las nuevas combinaciones de carga de la figura 75.

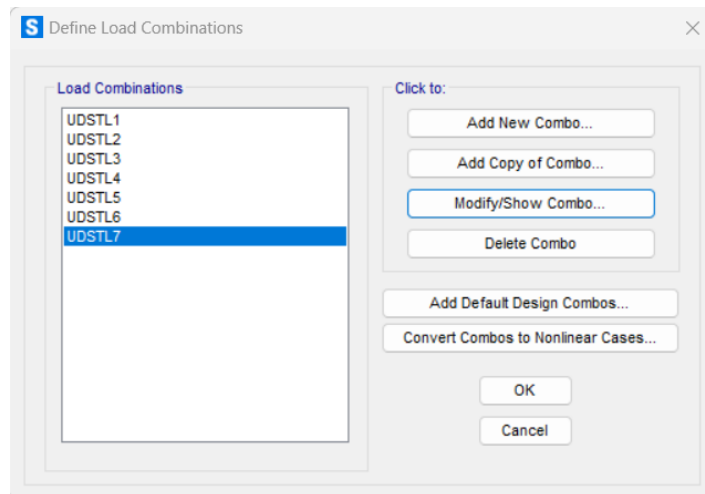


Figura 75. Lista de las combinaciones de carga creadas.

Se han creado tres nuevas combinaciones de carga (UDST5, UDST6, UDST7). Si seleccionamos cada combinación nueva y hacemos clic en “*Modify/Show Combo..*” podemos ver que en ninguna de las combinaciones creadas aparece el caso de carga “Nieve” incluso en la combinación “UDSTL7” se observa que se ha combinado el caso de carga de “SU” a pesar de que en cuadro de diálogo de la figura 74 se ha indicado al programa que solo combine los casos de carga de “Nieve” y “DEAD”.

Este problema no se debe a una mala configuración, sino un error del programa que solo sucede cuando en la definición de los patrones de carga seleccionamos “*Snow*” como tipo de carga.

Para resolver este problema, tenemos dos alternativas: la primera sería añadir de forma manual las combinaciones de carga con los diferentes factores de escala haciendo clic en “Add New Combo...” y la segunda sería indicar al programa que el patrón de carga “Nieve” es de tipo “Live” (peso muerto) y una vez modificado el tipo de carga y realizado la combinación de los casos de carga por el programa tendríamos que modificar el factor de escala.

Si nos acogemos a la segunda opción, lo primero que tenemos que hacer es borrar las tres nuevas combinaciones creadas, para ello tenemos que seleccionarlas y hacer clic en “Delete Combo”. En la lista de la combinaciones de carga volveremos a tener las cuatro primeras combinaciones (UDSTL1 , ... ,UDSTL4).

Para modificar el tipo de carga del patrón de carga “Nieve” nos dirigiremos al cuadro de diálogo “Define” → “Load Patterns” y seleccionaremos el patrón “Nieve” para cambiar la opción “Snow” por “Live” en el recuadro “Type”. La figura 76, muestra la modificación del patrón de carga.

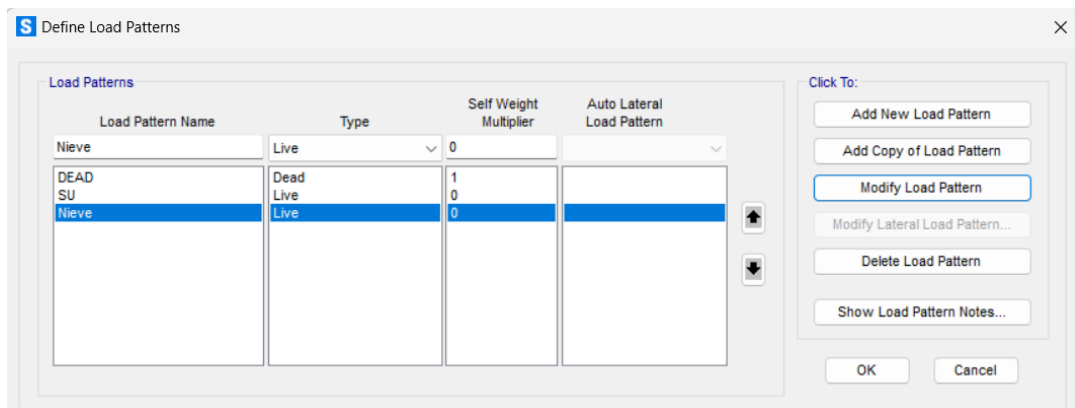


Figura 76. Modificación del patrón de nieve.

Para crear las combinaciones de carga seguiremos los mismos pasos comentados antes en este apartado. La figura 77, muestra la lista de con todas las combinaciones de carga creadas.

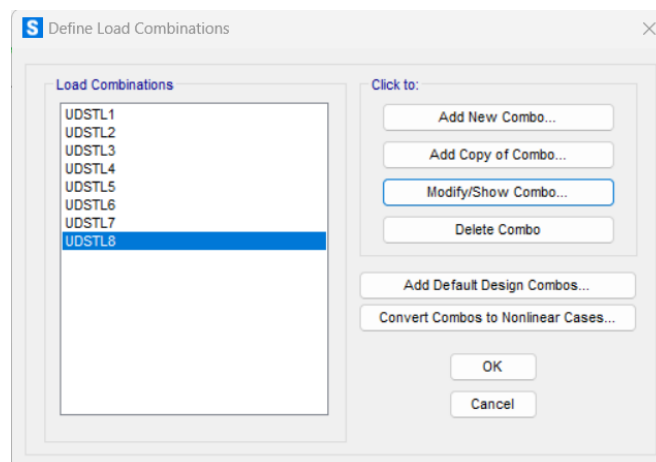


Figura 77. Lista final de las combinaciones de carga Nieve y DEAD.

## Auto-dimensionado del pórtico central de una nave industrial con SAP2000.

Ya solo falta cambiar los factores de escala, para ello, tenemos que ir seleccionando cada combinación de carga y hacer clic en “*Modify/Show Combo*”. En la tabla 18, se muestran las combinaciones y casos de carga junto con sus correspondientes factores de escala.

Combinaciones/Patones	SU	Nieve	DEAD
UDSTL5	0	0	1,35
UDSTL6	0	0,9	1,35
UDSTL7	0	0	1
UDSTL8	0	1	1

Tabla 17. Factores de carga de las combinaciones de carga (UDSTL5...UDSTL8).

Ya solo nos falta aplicar la carga de nieve sobre la cubierta. Para ello, seleccionamos las barras inclinadas y haremos clic en “*Assing*” → “*Frame Loads*” → “*Distributed*”. En el capítulo 4, cometamos como se obtenían todas las cargas, así como la dirección de aplicación de cada una. La nieve se puede modelar como una carga vertical que actúa en dirección de la gravedad. La figura 78, muestra el resultado de la aplicación de la carga de nieve sobre la estructura.

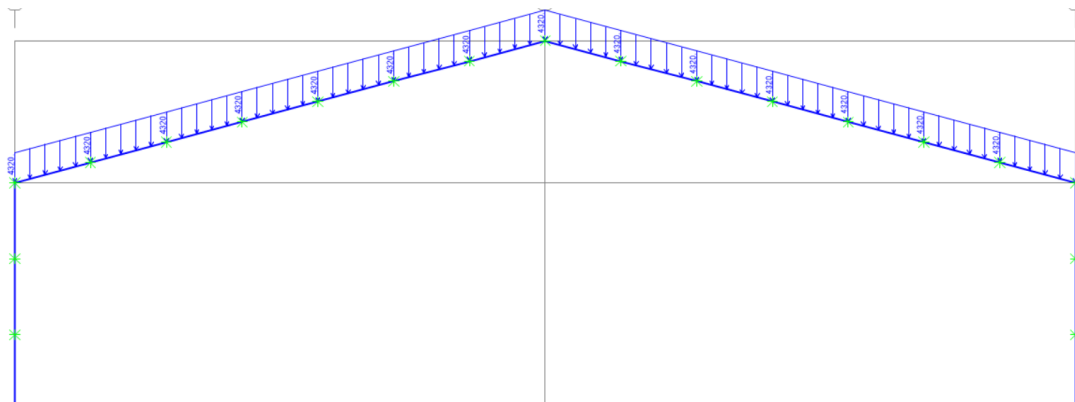


Figura 78. Modelado de la carga de nieve sobre la cubierta.

Solo falta lanzar el cálculo, para ello pulsaremos en el icono (▶). Para ahorrar esfuerzo computacional y posibles errores seleccionamos el caso de carga “SU” y hacemos clic en “*Run/Do Not Run Case*” para posteriormente lanzar el cálculo haciendo clic en la herramienta (I).

### 5.16. Análisis del resultado de carga de nieve.

La figura 79, muestra el dimensionado del pórtico debido a la acción simultanea de la carga de nieve y peso propio de la estructura. En concreto, esta dimensionado para la combinación de carga UDSTL6. Si lo comparamos con el apartado 5.14, podemos acreditar que al aplicar una carga de mismo sentido y dirección que la carga de SU pero con un valor numérico inferior, el dimensionado del perfil del pórtico deberá ser menor. La figura 79, muestra el resultado del dimensionamiento de la carga de nieve y peso.

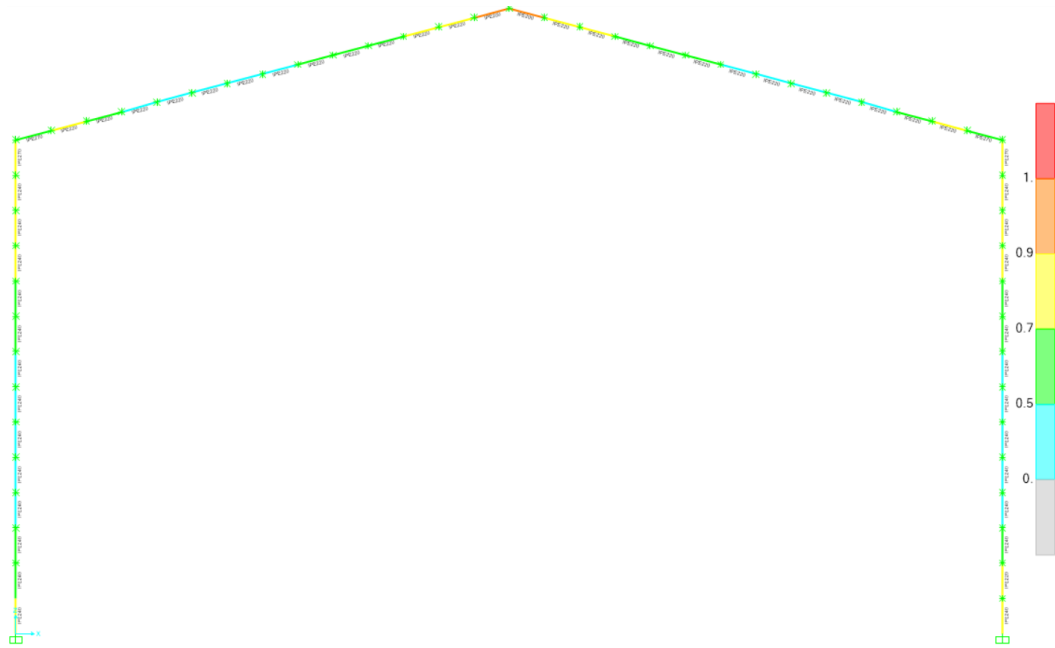


Figura 79. Resultado del dimensionamiento de las combinaciones de carga Nieve y DEAD.

Al igual que hemos hecho en el apartado 5.14, vamos a comentar la union de los distintos grupos creados en SAP2000

En primer lugar empezamos por la base del pilar, al ser una carga simetrica el estado tensional sometido en un pilar es el mismo que el otro pilar. En la figura 80, se observa que, la combinacion de dimensionamiento UDSTL6 no es tan critica para tener que reforzar el pilar de la base con rigidizadores... ademas al tratarse de una carga 2000 N/m menor que la carga de SU, si para esa carga no se requeria ese refuerzo, en este caso de nieve aun menos.



Figura 80. Dimensionamiento del perfil en los grupo R.Pilar y Pilares.

## Auto-dimensionado del pórtico central de una nave industrial con SAP2000.

La figura 81, muestra la union de los grupos: “Cartela”, “Cercha” y “Pilares”. Al igual que sucede con la carga de SU, vemos que el tramo redondeado en azul perteneciente al elemento estructural cercha posee un mayor perfil (IPE270) que el resto del elemento (IPE220), esto se debe porque es el punto de maximo momento flector lo que se traduce en maximas tensiones y por tanto la implementacion de cartelas nos permitiria rigidizar la estructura y aliviar tensiones en ese punto.

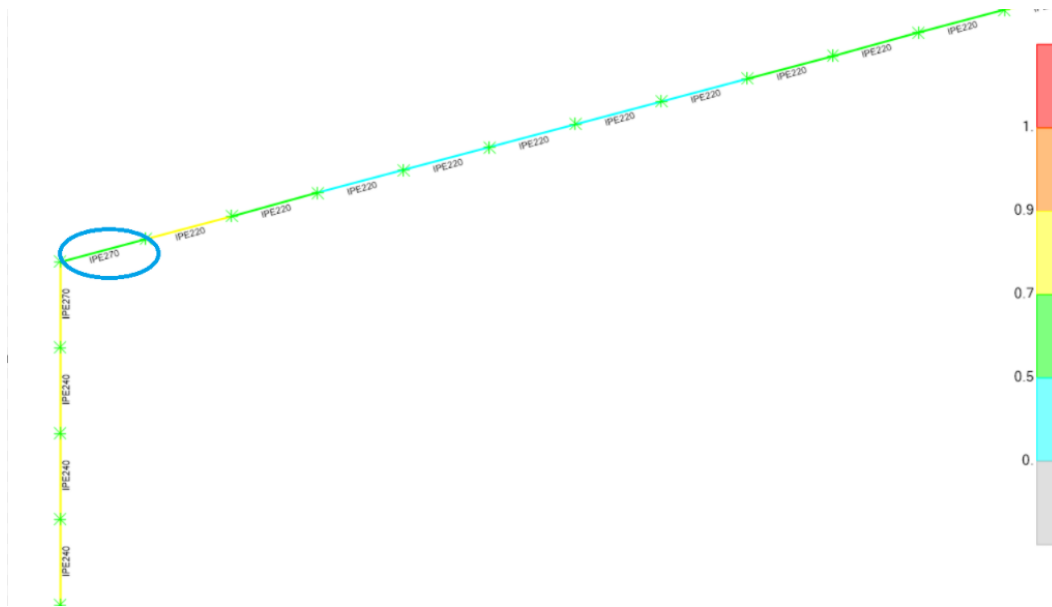


Figura 81. Dimensionamiento de los perfiles pertenecientes a los grupos: Pilares, Cartela, Cercha.

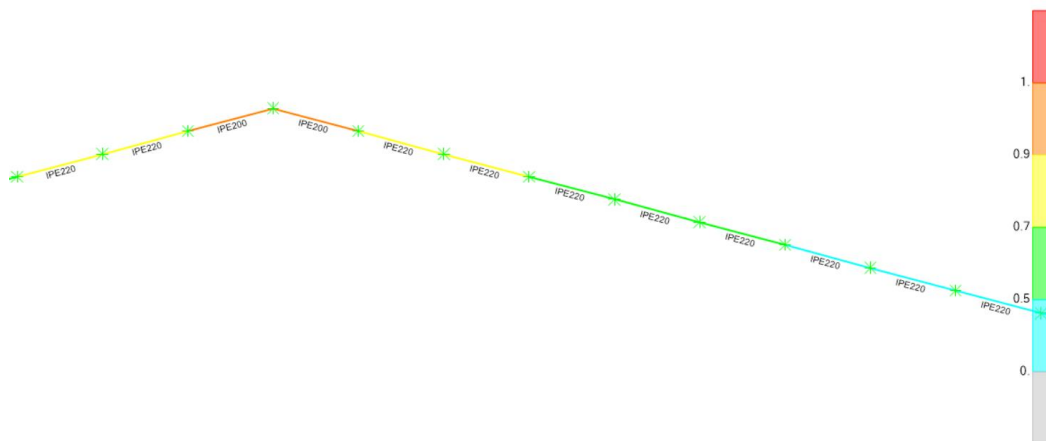


Figura 82. Dimensionamiento de los perfiles asignados a los grupos Dintel y Cercha.

La figura 82, muestra el dimensionamiento de los grupos “Cerchas” y “Dintel”. El primero de ellos es un IPE220 mientras que el segundo IPE200. Podemos observar el color naranja asignado a las barras del grupos “Dintel” fijandonos en la escala de aprovechamiento esta al limite (0,9 y 1), de modo que podemos concluir que esa reduccion del perfil en ese tramo sería llevar el perfil al limite, de modo que la mejor opcion sería contruirles tambien con un IPE220.

Si obtenemos el diagrama de momentos, figura 83, vemos que de nuevo el punto mas solicitado es la union del pilar con la cercha con un valor de RATIO de 0,765, siguiendo la union del pilar con el apollo con un RATIO de 0,763. Al ser ambos



menores de 0,95 podemos afirmar que los perfiles calculados por SAP2000 para este caso de carga son una buena solución.

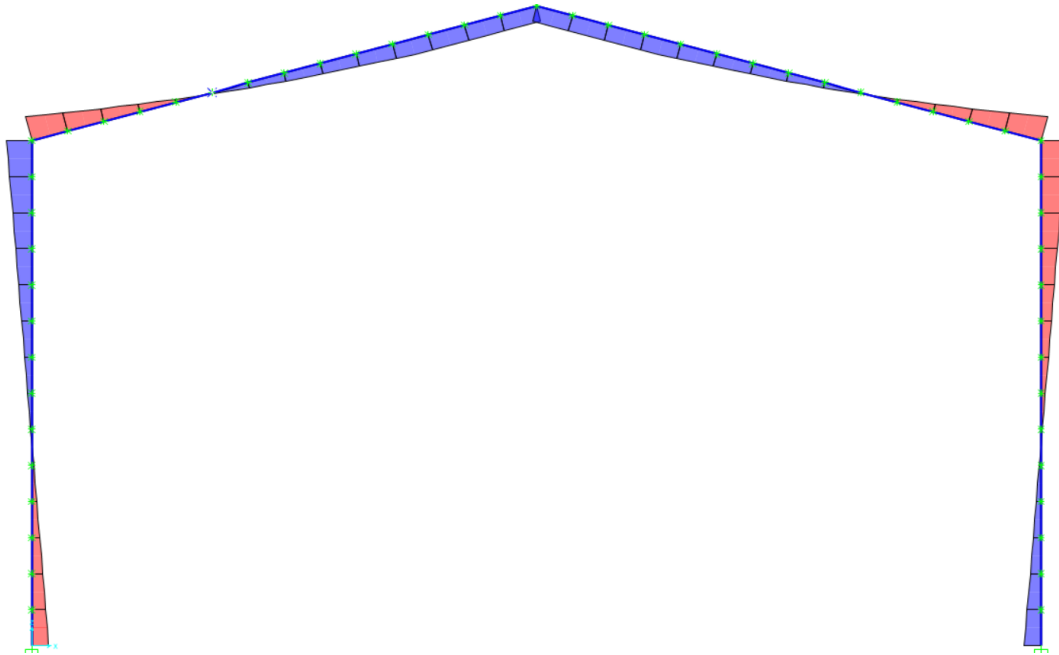


Figura 83. Diagrama de momentos flectores sobre el pórtico (UDSTL6).

Si miramos la deformada y los desplazamiento verticales y horizontales vemos que son del orden 0,05 m y 0,04 m respectivamente.

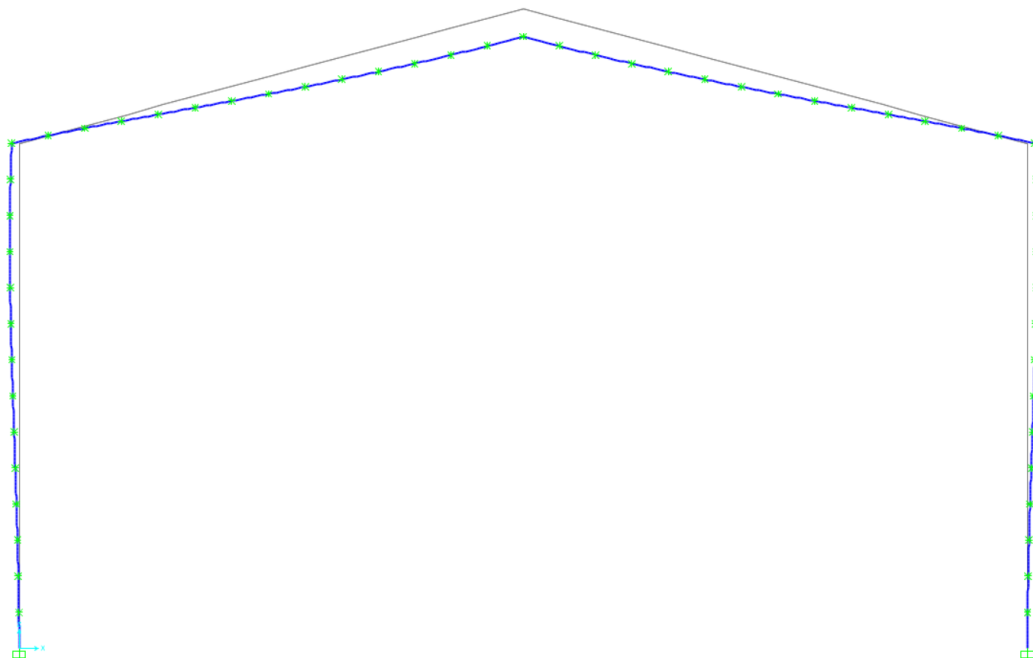


Figura 84. Deformada e indeformada para la combinación de carga UDSTL6.

### 5.17. Creación/Combinación/aplicación carga de viento1.

En el Capítulo IV, establecimos como obtener las cargas de viento suponiendo la incidencia del viento en uno de las fachadas laterales de la nave. En la tabla 14, se mostró todas las fuerzas ejercidas por el viento tanto presión como succión sobre la estructura. De modo que para modelar la influencia del viento en la estructura tenemos elegir una combinación de las diferentes fuerzas de viento sobre la estructura y aplicarlo en SAP2000. La figura 85, muestra una primera configuración de la acción del viento.

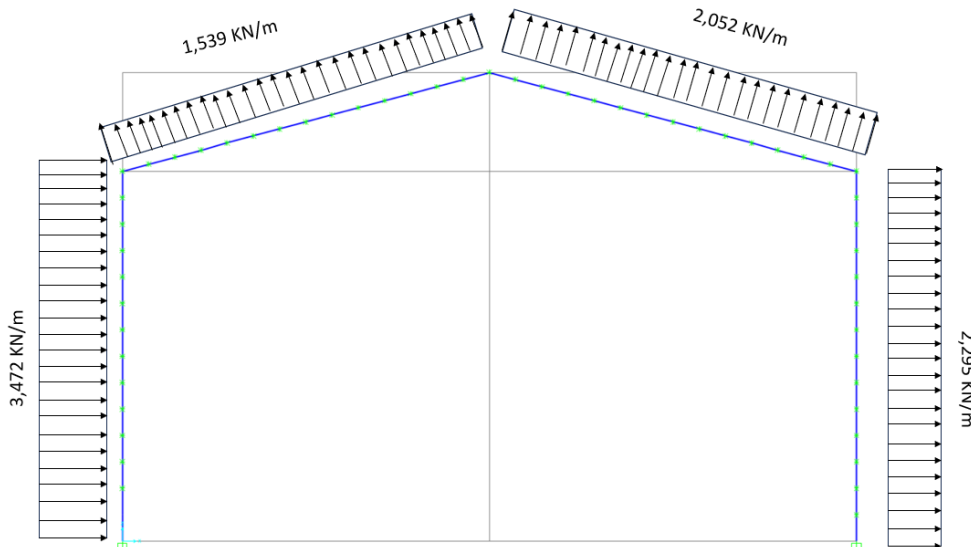


Figura 85. Modelado de la carga de viento1 sobre la estructura.

Al tratarse de una nueva carga tenemos que crear un nuevo patrón de carga. La figura 86, muestra el resultado final de este nuevo patrón. Como la carga es de viento en el seleccionable “*Type*” asignamos “*Wind*”. Se puede apreciar que al seleccionar “*Wind*” se ha habilitado un nuevo desplegable denominado “*Auto Lateral Load Pattern*”. Esta opción hace referencia a la norma que edificación del lugar donde se encuentra la estructura, en nuestro caso, seleccionamos “Eurocode1 2005”.

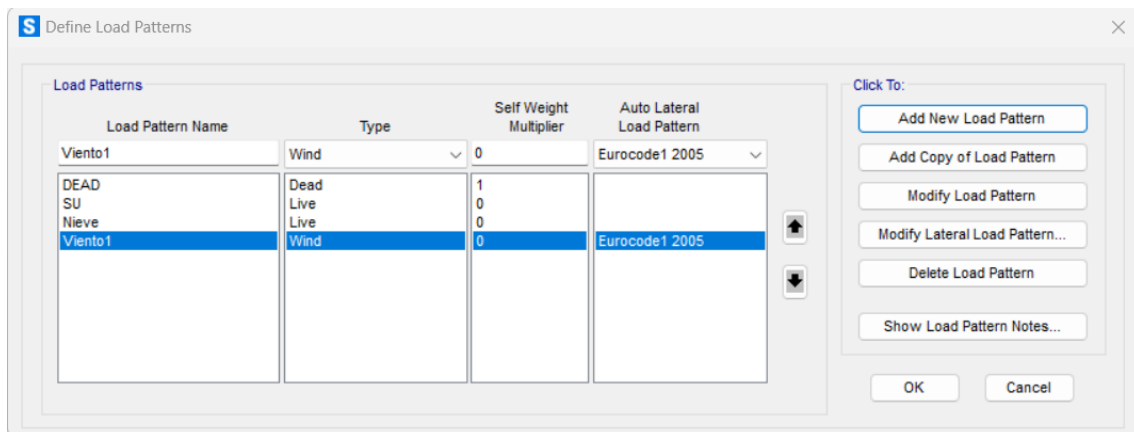


Figura 86. Creación del patrón de carga Viento1.

Como ya hemos creado el patrón el siguiente paso es crear las combinaciones de cargas. A diferencia de otras veces, ahora vamos a combinar los tres casos de carga

(Nieve, DEAD y Viento1) de esta forma obtenemos la combinación de carga más desfavorable que soporta el pórtico. Para que el programa cree la combinación de cargas de forma automática y empleando factores de escala tipificados de nuevo nos dirigimos al menú “Define” → “Load combinations” → “Add Default Design Combos”. Como se ha comentado y se aprecia en la figura 87, no se puede dar la simultaneidad de las cargas de viento, nieve y sobreuso, de modo que dicho caso de carga no se va a combinar con el resto.

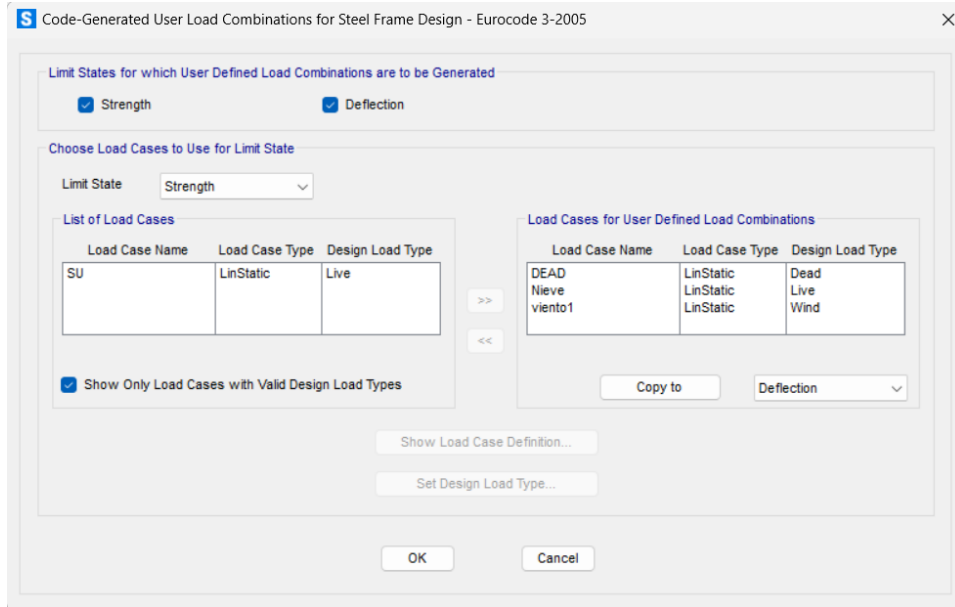


Figura 87. Configuración para crear las combinaciones de carga (Viento1, DEAD, Nieve).

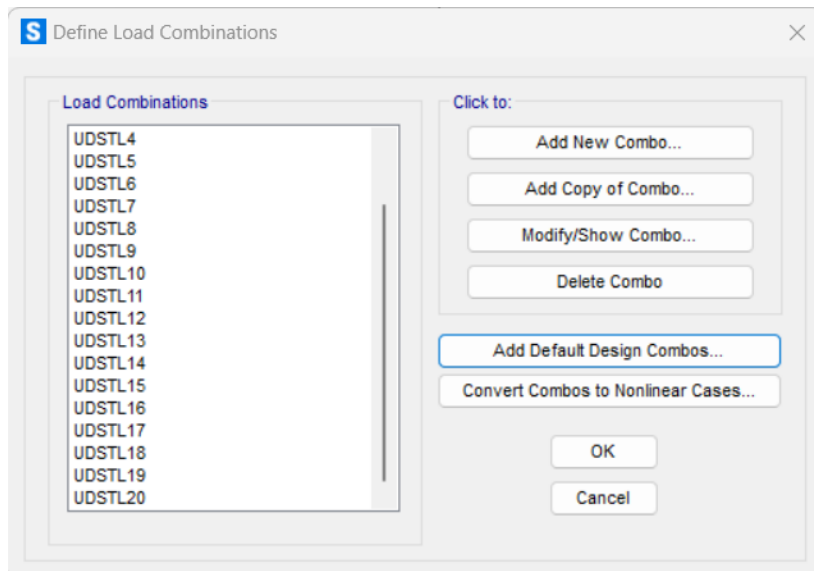


Figura 88. Lista de las nuevas combinaciones de carga (DEAD, Nieve y Viento1).

Como se aprecia en la figura 88, se han creado doce nuevas combinaciones de carga. Debido al error de SAP2000 con el caso de nieve, debemos modificar el factor de escala a 0,9 del caso de carga de nieve en todas las combinaciones de carga. La tabla 18, muestra los factores de escala de los distintos casos de carga asociados a cada combinación. Como se observa, algunas combinaciones de carga “Viento1”, el

Auto-dimensionado del pórtico central de una nave industrial con SAP2000.

factor de escala es negativo. Un factor de escala negativo equivale a cambiar el sentido de aplicación de la carga, en el caso de viento, un factor de escala negativo implica que las cargas definidas a presión se invierten a succión y viceversa.

	DEAD	Nieve	Viento1	SU
UDSTL9	1,35	-	-	-
UDSTL10	1,35	0,9	-	-
UDSTL11	1,35	0,9	0,9	-
UDSTL12	1,35	0,9	-0,9	-
UDSTL13	1,35	0,9	1,5	-
UDSTL14	1,35	0,9	-1,5	-
UDSTL15	1,35	-	1,5	-
UDSTL16	1,35	-	-1,5	-
UDSTL17	1	-	1,5	-
UDSTL18	1	-	-1,5	-
UDSTL19	1	-	-	-
UDSTL20	1	1	-	-

Tabla 18. Factores de carga de las combinaciones de carga (UDSTL9, ...UDSTL20).

Para aplicar las cargas sobre el pórtico tenemos que seleccionar cada elemento estructural por separado ya que están sometidos a solicitaciones diferentes. Si seleccionamos el pilar izquierdo y nos dirigimos al menú “Assign” → “Frame Loads” → “Distributed”, se abrirá una ventana, tras configurar el valor de la carga y el caso de carga al que este asignado, “Viento1”, tenemos que cambiar en el desplegable “Load Direction” el eje x, para que la carga se proyecte de forma perpendicular al pilar. La figura 89, muestra la ventana de asignación de la carga de viento sobre el pilar izquierdo del pórtico.

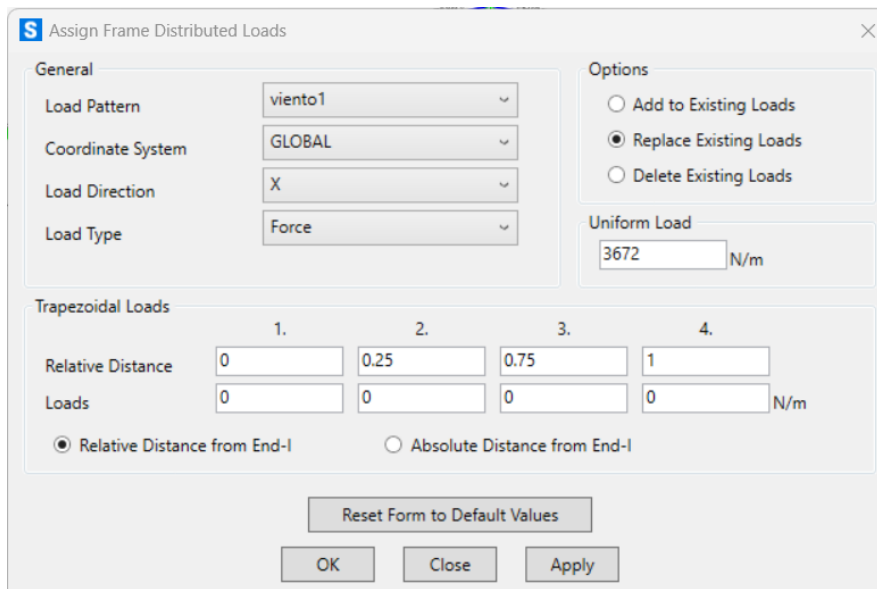


Figura 89. Configuración de la asignación de la carga de viento1 al modelo. (Pilares).

Tenemos que repetir la misma operación, pero con distinto valor numérico en el otro pilar.

Para aplicar perpendicularmente la carga de viento en la cercha tenemos que cambiar la opción “GLOBAL” en el desplegable “Coordinate System” a “Local” de esta manera estamos trabajando con los ejes locales de la barra y no los ejes globales del modelo. “Load Direction” muestra la dirección de los “ejes locales” de la barra siendo estos 1,2,3, es decir, Eje X, Eje Y, y Eje Z respectivamente de cada barra. La figura 90, muestra la aplicación de la carga de viento sobre el alero izquierdo.

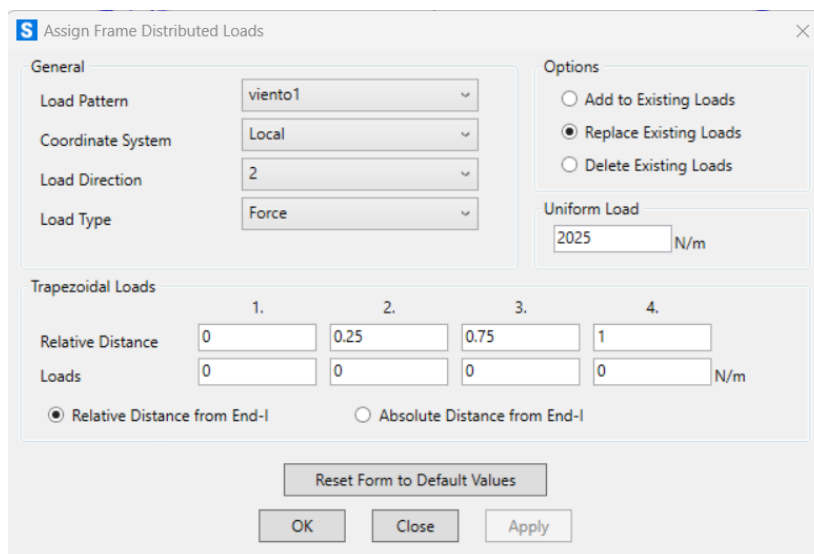


Figura 90. Configuración de la asignación de la carga de viento1 al modelo. (Cubierta).

Repetiremos la operación para el otro alero y el otro pilar, pero cambiando el valor numérico de la carga para cada elemento estructural del pórtico. Una vez realizado la aplicación de las cargas, el modelo en SAP2000 deberá ser similar al de la figura 91. Una vez aplicada las cargas lanzaremos el cálculo del perfil.

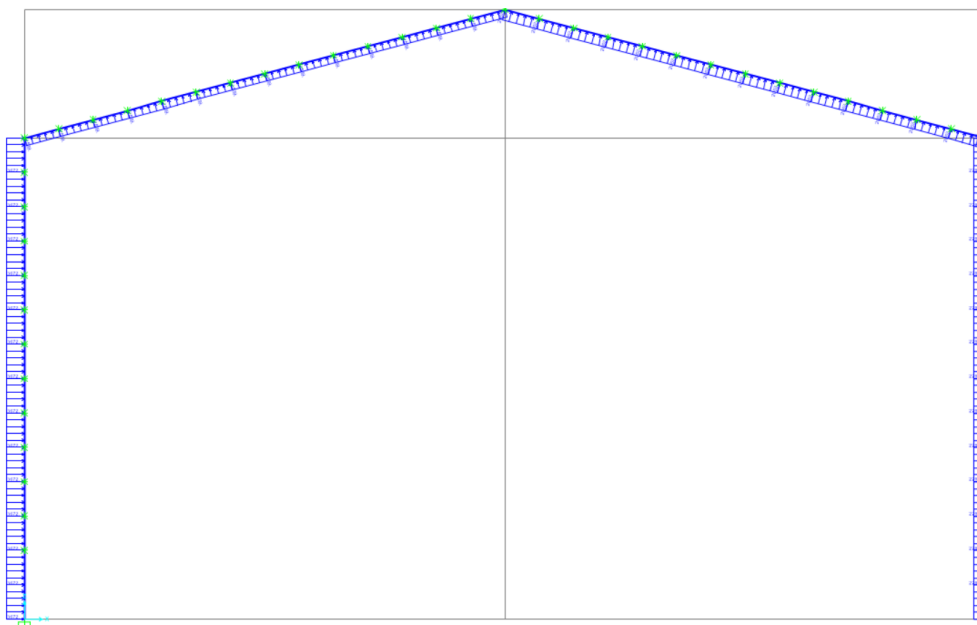


Figura 91. Resultado de la aplicación de la carga de viento1 al modelo.

### 5.18. Análisis de la combinación de viento1, Nieve, DEAD.

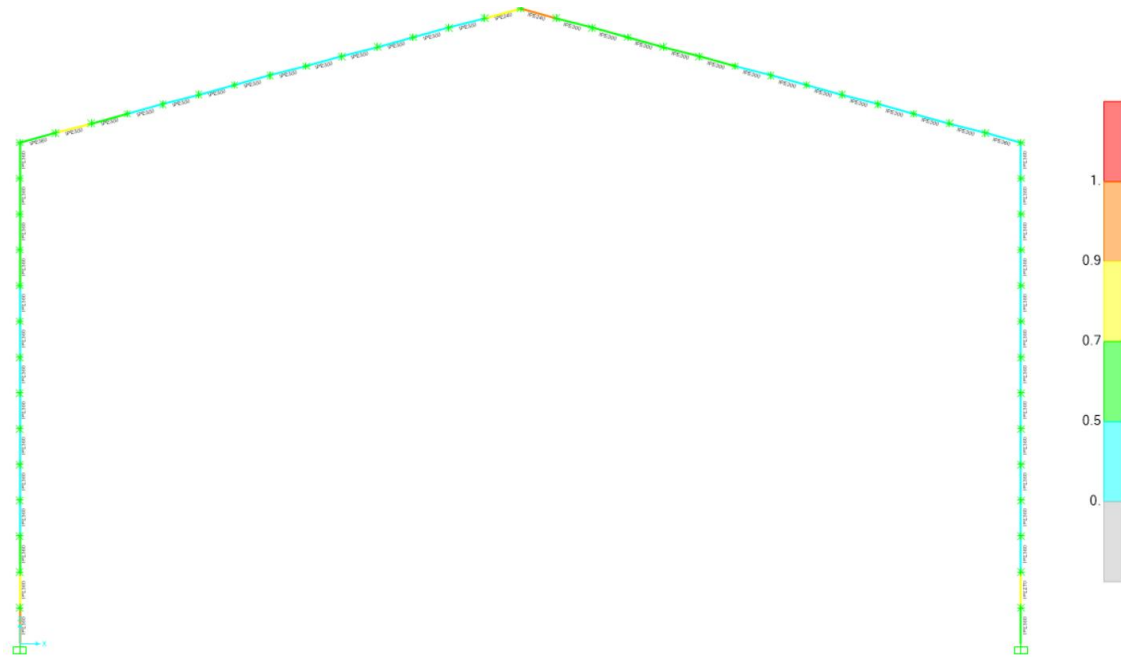


Figura 92. Resultado del dimensionamiento del pórtico (DEAD, Nieve y Viento1).

Cuando finalice el cálculo, SAP2000 muestra los perfiles de cada grupo que componen el pórtico. Si hacemos clic derecho sobre una de las barras nos indica la combinación de carga más desfavorable para la cual a dimensionado el pórtico, en este caso, se trata de la combinación UDSTL14. Esta combinación de cargas incluye los casos de carga “DEAD”, “Nieve” y “Viento1”. La combinación UDSTL14, lleva asociado un factor de escala negativo al caso de carga “Viento1”. Por eso esta combinación de carga es la más crítica, ya que sobre la “cubierta” actúan en dirección de la gravedad los casos de carga de nieve, viento (debido al factor negativo) y propio peso.

Antes de analizar, los tramos más relevantes del pórtico, tenemos que obtener el diagrama de momentos flectores, ya que la combinación de carga de diseño del pórtico no es simétrica y necesitamos saber las zonas más solicitadas.

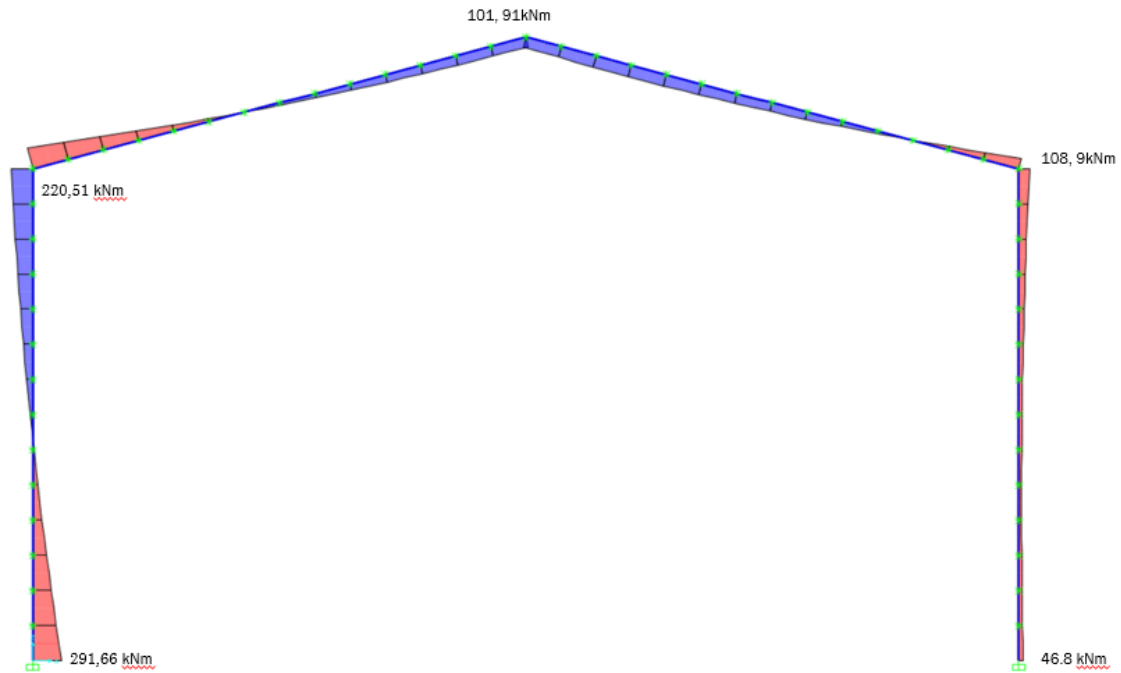


Figura 93. Diagramas de momentos flectores (UDSTL14).

Como vemos en la figura 93, el lado más solicitado es el lado de incidencia del viento (lado izquierdo), también nos damos cuenta que el punto de máximo momento es la unión del pilar con el apollo izquierdo, el siguiente punto más solicitado es la unión del pilar con la cercha. De modo que son esos puntos los más críticos.

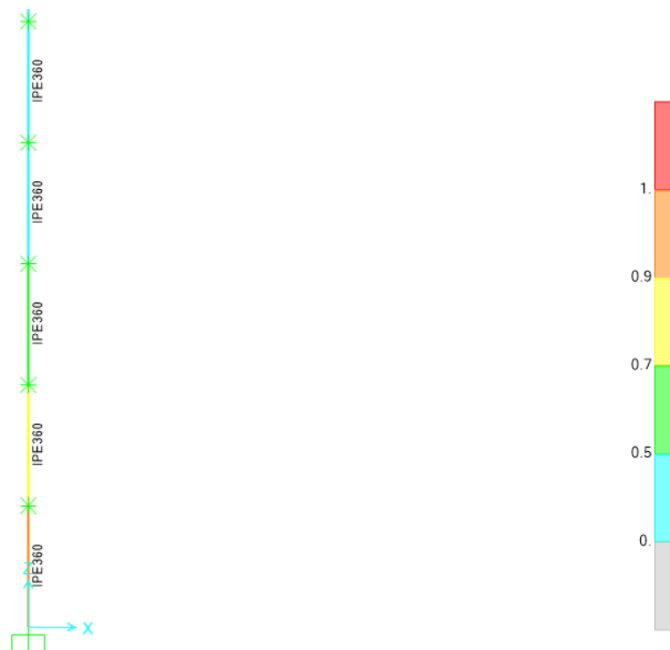
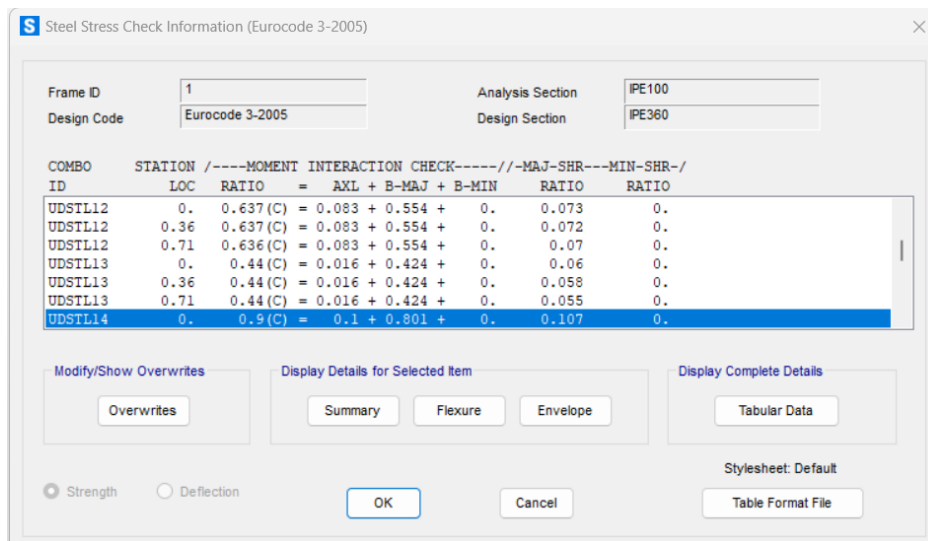


Figura 94. Dimensionamiento de los perfiles pertenecientes a los grupos R.Pilares y Pilares (DEAD, Viento1,Nieve).

La figura 94, muestra el resultado del dimensionamiento del perfil de los grupos “Pilar” y “R.pilar”. Podemos observar que el primer tramo perteneciente al grupo “R.pilar” es un IPE360 con un rendimiento alto. Este aprovechamiento del perfil proviene ya que es el punto de máximo momento y por tanto de máximas tensiones. Por otro lado, al tratarse de una estructura alta tiene que contrarrestar el movimiento

## Auto-dimensionado del pórtico central de una nave industrial con SAP2000.

horizontal que se produce por la succión de viento en la parte superior del pilar izquierdo mas el desplazamiento provocado por las cargas de la cubierta, que tienden a compromir la estructura. Por eso, este tramo tiene un mayor aprovechamiento, que este tramo del pórtico tenga un aprobecamiento/ rendimieto alto no significa que la estructura colapse, ya que sino SAP2000 hubiese asignado a ese tramo un IPE400. Ademas el ratio es de 0,9 luego el elemeto “resiste”. La figura 95, muestra el ratio es decir el desgaste que sufre ese perfil según los esfuerzos internos, podemos ver, que el esfuerzo que mas desgasta el perfil es debido a la contribucion de los momentos flectores (0,801) mientras que la contribucion de los axiles es muy pequeña (0,1).



COMBO ID	STATION LOC	----MOMENT RATIO	INTERACTION CHECK =	AXL + B-MAJ + B-MIN	---MAJ-SHR---MIN-SHR-// RATIO	RATIO
UDSTL12	0.	0.637 (C)	=	0.083 + 0.554 + 0.	0.073	0.
UDSTL12	0.36	0.637 (C)	=	0.083 + 0.554 + 0.	0.072	0.
UDSTL12	0.71	0.636 (C)	=	0.083 + 0.554 + 0.	0.07	0.
UDSTL13	0.	0.44 (C)	=	0.016 + 0.424 + 0.	0.06	0.
UDSTL13	0.36	0.44 (C)	=	0.016 + 0.424 + 0.	0.058	0.
UDSTL13	0.71	0.44 (C)	=	0.016 + 0.424 + 0.	0.055	0.
UDSTL14	0.	0.9 (C)	=	0.1 + 0.801 + 0.	0.107	0.

Figura 95. Combinación de diseño (DEAD, Viento1, Nieve).

Al igual que en las otras combinaciones de carga, se puede observar en la figura 96, que la implemetacion de cartelas ayudaria a rigidizar la estructura y liberar tensiones para que el elemento estructural cercha sea de un IPE300.

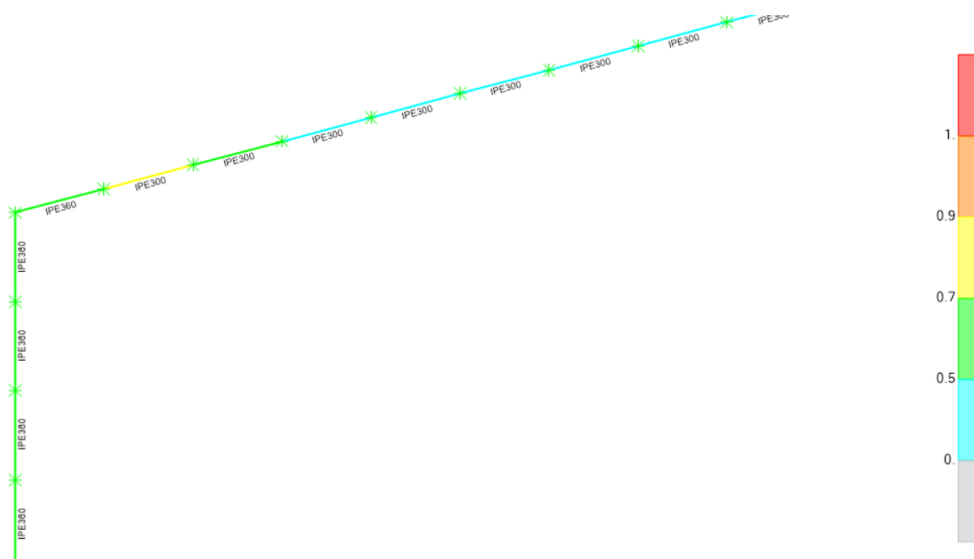


Figura 96. Dimensionamiento de los perfiles del grupo: Cartelas, Cercha y Pilar.





## Auto-dimensionado del pórtico central de una nave industrial con SAP2000.

la combinación de la carga de nieve más peso y viento de la cubierta que tienden a comprimir la cubierta y por tanto flexionar los pilares, es por esto, que el aprovechamiento del primer tramo del pilar izquierdo es mayor.

### 5.19. Creación/Combinación/aplicación carga de viento2.

Como la carga de viento puede actuar sobre la estructura de diferentes maneras, debemos estudiar más de una combinación de las cargas de viento. La figura 99, muestra la configuración de “viento2” sobre la estructura.

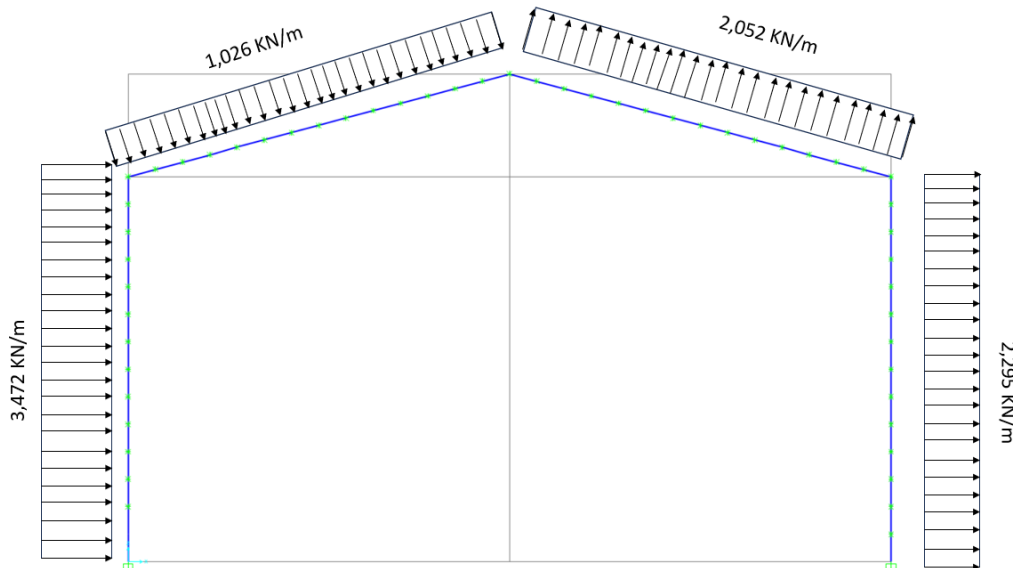


Figura 99. Modelado de las cargas de Viento2.

Para no repetir los mismos pasos del apartado 5.19, optaremos por enseñar la configuración de los cuadros de diálogos más importantes.

En primer lugar, tenemos que crear el nuevo patrón de carga “Viento2” como en la figura 100.

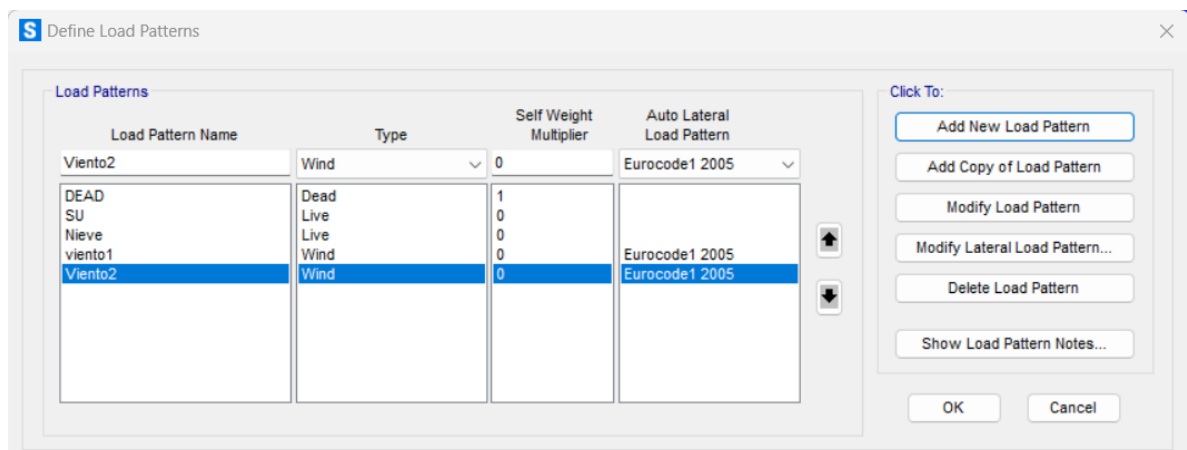


Figura 100. Creación del patrón de carga Viento2.

Para la combinación de las cargas debemos recordar no seleccionar el caso de carga “Viento1” y SU, ya que solo debe actuar sobre la estructura un caso de carga de viento. Esto lo podemos observar en la figura 101.

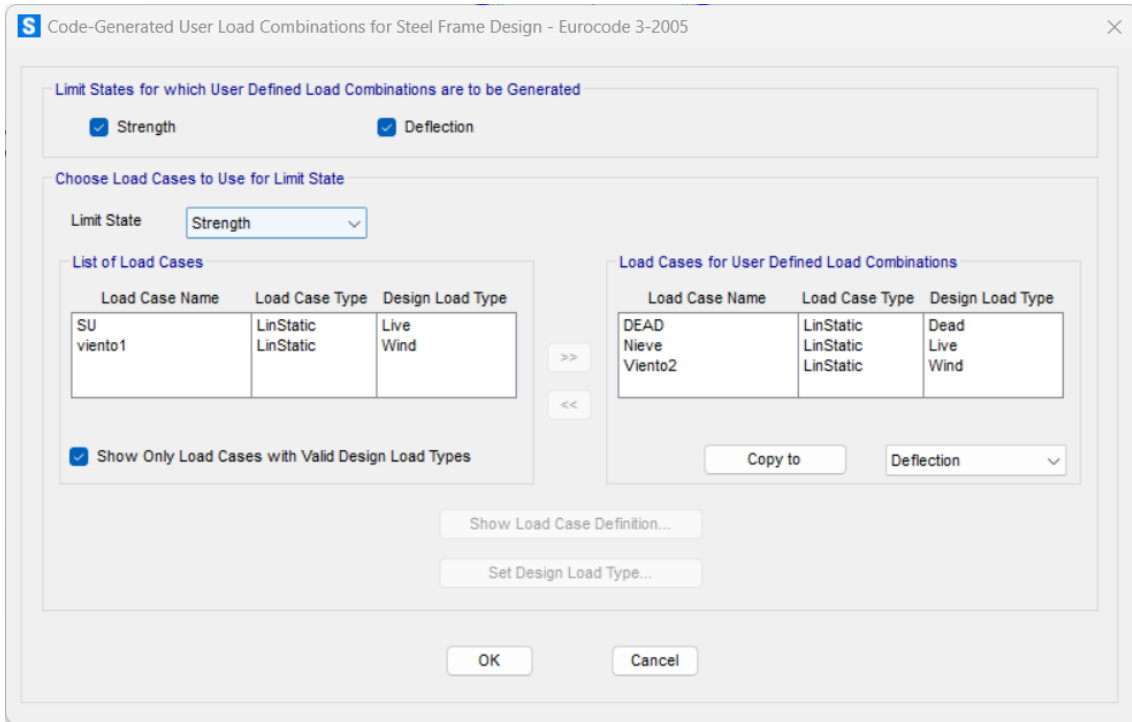


Figura 101. Creación de las combinaciones de carga (DEAD, viento2 y Nieve).

Se han creado doce nuevas combinaciones de carga (UDSTL21,...,UDSTL32). Como antes tenemos que modificar los factores de escala del caso de carga de nieve. La tabla 20, muestra los factores de escala para los distintos patrones de carga.

	DEAD	Nieve	Viento1	SU
UDSTL21	1,35	-	-	-
UDSTL22	1,35	0,9	-	-
UDSTL23	1,35	0,9	0,9	-
UDSTL24	1,35	0,9	-0,9	-
UDSTL25	1,35	0,9	1,5	-
UDSTL26	1,35	0,9	-1,5	-
UDSTL27	1,35	-	1,5	-
UDSTL28	1,35	-	-1,5	-
UDSTL29	1	-	1,5	-
UDSTL30	1	-	-1,5	-
UDSTL31	1	-	-	-
UDSTL32	1	1	-	-

Tabla 19. Factores de carga de las combinaciones de carga (UDSTL21...UDSTL32).

La figura 102, muestra la aplicación de las cargas sobre la estructura. La aplicación de las cargas a la estructura es igual que en caso de carga “Viento1” pero con diferente valor numérico y sentido de aplicación.

## Auto-dimensionado del pórtico central de una nave industrial con SAP2000.

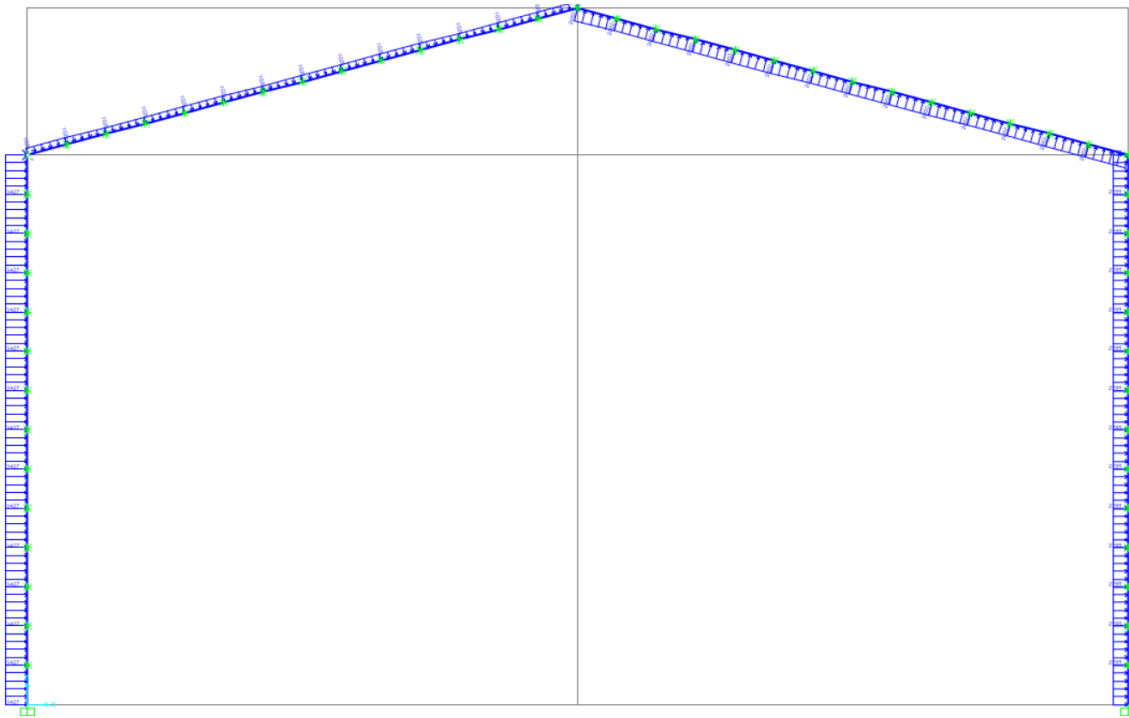


Figura 102. Aplicación de la carga de viento2 sobre el pórtico.

Solo falta ejecutar el cálculo, para evitar esfuerzo computacional al programa, indicamos a SAP2000 que el patrón de carga “Viento1” y “SU” no se van a analizar, figura 103. Tras esto lanzaremos el cálculo de la estructura (I).

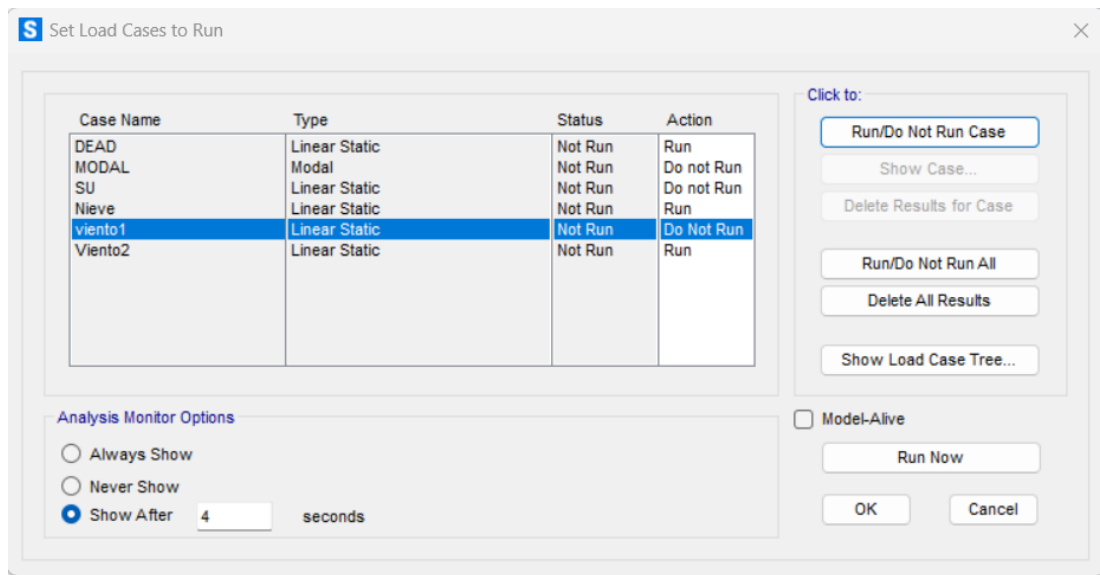


Figura 103. Configuración del lanzamiento del cálculo.

### 5.20. Análisis de la combinación de viento2, Nieve y DEAD.

La figura 104, muestra el resultado de la aplicación conjunta de las cargas de nieve, peso propio y viento2. De nuevo, la combinación de dimensionamiento de los pilares es la suma de los casos de carga de “Nieve”, “DEAD” y “Viento2” (UDSTL26), mientras que el dimensionado de las cerchas es la combinación UDSTL25, que engloba los mismos casos de carga que la combinación UDSTL26, pero con un factor de escala positivo en el caso de carga “Viento2”, es decir, en las cerchas actúan en la misma dirección del peso propio de la estructura, la nieve y el viento (UDSTL25).

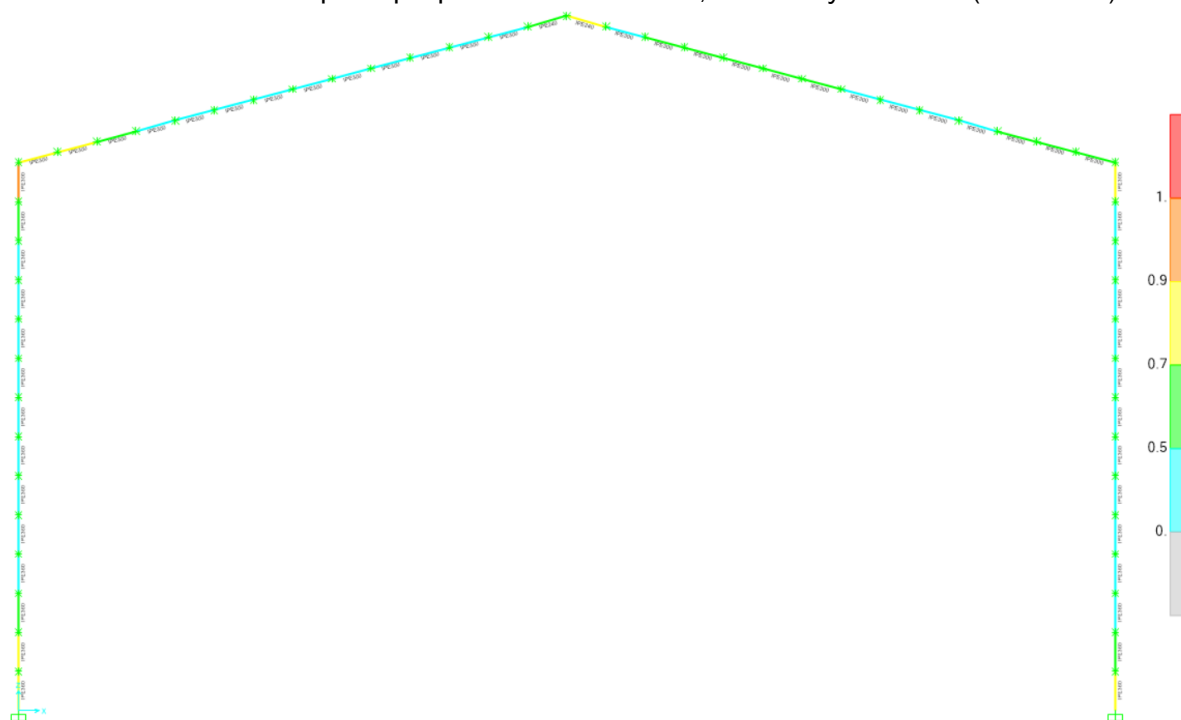


Figura 104. Resultado del dimensionamiento del pórtico (DEAD, Nieve, viento2).

De nuevo, la acción de viento no es una carga simétrica. Debemos obtener los diagramas de esfuerzos y tensiones para la combinación de diseño UDSTL26. De nuevo, la zona izquierda del pórtico es la más solicitada, debemos recordar que, aunque por ejemplo el pilar izquierdo es el más solicitado los tramos que componen el pilar derecho están dimensionados para otra combinación de carga desfavorable para ese pilar que no tiene por qué ser la misma combinación de carga que el pilar izquierdo, lo que si debe ser el mismo es el perfil en ambos pilares ya que están asociados al mismo grupo, lo mismo sucede con las cerchas. Las imágenes 105 y figura 106, hace referencia al diagrama de momentos flectores y tensiones respectivamente

Auto-dimensionado del pórtico central de una nave industrial con SAP2000.

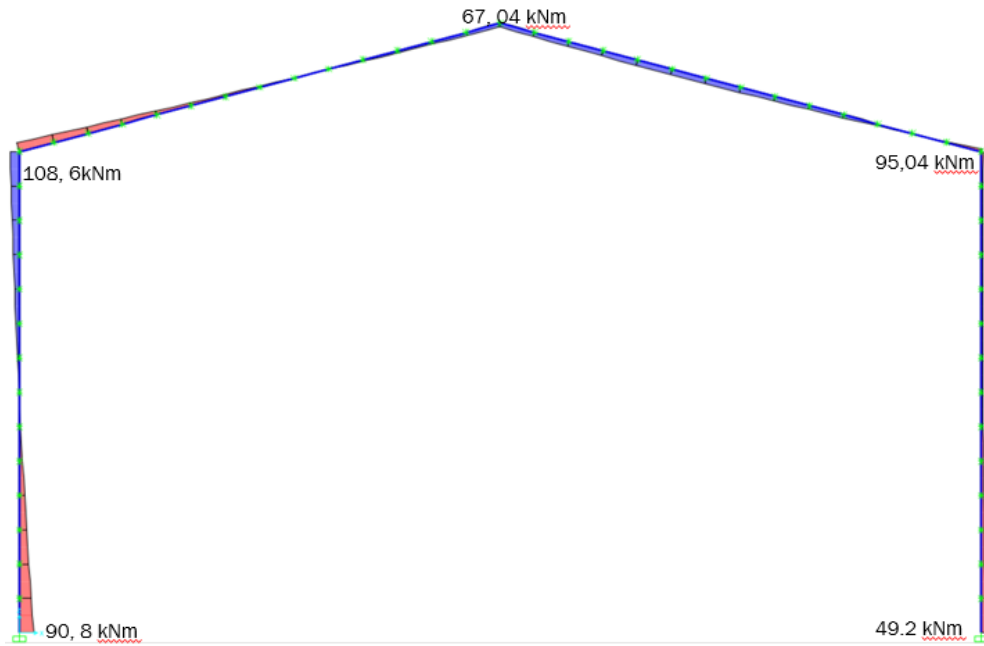


Figura 105. Diagrama de momentos flectores (UDSTL26).

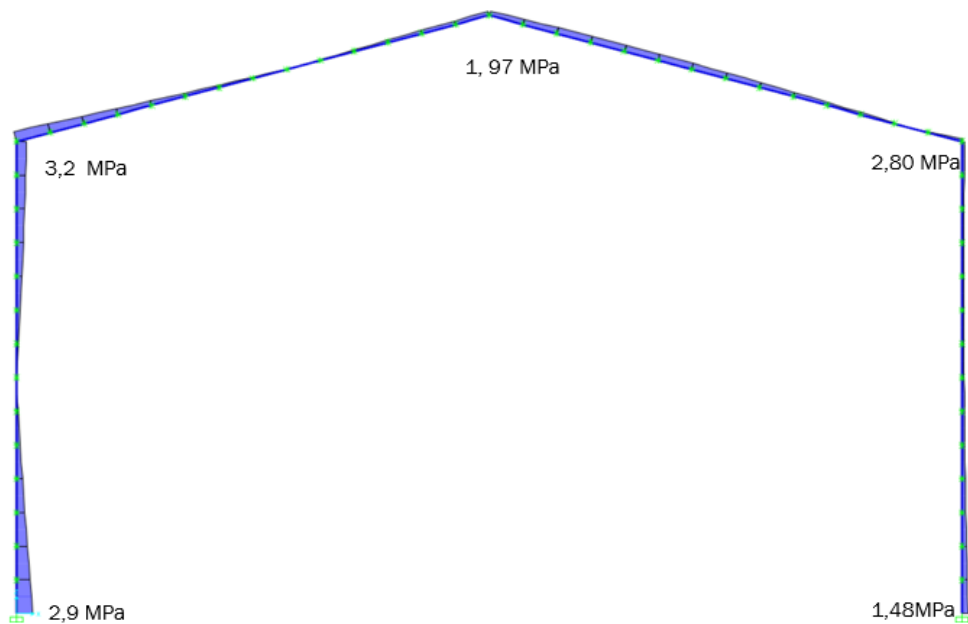


Figura 106. Diagrama de tensiones (UDSTL26).

La figura 107, muestra el dimensionado del pilar, al igual que en los otros casos el perfil calculado para el grupo "R,pilar" es el mismo que el del grupo "Pilar" un IPE360. Luego todo el pilar se realizará en un IPE360.

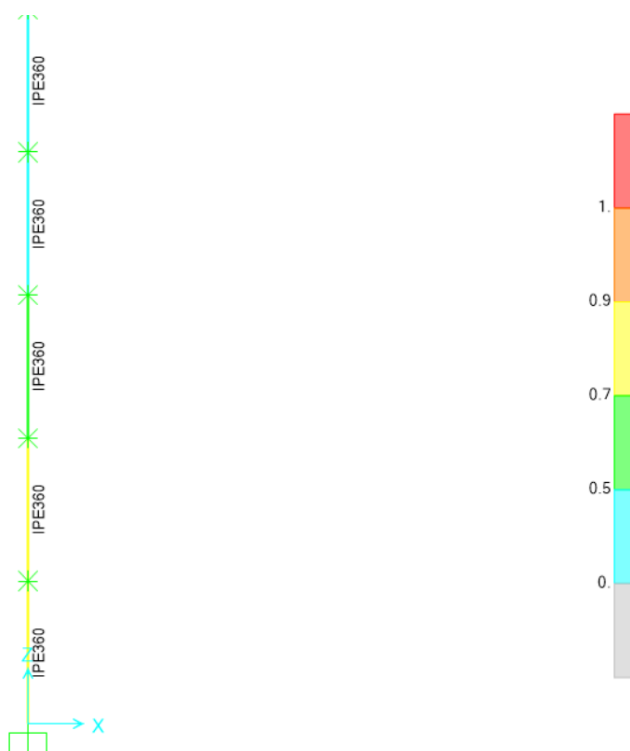


Figura 107. Dimensionamiento de los grupos Pilar y R.pilar. (DEAD, Viento2, Nieve).

La implementación de cartelas nos permite reducir el primer tramo de la cercha pasado de un IPE360 a un IPE300 de esta manera la cercha se realiza con un IPE300 como se aprecia en la figura 108.

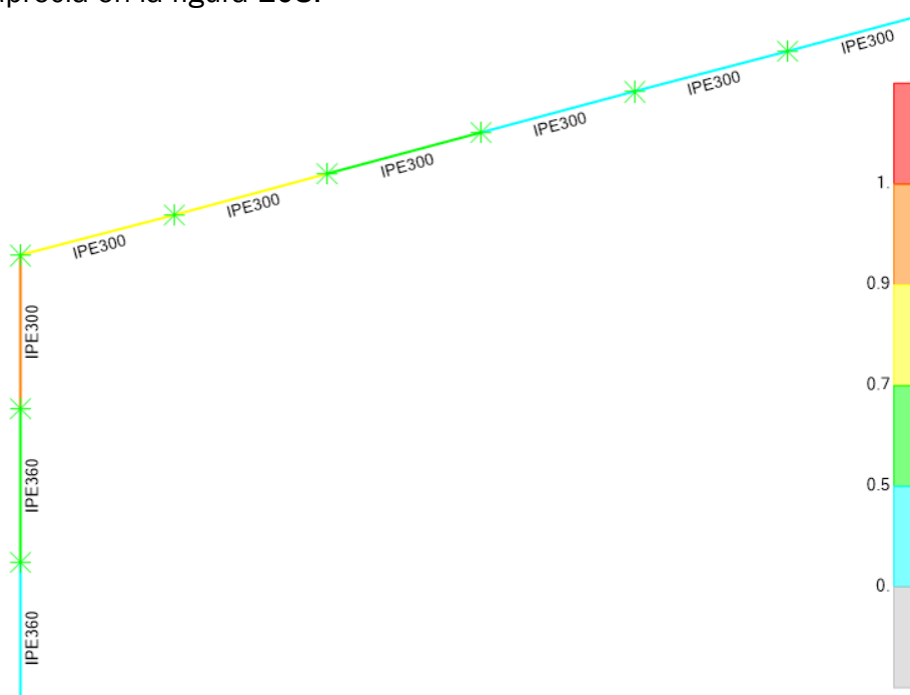


Figura 108. Dimensionamiento de los perfiles perteneciente a los grupos: Cartelas, Cercha y Pilar.

La figura 109, muestra el resultado de la deformada y de su indeformada para la combinación de carga UDSTL26. Aunque esta figura puede sugerir que hay grandes desplazamientos, estos desplazamientos son menores a 0,08 m, suficientes para cumplir con los ELS.

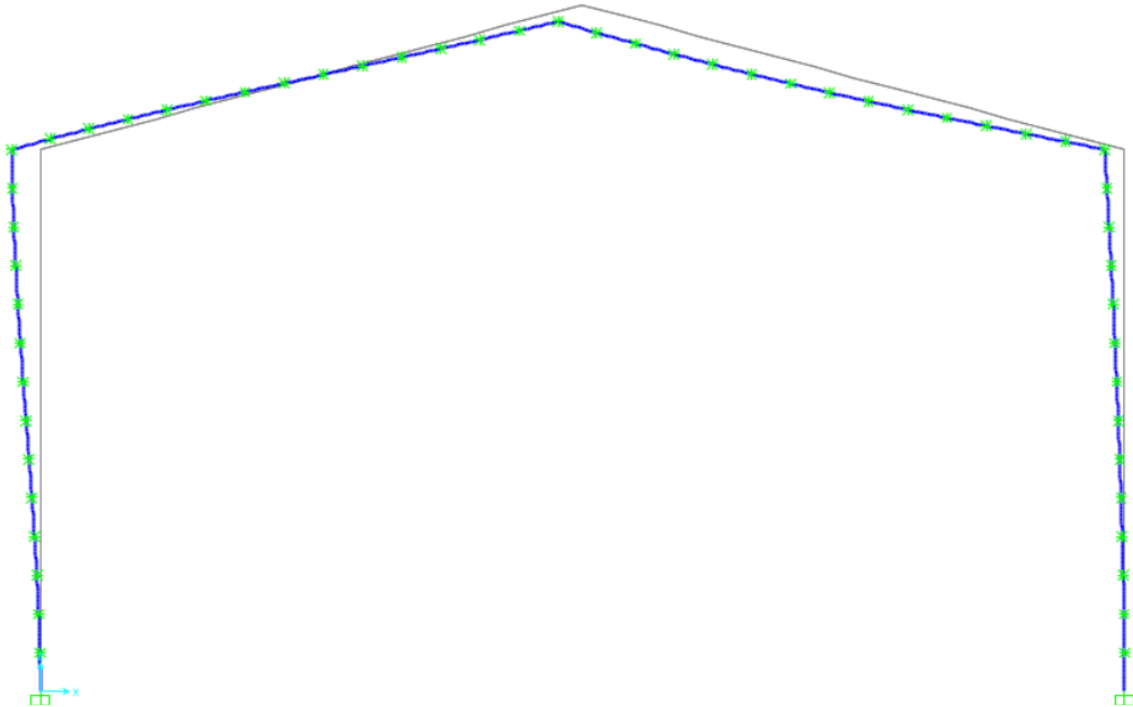


Figura 109. Deformada e indeformada (UDSTL26).

### 5.21. Análisis de todos los casos de carga.

En los anteriores apartados de este capítulo, hemos modelado y analizado los diferentes casos de carga que afectan al pórtico de manera individual. En este apartado, analizaremos todas las combinaciones de cargas creadas para así determinar la combinación de cargas más críticas para el dimensionado del pórtico. Para ello deberemos “correr” todos los casos de carga, como se muestra en la figura 110.

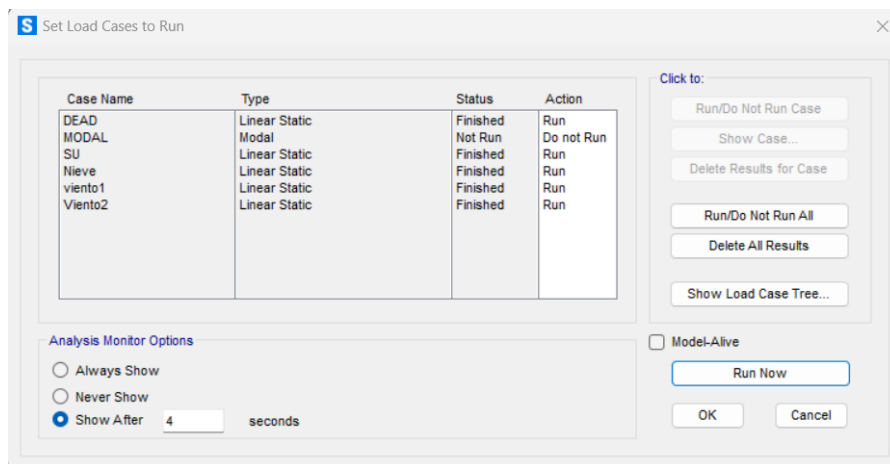


Figura 110. Configuración del lanzamiento del cálculo (todos los casos de carga).

Tras el cálculo y utilización de la herramienta de dimensionado de SAP2000 “*Start Steel Desing*”, el programa lanzará el cálculo.



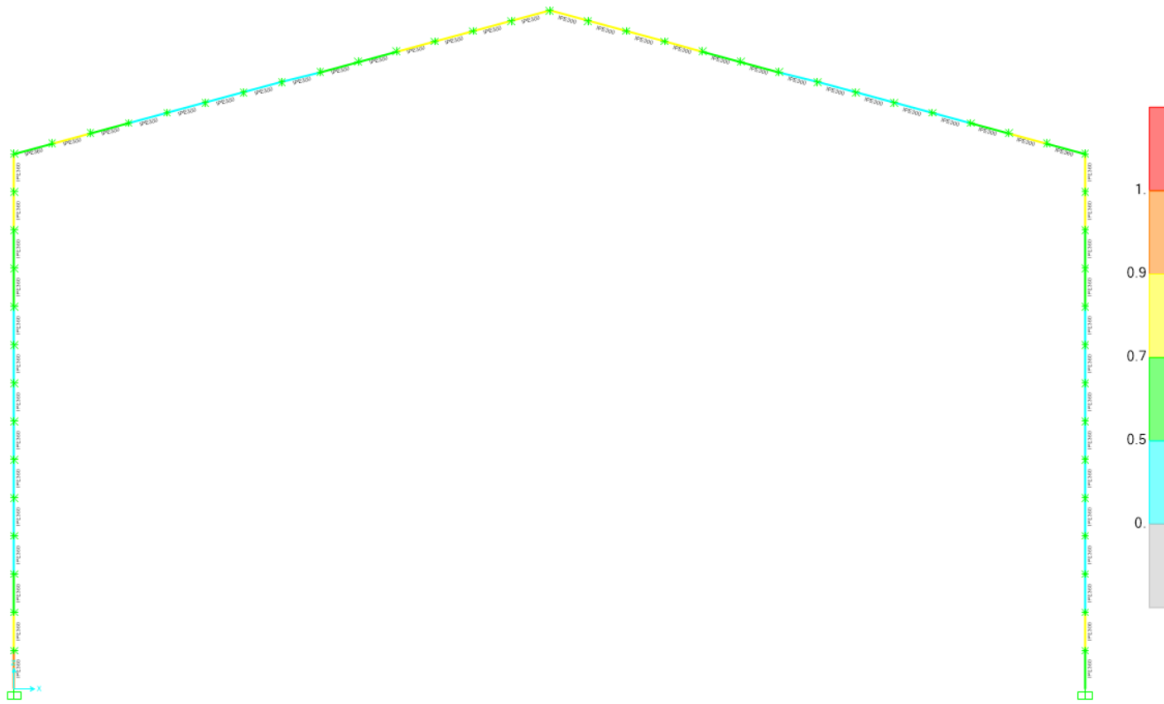


Figura 111. Resultado de dimensionamiento de los perfiles del pórtico (DEAD, SU, Nieve, Viento1, Viento2).

Si hacemos clic en cada uno de los tramos que componen las barras podemos observar que cada tramo está dimensionado para una combinación de carga diferente. Podemos afirmar que la figura 111, es la solución al dimensionamiento de pórtico.

La figura 112, se observa todo el pilar incluyendo el tramo perteneciente al grupo “R.Pilar” es un IPE360. De modo que, como el IPE360 cumple los ELS y ELU, no es necesario reforzar la base del pilar del pórtico mediante rigidizadores o platabandas.

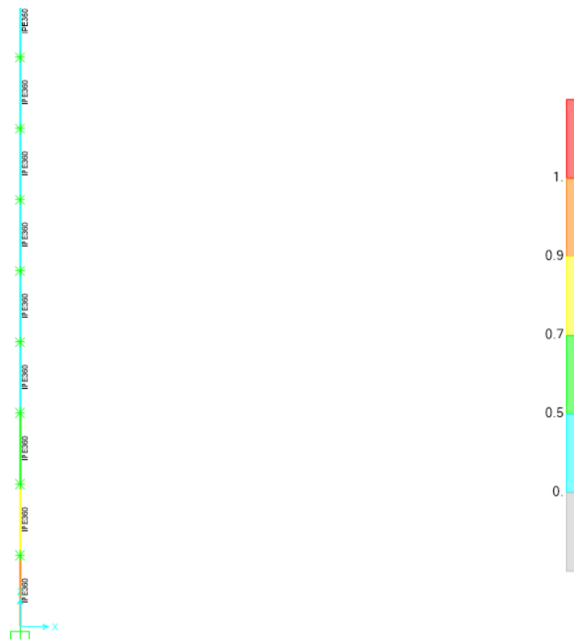


Figura 112. Dimensionamiento de los perfiles pertenecientes a los grupos: R.Pilar y Pilares.

## Auto-dimensionado del pórtico central de una nave industrial con SAP2000.

El siguiente punto de interés es la unión del pilar con la cercha, al igual que en los otros análisis de resultados, podemos asegurar que la implementación de catelas rigidizaría la estructura y reduciría la concentración de tensiones en la unión del pilar con la cercha permitiendo construir toda la cercha con un IPE300.

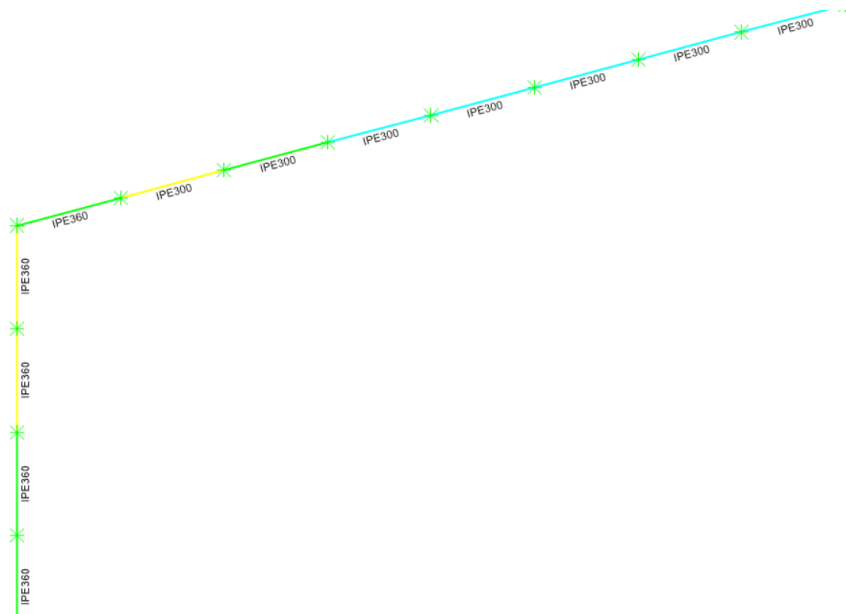


Figura 113. Dimensionamiento de los perfiles de los grupos: Cartelas, Cercha y Pilar. (Todos los casos de carga).

Si nos fijamos en la parte del dintel del pórtico, esta vez sí podemos ver el mismo perfil en la cercha como en el dintel.

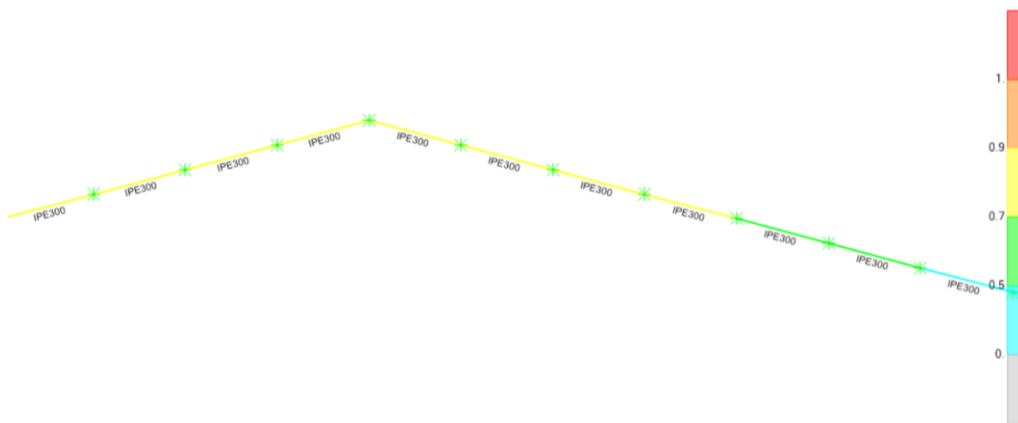


Figura 114. Dimensionamiento de los grupos: Dintel y Cercha.

Para concluir el dimensionamiento del pórtico desde el punto de vista de cargas “estáticas” podemos afirmar que, la construcción de la estructura metálica de la nave con un IPE360 en pilares y un IPE300 de cercha, así como de dintel, sería adecuada para las solicitaciones que soporta en función de la localización de la nave.

### 5.22. Estudio de pandeo.

El fallo a pandeo se produce cuando sometemos a una estructura a una gran tensión a compresión. El criterio de fallo a pandeo viene definido por la ecuación 13.

$$N_{crit} = \lambda \cdot P_{crit} \quad (13)$$

Siendo:

$N_{crit}$ : Como la máxima carga a axil que puede soportar el elemento.

$\lambda$ : Factor de carga. Es un numero adimensional que multiplica la carga aplicada indicando si la estructura pandea ( $\lambda < 1$ ) o no ( $\lambda > 1$ ). Es decir, es el factor por el que se necesita multiplicar la carga aplicada para obtener el máximo axil que puede soportar el elemento.

$P_{crit}$ : Es la carga aplicada sobre la estructura.

En primer lugar, para estudiar el pandeo en SAP2000, tenemos que mirar las combinaciones de carga que originan los mayores axiles en las barras. En nuestro caso, UDSTL2 y UDSTL26, procederemos a crear un nuevo caso de carga, para ello nos dirigimos al menú “*Define*” → “*Load Cases.*” → “*Add New Load Case...*”.

Se abrirá un nuevo cuadro de diálogo, similar al de la figura 115. Como se aprecia en esa figura, hay varios desplegables. “*Load case Type*” indica el tipo de estudio que realiza el programa para ese caso de carga, debemos seleccionar la opción “*Buckling*” que hace referencia a pandeo. En el recuadro “*Loads Applied*” podemos incluir los patrones de carga que queremos estudiar. Para combinación “UDSTL2” tenemos que incluir los patrones de carga “DEAD” y “SU”, tal y como se muestra la figura 115. Además, debemos dejar el factor de escala igual a la unidad. El recuadro “*Load cases Name*” indicamos el nombre de este patrón de carga, en nuestro caso, lo denominamos “PandeoDeadySU”. Por último, quedan de comentar dos opciones únicas para este análisis “*Number of Buckling Modes*” y “*Elgenvae Convergence Tolerance*”, La primera opción, permite conocer cuántos factores de carga se desean obtener. Aunque, normalmente, el primero de ellos es la solución al problema puesto que es el de menor valor, por defecto SAP2000 calcula 6 y no es necesario calcular más. La segunda opción es el parámetro que permite configurar una tolerancia de convergencia para la resolución numérica del problema de valores propios que subyace tras la resolución del problema de pandeo global,

## Auto-dimensionado del pórtico central de una nave industrial con SAP2000.

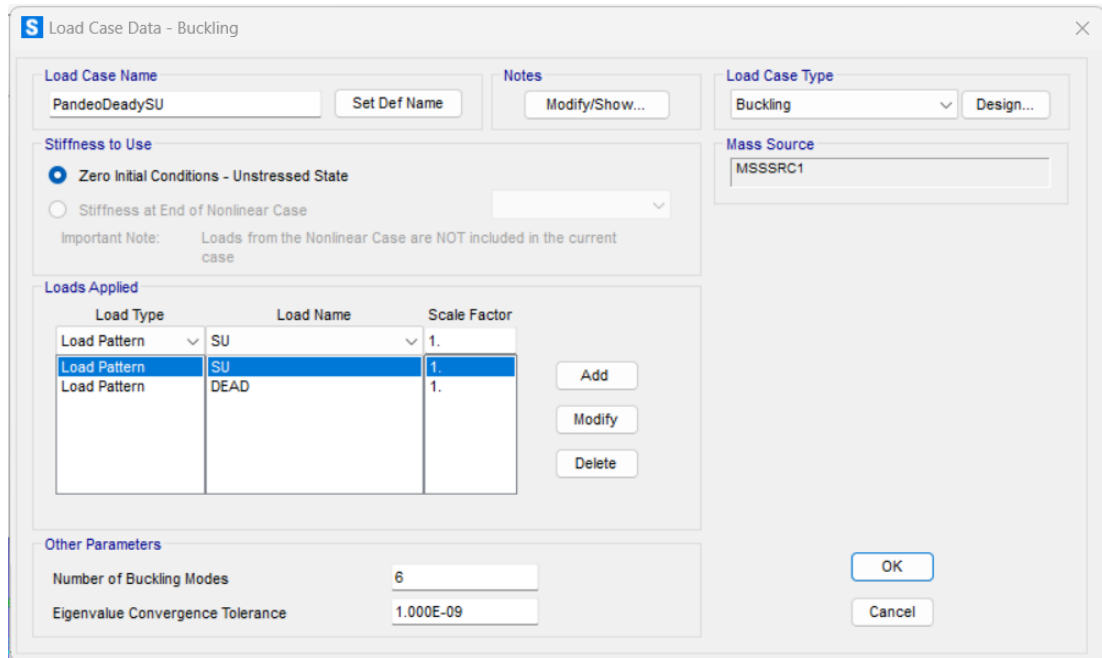


Figura 115. Configuración del caso de carga de pandeo (DEAD y SU).

Una vez configurada la ventana pulsaremos “OK”. Volveremos a crear un nuevo estudio a pandeo con patrones de carga que afectan a la combinación de carga UDSTL26 (DEAD, Nieve, Viento2). La figura 116, muestra el resultado de la configuración.

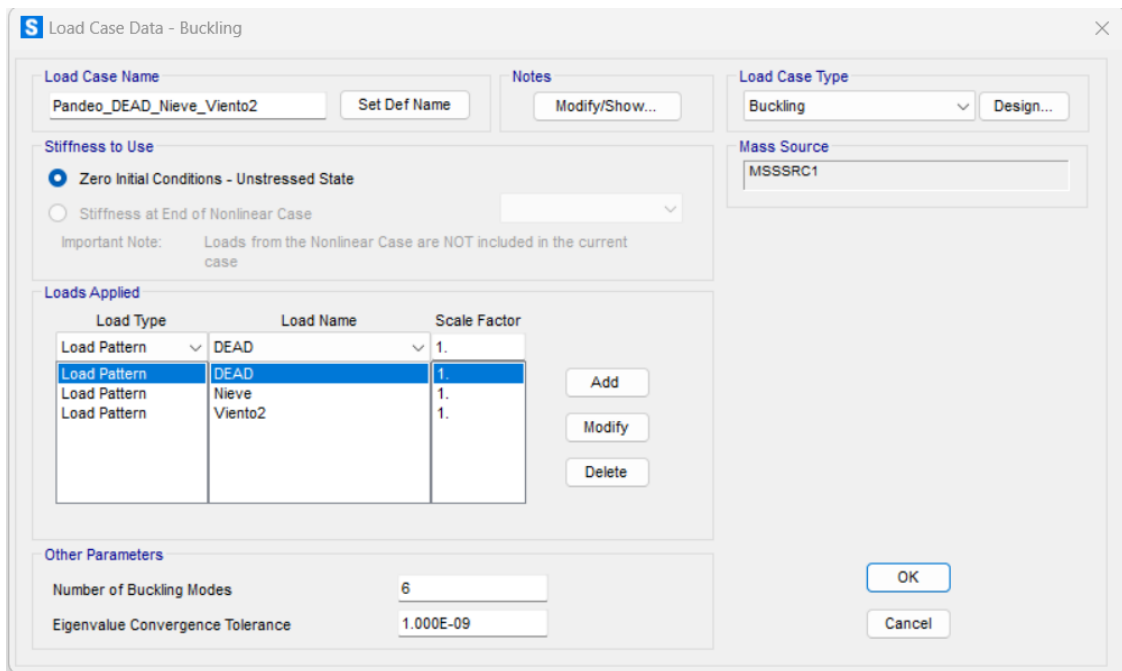


Figura 116. Configuración del caso de carga de pandeo (DEAD, Nieve, Viento2).

Tras configurar el segundo caso de pandeo. La lista de los casos de carga deberá ser similar a la figura 117.

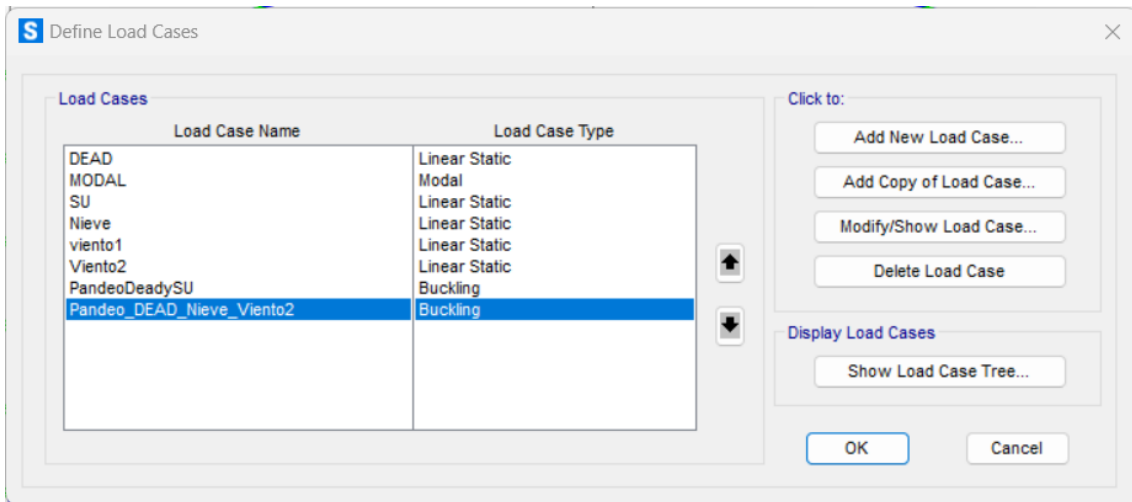



Figura 117. Lista de todos los casos de carga.

Una vez creado los casos de pandeo debemos ejecutar el modelo (  ) y calcular la estructura mediante la herramienta "Start Steel Desing" (  ).

Una vez se lance el cálculo, debemos hacer clic en la herramienta "Show deformed Shape..." (  ) y elegir uno de los casos de pandeo creados, por ejemplo, si elegimos "PandeoDeady SU", podemos apreciar que el modelo del pórtico se deforma, como en la figura 118 y observar el factor de carga ( $\lambda$ ) en la esquina superior izquierda.

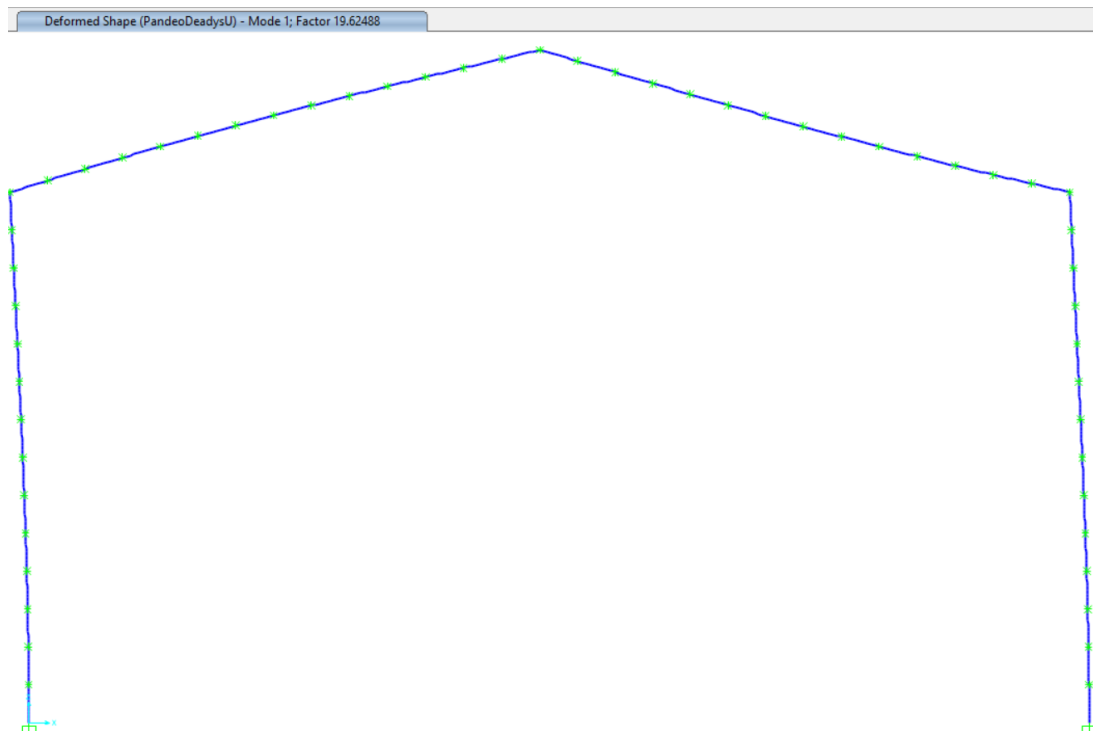


Figura 118. Solución del caso de pandeo (DEAD y SU).

Como se puede apreciar el primer valor de  $\lambda=19.64$ . Como es el primer factor de carga y es mayor a la unidad podemos afirmar que para el caso de pandeo de peso propio y de la carga de SU la estructura resiste. Aunque el primer valor del factor de carga es el importante podemos visualizar el resto de los factores de carga haciendo

## Auto-dimensionado del pórtico central de una nave industrial con SAP2000.

clic en ( ⇐ ⇨ ) situado en la esquina inferior derecha de la ventana principal del programa. Si visualizamos el resto de los valores podemos apreciar que el factor de carga crece hasta que el sexto factor de carga adquiere un valor de  $\lambda=180,4$ .

Si analizamos el caso de pandeo “Pandeo\_DEAD\_Nieve\_Viento2”. Vemos que el resultado se asemeja a la figura 119.

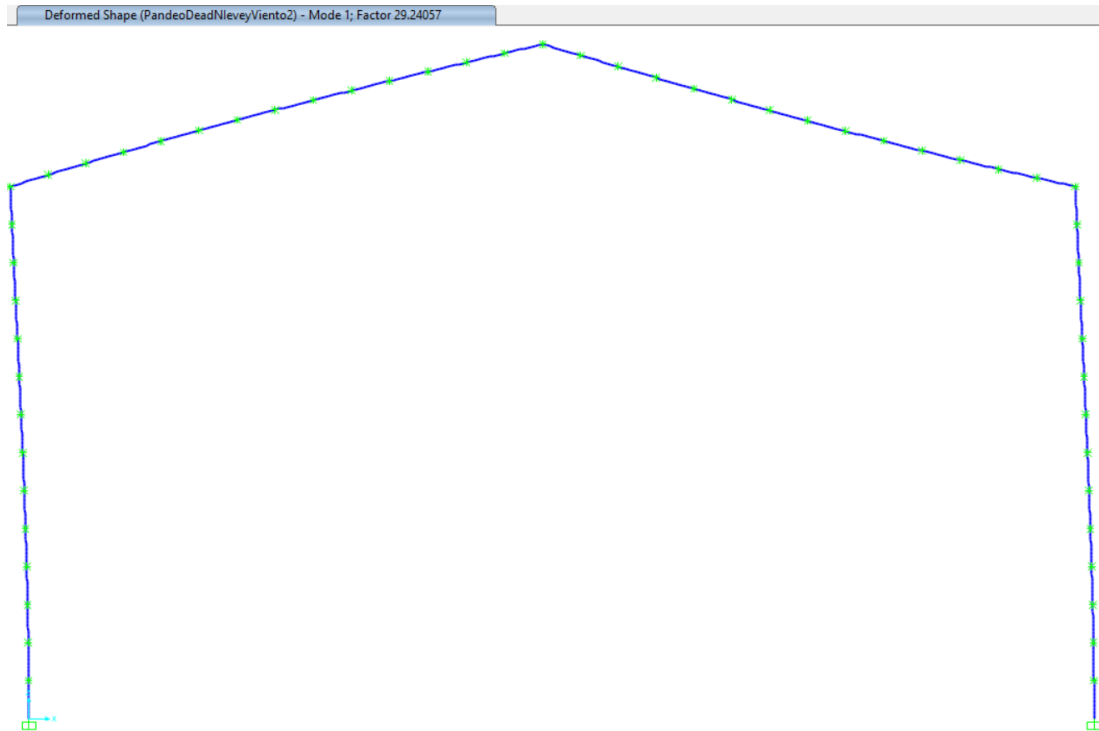


Figura 119. Resultado del caso de pandeo (DEAD, Nieve y Viento2).

Como se aprecia en la figura 119, el factor de carga  $\lambda = 29,24$ , como es mayor a la unidad, podemos afirmar que la estructura con los perfiles dimensionados por SAP2000 no padea para esa combinación de carga. Además, como el factor de carga de “PandeoDEADYSU” es menor, ese caso de pandeo es más crítico para la estructura.

# Capítulo VI: Conclusiones

6.1 Conclusión.

6.2 Líneas Futuras.

6.3. Consideraciones generales.

6.3.1. Planificación del trabajo. Diagrama de Gantt.

6.3.2. Coste en horas de trabajo.

6.3.3. Presupuesto.

6.3.4 Impacto ambiental

## 6.1. Conclusiones.

En este apartado comentaremos las conclusiones obtenidas después de realizar el dimensionamiento del pórtico. Para ello, dividiremos la conclusión en dos temas: programa y resultado.

Como se ha podido observar, SAP2000, es un potente software de cálculo estructural y con él hemos podido dimensionar el perfil para la estructura resistente de la nave según la implementación de cargas establecidas en el CTE, así como el cumplimiento de los criterios de fallo establecidos en dicha normativa, cumpliendo así otro de los objetivos perseguidos en este trabajo.

Llegar a ese resultado, resulta complejo, sobre todo a la hora de entender el porqué de los resultados calculados por el programa, ya que una mala configuración del modelo o no saber ciertos aspectos sobre la inexactitud del programa (configuración del modelo como un problema plano, errores en el patrón de nieve...) harían que los resultados obtenidos sean erróneos y poco fiables.

Por otro lado, solventado esas erratas de SAP2000 y con una buena configuración del modelo como la elaborada en este documento, podemos afirmar que los resultados obtenidos son correctos. De modo que, el dimensionamiento de los pilares con un perfil IPE 360 y las cerchas con un perfil IPE 300, es una buena y fiable resolución del dimensionamiento del pórtico central de la nave.

## 6.2. Líneas futuras.

En este apartado cometeremos las posibles alternativas para continuar este trabajo fin de grado.

Como hemos dimensionado los pilares y cercha de la nave. Una posible continuación, sería calcular la cartela y dintel de la nave, de esta forma podríamos afirmar que la implementación de cartelas y dintel ayudarían a rigidizar la estructura y nos permitiría tener un IPE 300 en toda la cercha.

Otra posible continuación, sería calcular y dimensionar las zapatas, ya que sabemos la combinación de carga de dimensionado y las reacciones en los apoyos del pórtico.

Como última propuesta, se podría realizar una guía y dimensionamiento de la estructura completa de la nave, pero en vez de utilizar un modelo plano emplearíamos un modelo 3D, de esta forma también se podría dimensionar las correas, pilares y cerchas de toda la nave.

## 6.3 Consideraciones generales

### 6.3.1. Planificación del trabajo. Diagrama de Gantt.

En este apartado se explica cómo ha sido el desarrollo del trabajo fin de grado realizado desde su comienzo en Febrero de 2024 hasta su finalización en Julio del mismo año. Para entender mejor las diferentes etapas del proceso y su extensión en el tiempo emplearemos un diagrama de Gantt.

En el diagrama se muestra en la primera columna un resumen de las tareas que se han realizado durante el trabajo. El eje horizontal muestra el avance temporal, dividiendo el diagrama en los meses y semanas correspondientes.



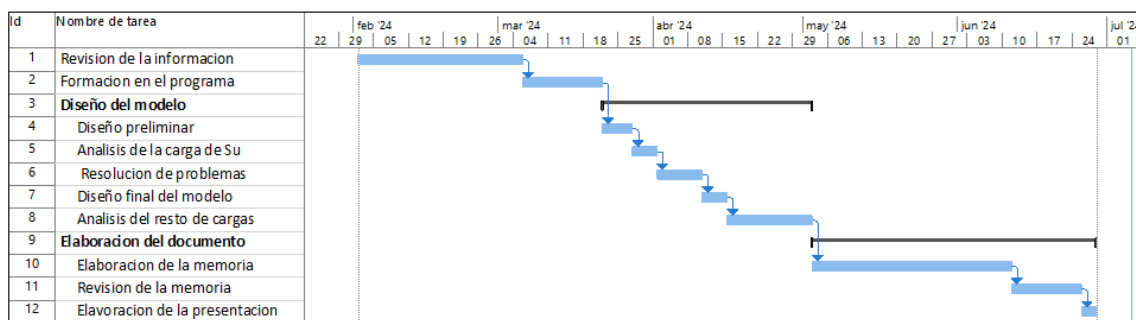


Tabla 20. Diagrama de Gantt

### 6.3.2. Coste en horas del trabajo.

En el apartado anterior se ha mostrado el diagrama de Gantt del trabajo fin de grado, a continuación, se realizará una estimación del total de horas invertidas durante la realización de este trabajo. También se llevará a cabo una conversión de las horas de trabajo a euros en función del salario estimado de un ingeniero en formación. La distribución de horas de trabajo queda de la siguiente manera.

- Planificación, propuestas de ideas e investigación: 20 horas de trabajo.
- Revisión de la información (normativa): 60 horas de trabajo.
- Formación en el programa: 40 horas de trabajo.
- Diseño del modelo: 45 horas de trabajo.
- Elaboración de la memoria y presentación: 180 horas de trabajo.

Esto supone un total de 345 horas dedicadas a la elaboración completa del presente TFG. El salario de un ingeniero en formación es de unos 20.450€ anuales. Según el Boletín Oficial del Estado la jornada laboral anual máxima en el año 2023 será de 1.770 horas. Mediante un sencillo cálculo sabemos entonces que precio de una hora de trabajo es de 11.55€.

Por tanto, la inversión de trabajo realizada supondría un coste total de 3.984 € aproximadamente, lo cual es rentable debido a los conocimientos obtenidos durante el desarrollo del TFG y el resultado obtenido que podrá ser utilizado en futuras ocasiones.

### 6.3.3. Presupuesto.

A continuación, elaboraremos un presupuesto aproximado de la estructura resistente de la nave, excluyendo elementos estructurales tales como: Cartelas, dinteles y coreas.

Precio (€/m)	
Precio IPE 360 por unidad de longitud	175,6
Precio IPE 330 por unidad de longitud	121,6

Tabla 21. Precio de los perfiles.

Auto-dimensionado del pórtico central de una nave industrial con SAP2000.

Resumen del precio de la estructura resistente de la nave industrial			
Perfil	Longitud	Numero de barras	Precio (€)
IPE 360	10 m	14	24584
IPE 300	10,35 m	14	17619,84
Precio total de la estructura			42203,84

Tabla 22. Resumen del precio de la estructura.

#### 6.3.4. Impacto ambiental

El impacto ambiental de la estructura de una nave industrial es bastante significativo. Los materiales de construcción como el acero generan emisiones durante su producción y transporte. La fabricación de acero y el conformado de los perfiles conllevan un intenso aporte de energía.

La construcción de la estructura de la nave industrial provoca la alteración del terreno y la pérdida de hábitats naturales. La preparación de la construcción requiere la remoción de vegetación, lo que puede conllevar a la erosión del suelo y a la perturbación de los ecosistemas.

Una vez construida, la estructura de la nave puede afectar al entorno circundante. La magnitud y dimensión de la nave puede modificar los patrones de viento y la distribución de la luz solar modificando las condiciones de vida de plantas y animales.

Finalmente, al finalizar la vida útil de la estructura, su demolición genera escombros que deben ser gestionados adecuadamente para minimizar el impacto ambiental. El reciclaje de estos materiales es crucial para reducir el impacto ambiental.



## Referencias bibliográficas

[1] Jesus Martin SanJose, Maria Madre Sedlies, Jose Manuel Franco: Ingeniería de materiales para industria y construcción. MIRA EDITORES.

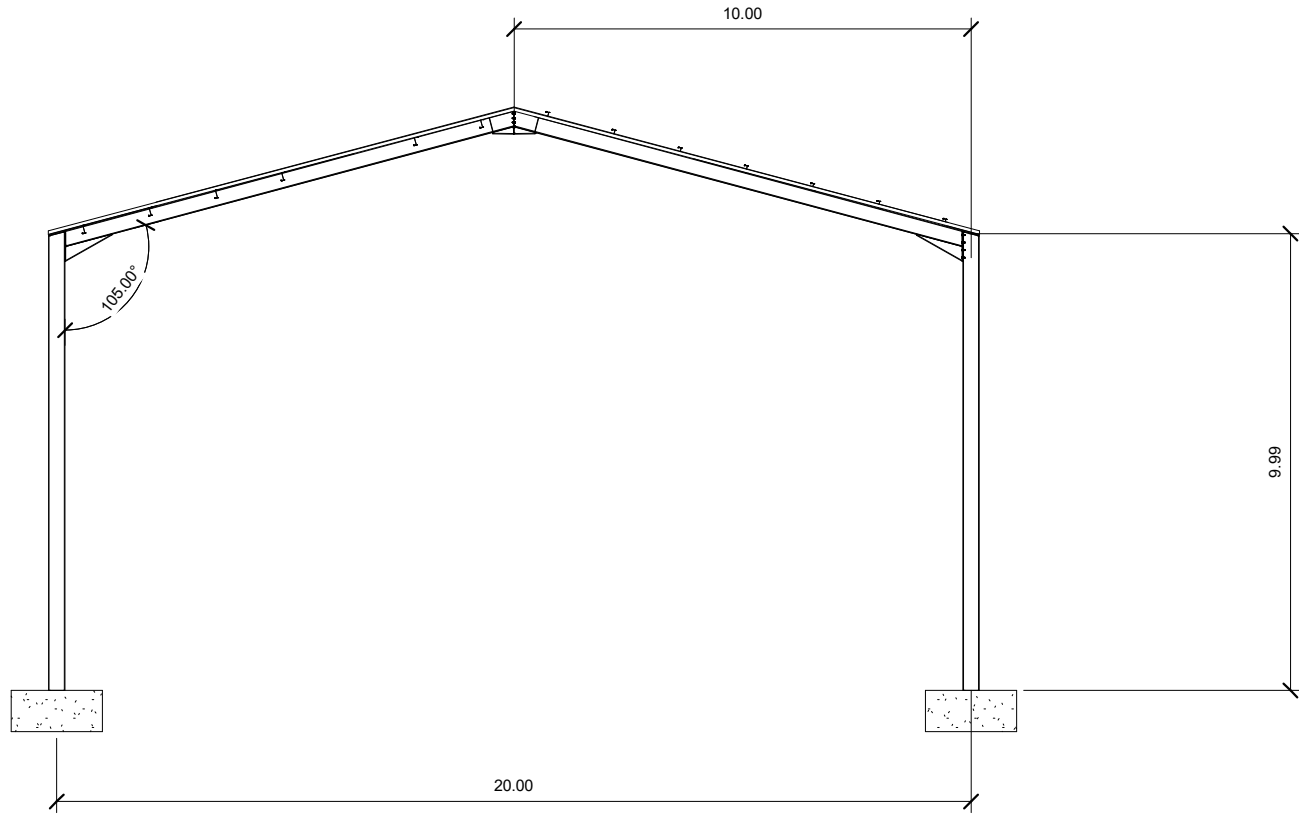
[2] <https://www.codigotecnico.org/pdf/Documentos/SE/DBSE.pdf>

[3] <https://www.codigotecnico.org/pdf/Documentos/SE/DBSE-A.pdf>

[4] <https://www.codigotecnico.org/pdf/Documentos/SE/DBSE-AE.pdf>

[5] <https://www.sedecatastro.gob.es/>

# ANEXO I: Planos



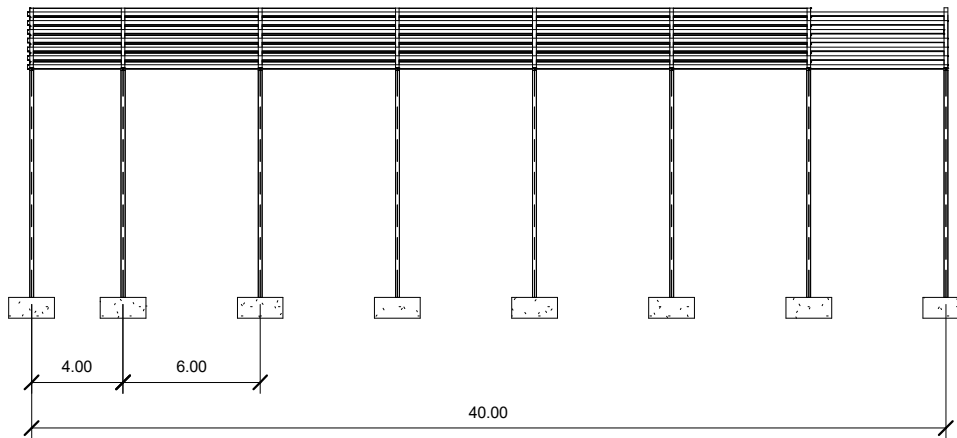
Universidad de Valladolid

DTO. Construcciones arquitectónicas,  
Ingeniería del terreno y mecánica de los medios continuos  
y teoría de estructuras

Auto-dimensionamiento  
de un portico central con  
SAP2000

Alzado del portico de la nave

Fecha	12/06/24	0001
Dibujado por	Jorge Gonzalez	
Escala	1 : 100	Unidades en m



Universidad de Valladolid

DTO. Construcciones arquitectónicas,  
Ingeniería del terreno y mecánica de los medios continuos  
y teoría de estructuras

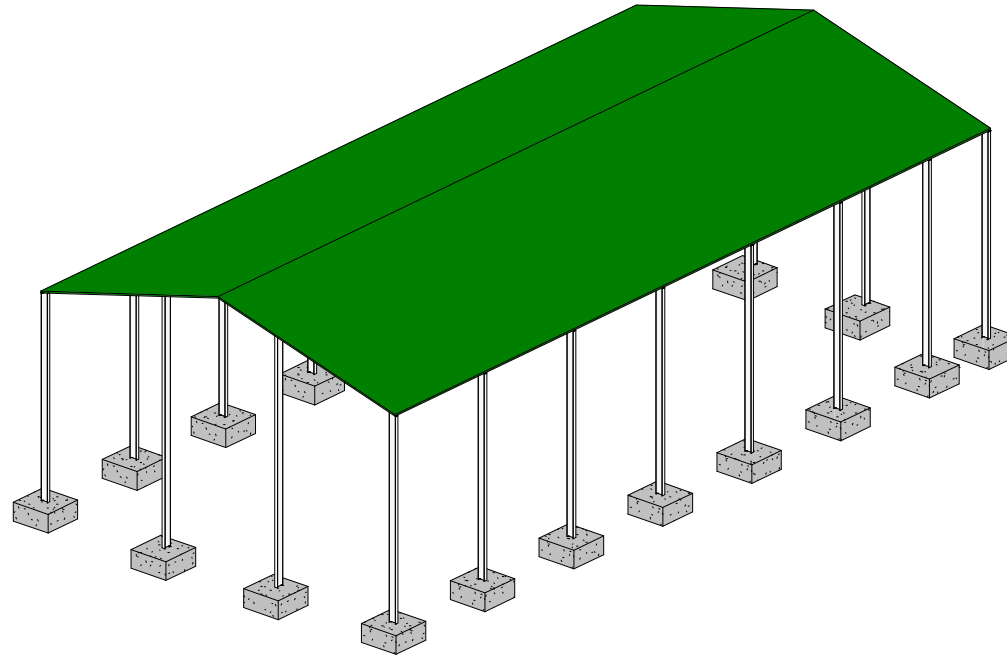
Auto-dimensionamiento  
de un portico central con  
SAP2000

Lateral de la estructura de la nave

Fecha	12/06/24
Dibujado por	Autor
Escala	1 : 200

A104

Unidades en m



Universidad de Valladolid

Auto-dimensionamiento  
de un portico central  
con SAP2000

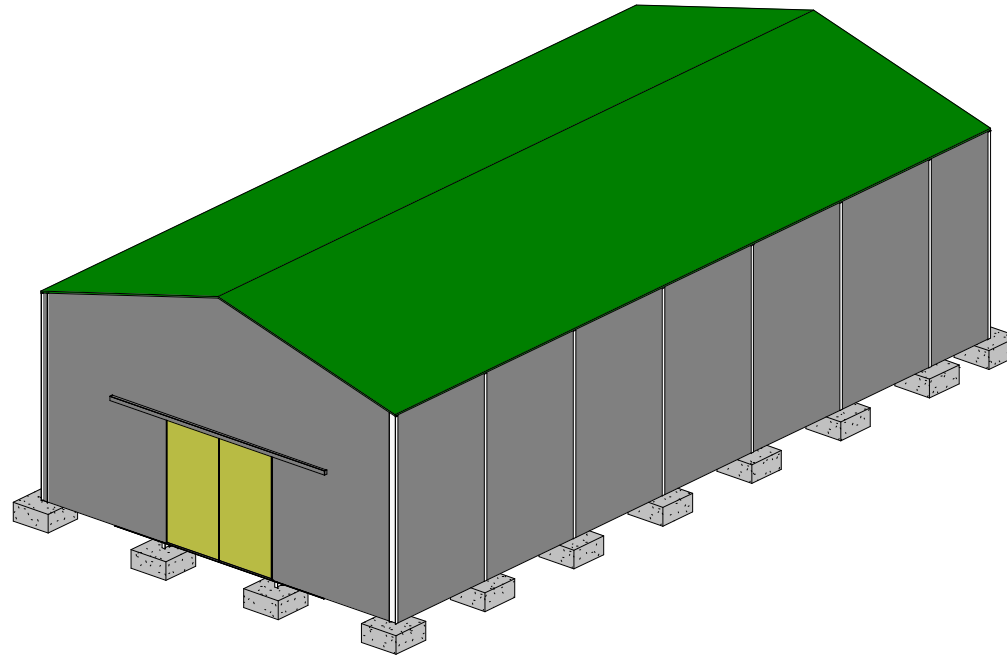
Auto-dimensionamiento  
de un portico central con  
SAP2000

Vista 3D. Nave

Fecha	12/06/24
Dibujado por	Jorge Gonzalez
Escala	

0003





Universidad de Valladolid

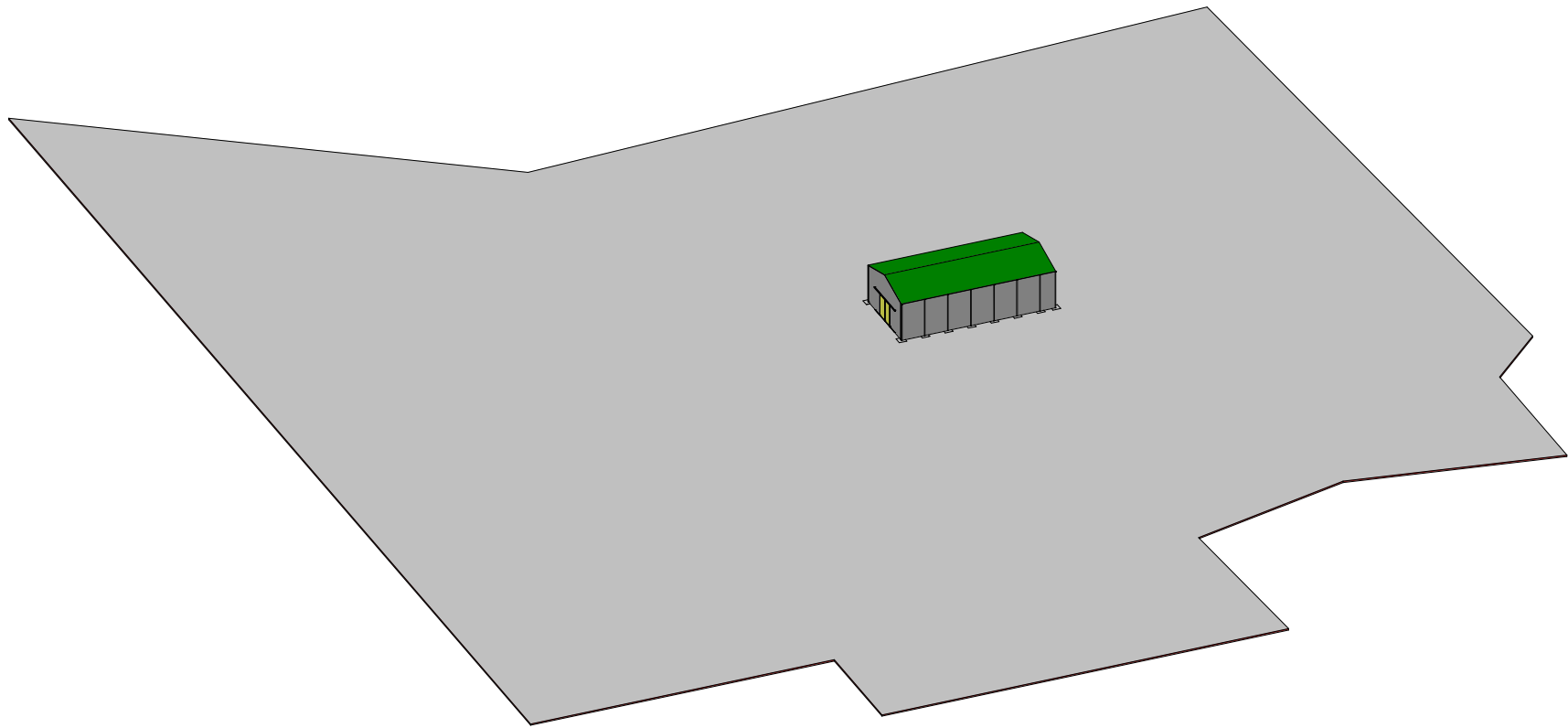
Auto-dimensionamiento  
de un portico central  
con SAP2000

Auto-dimensionamiento  
de un portico central con  
SAP2000

Vista 3D. Nave

Fecha	12/06/24
Dibujado por	Jorge Gonzalez
Escala	

00004



Universidad de Valladolid

Auto-dimensionamiento  
de un portico central  
con SAP2000

Auto-dimensionamiento  
de un portico central con  
SAP2000

Vista 3D.Localizacion en parcela

Fecha	12/06/24
Dibujado por	Jorge Gonzalez
Escala	

0005