



UNIVERSIDAD CENTRAL DE CHILE
FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
EN OBRAS CIVILES Y CONSTRUCCIÓN

IMPLEMENTACIÓN DE HERRAMIENTA
COMPUTACIONAL PARA PREDIMENSIONAR LA
ESTRUCTURA DE GALPONES DE ACERO EN
ESPAÑA.

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERÍA
CIVIL EN OBRAS CIVILES

PROFESOR GUÍA: PABLO ALCAÍNO REYES

PROFESOR REVISOR 1: MARIO PINTO

PROFESOR REVISOR 2: DANIELA BRIZUELA VALENZUELA

ÁLVARO ANTONIO GRANELL CID

2020

SANTIAGO - CHILE



UNIVERSIDAD CENTRAL DE CHILE
FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
EN OBRAS CIVILES Y CONSTRUCCIÓN

IMPLEMENTACIÓN DE HERRAMIENTA
COMPUTACIONAL PARA PREDIMENSIONAR LA
ESTRUCTURA DE GALPONES DE ACERO EN
ESPAÑA.

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERÍA
CIVIL EN OBRAS CIVILES

PROFESOR GUÍA: PABLO ALCAÍNO REYES

PROFESOR REVISOR 1: MARIO PINTO

PROFESOR REVISOR 2: DANIELA BRIZUELA VALENZUELA

ÁLVARO ANTONIO GRANELL CID

2020

SANTIAGO - CHILE

AGRADECIMIENTOS

A mi familia, por apoyarme en todo momento, por preocuparse de que no me faltara nunca de nada y por haberme ayudado a convertirme en la persona que soy hoy.

A mis amigos y compañeros de casa aquí en Santiago, especialmente a mi amigo Adrián, por apoyarme en los momentos difíciles y por hacer que esta situación de encierro que nos ha tocado vivir sea lo más llevadera posible.

A mi profesor guía Pablo, por sus conocimientos, su paciencia y sobre todo por su interés y ayuda.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	6
ABSTRACT	7
OBJETIVOS	8
OBJETIVO GENERAL.....	8
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	8
INTRODUCCIÓN.....	9
ESTADO DEL ARTE	11
TEXTO (CAPÍTULOS).....	14
CAPÍTULO 1: METODOLOGÍA	14
CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO	17
2.1. Método matricial.....	17
2.2. Alcance y restricciones.....	25
CAPÍTULO 3: DESCRIPCIÓN DE LA HERRAMIENTA	30
3.1. Inputs necesarios para el predimensionado	32
3.2. Cálculo de acciones	36

3.3. Hipótesis de cargas.....	53
3.4. Cálculos estructurales	56
3.5. Validación de perfiles	63
3.5. Outputs.....	69
CAPÍTULO 4: EJEMPLO	71
4.1. Presentación del galpón ejemplo.....	71
4.2. Datos iniciales.....	72
4.3. Comparación de resultados	74
CONCLUSIONES	103
TRABAJOS FUTUROS.....	105
LISTADO DE ILUSTRACIONES	106
Referencias.....	109
ANEXO A: Código de la herramienta computacional	110
ANEXO B: NOTACIONES	151

RESUMEN

Actualmente, el uso de software es un pilar básico en el cálculo estructural, sin embargo, para su correcta utilización es necesario contar con un nivel de conocimientos previos elevados y con tiempo suficiente para aportar los inputs exigidos para realizar un análisis en profundidad, tal como suelen llevar a cabo la mayoría de programas existentes.

En este trabajo se busca dar respuesta a la problemática anterior presentando una herramienta computacional capaz de realizar un predimensionamiento de los miembros de la estructura de un galpón de acero de forma rápida y sencilla, sin exigir una gran formación previa al usuario. Dando así una alternativa viable para cuando no sea necesario realizar un análisis tan exacto y minucioso.

Dicha herramienta tendrá como objeto de estudio una nave industrial ubicada en territorio español y se valdrá de la normativa de este país, junto con el método de matricial para realizar un análisis estructural en base Matlab.

ABSTRACT

Nowadays, the use of softwares is a basic pillar in structural calculus; however, to use it in the right way it is necessary to have a high-level of previous knowledge and enough time to introduce the needed inputs in order to execute a deep analysis just like this type of computer programmes usually do.

This project is further looking to give an answer to the problem exposed before by presenting a computational tool which is able to make a dimensioning of some members of the structure of a steel hangar in a fast and simply way, without demanding a great amount of previous knowledge by the user. Giving in that way a viable alternative for when doing an exact and into detail analysis is not needed.

This tool would have as object of study a hangar located in the Spanish territory and it will use the structural code of this country. Additionally, the matrix stiffness method will be used in order to do a structural analysis using Matlab.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL:

Implementar una herramienta informática capaz de predimensionar elementos de un galpón de acero sobre la base de la normativa vigente en España utilizando información básica y análisis matricial elemental.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

1. Revisar el estado del arte y la normativa aplicable necesaria para la realización del proyecto
2. Acotar el alcance y las restricciones de la herramienta
3. Definir los inputs necesarios
4. Modelar de manera simple y aproximada con la información mínima dichos inputs y los requisitos básicos acorde a la normativa.
5. Evaluar el correcto funcionamiento de la herramienta con ejercicios básicos.

INTRODUCCIÓN

La utilización del software para el diseño y el cálculo de estructuras está totalmente extendida y establecida en el sector de la construcción. Estos programas informáticos ya existentes, permiten un análisis extenso y minucioso de cualquier sistema que se pueda pensar.

Sin embargo, para lograr esta exactitud y profundidad en el estudio, se necesita una formación avanzada y un dominio muy alto del software que se quiere emplear. Además, es necesario introducir una cantidad muy elevada de datos y parámetros que el programa necesitará a la hora del cálculo. Por lo tanto, estas herramientas, pese a poseer muchas ventajas, tienen grandes contras en cuanto al tiempo y al esfuerzo invertidos en realizar cualquier tipo de análisis y en cuanto al conocimiento previo del software.

Teniendo en cuenta estos problemas, se puede atisbar la necesidad de una herramienta mucho más sencilla que los programas profesionales existentes. Esta herramienta permitiría desarrollar un proyecto de infraestructura industrial con un predimensionamiento inicial plausible y razonablemente certero; por supuesto, contaría con muchísimas más limitaciones que los programas más utilizados y sus resultados no tendrían la exactitud que estos tienen; pero en términos de tiempo empleado para un análisis sería sustancialmente menor y en cuanto a la formación necesaria para su uso, bastaría simplemente tener las nociones básicas de

interpretación de la normativa vigente y el criterio suficiente para analizar la fiabilidad de los outputs obtenidos. Este tipo de herramienta podría ser utilizada por sectores muy amplios como el de los ingenieros no especializados en el ámbito de la construcción o los estudiantes de ingeniería que aún no dominan ningún tipo de programa informático más avanzado. A parte, puede llegar a ser útil para cualquier profesional del sector que necesite un feedback rápido en un determinado momento o como punto de partida orientativo para posteriormente dimensionar la estructura con más exactitud empleando otro tipo de herramienta.

ESTADO DEL ARTE

Tal como se ha mencionado previamente, esta tesis pretende dar una respuesta válida al problema existente relacionado con la cantidad de requisitos previos que demandan la mayoría de aplicaciones extendidas en el sector. De este modo, además de la herramienta que se va a presentar, existen otras opciones que también representan una solución perfectamente válida a esta cuestión:

En primer lugar, existen numerosas aplicaciones similares dentro de empresas privadas, con el fin de automatizar procesos de cálculo y de recibir resultados personalizados para cada una de ellas, ya que a menudo utilizan su propia base de datos. Este tipo de herramientas normalmente están desarrolladas enteramente por estas empresas, son complementos adicionales a programas comerciales o bien son herramientas de cálculo estimado según la experiencia de la compañía. En cualquiera de los casos, son softwares exclusivos que están lejos del acceso público,

En segundo lugar, también se pueden encontrar diferentes opciones similares en el mercado, algunos ejemplos pueden ser: TwoDFrame, Portal+, E-struc...Sin embargo, la mayoría de estas aplicaciones cuentan con diferentes limitaciones, siendo la primera de estas que no son gratuitas completamente, además de no disponer de código abierto, por lo que no es posible intervenir ni personalizar los cálculos.

Finalmente, en cuanto a trabajos de investigación, existen también publicaciones que intentan dar una respuesta a la misma cuestión de diferentes formas, por ejemplo:

“Cálculo interactivo de galpones simétricos asistido por computador.” Alex García G. y Eduardo Gálvez (09 de diciembre de 2002). Revista facultad de ingeniería, u.t.a. (Chile), vol. 11 (nº1), pp. 47-55. Que utiliza un lenguaje de programación relacionado con Windows y se basa en la normativa chilena.

O “Desarrollo e Implementación de un Programa de Elementos Finitos Para el Análisis y Simulación Dinámica de una Estructura Bidimensional Tipo Pórtico”. Daniel Blum Velasco (2004). Guayaquil, Ecuador. Que realiza el cálculo estructural utilizando Matlab sin incluir el cálculo de acciones.

Una vez observado el contexto en el cual puede llegar a ser útil la herramienta que se desea implementar, se encuentran aspectos en los que este software se puede diferenciar de la mayoría de soluciones existentes. Que sea un software libre (por contra que el primer grupo de opciones y la mayor parte del segundo) es un punto importante. Además, el software que se quiere desarrollar cuenta con el cálculo de acciones que afectan a la estructura a partir de inputs básicos por parte del usuario, esto conlleva un análisis e interpretación de la normativa española, además de una adecuación de la misma al ambiente de Matlab para lograr cumplir una de las metas principales como es la sencillez y rapidez de uso, aspecto con el que la mayoría de los tipos de opciones anteriormente citados no incluyen. Por lo tanto, se estima que esta herramienta puede convertirse en una opción

plausible en un ámbito tan limitado como puede ser el de los software libres centrados en el predimensionamiento de galpones dentro de la normativa española.

TEXTO (CAPÍTULOS)

CAPÍTULO 1: METODOLOGÍA

Primeramente, tal como se puede observar en el objetivo específico número 1, se debe realizar un levantamiento de los estados del conocimiento, durante este se buscarán herramientas similares ya existentes y se analizarán con el fin de encontrar las áreas en las que este proyecto pueda aportar valor. Una vez se identifiquen estos aspectos, se procede al reconocimiento de la normativa aplicable en el territorio español y a la selección de la relacionada con el tema del trabajo. Esta lista de normativa se puede encontrar en el apartado 2.2.3 de la memoria.

Seguidamente, siguiendo el orden de los objetivos específicos, se define el alcance del programa informático, para ello, se debe tener en cuenta que uno de los principales pilares del proyecto es la simplicidad, por lo tanto, se analizan los elementos más influyentes de un predimensionado, y junto con la normativa se adoptan las suposiciones y limitaciones necesarias para garantizarla sin comprometer la fiabilidad del resultado; estos aspectos se pueden ver en el apartado 2.2.

Una vez quede definido el alcance del proyecto, se debe determinar la información que el software solicitará al usuario, esta información debe ser suficiente para poder realizar un análisis a partir de ella, pero no demasiado extensa ni complicada de obtener, ya que comprometería algunos de los

principales rasgos del programa, como son la escasa necesidad de disponer de un amplio conocimiento previo, la sencillez y la velocidad de diagnóstico. La lista de inputs necesarios y la explicación de cada uno de ellos se encuentran en el apartado 3.1.

En cuanto a la metodología empleada para desarrollar la herramienta, en primer lugar, se debe tomar una decisión entre los diferentes lenguajes de programación existentes y entre los diferentes softwares dentro de cada tipo de lenguaje.

En este caso, la elección se acotó a 2 principales opciones: Matlab y Octave, ambos cuentan con un lenguaje similar, que se cree adecuado para un proyecto de estas características. El principal argumento que facilitó la elección entre ellos fue el gran peso de la comunidad del primero y por tanto toda la información existente en la red, por todo esto, se eligió Matlab como programa principal del proyecto. Matlab es un programa ampliamente reconocido en múltiples ámbitos entre ingenieros y profesionales relacionados con la programación, la automatización o el cálculo matricial entre otros.

Millones de ingenieros y científicos de todo el mundo usan MATLAB® para analizar y diseñar los sistemas y productos que transforman nuestro mundo. MATLAB está presente en sistemas de seguridad activa de automóviles, naves espaciales interplanetarias, dispositivos de monitorización de la salud, redes eléctricas inteligentes y redes móviles LTE. Se utiliza para aprendizaje automático, procesamiento de señales, procesamiento de imágenes, visión artificial, comunicaciones,

finanzas computacionales, diseño de control, robótica y muchos otros campos. (MathWorks, s.f.)

Dentro de Matlab, el método de trabajo empleado para el desarrollo de la herramienta será a través de scripts (la unidad de programación más simple), mediante ellos se pueden guardar los inputs iniciales en variables, operar con dichas variables y finalmente extraer un output con los resultados deseados; además las características del programa permiten automatizar estos scripts, con lo cual tendrán un carácter secuencial haciendo el análisis altamente fluido.

Finalmente, para comprobar el correcto funcionamiento de la herramienta, se introducirán los valores de un caso específico del cual se conocen los valores de los outputs deseados. Una vez se hayan obtenido los resultados del prediseño, se compararán con los del caso de ejemplo y se analizará la coherencia de estos; si se tratan de valores lógicos con una aproximación suficiente a lo esperado, se podrá concluir que la herramienta funciona; si por el contrario, los valores obtenidos no son coherentes o difieren mucho de lo esperado, se analizarán los scripts y se harán las modificaciones necesarias hasta que al repetir el proceso de comprobación los resultados sean los adecuados.

CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO

2.1. Método matricial

Para poder realizar un predimensionado adecuado, se debe analizar el sistema generado a raíz de los inputs introducidos por el usuario; para ello, se ha decidido aplicar el método matricial.

2.1.1. Introducción

El método de matricial surge alrededor de la década del 1950; buscaba cumplir con la necesidad existente en la época de obtener resultados rápidos y exactos del comportamiento estructural de los aviones a reacción. Como contraparte, este método, se consideraba un método tremendamente difícil de resolver de forma manual, es por esto por lo que su uso se ha ido instaurando a lo largo de los años debido a los avances tecnológicos que permitían su resolución por otras vías diferentes de la manual. En la actualidad, está establecido como el método más adecuado para resolver la mayoría de problemas estructurales.

2.1.2. Conceptos básicos

“Básicamente los métodos matriciales consisten en reemplazar la estructura continua real por un modelo matemático de elementos finitos, cuyas propiedades pueden expresarse en forma matricial” (Escamilla, 2002).

El método de la rigidez tiene como pilares, a la hora de tratar el comportamiento elástico de los materiales, el principio de pequeñez de las deformaciones, el principio de superposición de estados y el principio de proporcionalidad. Es un método que pretende dar una resolución al objeto de análisis resolviendo el sistema de ecuaciones compuesto por matrices de rigidez, fuerzas externas y desplazamientos en los nodos (K , f y U respectivamente en la ecuación (1), siendo estos últimos las incógnitas de dicho sistema normalmente.

$$\{f\} = [K] x \{U\} \quad (1)$$

En cuanto al término correspondiente a la matriz de rigidez, se compone de los denominados coeficientes de rigidez, “un coeficiente de rigidez es la acción necesaria para producir una deformación unitaria en la dirección de dicha acción.” (Gasch Salvador & Gasch Molina, 2006), a continuación se muestran los diferentes coeficientes de rigidez de una barra con sus correspondientes justificaciones teóricas:



Ilustración 1: Comportamiento elástico de una barra

Fuente: “Cálculo estructural” (Gasch Salvador & Gasch Molina, 2006)

Siendo:

- λ_A : Desplazamiento longitudinal del extremo A respecto de B.
- λ_B : Desplazamiento longitudinal del extremo B respecto de A.
- δ_A : Desplazamiento transversal del extremo A respecto de B.
- δ_B : Desplazamiento transversal del extremo B respecto de A.
- θ_A : Giro del extremo A
- θ_B : Giro del extremo B

Desplazamiento longitudinal del extremo A:

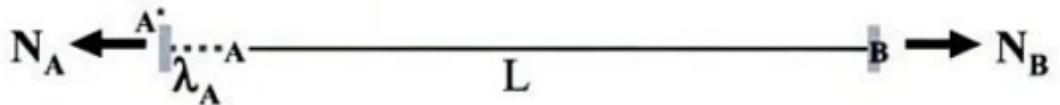


Ilustración 2

Fuente: "Cálculo estructural" (Gasch Salvador & Gasch Molina, 2006)

Del sistema de la ilust. 2 se pueden extraer las siguientes igualdades:

$$\Sigma F_h = 0 \rightarrow N_A = N_B \quad (2)$$

$$\lambda_A = \frac{N_A \cdot L}{E \cdot \Omega} \quad (3)$$

Resolviendo el sistema de ecuaciones formado por las ecuaciones (2) y (3) se llega a la siguiente expresión:

$$N_A = N_B = \frac{E \cdot \Omega}{L} \cdot \lambda_A \rightarrow \mathbf{k_n} = \frac{E \cdot \Omega}{L} \quad (4)$$

Siendo:

- Ω : Área transversal de la sección
- L : Longitud de la barra
- N : Esfuerzo axial
- E : Módulo de elasticidad del material

Desplazamiento transversal del extremo A:

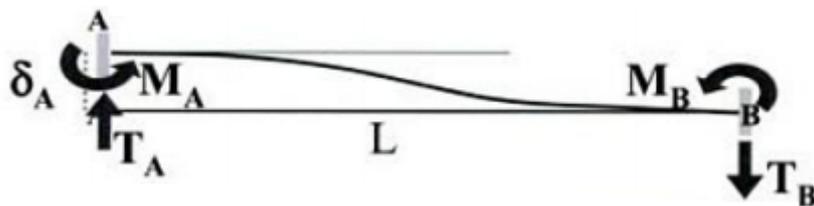


Ilustración 3

Fuente: "Cálculo estructural" (Gasch Salvador & Gasch Molina, 2006)

Del sistema de la ilustración 3 se pueden extraer las siguientes igualdades:

A partir del equilibrio estático:

$$T_A = T_B \quad (5)$$

$$M_A + M_B = T_A \cdot L \quad (6)$$

Aplicando teoremas de Mohr:

$$\alpha_{AB} = 0 = \frac{1}{EI} \cdot \left(\frac{T_A \cdot L^2}{2} - M_A \cdot L \right) \quad (7)$$

$$\delta_A = \frac{1}{EI} \cdot \left(\frac{T_A \cdot L^3}{2} - \frac{M_A \cdot L^2}{2} \right) \quad (8)$$

Resolviendo el sistema:

$$T_A = T_B = \frac{12 \cdot E \cdot I}{L^3} \cdot \delta_A \rightarrow \mathbf{k_1 = \frac{12 \cdot E \cdot I}{L^3}} \quad (9)$$

$$M_A = M_B = \frac{6 \cdot E \cdot I}{L^2} \cdot \delta_A \rightarrow \mathbf{k_2 = \frac{6 \cdot E \cdot I}{L^2}} \quad (10)$$

Siendo:

- T: Esfuerzo cortante
- M: Momento flector
- α : Ángulo
- I: Inercia

Giro del extremo A

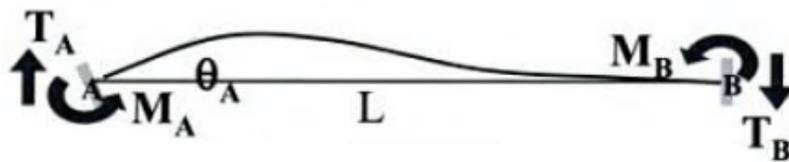


Ilustración 4

Fuente: "Cálculo estructural" (Gasch Salvador & Gasch Molina, 2006)

A partir del equilibrio estático:

$$T_A = T_B \quad (11)$$

$$M_A + M_B = T_A \cdot L \quad (12)$$

Aplicando teoremas de Mohr:

$$0 - \theta_A = \frac{1}{EI} \cdot \left(\frac{T_A \cdot L^2}{2} - M_A \cdot L \right) \quad (13)$$

$$y'_A = 0 = \frac{1}{EI} \cdot \left(\frac{T_A \cdot L^3}{2} - \frac{M_A \cdot L^2}{2} \right) \quad (14)$$

Resolviendo el sistema:

$$T_A = T_B = \frac{6 \cdot E \cdot I}{L^2} \cdot \theta_A \rightarrow \mathbf{k_2} = \frac{6 \cdot E \cdot I}{L^2} \quad (15)$$

$$M_A = \frac{4 \cdot E \cdot I}{L} \cdot \theta_A \rightarrow \mathbf{k_3} = \frac{4 \cdot E \cdot I}{L} \quad (16)$$

$$M_B = \frac{2 \cdot E \cdot I}{L} \cdot \theta_A \rightarrow \mathbf{k_4} = \frac{2 \cdot E \cdot I}{L} \quad (17)$$

Siendo:

- y'_A : Desplazamiento transversal del punto A

Los anteriores coeficientes se pueden ver relacionados con los movimientos en la siguiente tabla:

	Alargamiento	Desplazamiento Transversal	Giro
Esfuerzo axil	k_n	0	0
Esfuerzo cortante	0	k_1	k_2
Momento flector	0	k_2	k_3/k_4

Tabla 1

Fuente: "Cálculo estructural" (Gasch Salvador & Gasch Molina, 2006)

A partir de estos coeficientes de rigidez, la matriz de rigidez del elemento barra referida a ejes locales se compone de la siguiente forma:

$$[K_L] = \begin{pmatrix} k_n & 0 & 0 & k_n & 0 & 0 \\ 0 & k_1 & k_2 & 0 & k_1 & k_2 \\ 0 & k_2 & k_3 & 0 & -k_2 & k_4 \\ k_n & 0 & 0 & k_n & 0 & 0 \\ 0 & k_1 & -k_2 & 0 & k_1 & -k_2 \\ 0 & k_2 & k_4 & 0 & -k_2 & k_3 \end{pmatrix} \quad (18)$$

En cuanto al sistema de coordenadas, tanto para la estructura como para los miembros de esta, se utilizan sistemas de coordenadas ortogonales, cartesianas y de mano derecha. Es preciso distinguir entre el sistema de coordenadas generales, globales o de la estructura y el sistema de coordenadas particulares, locales o del elemento. Sin embargo, cuando se trata de una estructura en un plano, basta un solo ángulo para expresar la relación entre ambos sistemas de coordenadas, global y local (Escamilla, 2002), como se puede observar en la ilustración 5.

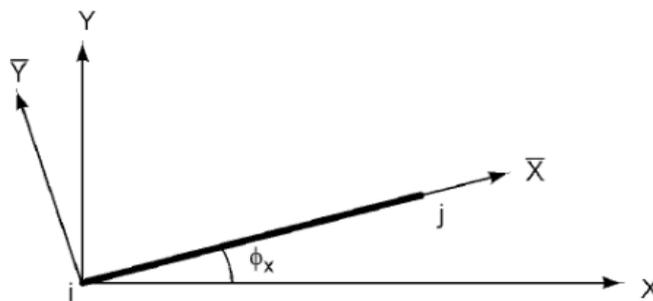


Ilustración 5

Fuente: "Análisis de estructuras". Escamilla, J. U. 2002

Por lo tanto, con el fin de referir a la matriz de rigidez de la barra en ejes locales a ejes globales, se hará uso de la matriz de transformación [T]:

$$[T] = \begin{pmatrix} \cos \alpha & \operatorname{sen} \alpha & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -\operatorname{sen} \alpha & \cos \alpha & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \cos \alpha & \operatorname{sen} \alpha & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -\operatorname{sen} \alpha & \cos \alpha & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (19)$$

A partir de [K_L] y [T] se realiza el cambio de ejes (de locales a globales):

$$[K_G] = [T]^T x [K_L] x [T] \quad (20)$$

Una vez obtenidas las matrices de rigidez referidas a ejes globales [K_G] de todas las barras, se ensamblan dentro de la matriz de rigidez completa o de la estructura, obteniendo así el término [K] de la ecuación (1) y a través de esta el valor del vector desplazamientos que podrá ser utilizado para el cálculo de solicitaciones y reacciones en los apoyos.

2.2. Alcance y restricciones.

Previamente al diseño de la herramienta computacional, se deben definir claramente sus restricciones y su campo de acción. Estas consideraciones se realizan teniendo siempre en cuenta los objetivos del programa informático, priorizando siempre la veracidad y el seguimiento de la normativa vigente en España. Dentro de estas restricciones, se pueden diferenciar 2 tipos:

2.2.1. Restricciones del galpón

La principal restricción es obviamente la derivada del título del proyecto, es decir, solo se realizará el predimensionado de la estructura de acero de galpones industriales que se encuentren situados en el territorio español, dicho esto, los galpones estudiados sí que deben ser acotados de las siguientes formas:

1. Todos los galpones deben de ser completamente simétricos y con cubierta a 2 aguas, siendo el punto de unión de las jácenas su punto más elevado.

Esta limitación simplifica en gran medida la programación de la herramienta, ya que permite hacer un estudio general del galpón al evitar que se tenga que analizar cada zona de él individualmente. Pese a que reduce la flexibilidad del software, esta medida continúa representado la estructura básica de la mayor parte de galpones.

2. El galpón analizado solo podrá disponer de 2 tipos de pórticos diferentes: los pórticos de fachada y los pórticos interiores

Al igual que la restricción 1, esta restricción también representa un avance significativo a la hora de la programación y continúa reproduciendo una cantidad de galpones importante.

3. El ángulo de la cubierta deberá estar comprendido entre 5° y 15°

Se cree que con esta restricción se representa a la mayor parte de galpones existentes en el sector, como se ha mencionado previamente, esta es una herramienta para casos generales.

4. La distancia entre pórticos estará comprendida entre 4 y 6 metros.

Tal como afirma (Nonnast, 1991): “La experiencia en el cálculo de galpones de acero, recomienda una separación entre marcos que varíe entre cuatro y seis metros”.

Por tanto, este abanico de distancias, se estima como el más común entre los galpones con características similares al tipo de construcción que es objeto de estudio

5. Se utilizará un perfil tipo IPE

Los perfiles IPE son los más usados para este tipo de construcciones, por tanto se ha optado por utilizar este tipo para la primera versión del programa. Este punto se considera susceptible de una posible expansión futura del software donde se incluirían diferentes tipos de perfiles.

6. El usuario será responsable de la geometría básica del galpón

Como se ha mencionado anteriormente, el software trabaja a partir de inputs introducidos por el usuario; por lo tanto, de la lógica que tengan estos se basará la veracidad de los resultados obtenidos. Debido a este hecho, se considera al usuario responsable de introducir datos posibles y que se puedan dar en la construcción de un galpón real para así no comprometer el análisis que se va a realizar.

7. Los marcos se considerarán empotrados en la base

A continuación se muestra una representación del galpón tipo que a ver objeto de estudio:

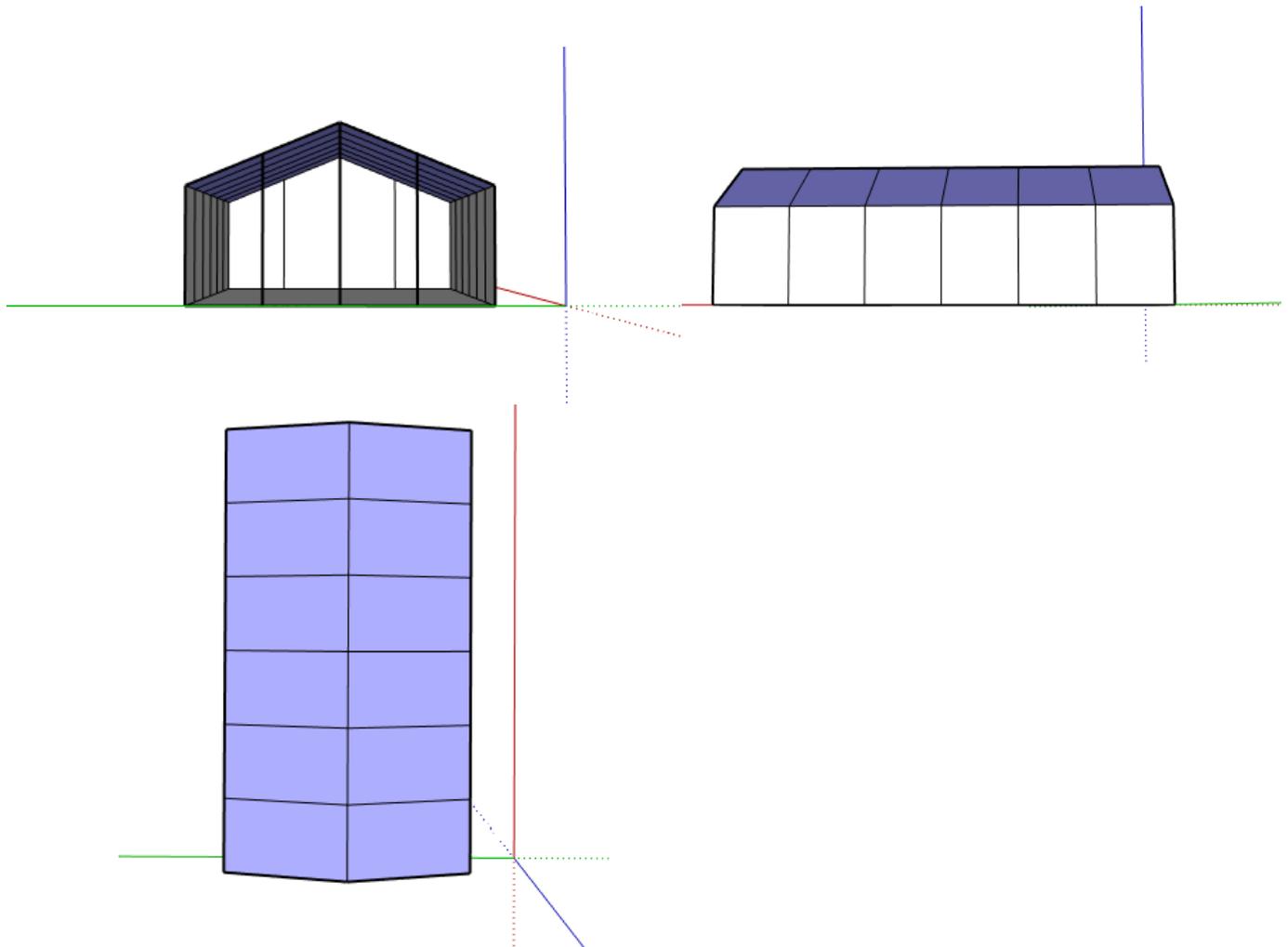


Ilustración 6

Fuente: Elaboración propia

2.2.2. Consideraciones en relación a la normativa.

La estructura estará destinada exclusivamente a actividades industriales y la cubierta de esta solo disponible para la conservación y mantenimiento de la misma.

Se supone un tiempo de vida de la estructura de 50 años a efectos de cálculos y valores dependientes de esta cifra.

2.2.3. Legislación aplicable.

- Ley 38/1999, de 5 de noviembre de 1999, Jefatura del Estado Ley de Ordenación de la Edificación.

Se trata de la ley básica de la edificación en España, el Código Técnico de la Edificación desarrolla los conceptos que aparecen en ella.

- Real Decreto 997/2002, de 27 de septiembre, Ministerio de Fomento Norma de construcción sismorresistente: parte general y edificación (NCSR-02).

Recopila la legislación relacionada con el fenómeno accidental sismo.

- Real Decreto 751/2011, de 27 de mayo, Ministerio de la Presidencia Instrucción de Acero Estructural (EAE).

El EAE es el encargado de recopilar toda la normativa referente al acero.

- Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo de 2006, Ministerio de Vivienda. Código Técnico de la Edificación.

Según la página web oficial del CTE (<https://www.codigotecnico.org/>, s.f.): El Código Técnico de la Edificación (CTE) es el marco normativo que establece las exigencias que deben cumplir los edificios en relación con los requisitos básicos de seguridad y habitabilidad establecidos en la Ley 38/1999 de 5 de noviembre, de Ordenación de la Edificación (LOE).

El CTE se compone de varios documentos, a continuación, se muestran los que han sido utilizados para el desarrollo de la herramienta:

DB-SE: Documento Básico. Seguridad Estructural.

DB-SE-AE: Documento Básico. Seguridad Estructural. Acciones en la Edificación.

DB-SE-A: Documento Básico. Seguridad Estructural. Acero.

CAPÍTULO 3: DESCRIPCIÓN DE LA HERRAMIENTA

El software que se desea implementar consta de cinco partes claramente diferenciadas: inputs, cálculo de acciones, cálculos estructurales, verificación de perfiles y outputs. Tres de estas cinco partes (cálculo de acciones, cálculos estructurales y verificación de perfiles) se encuentran directamente relacionadas a través de un bucle que repite el proceso de elección de perfiles para cada caso de carga; asimismo, dentro de este bucle se encuentra otro que también relaciona las mismas partes de la herramienta y que se encarga de realizar un proceso iterativo con los perfiles hasta encontrar el adecuado para cada caso. Se puede observar el funcionamiento del programa de una forma gráfica en el siguiente flowchart:

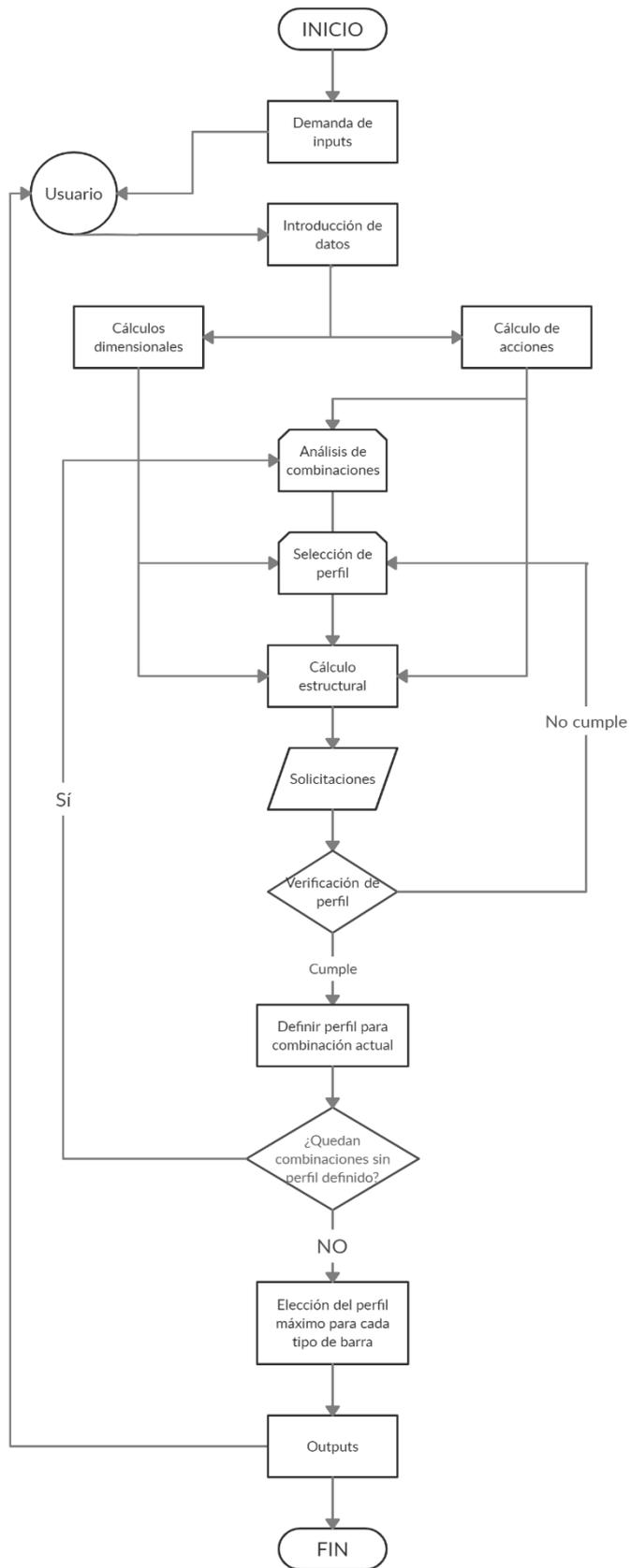


Ilustración 7

Fuente: Elaboración propia

3.1. Inputs necesarios para el predimensionado

Para realizar el cálculo estructural se necesitan ciertos datos de partida, estos datos serán proporcionados por el usuario y el programa se encargará de hacer saber a este cuando y como (en qué unidades) introducirlos. A continuación se muestra toda la información que será requerida.

En el apartado 1 del anexo I se desarrolla la metodología utilizada para la obtención de los distintos inputs a nivel de lenguaje de programación.

3.1.1. Dimensiones

3.1.1.1. Dimensiones básicas

La información relacionada con las dimensiones de la estructura es la más básica y necesaria y por tanto será la primera que le aparezca al usuario.

Los datos que deberán ser introducidos son:

- Longitud del galpón (m).
- Ancho o luz del galpón (m).
- Altura del galpón (m).

3.1.1.2. Dimensiones de la cubierta

La segunda clase de información que le aparecerá al usuario, será la relacionada con la cubierta, y se hará a través de los siguientes datos:

- Peso de la cubierta (kN/m²).
La información se pide en estas unidades debido a que es como se suele encontrar en la mayoría de catálogos de los fabricantes
- Ángulo de la cubierta (°).
Como se especificó previamente en el apartado 2.2.1., el ángulo debe estar entre 5° y 15°, por lo que el programa seguirá pidiendo un ángulo hasta que detecte que el introducido cumple con las restricciones.

3.1.1.3. Dimensiones de los pórticos

En cuanto a los pórticos, se requerirá la siguiente información:

- Número de pórticos
- Número de pilares de los pórticos frontales
- Número de pilares de los pórticos interiores

3.1.2. Datos de los materiales

En lo referente al acero utilizado, se han introducido previamente los parámetros del acero S275JR. Con esta acción se reduce en gran medida el tiempo destinado a la introducción de datos por parte del usuario, si decide

utilizar este acero. Si por el contrario el usuario decide utilizar otro acero, se le exigirán los siguientes datos referentes a este:

- Módulo elástico (MPa)
- Resistencia característica (MPa)

3.1.3. Inputs relacionados con las acciones de la edificación

3.1.3.1. Acciones por nieve

Se requerirá:

- Valor de la carga por nieve (kN/m²)
Este valor se puede extraer fácilmente de la tabla 3.8. del DB SE-AE (tabla 3), dentro del CTE o bien desde de la tabla E.2. (tabla 4) dentro de este mismo documento si se requiere mayor grado de exactitud

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

Tabla 3

Fuente: Código Técnico de la edificación

Altitud (m)	Zona de clima invernal, (según figura E.2)						
	1	2	3	4	5	6	7
0	0,3	0,4	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
200	0,5	0,5	0,2	0,2	0,3	0,2	0,2
400	0,6	0,6	0,2	0,3	0,4	0,2	0,2
500	0,7	0,7	0,3	0,4	0,4	0,3	0,2
600	0,9	0,9	0,3	0,5	0,5	0,4	0,2
700	1,0	1,0	0,4	0,6	0,6	0,5	0,2
800	1,2	1,1	0,5	0,8	0,7	0,7	0,2
900	1,4	1,3	0,6	1,0	0,8	0,9	0,2
1.000	1,7	1,5	0,7	1,2	0,9	1,2	0,2
1.200	2,3	2,0	1,1	1,9	1,3	2,0	0,2
1.400	3,2	2,6	1,7	3,0	1,8	3,3	0,2
1.600	4,3	3,5	2,6	4,6	2,5	5,5	0,2
1.800	-	4,6	4,0	-	-	9,3	0,2
2.200	-	8,0	-	-	-	-	-

Tabla 4

Fuente: Código Técnico de la edificación

3.1.3.2. Acciones por viento

Se necesitará introducir los siguientes datos:

- Selección de zona (A, B o C)

La persona que haga uso del software deberá seleccionar una de las 3 posibles zonas de viento que delimita el CTE en el DB SE-AE a través de la ilustración D.1. de dicho documento (ilustración 8).

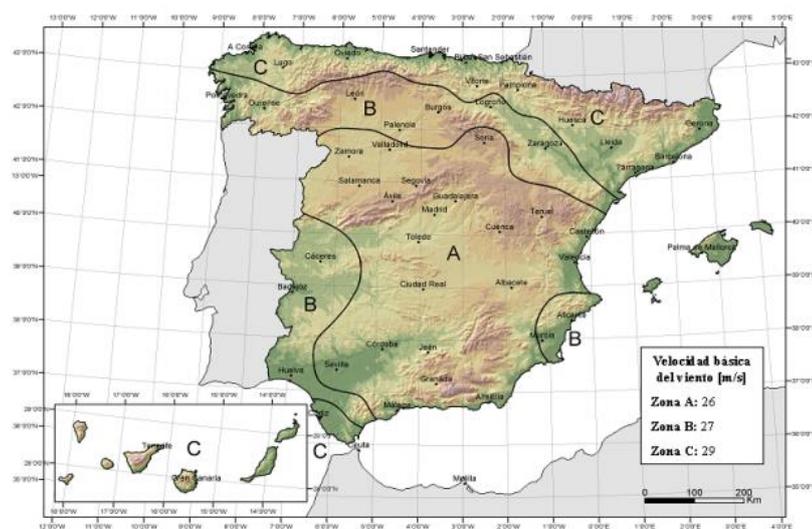


Ilustración 8

Fuente: Código Técnico de la edificación

- Coeficiente de exposición

Se puede obtener de forma sencilla de la tabla 3.4. del DB SE-AE, dentro del CTE (tabla 5), el valor dependerá del uso del galpón y de la altura del galpón.

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 5

Fuente: Código Técnico de la edificación

3.2. Cálculo de acciones

En este apartado se desarrollará el procedimiento seguido para el cálculo de los outputs, se mostrarán también las variables necesarias obtenidas en el proceso y que no serán mostradas al usuario.

Se seguirá la misma estructura que en el punto 3.1. con el fin poder relacionar directamente los inputs con los cálculos que derivan de estos.

3.2.1. Cálculos a partir de las dimensiones introducidas

3.2.1.1. Cálculos a partir de las dimensiones básicas

Los inputs demandados al usuario en este ámbito se pueden consultar en el punto 3.1.1.1. a partir de ellos se procederá al cálculo del área del galpón (areagalpon).

$$areagalpon = long \cdot ancho \quad (21)$$

3.2.1.2. Cálculos a partir de las dimensiones de la cubierta

A partir de los inputs listados en el apartado 3.1.1.2., se procederá al cálculo de la altura de los pilares.

Para ello se calcula la diferencia de altura entre el punto más alto y el más bajo de la cubierta:

$$difaltura = \tan(angulocubierta \cdot \frac{ancho}{2}) \quad (22)$$

A partir de este dato se puede calcular la altura de los pilares restando este valor a la altura total de la estructura:

$$alturapilares = alto - difaltura \quad (23)$$

3.2.1.3. Cálculos a partir de las dimensiones de los pórticos

Se hallará la distancia entre pórticos, y la distancia entre pilares de cada tipo de pórticos:

$$distporticos = \frac{long}{(numporticos - 1)} \quad (24)$$

$$distpilarespf = \frac{ancho}{(numpilarespf - 1)} \quad (25)$$

$$distpilarespi = \frac{ancho}{(numpilarespi - 1)} \quad (26)$$

3.2.2. Cálculos relacionados con los materiales

Se realizará la ponderación usando el coeficiente de seguridad de este tipo de elementos ($\gamma_{MO}=1,05$) según el DB-SE-A en el apartado 2.3.3.

$$fyd = \frac{fyk}{1,05} \quad (27)$$

3.2.3. Cálculos relacionados con las acciones

3.2.3.1. Carga Permanente

Dentro de esta acción se comprenden los efectos del peso propio, las del pretensado y las causadas por el terreno. Sin embargo, para el predimensionado solo se tendrán en cuenta los efectos derivados del peso propio.

El peso propio a tener en cuenta es el de los elementos estructurales, los cerramientos y elementos separadores, la tabiquería, todo tipo de carpinterías, revestimientos (como pavimentos, guarnecidos,

enlucidos, falsos techos), rellenos (como los de tierras) y equipo fijo.
(Ministerio de Vivienda, 2006)

Para estimar el valor de esta acción primero calculamos el peso propio de la estructura, para ello, se dividirá la luz del galpón entre 100:

$$PP = ancho/100 \quad (28)$$

Al PP de la estructura se le adiciona el peso propio de la cubierta:

$$SumaCP = PP + pesocubierta \quad (29)$$

Teniendo el valor de la carga permanente, se deberá multiplicar por el ámbito del pórtico donde se vaya a aplicar. En los galpones que tiene como objeto de estudio este proyecto, se pueden diferenciar 2 tipos de pórticos.

- Pórtico frontal: este tipo de pórtico se corresponde con el primero y el último del galpón. Su ámbito será la mitad de la distancia entre pórticos.



Ilustración 9

Fuente: Elaboración propia

- Pórtico interior: este tipo de pórtico se corresponde con los pórticos comprendidos entre el primer y el último del galpón. Su ámbito será la distancia entre pórticos.

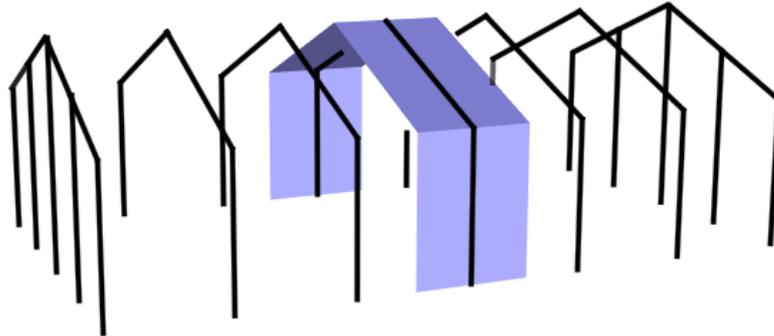


Ilustración 10

Fuente: Elaboración propia

Así pues, las cargas permanentes aplicadas tendrán esta forma:

$$CPPF = SumaCP \cdot (distporticos/2) \quad (30)$$

$$CPPI = SumaCP \cdot distporticos \quad (31)$$

3.2.3.2. Sobrecarga de uso.

Considerando el siguiente extracto del CTE:

Por lo general, los efectos de la sobrecarga de uso pueden simularse por la aplicación de una carga distribuida uniformemente. De acuerdo con el uso que sea fundamental en cada zona del mismo, como valores

característicos se adoptarán los de la Tabla 3.1. Dichos valores incluyen tanto los efectos derivados del uso normal, personas, mobiliario, enseres, mercancías habituales, contenido de los conductos, maquinaria y en su caso vehículos, así como las derivadas de la utilización poco habitual, como acumulación de personas, o de mobiliario con ocasión de un traslado. (Ministerio de Vivienda, 2006)

Asimismo, para comprobaciones locales de capacidad portante, debe considerarse una carga concentrada actuando en cualquier punto de la zona. Dicha carga se considerará actuando simultáneamente con la sobrecarga uniformemente distribuida en las zonas de uso de tráfico y aparcamiento de vehículos ligeros, y de forma independiente y no simultánea con ella en el resto de los casos. (Ministerio de Vivienda, 2006)

Para el cálculo de la sobrecarga de uso se tomará, por lo tanto, el valor indicado en la tabla 3.1. del Documento Básico SE-AE (Tabla 6) correspondiente a la categoría G1 (Cubiertas ligeras sobre correas (sin forjado))= 0,4 (kN/m²)

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

Tabla 6

Fuente: Código Técnico de la edificación

A partir de este valor, se aplica en los diferentes tipos de pórticos:

$$SUPF = 0.4 \cdot (distpórticos/2) \quad (32)$$

$$SUPI = 0.4 \cdot distpórticos \quad (33)$$

3.2.3.3. Nieve.

En la legislación vigente se define a la acción por nieve de la siguiente forma:

La distribución y la intensidad de la carga de nieve sobre un edificio, o en particular sobre una cubierta, depende del clima del lugar, del tipo

de precipitación, del relieve del entorno, de la forma del edificio o de la cubierta, de los efectos del viento, y de los intercambios térmicos en los paramentos exteriores. (Ministerio de Vivienda, 2006)

En cuanto al coeficiente de forma (μ), en la normativa existe la siguiente consideración:

En un faldón limitado inferiormente por cornisas o limatesas, y en el que no hay impedimento al deslizamiento de la nieve, el coeficiente de forma tiene el valor de 1 para cubiertas con inclinación menor o igual que 30° y 0 para cubiertas con inclinación de mayor o igual que 60° (para valores intermedios se interpolará linealmente). Si hay impedimento, se tomará $\mu = 1$ sea cual sea la inclinación. (Ministerio de Vivienda, 2006)

Se ha decidido tomar de referencia el caso más restrictivo para garantizar la seguridad, por tanto, se le supondrá un valor de 1 al coeficiente de forma.

Teniendo en cuenta que el valor característico de carga de nieve ya ha sido introducido previamente por el usuario, el cálculo sería de esta forma:

$$carganieve = carganievehor \cdot \mu \quad (34)$$

Y la aplicación a los pórticos será:

$$nievePF = carganieve \cdot \left(\frac{distporticos}{2} \right) \quad (35)$$

$$nievePI = carganieve \cdot distporticos \quad (36)$$

3.2.3.4. Viento.

La distribución y el valor de las presiones que ejerce el viento sobre un edificio y las fuerzas resultantes dependen de la forma y de las dimensiones de la construcción, de las características y de la permeabilidad de su superficie, así como de la dirección, de la intensidad y del racheo del viento. (Ministerio de Vivienda, 2006)

La acción del viento se obtiene a partir de la expresión:

$$q_e = q_b \cdot c_e \cdot c_p \quad (37)$$

Para el cálculo del primer término (q_b), será necesario utilizar:

- La velocidad del viento: previamente introducida por el usuario, la densidad del aire
- La densidad del aire, que según el CTE puede adoptarse un valor de $1,25 \text{ kg/m}^3$

La densidad del aire depende, entre otros factores, de la altitud, de la temperatura ambiental y de la fracción de agua en suspensión. En general puede adoptarse el valor de $1,25 \text{ kg/m}^3$. En emplazamientos muy cercanos al mar, en donde sea muy probable la acción de rocío, la densidad puede ser mayor. (Ministerio de Vivienda, 2006)

El cálculo de q_b será el siguiente:

$$qb = 0.5 \cdot \text{densidadaire} \cdot (\text{valorviento}^2) \quad (38)$$

En cuanto al c_e , será introducido por el usuario tal como se describe en el apartado 3.1.3.2.

Por último, previamente al cálculo de coeficiente eólico se han tomado en cuenta varias consideraciones:

En primer lugar, el tipo de galpón que se quiere analizar se puede identificar como una construcción diáfana, por lo tanto se deberá realizar un análisis individual a cada zona de la construcción, tal como se menciona en el DBAE:

En naves y construcciones diáfnas, sin forjados que conecten las fachadas, la acción de viento debe individualizarse en cada elemento de superficie exterior. (Ministerio de Vivienda, 2006)

Además, el galpón se trata de una estructura completamente cerrada, por lo que para el análisis se utilizara exclusivamente el coeficiente exterior.

En tercer lugar, el ángulo del viento se supondrá 0° , es decir, será completamente perpendicular a la superficie afectada, por lo tanto observando los esquemas de las diferentes zonas para naves industriales a dos aguas (ilustración 11, ilustración 12 e ilustración 13), se pueden simplificar las zonas A, B y C en una única zona a la que se ha denominado zona ABC; el mismo caso ocurre con las zonas F y G, a partir de ahora simplificadas como una única zona G.

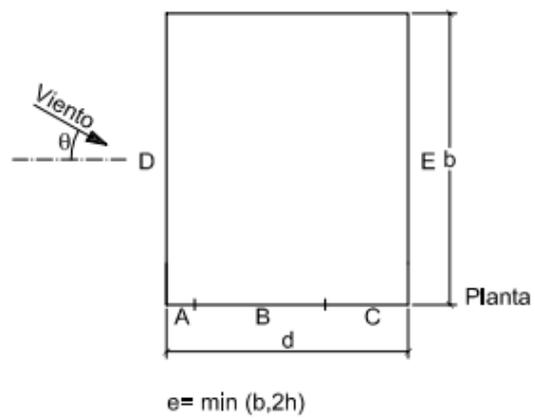
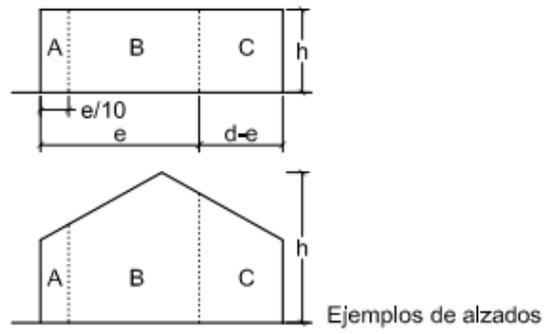


Ilustración 11

Fuente: Código Técnico de la edificación

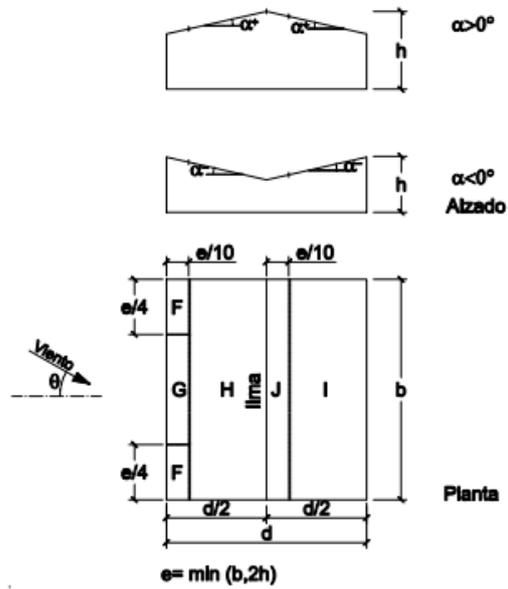


Ilustración 12

Fuente: Código Técnico de la edificación

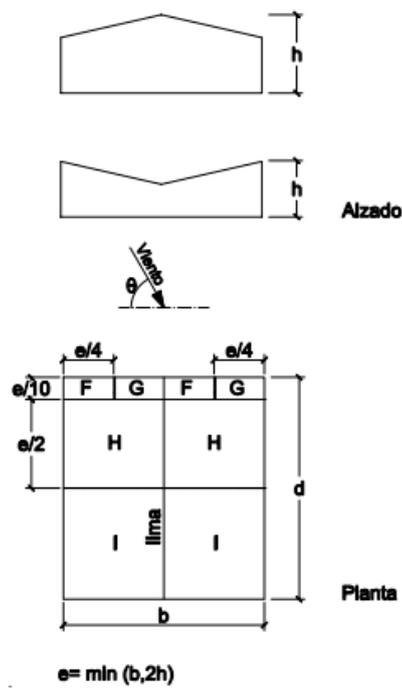


Ilustración 13

Fuente: Código Técnico de la edificación

Las últimas consideraciones tienen como finalidad la simplificación de las tablas de valores de cada zona (tablas 7, 8 y 9) a la hora de convertirlas al lenguaje de programación que utiliza la herramienta. La principal simplificación es la que hace referencia al ángulo, que como se ha especificado en el apartado 2.2.1. estará comprendido entre 5° y 15°. También se ha definido que cualquier galpón contará con un área mayor que 10 m². A partir de estas 2 consideraciones, se han adoptado distintos valores de coeficientes para zona, según la diferencia numérica entre los posibles valores.

A (m ²)	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 7

Fuente: Código Técnico de la edificación

Pendiente de la cubierta α	A (m ²)	Zona (según figura)				
		F	G	H	I	J
-45°	≥ 10	-0,6	-0,6	-0,8	-0,7	-1
	≤ 1	-0,6	-0,6	-0,8	-0,7	-1,5
-30°	≥ 10	-1,1	-0,8	-0,8	-0,6	-0,8
	≤ 1	-2	-1,5	-0,8	-0,6	-1,4
-15°	≥ 10	-2,5	-1,3	-0,9	-0,5	-0,7
	≤ 1	-2,8	-2	-1,2	-0,5	-1,2
-5°	≥ 10	-2,3	-1,2	-0,8	0,2	-0,6
	≤ 1	-2,5	-2	-1,2	0,2	-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	-2,5	-2	-1,2	0,2	0,2
	≤ 1	+0,0	+0,0	+0,0	-0,6	-0,6
30°	≥ 10	-0,9	-0,8	-0,3	-0,4	-1
	≤ 1	0,2	0,2	0,2	+0,0	+0,0
45°	≥ 10	-2	-1,5	-0,3	-0,4	-1,5
	≤ 1	0,2	0,2	0,2	+0,0	+0,0
60°	≥ 10	-0,5	-0,5	-0,2	-0,4	-0,5
	≤ 1	-1,5	-1,5	-0,2	-0,4	-0,5
75°	≥ 10	0,7	0,7	0,4	0	0
	≤ 1	0,7	0,7	0,4	0	0
80°	≥ 10	-0,0	-0,0	-0,0	-0,2	-0,3
	≤ 1	0,7	0,7	0,6	+0,0	+0,0
85°	≥ 10	-0,0	-0,0	-0,0	-0,2	-0,3
	≤ 1	0,7	0,7	0,6	+0,0	+0,0
90°	≥ 10	0,7	0,7	0,7	-0,2	-0,3
	≤ 1	0,7	0,7	0,7	-0,2	-0,3
95°	≥ 10	0,8	0,8	0,8	-0,2	-0,3
	≤ 1	0,8	0,8	0,8	-0,2	-0,3

Tabla 8

Fuente: Código Técnico de la edificación

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

Tabla 9

Fuente: Código Técnico de la edificación

Teniendo los 3 términos necesarios para completar la ecuación (37), se procede a aplicar el valor de la acción de viento a cada tipo de pórtico o pilar si se trata de viento frontal.

$$\text{Carga viento PI} = q_e \cdot \text{distporticos} \quad (39)$$

$$\text{Carga viento PF} = q_e \cdot \text{distporticos} / 2 \quad (40)$$

En cuanto a pilares, también se diferencian 2 tipos, los que se encuentran en los extremos del pórtico y los intermedios o interiores.

$$\text{Carga viento PINT} = q_e \cdot \text{distpilarespf} \quad (41)$$

$$\text{Carga viento PEXT} = q_e \cdot \text{distpilarespf} / 2 \quad (42)$$

3.2.3.5. Sismo.

Primeramente, para el cálculo de la acción accidental causada por el sismo, se debe clasificar el tipo de construcción acorde con la normativa de construcciones sismorresistentes (NCSE-02).

Según este documento, se puede definir el tipo de galpón del que se realiza el estudio como una construcción “de importancia normal”, ya que cumple con la siguiente descripción:

Aquellas cuya destrucción por el terremoto pueda ocasionar víctimas, interrumpir un servicio para la colectividad, o producir importantes

pérdidas económicas, sin que en ningún caso se trate de un servicio imprescindible ni pueda dar lugar a efectos catastróficos. (Ministerio de Fomento, 2002)

En el apartado 1.2.3. de criterios aplicación de la norma se realiza la siguiente consideración sobre cuando quedan exentas de aplicación este tipo de construcciones:

En las construcciones de importancia normal con pórticos bien arriostrados entre sí en todas las direcciones cuando la aceleración sísmica básica sea inferior a 0,08g. (Ministerio de Fomento, 2002).

Tomando en cuenta que en la mayor parte del territorio español el valor de a_b es inferior a 0,08 (ver ilustración 14) y que el galpón se encuentra correctamente arriostrado, se considera que no es necesario realizar el estudio sismorresistente con fines de predimensionado.



3.2.3.6. Acciones térmicas.

En cuanto esta acción, se ha decidido no incluirla en el análisis de fuerza debido a que se puede evitar de forma notable su efecto con la implementación de las juntas de dilatación correspondientes, tal como se muestra en el CTE:

La disposición de juntas de dilatación puede contribuir a disminuir los efectos de las variaciones de la temperatura. En edificios habituales

con elementos estructurales de hormigón o acero, pueden no considerarse las acciones térmicas cuando se dispongan juntas de dilatación de forma que no existan elementos continuos de más de 40 m de longitud. (Ministerio de Vivienda, 2006)

3.3. Hipótesis de cargas

En primer lugar se deben definir claramente cuáles son las cargas que afectan a cada tipo de pórtico. Ambos pórticos se verán afectados en el plano XY por las cargas distribuidas de carácter vertical y compresivo causadas por las acciones del peso propio, la sobrecarga de uso y la nieve. Además de estas, cada pórtico sufrirá los efectos del viento; el pórtico interior, se verá afectado por el valor que adquiere la carga de viento en la zona I a lo largo de las jácenas y el de la zona ABC en los pilares exteriores. El pórtico frontal se verá expuesto al viento de la zona G en las jácenas y al viento lateral de la zona ABC en los pilares exteriores, además de recibir en el eje Z la acción del viento de la zona D.

Definidas las cargas, deben ser mayoradas e incluidas en diferentes combinaciones para garantizar el cumplimiento del Estado Límite Último (ELU); se ha optado por basar el predimensionamiento en este tipo de combinaciones, en detrimento de las definidas por el Estado Límite de Servicio (ELS), ya que dan lugar a valores que representan un estado más crítico para la estructura.

A partir de la hipótesis de carga resultante de cada una de las combinaciones siguientes se realizarán los cálculos estructurales necesarios, que junto con las comprobaciones correspondientes darán lugar al perfil adecuado para cada combinación; estos perfiles se almacenarán en una matriz para posteriormente seleccionar el perfil máximo de cada elemento de cada pórtico y mostrarlo al usuario.

Para definir cada hipótesis de carga se seguirá la ecuación de combinación de acciones para capacidad portante extraída del CTE, los coeficientes de mayoración de cargas que se utilizarán se encuentran recogidos en la tabla 24 y los coeficientes de simultaneidad en la tabla 25.

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_k \quad (43)$$

Tipo de verificación ⁽¹⁾	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

⁽¹⁾ Los coeficientes correspondientes a la verificación de la resistencia del terreno se establecen en el DB-SE-C

Tabla 10

Fuente: Código técnico de la edificación.

	Ψ_0	Ψ_1	Ψ_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 11

Fuente: Código técnico de la edificación.

Combinaciones capacidad portante:

A continuación las hipótesis de carga para el pórtico interior:

- $C1=1,35 \cdot CP$
- $C2=1,35 \cdot CP+1,5 \cdot SU$
- $C3=1,35 \cdot CP+1,5 \cdot Nieve$
- $C4=1,35 \cdot CP+1,5 \cdot Viento$
- $C5=1,35 \cdot CP+1,5 \cdot Viento+1,5 \cdot 0,6 \cdot Nieve$
- $C6=1,35 \cdot CP+1,5 \cdot Nieve+1,5 \cdot 0,6 \cdot Viento$

Y las correspondientes al pórtico frontal:

- $C1=1,35 \cdot CP$
- $C2=1,35 \cdot CP+1,5 \cdot SU$
- $C3=1,35 \cdot CP+1,5 \cdot Nieve$
- $C4=0,8 \cdot CP+1,5 \cdot Viento$

3.4. Cálculos estructurales

Una vez realizado el cálculo de las acciones aplicables al objeto de estudio, se pasará a poner en práctica el método de la rigidez, tal como se ha explicado previamente en el punto 2.1., empezando por la construcción de la matriz de rigidez del sistema:

3.4.1. Construcción de la matriz de rigidez.

3.4.1.1. Colocación y definición de nodos y pilares

En primer lugar se identificará el número de nodos y las coordenadas de estos, se podrá obtener esta información a partir de las dimensiones del pórtico y de la cantidad de pilares que haya elegido el usuario. Cada extremo del pilar será considerado como un nodo diferente, además del punto de unión de las jácenas, que se considerará otro nodo aunque en determinados casos no sea el extremo de ningún pilar; la ecuación utilizada para el número de nodos es la siguiente:

Para el caso par:

$$\text{numnodos} = \text{numpilares} * 2 + 1$$

Para el caso impar:

$$\text{numnodos} = \text{numpilares} * 2$$

Como origen se ha definido el nodo del pilar situado en el extremo izquierdo, a continuación se muestra cómo se colocan los nudos en un pórtico de 5 pilares, altura 10m (eje y) y luz 20m (eje x):

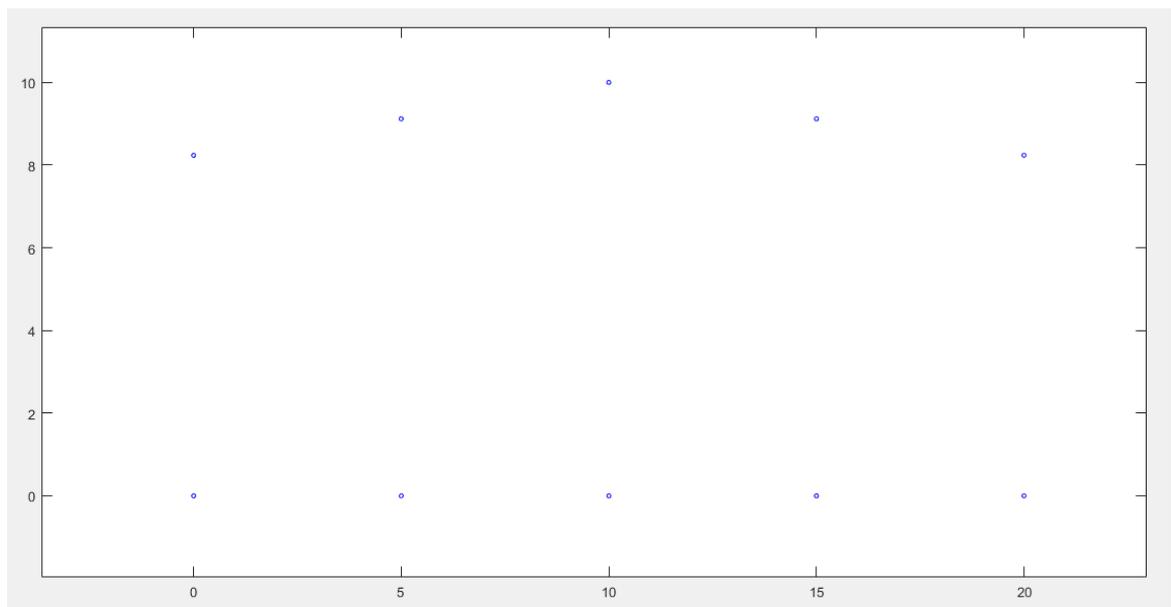


Ilustración 15

Los pilares se colorarán equidistantes y de forma simétrica respecto al eje vertical situado en la mitad de la luz de la nave, en la ilustr. 16 se puede ver la colocación de los pilares para el mismo ejemplo:

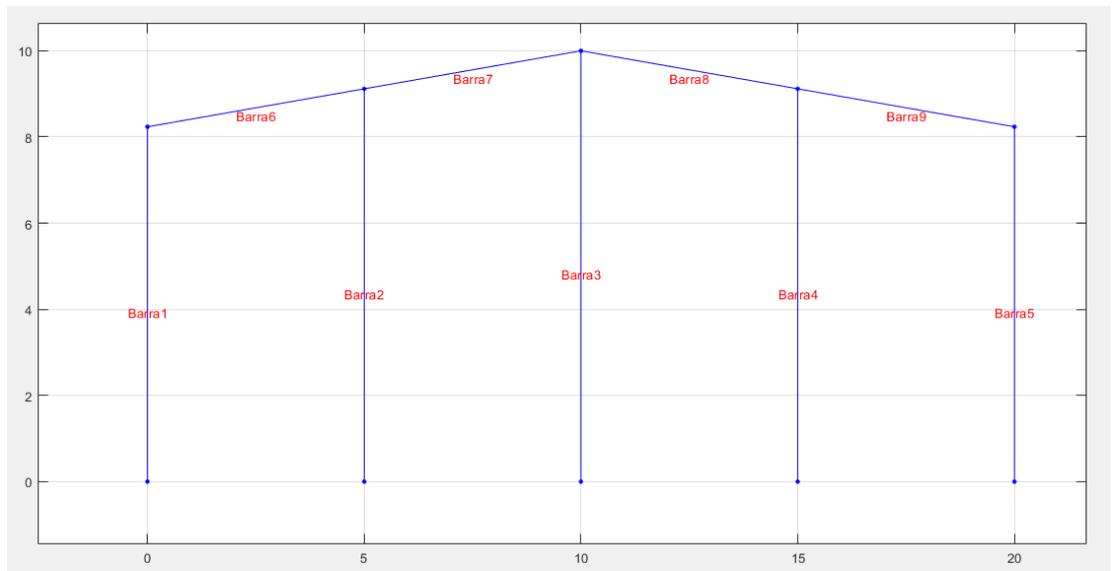


Ilustración 16

3.4.1.2. Obtención de matrices

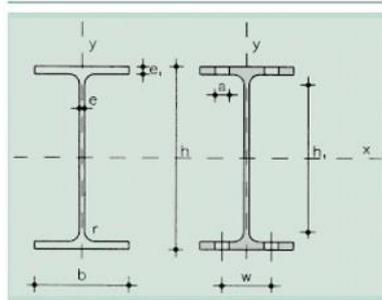
Como se ha mencionado previamente, se construirán las matrices correspondientes para cada una de las barras para posteriormente colocarlas en la matriz completa de la estructura referida a ejes locales. Se pueden diferenciar 2 tipos de barras en el sistema: vigas y columnas, considerándose como columna el elemento barra con ángulo 90° con la horizontal y como viga el elemento barra con ángulo distinto a este. Dentro del tipo columna, las matrices de rigidez a ejes locales y globales solo sufrirán la variación resultante de la diferencias entre longitudes de las barras; en cuanto al tipo viga, sufrirán la misma variación además de la debida al ángulo con la horizontal, siendo el ángulo de las situadas a la izquierda del vértice el propio ángulo de cubierta y el ángulo suplementario del ángulo de cubierta el utilizado

para las que se encuentren a la derecha del vértice. En adición a la longitud de cada barra (obtenidas por trigonometría) y el módulo elástico del acero correspondiente (extraído de los inputs) se deben definir la inercia y el área de la sección transversal con el fin de calcular el valor de los coeficientes de rigidez (ecuaciones (4), (9), (10), (16), (17)). Se elegirán valores basados en la tabla de perfiles IPE (tabla 12), empezando por la elección del perfil mínimo para las vigas, para ello se define un criterio de corte a partir del cual se encontrarán los perfiles válidos, siendo este el definido en la ecuación (44):

$$Altura\ sección \geq \frac{longitud\ vigas}{50} \quad (44)$$

A partir del resultado de esta igualdad se elegirá el perfil mínimo que cumpla el requisito y se utilizarán su área e inercia para el cálculo matricial. En cuanto a los datos de partida de los pilares, se obtendrán a partir de la inercia seleccionada para las vigas, cumpliendo así con la condición de “columna fuerte / viga débil” (ecuación (45)). En ambos procesos, como se ha mencionado, se comenzará con el perfil mínimo que cumpla las restricciones y en caso de no cumplir los requisitos posteriores se volverá al punto de elección de perfil, seleccionando el siguiente de la lista, formando así un proceso iterativo.

$$Inercia\ pilares = 1,4 \cdot Inercia\ vigas \quad (45)$$



- A = Área de la sección
- S_x = Momento estático de media sección, respecto a X
- I_x = Momento de inercia de la sección, respecto a X
- $W_x = 2I_x / h$: Módulo resistente de la sección, respecto a X
- $i_x = \sqrt{I_x / A}$: Radio de giro de la sección, respecto a X
- I_y = Momento de inercia de la sección, respecto a Y
- $W_y = 2I_y / b$: Módulo resistente de la sección, respecto a Y
- $i_y = \sqrt{I_y / A}$: Radio de giro de la sección, respecto a Y
- I_t = Módulo de torsión de la sección
- I_a = Módulo de alabeo de la sección
- u = Perímetro de la sección
- a = Diámetro del agujero del roblón normal
- w = Gramil, distancia entre ejes de agujeros
- h_1 = Altura de la parte plana del alma
- p = Peso por m

Perfil	Dimensiones								Términos de sección								Agujeros			Peso		
	h mm	b mm	e mm	e ₁ mm	r ₁ mm	h ₁ mm	u mm	A cm ²	S _x cm ³	I _x cm ⁴	W _x cm ³	i _x cm	I _y cm ⁴	W _y cm ³	i _y cm	I _t cm ⁴	I _a cm ⁶	w mm	a mm	e ₂ mm	p kp/m	
IPE 80	80	46	3,8	5,2	5	60	328	7,64	11,6	80,1	20,0	3,24	8,49	3,69	1,05	0,721	118	—	—	3,8	6,00	C
IPE 100	100	55	4,1	5,7	7	75	400	10,30	19,7	171,0	34,2	4,07	15,90	5,79	1,24	1,140	351	—	—	4,1	8,10	C
IPE 120	120	64	4,4	6,3	7	93	475	13,20	30,4	318,0	53,0	4,90	27,70	8,65	1,45	1,770	890	35	—	4,4	10,40	C
IPE 140	140	73	4,7	6,9	7	112	551	16,40	44,2	541,0	77,3	5,74	44,90	12,90	1,65	2,630	1981	40	11	4,7	12,90	C
IPE 160	160	82	5,0	7,4	9	127	623	20,10	61,9	869,0	109,0	6,58	68,30	16,70	1,84	3,640	3959	44	13	5,0	15,80	P
IPE 180	180	91	5,3	8,0	9	146	698	23,90	83,2	1320,0	146,0	7,42	101,00	22,20	2,05	5,060	7431	48	13	5,3	18,80	P
IPE 200	200	100	5,6	8,5	12	159	788	28,50	110,0	1940,0	194,0	8,26	142,00	28,50	2,24	6,670	12990	52	13	5,6	22,40	P
IPE 220	220	110	5,9	9,2	12	178	848	33,40	143	2770	252	9,11	205	37,3	2,48	9,15	22670	58	17	5,9	26,20	P
IPE 240	240	120	6,2	9,8	15	190	922	39,10	183	3890	324	9,97	284	47,3	2,69	12,00	37390	65	17	6,2	30,70	P
IPE 270	270	135	6,6	10,2	15	220	1040	45,90	242	5790	429	11,20	420	62,2	3,02	15,40	70580	72	21	6,6	36,10	P
IPE 300	300	150	7,1	10,7	15	249	1160	53,80	314	8360	557	12,50	604	80,5	3,35	20,10	125900	80	23	7,1	42,20	P
IPE 330	330	160	7,5	11,5	18	271	1250	62,60	402	11770	713	13,70	788	98,5	3,55	26,50	199100	85	25	7,5	49,10	P
IPE 360	360	170	8,0	12,7	18	299	1350	72,70	510	16270	904	15,00	1040	123,0	3,79	37,30	313600	90	25	8,0	57,10	P
IPE 400	400	180	8,6	13,5	21	331	1470	84,50	654	23130	1160	16,50	1320	146,0	3,95	48,30	490000	95	28	8,6	66,30	P
IPE 450	450	190	9,4	14,6	21	379	1610	98,80	851	33740	1500	18,50	1680	176,0	4,12	65,90	791000	100	28	9,4	77,60	P
IPE 500	500	200	10,2	16,0	21	426	1740	116,00	1100	48200	1930	20,40	2140	214,0	4,31	91,80	1.249.000	110	28	10,2	90,70	P
IPE 550	550	210	11,1	17,2	24	468	1880	134,00	1390	67120	2440	22,30	2670	254,0	4,45	122,00	1.884.000	115	28	11,1	106,00	C
IPE 600	600	220	12,0	19,0	24	514	2010	155,00	1760	92080	3070	24,30	3390	308,0	4,66	172,00	2.846.000	120	28	12,0	122,0	C

Tabla 12

Fuente:

<https://ingemecanica.com/tutoriales/prontuariodeperfiles.html#ipe>

Una vez obtenidos los datos necesarios para el cálculo de los coeficientes, se construirán las matrices de rigidez de cada elemento, se adaptarán a ejes globales y se colocarán en su sitio correspondiente dentro de la matriz global de la estructura.

3.4.2. Cálculo del vector de fuerzas externas

El resultado de la combinación de cargas correspondiente en cada caso se aplicará en forma de carga distribuida que se aplicará a cada elemento barra calculando las reacciones teóricas que provocaría en el caso de que cada barra se considerara como una barra biempotrada. Esas fuerzas con el sentido invertido serán las aplicadas a cada nodo atendiendo siempre a las restricciones de cada uno de ellos. Con el fin de facilitar el cálculo de las reacciones y la suma de fuerzas que actúan sobre el pórtico se ha decidido simplificar las jácenas a una viga continua a efectos de cálculo y aplicación de las fuerzas nodales

Finalmente, las cargas serán colocadas en el vector correspondiente siguiendo la ordenación de los nodos definida previamente.

3.4.3. Cálculo del vector de desplazamientos

Para el cálculo del vector desplazamientos se utilizarán las versiones reducidas de la matriz de rigidez completa de la estructura y del vector de fuerzas externas, para ello se deben eliminar las filas y columnas correspondientes a los grados de libertad de los nodos restringidos, los apoyos en el caso de estudio del proyecto; será necesario realizar la misma operación con el vector desplazamiento; esto dará lugar a una matriz cuadrada con el mismo número de filas y columnas que el vector anterior. A continuación se despejará el término de desplazamientos de la ecuación (1),

llegando a la siguiente igualdad con la que se obtendrán los desplazamientos de los nodos libres:

$$[K]_{Red}^{-1} \times \{f\}_{Red} = \{U\}_{Red} \quad (46)$$

3.4.4. Cálculo de solicitaciones y esfuerzos

A partir de los desplazamientos de los nudos se calcularán las solicitaciones de cada barra:

$$\{S\}_{A,B} = [K_{global}]_{A,B} \times \{U\}_{A,B} \quad (47)$$

Para hallar los esfuerzos de cada barra se debe realizar una superposición de estados entre el resultante de las solicitaciones y el que origina el momento flector en un empotramiento afectado por una carga uniformemente distribuida, de esta forma para el cálculo del momento flector se procederá de la siguiente forma:

$$M_{max} = \frac{q \cdot l^2}{8} \quad (48)$$

$$\frac{M_A + M_B}{2} + M_{max} = M_{y\ ed} \quad (49)$$

En cuanto a los esfuerzos causados por el axil y el cortante, coincidirán con las solicitaciones calculadas.

3.5. Validación de perfiles

Por último, se realizarán las comprobaciones de los ELU pertinentes con el fin de asegurar el cumplimiento del perfil elegido a los requisitos exigidos por la normativa, dichos requisitos se muestran a continuación y el no cumplimiento de cualquiera de ellos significará aumentar el perfil hasta cumplir con todas las especificaciones.

3.5.1. Verificación por ELU resistencia

Se verificará la condición de resistencia del perfil a través del cálculo de la tensión de Von Mises (SVM) y su posterior comparación con la resistencia de cálculo del acero seleccionado (f_{yd}) para ello se hará uso de las siguientes ecuaciones:

$$\sigma = \frac{N}{A} + \frac{M}{W_y} \quad (50)$$

$$\tau = \frac{V}{Av_z} \quad (51)$$

$$SVM = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2} \quad (52)$$

$$SVM < f_{yd} \quad (53)$$

Siendo:

- σ : Tensión debida al esfuerzo axial y al momento flector.
- τ : Tensión por esfuerzo cortante.
- N: Esfuerzo axial de la sección
- V: Esfuerzo cortante de la sección

- M: Momento flector de la sección
- Av: Área de la sección transversal del perfil seleccionado.
- Avz: Área de cortante
- Wy: Módulo resistente elástico en el plano fuerte
- SVM: Tensión de Von Mises

Se considerará que el perfil cumple por resistencia siempre que SVM sea menor a f_{yd} .

3.5.2. Verificación por radio de giro

Para demostrar si el perfil seleccionado es el adecuado según el radio de giro se calculará esta variable a través del programa y se comparará con la extraída de la tabla IPE. Para ello se debe calcular la longitud de pandeo (L_k):

$$L_{ky} = \beta_1 \cdot L_{barracritica} \quad (54)$$

$$L_{kz} = \beta_2 \cdot L_{barracritica} \quad (55)$$

Obteniendo los coeficientes β de la tabla 13:

Condiciones de extremo	biarticulada	biempotrada	empotrada articulada	biempotrada desplazable	en ménsula
Longitud L_k	1,0 L	0,5 L	0,7 L	1,0 L	2,0 L

Tabla 13

Fuente: Código técnico de la edificación

Adoptándose 2 y 0,7 para el eje y y z respectivamente.

La expresión utilizada para el cálculo del radio de giro será la siguiente:

$$i_y \geq \frac{L_{ky}}{2 \cdot \pi} \sqrt{\frac{f_{yk}}{E}} \quad (56)$$

$$i_z \geq \frac{L_{kz}}{2 \cdot \pi} \sqrt{\frac{f_{yk}}{E}} \quad (57)$$

3.5.3. Verificación de esbeltez

Según la norma la esbeltez reducida (λ) en ambos ejes debe ser menor de 2 en ambos ejes. Por tanto:

$$\lambda_y = \sqrt{\frac{A \cdot f_{yk}}{N_{cri,y}}} \leq 2 \quad (58)$$

$$\lambda_z = \sqrt{\frac{A \cdot f_{yk}}{N_{cri,y}}} \leq 2 \quad (59)$$

Siendo:

- N_{cri} : Carga crítica en el eje indicado:

$$N_{cri,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{ky}^2} \quad (60)$$

$$N_{cri,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{kz}^2} \quad (61)$$

3.5.4. Verificación por ELU pandeo.

Se utilizará la esbeltez reducida más restrictiva como factor de reducción por pandeo y se continuará con el análisis al eje correspondiente

El valor del coeficiente de imperfección se obtendrá de la tabla 14:

Esbeltez reducida	Curva de pandeo				
	a ₀	a	b	c	d
Coeficiente (α) de imperfección	0,13	0,21	0,34	0,49	0,76

Tabla 14

Fuente: Código Técnico de la edificación

Y sabiendo que h/b siempre será mayor que 1.2 y $t_r < 40$ mm para el tipo de perfil IPE, definido en el apartado 2.2.1; se elegirá la curva de pandeo correspondiente de la tabla 15 dependiendo del eje crítico

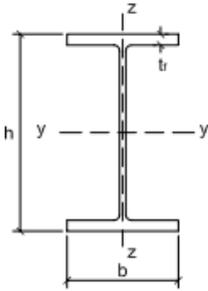
Tipo de sección	Tipo de acero		S235 a S355		S450	
	Eje de pandeo ⁽¹⁾		y	z	y	z
Perfiles laminados en I 	$h/b > 1,2$	$t \leq 40$ mm	a	b	a ₀	a ₀
		$40 \text{ mm} < t \leq 100$ mm	b	c	a	a
	$h/b \leq 1,2$	$t \leq 100$ mm	b	c	a	a
		$t > 100$ mm	d	d	c	c

Tabla 15

Fuente: Código Técnico de la Edificación

Así pues, el coeficiente de reducción por pandeo (χ) queda definido por la siguiente fórmula.

$$\chi = \frac{1}{\varphi + \sqrt{\varphi^2 - \chi^2}} \quad (62)$$

Siendo:

$$\varphi = 0.5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\lambda - 0,2) + \lambda^2] \quad (63)$$

Sustituyendo las variables obtenidas previamente se procede a la verificación por pandeo a través de la siguiente expresión:

$$\frac{N}{\chi \cdot f_{yd} \cdot A} + \frac{1}{1 - \frac{N}{N_{cri}}} \cdot \frac{C_m \cdot M}{W \cdot f_{yd}} \leq 1 \quad (64)$$

3.5.5. Verificación por pandeo lateral.

Para la comprobación de pandeo lateral se procederá del siguiente modo:

$$M_{LTv} = \frac{C_1}{L_{barra\ crítica}} \cdot b_{LTv} \quad (65)$$

$$M_{LTw} = \frac{C_1}{(L_{barra\ crítica})^2} \cdot b_{LTw} \quad (66)$$

Siendo:

- MLT: Componente de MCR

$$b_{LTv} = \pi \cdot \sqrt{G \cdot I_T \cdot E \cdot I_Z} \quad (67)$$

$$b_{LTw} = W_y \cdot \pi^2 \cdot E \cdot i^2 \quad (68)$$

b_{LTv} y b_{LTw} son coeficientes constantes a cada perfil, por lo que están recogidos en la tabla de constantes de perfiles IPE:

IPE	$i_{t,z}$ (mm)	I_T $\cdot 10^4$ (mm ⁴)	I_a $\cdot 10^6$ (mm ⁶)	$b_{LT,v}$ $\cdot 10^5$ (N·mm ²)	$b_{LT,w}$ $\cdot 10^9$ (N·mm ²)	IPE
80	11,4	0,72	118	10130	5387	80
100	13,5	1,14	351	17444	12919	100
120	15,7	1,77	890	28690	27077	120
140	17,9	2,63	1981	44525	51334	140
160	20,0	3,64	3959	64605	90366	160
180	22,2	5,06	7431	92627	149134	180
200	24,4	6,67	12990	126098	239387	200
220	26,9	9,15	22670	177456	377941	220
240	29,4	12	37390	239195	580442	240
270	33,0	15,4	70580	329524	968287	270
300	36,5	20,1	125900	451459	1538013	300
330	38,8	26,5	199100	592090	2224703	330
360	41,3	37,3	313600	806999	3195859	360
400	43,3	48,3	490000	1034576	4507677	400
450	45,2	65,9	791000	1363325	6351659	450
500	47,2	91,8	1249000	1816060	8911696	500
550	49,1	122	1884000	2338501	12191913	550
600	51,3	172	2846000	3128716	16745270	600

Tabla 16

Fuente:

https://previa.uclm.es/area/ing_rural/Acero/Textos/EA_PandeoLateral.pdf

Se calcula el momento crítico:

$$M_{cr} = \sqrt{M_{LTv}^2 + M_{LTw}^2} \quad (69)$$

Y con ello la esbeltez reducida de pandeo lateral, que deberá ser menor que 2:

$$\lambda_{LT} = \sqrt{\frac{W_y \cdot f_{yk}}{M_{CR}}} \leq 2 \quad (70)$$

3.5. Outputs

Al finalizar los cálculos, el programa generará 2 matrices, la primera habrá recogido los perfiles de pilares y vigas que hayan cumplido con las comprobaciones de ELU para cada estado de cargas del pórtico interior; la segunda matriz hará lo propio con el pórtico frontal.

De estas matrices se seleccionará el perfil máximo de cada tipo de barra, con el objetivo de que la estructura esté preparada para resistir cualquiera de las hipótesis de cargas planteadas anteriormente, aspecto que no estaría asegurado si se hubiera optado con realizar el predimensionamiento solo con la combinación más crítica en valor absoluto.

De esta forma se le serán presentados 4 resultados al usuario:

- Perfil IPE para los pilares del pórtico interior.
- Perfil IPE para las vigas del pórtico interior.
- Perfil IPE para los pilares del pórtico frontal.
- Perfil IPE para las vigas del pórtico frontal.

Se ha decidido presentar los resultados de esta forma para ser continuista con unos de los principales rasgos del software como son la simplicidad y la respuesta rápida. Sin embargo, al ser un software libre con un código público (Anexo I), es posible consultar cualquier dato intermedio del proceso llamando a la variable deseada desde la ventana de comandos de Matlab.

RESULTADOS:

A continuación se muestran los resultados obtenidos para el pórtico interior:

El perfil elegido para los pilares es IPE330.

El perfil elegido para las vigas es IPE270.

A continuación se muestran los resultados obtenidos para el pórtico frontal:

El perfil elegido para los pilares es IPE330.

El perfil elegido para las vigas es IPE140.

Ilustración 17

CAPÍTULO 4: EJEMPLO

Una vez creada la herramienta se debe comprobar su fiabilidad mediante el uso de un ejemplo. A continuación se presentará el galpón escogido para validar el software, como así sus datos de partida, que se identifican con los inputs del programa desarrollado. Posteriormente se analizarán detenidamente los resultados obtenidos comparándolos con el galpón de ejemplo, con el fin de extraer conclusiones.

4.1. Presentación del galpón ejemplo

El galpón seleccionado para ser utilizado como ejemplo es el galpón diseñado por David Élez Reche en su trabajo de fin de grado: “Diseño de estructura básica de nave industrial”, se ha optado por este galpón en concreto porque en primer lugar, cumple con las restricciones impuestas a la estructura (definidas en el apartado 2.2.1.) para ser analizada por el software; además el galpón cuenta con ciertas características que le convierten en una nave industrial con un alto grado de similitud con el galpón que se generó por el programa, como pueden ser que su situación geográfica no requiera de un análisis de sismo específico o que su uso no exija ninguna restricción de diseño. Sin embargo, la principal razón por la que se tomó esta decisión es porque el galpón diseñado por D. Élez cuenta con una memoria de cálculo asociada que se encuentra dentro del trabajo de fin de grado, esto significa una gran ayuda ya que permite una comparación de valores intermedios, no solo de inputs y outputs, como la mayoría de naves que cumplían los

requisitos estructurales y de entorno, gracias a esta comparación intermedia se puede localizar el fallo del programa, en caso de que exista, con rapidez y exactitud, además teniendo acceso a la memoria es posible observar las consideraciones realizadas por su autor, pudiendo ser estas las razón de cierta variación en el resultado final.

4.2. Datos iniciales

Los datos iniciales del galpón ejemplo se encuentran en la siguiente tabla:

Características	Valores
Dimensiones	20x40x8,68 (m)
Tipo de cubierta	A 2 aguas
Ángulo cubierta	15°
Nº de pórticos	9 (2 frontales+7 interiores)
Nº de pilares PF	5
Nº de pilares PI	2
Resistencia característica del acero	275 (MPa)
Módulo de elasticidad del acero	210000 (MPa)
Peso cubierta	0.15 kN/m ²
Valor carga por nieve	0.2 kN/m
Zona de viento	A
Coefficiente de exposición	1,7

Tabla 17

Representación del galpón ejemplo:

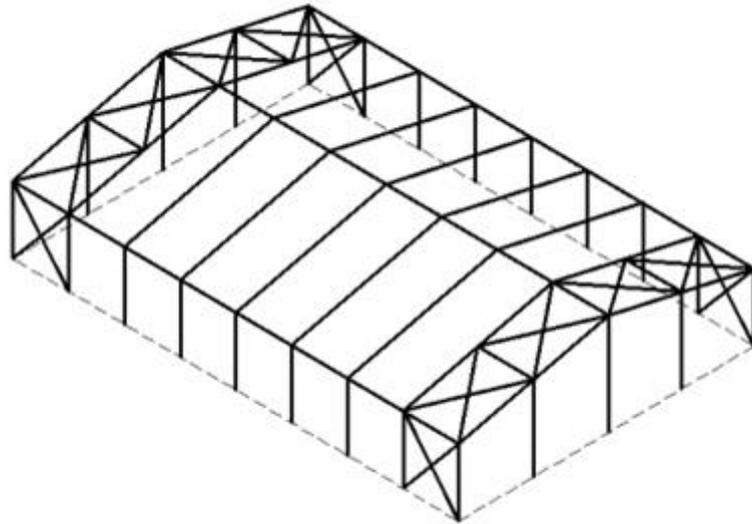


Ilustración 18

Fuente: "Diseño de estructura básica de nave industrial" (D. Élez, Reche)

4.3. Comparación de resultados

4.3.1. Resultados del cálculo de acciones

A continuación se mostrarán los valores de cada una de los tipos de cargas aplicadas sobre los 2 pórticos.

4.3.1.1 Acciones permanentes

Cargas galpón ejemplo:

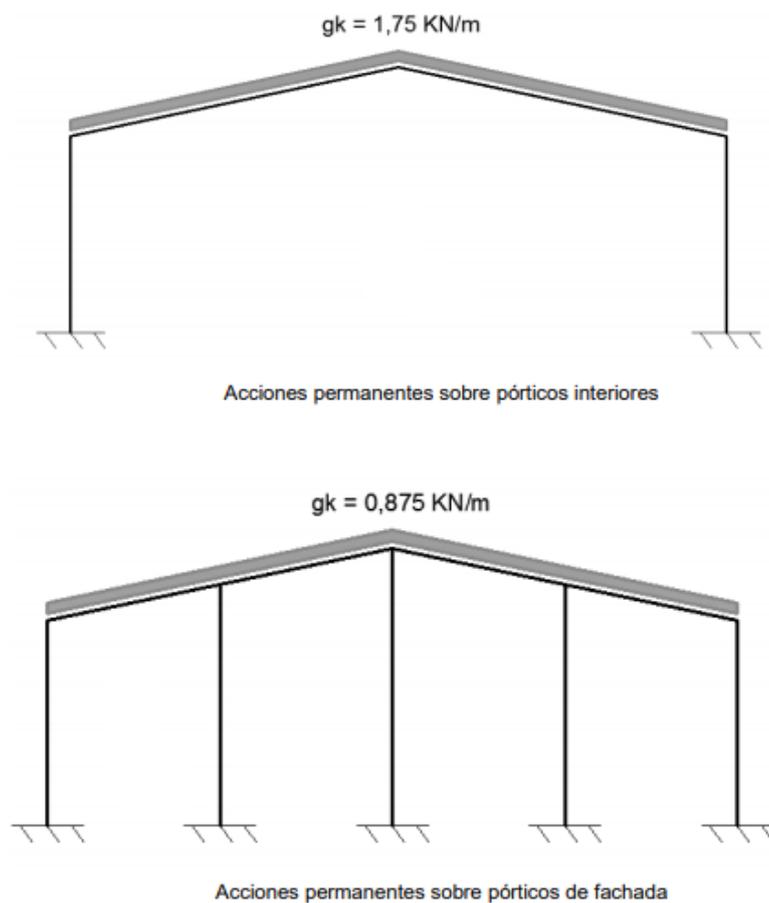


Ilustración 19

Fuente: "Diseño de estructura básica de nave industrial" (D. Élez, Reche)

Cargas herramienta:

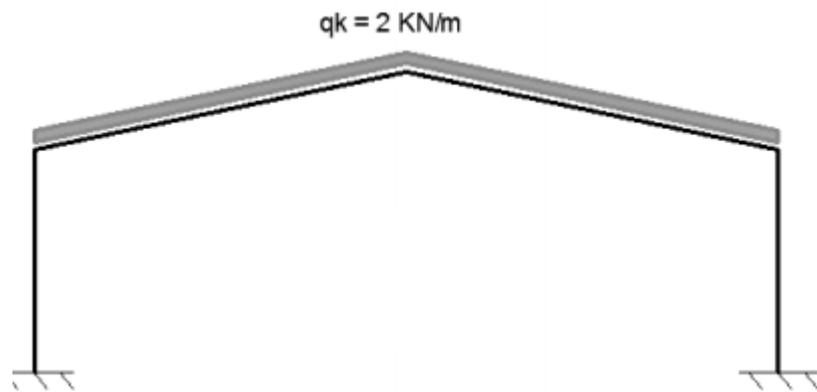
```
Command Window
>> CPPI
CPPI =
    1.7500
>> CPPF
CPPF =
    0.8750
```

Ilustración 20

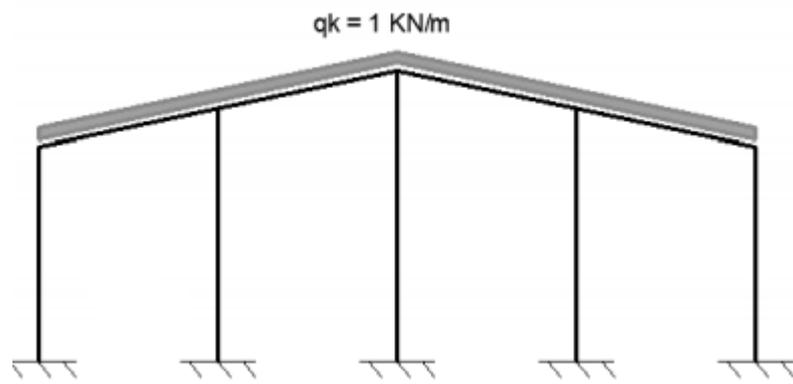
Como se puede observar, los resultados para las acciones permanentes coinciden.

4.3.1.2. Sobrecarga de uso

Cargas galpón ejemplo:



Sobrecarga de uso sobre pórticos interiores



Sobrecarga de uso sobre pórticos de fachada

Ilustración 21

Fuente: "Diseño de estructura básica de nave industrial" (D. Élez, Reche)

Cargas herramienta:



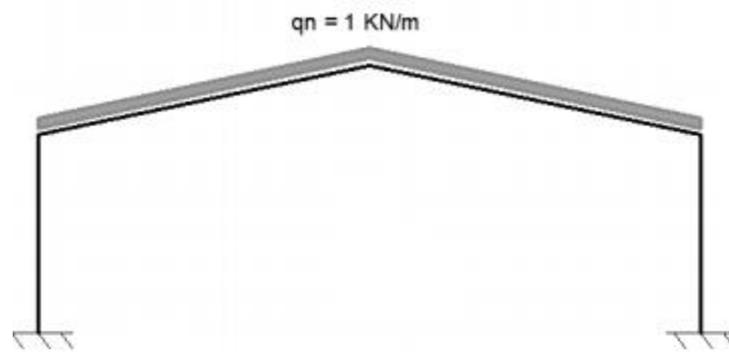
```
Command Window
>> SUPI
SUPI =
     2
>> SUPF
SUPF =
     1
```

Ilustración 22

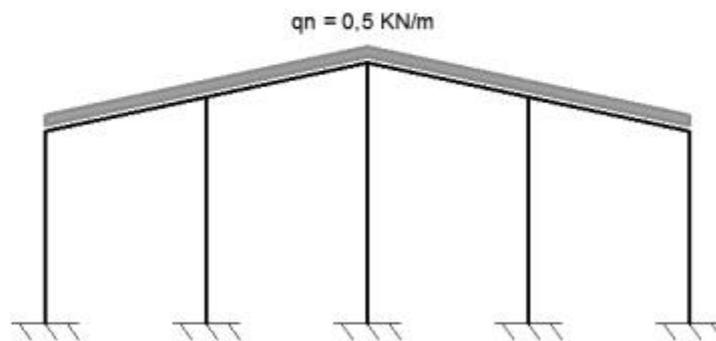
Como se puede observar, los resultados para las cargas ocasionadas sobrecarga de uso también coinciden.

4.3.1.3. Nieve

Cargas galpón ejemplo:



Carga sobre los pórticos interiores.



Carga sobre el pórtico de fachada.

Ilustración 23

Fuente: "Diseño de estructura básica de nave industrial" (D. Élez, Reche)

Cargas herramienta:

```
Command Window
>> nievePI
nievePI =
    1
>> nievePF
nievePF =
    0.5000
```

Ilustración 24

Las cargas de nieve son equivalentes.

4.3.1.4. Viento

En este caso la información que debería mostrar el valor de las cargas aplicadas a cada pórtico no se muestra en la memoria de ejemplo, por lo que se compararán los valores de las cargas que se utilizarán en los cálculos interiores sin aplicar.

Cargas galpón ejemplo:

	A	B	C	D	E
$C_{pe} (h/d=0,41)$	-1,2	-0,8	-0,5	0,7235	-0,346
$Q_{vl} (kN/m^2)$	-0,8568	-0,5712	-0,357	0,5166	-0,247
	Fachadas Frontales			Fachadas Laterales	

Tabla 18

Fuente: "Diseño de estructura básica de nave industrial" (D. Élez, Reche)

	A	B	C	D	E
C_{pe} ($h/d=0,41$)	-1,2	-0,8	-0,5	0,7235	-0,346
Q_{vi} (kN/m ²)	-0,8568	-0,5712	-0,357	0,5166	-0,247
	Fachadas Laterales			Fachadas Frontales	

Tabla 19

Fuente: "Diseño de estructura básica de nave industrial" (D. Élez, Reche)

	F	G	H	I
C_{pe}	-1,3	-1,3	-0,6	-0,5
Q_{vi} (kN/m ²)	-0,928	-0,928	-0,428	-0,357

Tabla 20

Fuente: "Diseño de estructura básica de nave industrial" (D. Élez, Reche)

Cargas herramienta:

```
Command Window
>> QvABC
QvABC =
    -0.5028
>> QvD
QvD =
    0.5746
>> QvfrontG
QvfrontG =
    -0.8978
>> QvlatIcomp
QvlatIcomp =
    -0.3591
```

Ilustración 25

Como se puede observar existe una variación debida a la definición previa de una zona unificada formada por las zonas A, B y C; pese a esto, el valor de QvABC se encuentra cerca del punto medio de los valores de dichas zonas de forma individual, por lo que se considera un valor válido para el cálculo a priori.

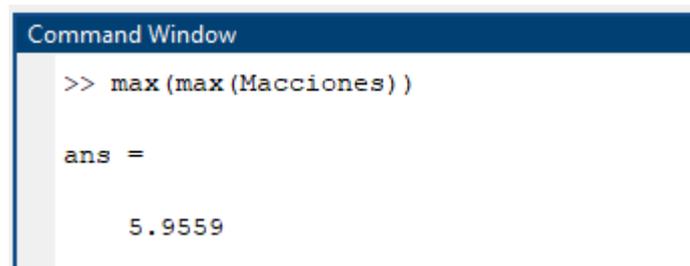
En cuanto al resto de coeficientes se pueden observar variaciones de centésimas, que no influirán de forma destacable en los cálculos.

4.3.2. Resultados del análisis estructural

Como se ha mencionado previamente, el software desarrollado trabaja calculando los perfiles necesarios para cada una de las diferentes hipótesis de carga y eligiendo el máximo entre todos los calculados; sin embargo, el galpón ejemplo ha sido predimensionado exclusivamente utilizando la combinación más desfavorable, por lo tanto se seguirá el procedimiento empleado por D. Élez con el fin de seguir un proceso lo más similar posible y así facilitar la búsqueda de errores y variaciones.

4.3.2.1. Análisis estructural del pórtico interior

Según lo explicado, el valor máximo dentro de la matriz de acciones generada será el siguiente para el pórtico interior:



```
Command Window
>> max(max(Macciones))
ans =
    5.9559
```

Ilustración 26

Correspondiendo en este caso, a la combinación número 5.

A continuación se prosigue con el cálculo estructural previamente desarrollado en esta memoria, obteniendo así:

El vector de fuerzas externas y de desplazamientos:

```

Command Window

>> vecfuerzas

vecfuerzas =

    0
    0
    0
   -11.3134
  -30.8302
   64.5106
    0
  -61.6604
 -106.3926
    0
    0
    0
   11.3134
  -30.8302
   64.5106

Command Window

vecdesp =

1.0e-03 *

    0
    0
    0
   -0.0199
   -0.0002
    0.0026
    0.0091
   -0.1104
   -0.0169
    0
    0
    0
    0.0383
   -0.0001
   -0.0087

```

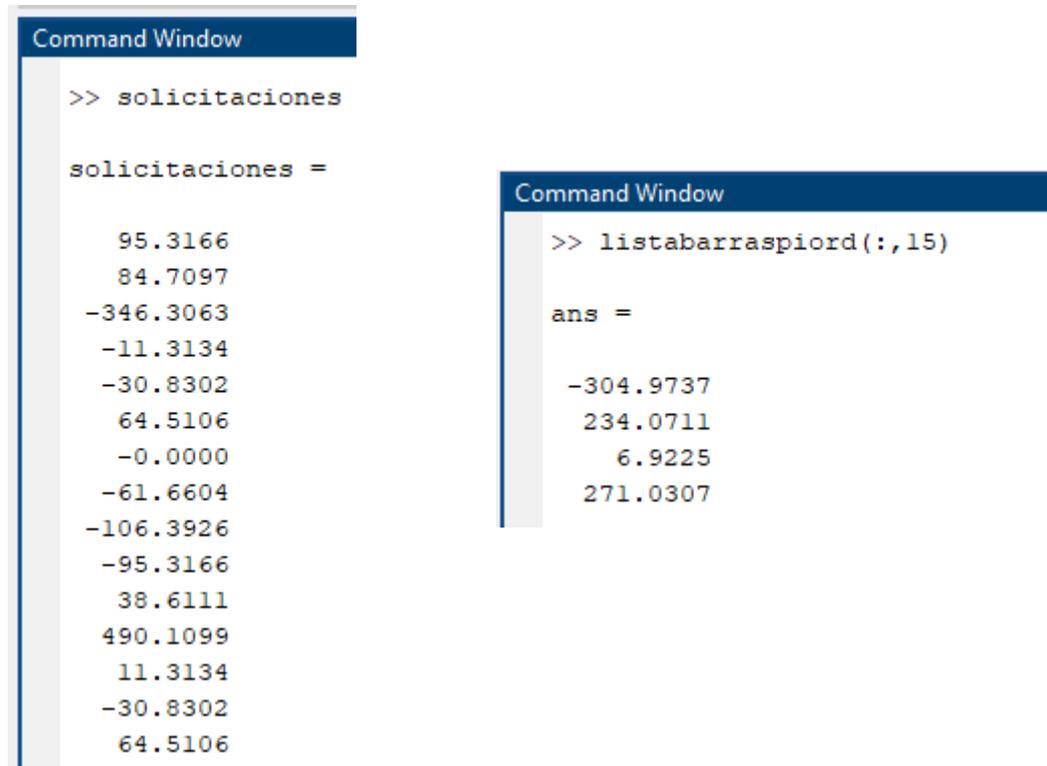
Ilustración 27

La matriz de rigidez de la estructura:

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	5.6219e+06	0	-1.6867e+07	-5.6219e+06	0	-1.6867e+07	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	4.0429e+08	0	0	-4.0429e+08	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	-1.6867e+07	0	6.7474e+07	1.6867e+07	0	3.3737e+07	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	-5.6219e+06	0	1.6867e+07	1.6550e+08	4.2699e+07	1.6164e+07	-1.5988e+08	-4.2699e+07	-7.0286e+05	0	0	0	0	0	0
5	0	-4.0429e+08	0	4.2699e+07	4.1625e+08	2.6231e+06	-4.2699e+07	-1.1966e+07	2.6231e+06	0	0	0	0	0	0
6	-1.6867e+07	0	3.3737e+07	1.6164e+07	2.6231e+06	8.6217e+07	7.0286e+05	-2.6231e+06	9.3714e+06	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	-1.5988e+08	-4.2699e+07	7.0286e+05	3.1976e+08	0	0	0	0	0	-1.5988e+08	4.2699e+07	-7.0286e+05
8	0	0	0	-4.2699e+07	-1.1966e+07	-2.6231e+06	0	2.3932e+07	-5.2462e+06	0	0	0	4.2699e+07	-1.1966e+07	-2.6231e+06
9	0	0	0	-7.0286e+05	2.6231e+06	9.3714e+06	0	-5.2462e+06	3.7486e+07	0	0	0	7.0286e+05	2.6231e+06	9.3714e+06
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5.6219e+06	0	-1.6867e+07	-5.6219e+06	0	-1.6867e+07
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4.0429e+08	0	0	0	-4.0429e+08
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1.6867e+07	0	6.7474e+07	1.6867e+07	0	3.3737e+07
13	0	0	0	0	0	0	-1.5988e+08	4.2699e+07	7.0286e+05	-5.6219e+06	0	1.6867e+07	1.6550e+08	-4.2699e+07	1.7570e+07
14	0	0	0	0	0	0	4.2699e+07	-1.1966e+07	2.6231e+06	0	-4.0429e+08	0	-4.2699e+07	4.1625e+08	2.6231e+06
15	0	0	0	0	0	0	-7.0286e+05	-2.6231e+06	9.3714e+06	-1.6867e+07	0	3.3737e+07	1.7570e+07	2.6231e+06	8.6217e+07
16															

Ilustración 28

El vector de solicitaciones el esfuerzo debido al momento flector



The image shows two screenshots of a MATLAB Command Window. The left window shows the execution of the command 'solicitaciones', resulting in a column vector of 15 numerical values. The right window shows the execution of the command 'listabarraspiord(:,15)', resulting in a column vector of 4 numerical values.

```
Command Window
>> solicitudes

solicitaciones =

    95.3166
    84.7097
   -346.3063
   -11.3134
   -30.8302
    64.5106
    -0.0000
   -61.6604
  -106.3926
   -95.3166
    38.6111
   490.1099
    11.3134
   -30.8302
    64.5106

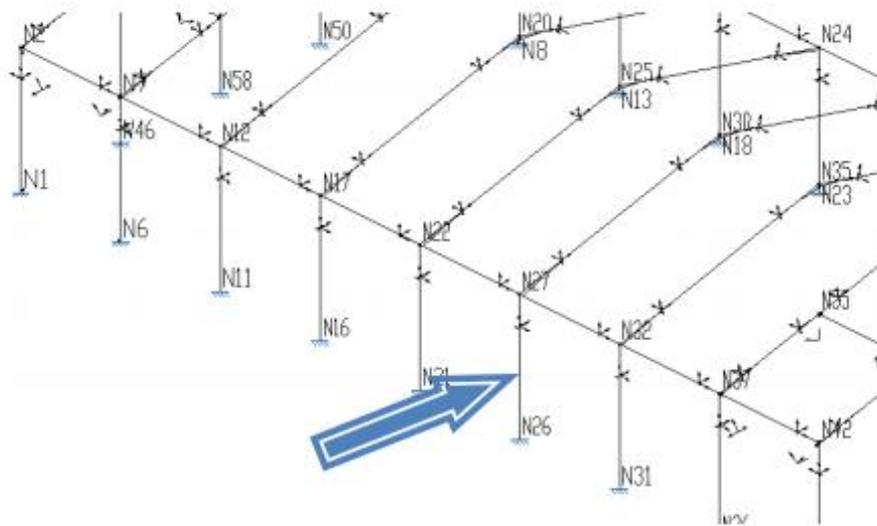
Command Window
>> listabarraspiord(:,15)

ans =

  -304.9737
   234.0711
     6.9225
   271.0307
```

Ilustración 29

Que serán comparables a los esfuerzos obtenidos en la barra exterior del pórtico interior de la nave industrial ejemplo (ilustración 30):

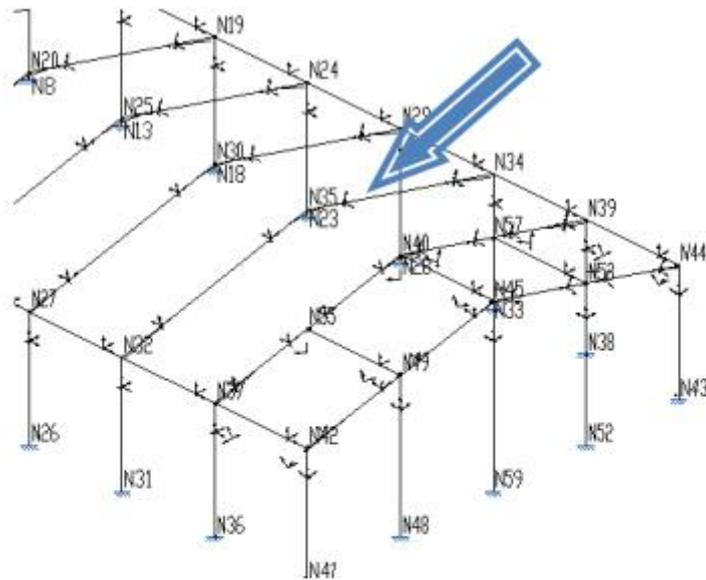


Se han obtenido los esfuerzos de esta barra indicada del CYPE METAL 3D:

$M_y = 161,15 \text{ kN}\cdot\text{m}$	$M_z = 0 \text{ kN}\cdot\text{m}$
$V_y = 0 \text{ kN}$	$V_z = -64,2 \text{ kN}$
$N = -56,7 \text{ kN}$	$T = 0 \text{ kN}\cdot\text{m}$

Ilustración 30

Fuente: "Diseño de estructura básica de nave industrial" (D. Élez, Reche)



Se han obtenido los esfuerzos de esta barra indicada del CYPE METAL 3D:

$M_y = -96,39 \text{ kN}\cdot\text{m}$	$M_z = 0 \text{ kN}\cdot\text{m}$
$V_y = 0 \text{ kN}$	$V_z = -75,8 \text{ kN}$
$N = -12,3 \text{ kN}$	$T = 0 \text{ kN}\cdot\text{m}$

Ilustración 31

Fuente: "Diseño de estructura básica de nave industrial" (D. Élez, Reche)

Como se puede observar, existe una diferencia significativa entre las sollicitaciones de ambos galpones pese a ser del mismo orden, especialmente en los pilares, esto puede ser debido a un error en el cálculo estructural que debe ser estudiado.

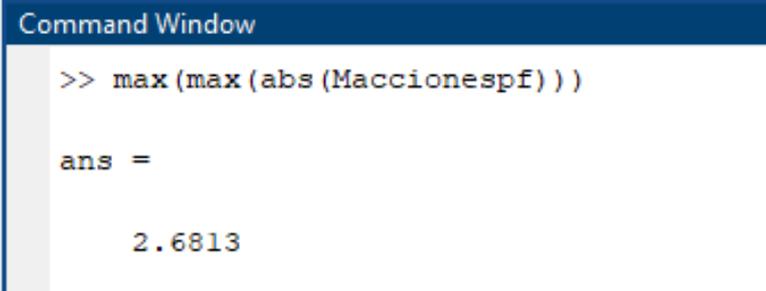
Con intención de verificar el siguiente proceso de la herramienta, se adoptarán las sollicitaciones del galpón ejemplo para poder continuar con el

ejercicio de comparación de resultados, además, paralelamente se proseguirá también el análisis con las solicitaciones obtenidas para finalmente poder cuantificar la desviación en la elección de perfiles. De esta forma a partir de ahora se estudiarán 2 casos:

- Caso A: Análisis a partir de las solicitaciones del galpón ejemplo.
- Caso B: Análisis a partir de las solicitaciones obtenidas de la herramienta computacional.

4.3.2.2. Análisis estructural del pórtico frontal

En este caso, la hipótesis de carga más crítica será:



```
Command Window
>> max(max(abs(Maccionespf)))
ans =
    2.6813
```

Ilustración 32

Correspondiente a la combinación número 2

Al igual que en el caso anterior, se obtienen las diferentes variables de la ecuación (1):

El vector de fuerzas externas y desplazamientos:

La matriz de rigidez:

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	6.3573e+07	1.6639e+07	4.0635e+06	-6.2196e+07	-1.6639e+07	-6.5843e+04	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	1.6639e+07	2.2367e+08	2.4573e+05	-1.6639e+07	-4.5567e+06	2.4573e+05	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	4.0635e+06	2.4573e+05	1.7397e+07	6.5843e+04	-2.4573e+05	4.3896e+05	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	6.2196e+07	-1.6639e+07	6.5843e+04	1.2514e+08	3.3278e+07	2.7595e+06	-6.2196e+07	-1.6639e+07	-6.5843e+04	0	0	0	0	0	0
5	1.6639e+07	-4.5567e+06	-2.4573e+05	3.3278e+07	1.8824e+08	0	-1.6639e+07	-4.5567e+06	2.4573e+05	0	0	0	0	0	0
6	6.5843e+04	2.4573e+05	4.3896e+05	2.7595e+06	0	1.5259e+07	6.5843e+04	-2.4573e+05	4.3896e+05	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	-6.2196e+07	-1.6639e+07	6.5843e+04	1.2485e+08	0	1.9734e+06	-6.2196e+07	1.6639e+07	-6.5843e+04	0	0	0
8	0	0	0	-1.6639e+07	-4.5567e+06	-2.4573e+05	0	1.6059e+08	-4.9146e+05	1.6639e+07	-4.5567e+06	-2.4573e+05	0	0	0
9	0	0	0	-6.5843e+04	2.4573e+05	4.3896e+05	1.9734e+06	-4.9146e+05	1.3175e+07	6.5843e+04	2.4573e+05	4.3896e+05	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	-6.2196e+07	1.6639e+07	6.5843e+04	1.2514e+08	-3.3278e+07	2.7595e+06	-6.2196e+07	1.6639e+07	-6.5843e+04
11	0	0	0	0	0	0	1.6639e+07	-4.5567e+06	2.4573e+05	-3.3278e+07	1.8824e+08	0	1.6639e+07	-4.5567e+06	-2.4573e+05
12	0	0	0	0	0	0	-6.5843e+04	-2.4573e+05	4.3896e+05	2.7595e+06	0	1.5259e+07	6.5843e+04	2.4573e+05	4.3896e+05
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-6.2196e+07	1.6639e+07	6.5843e+04	6.3573e+07	-1.6639e+07	4.1951e+06
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.6639e+07	-4.5567e+06	2.4573e+05	-1.6639e+07	2.2367e+08	2.4573e+05
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-6.5843e+04	-2.4573e+05	4.3896e+05	4.1951e+06	2.4573e+05	1.7397e+07

Ilustración 34

(Se muestra K reducida debido al gran tamaño de la matriz completa)

El vector de solicitaciones y el esfuerzo debido al momento flector:

```
>> solicitudespf
```

```
solicitudespf =
```

```
-2.4640  
6.6757  
2.6625  
0.0000  
-6.9397  
13.2991  
0.3538  
30.1358  
-2.3110  
-0.0000  
-30.8302  
-0.0000  
4.2691  
31.6057  
-13.3550  
0.0000  
-30.8302  
-26.5981  
0.3439  
29.9556  
-2.2644  
0.0000  
-30.8302  
0.0000  
-2.5027  
7.9972  
2.8671  
-0.0000  
-6.9397  
13.2991
```

```
Command Window
```

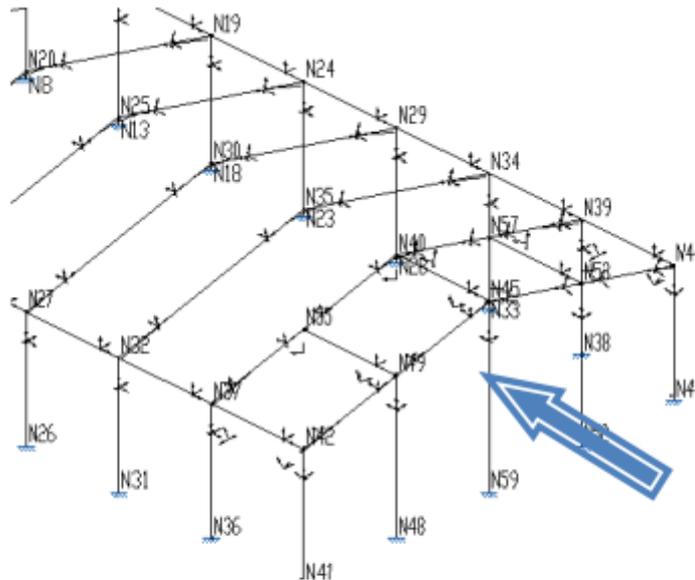
```
>> listabarrasford(:,17)
```

```
ans =
```

```
7.3927  
9.9711  
-1.2984  
7.9981  
-18.5277  
7.9918  
-1.2621  
9.9479  
7.5087
```

Ilustración 35

Se procede a la comparación, como en el apartado anterior, con los datos obtenidos en la memoria de cálculo del galpón ejemplo:



Se han obtenido los esfuerzos de esta barra indicada del CYPE METAL 3D:

$M_y = -156,1 \text{ kN}\cdot\text{m}$	$M_z = 251,6 \text{ kN}\cdot\text{m}$
$V_y = -15,2 \text{ KN}$	$V_z = 94,2 \text{ kN}$
$N = -128,6 \text{ kN}$	$T = 0 \text{ KN}\cdot\text{m}$

Ilustración 36

Fuente: "Diseño de estructura básica de nave industrial" (D. Élez, Reche)

En el caso del pórtico frontal se vislumbra una diferencia muy considerable entre esfuerzos, ya que los del galpón ejemplo son de un orden mayor prácticamente en su totalidad.

Al igual que con el pórtico interior, se adoptarán las solicitaciones del galpón ejemplo para poder continuar con el ejercicio de comparación de

resultados, además, paralelamente se proseguirá también el análisis con las solicitudes obtenidas para finalmente poder cuantificar la desviación en la elección de perfiles. Se seguirán estudiando los mismos 2 casos, aunque esta vez aplicados a este tipo de pórtico:

- Caso A: Análisis a partir de las solicitudes del galpón ejemplo.
- Caso B: Análisis a partir de las solicitudes obtenidas de la herramienta computacional.

4.3.3. Comprobación de perfiles

A continuación se compararán los resultados obtenidos para cada verificación utilizando los datos del Caso A. El análisis será sobre el pilar del pórtico interior para las 4 primeras verificaciones y sobre la viga de este mismo pórtico para el pandeo lateral, no hará falta analizar el pórtico frontal ya que el proceso de verificación de los perfiles es el mismo

4.3.3.1. Verificación por ELU resistencia

- Resultados del galpón ejemplo:

$$\sigma = \frac{N_{ed}}{A} + \frac{M_{yed}}{W_{ely}} = \frac{56,7 \cdot 10^3}{6261,14} + \frac{161,15 \cdot 10^6}{713 \cdot 10^3} = 235 \text{ MPa}$$

$$\tau_{xz} = \frac{V_z}{A_{vz}} = \frac{64,2 \cdot 10^3}{3081,39} = 20,84 \text{ Mpa}$$

$$SVM = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau_{xz}^2} = \sqrt{235^2 + 3 \cdot 20,84^2} = 237,8 \text{ MPa} < 261,9 \text{ Mpa}$$

Ilustración 37

Fuente: "Diseño de estructura básica de nave industrial" (D. Élez, Reche)

- Resultados de la herramienta:

```

Command Window
>> limiteaxilpilpi

limiteaxilpilpi =

    235.0729

>> limitecortantepilpi

limitecortantepilpi =

    20.8374

>> SVMpilpi

SVMpilpi =

    237.8274

```

Ilustración 38

Como se puede observar el resultado coincide completamente.

4.3.3.2. Verificación por radio de giro

- Resultados del galpón ejemplo:

$$L_{ky} = \beta \cdot l = 2 \cdot 6 = 12 \text{ m}$$

$$L_{kz} = \beta \cdot l = 0,7 \cdot 6 = 4,2 \text{ m}$$

$$i_y \geq \frac{L_{ky}}{2 \cdot \pi} \cdot \sqrt{\frac{f_y}{E}} = \frac{12000}{2 \cdot \pi} \cdot \sqrt{\frac{275}{210000}} = 69,12 \text{ mm} \leq 137 \text{ mm}$$

$$i_y \geq \frac{L_{ky}}{2 \cdot \pi} \cdot \sqrt{\frac{f_y}{E}} = \frac{4200}{2 \cdot \pi} \cdot \sqrt{\frac{275}{210000}} = 24,19 \text{ mm} \leq 35,48 \text{ mm}$$

Ilustración 39

Fuente: "Diseño de estructura básica de nave industrial" (D. Élez, Reche)

- Resultados de la herramienta:

```
Command Window
>> Lkypilpi
Lkypilpi =
    12.0010
>> Lkzpilpi
Lkzpilpi =
    4.2004
>> ecgiroypilpi
ecgiroypilpi =
    69.1186
>> ecgirozpilpi
ecgirozpilpi =
    24.1915
```

Ilustración 40

Los valores vuelven a coincidir respecto al galpón ejemplo

4.3.3.3. Verificación esbeltez

- Resultados del galpón ejemplo:

$$N_{cri,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{ky}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210000 \cdot 11767 \cdot 10^4}{12000^2} = 1693,64 \text{ KN}$$

$$N_{cri,x} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{kz}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210000 \cdot 788 \cdot 10^4}{4200^2} = 925,86 \text{ KN}$$

Esbeltez reducida:

$$\lambda_y = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cri,y}}} = \sqrt{\frac{6261,14 \cdot 275}{1693,64 \cdot 10^3}} = 1,01 \leq 2$$

$$\lambda_z = \sqrt{\frac{A \cdot f_{yd}}{N_{cri,x}}} = \sqrt{\frac{6261,14 \cdot 261,9}{294710}} = 1,36 \leq 2$$

Ilustración 41

Fuente: "Diseño de estructura básica de nave industrial" (D. Élez, Reche)

- Resultados de la herramienta:

```
Command Window
>> Ncargaypilpi
Ncargaypilpi =
    1.6981e+06
>> Ncargazpilpi
Ncargazpilpi =
    9.2571e+05
>> esbeltezypilpi
esbeltezypilpi =
    1.0069
>> esbeltezzpilpi
esbeltezzpilpi =
    1.3286
```

Ilustración 42

Los resultados son iguales a los de la nave industrial de referencia.

4.3.3.4. Verificación por ELU pandeo

- Resultados del galpón ejemplo:

$$\alpha = 0,21$$

Obtenemos:

$$\phi = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\lambda - 0,2) + \lambda^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,21 \cdot (1,36 - 0,2) + 1,36^2] = 1,55$$

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \lambda^2}} = \frac{1}{1,55 + \sqrt{1,55^2 - 1,36^2}} = 0,436$$

$$\begin{aligned} \frac{N_{ed}}{\chi \cdot f_{yd} \cdot A} + \frac{1}{1 - \frac{N_{ed}}{N_{cr1y}}} \cdot \frac{C_{my} \cdot M_{y,ed}}{W_{el,y} \cdot f_{yd}} \\ = \frac{56,7 \cdot 10^3}{0,436 \cdot 261,9 \cdot 6261,14} + \frac{1}{1 - \frac{56,7 \cdot 10^3}{1693,64 \cdot 10^3}} \cdot \frac{1 \cdot 161,15 \cdot 10^6}{713 \cdot 10^3 \cdot 261,9} \\ = 0,972 \leq 1 \end{aligned}$$

Ilustración 43

Fuente: "Diseño de estructura básica de nave industrial" (D. Élez, Reche)

- Resultados herramienta:

```
Command Window
>> fipandeopilpi
fipandeopilpi =
    3.6490
>> coefpandeopilpi
coefpandeopilpi =
    0.1419
>> pandeopilpi
pandeopilpi =
    0.8931
```

Ilustración 44

En este caso sí que existen variaciones en los cálculos intermedios con respecto al ejemplo, después del correspondiente análisis, se puede deducir que se trata de un error en la resolución que se ha utilizado en la memoria de cálculo del galpón referencia, ya que se elige como eje crítico el eje y, cuando es el eje z el que produce un caso más desfavorable; esto afecta a la elección de la curva de pandeo y al valor del coeficiente de imperfección, sin embargo la variación no ha sido suficiente para no cumplir las restricciones pertinentes.

4.3.3.5. Verificación por pandeo lateral

- Resultados del galpón ejemplo:

$$M_{Cri} = C_1 \cdot \frac{\pi}{L} \cdot \sqrt{E \cdot I_z \cdot G \cdot I_T} \cdot \sqrt{\frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_w}{L^2 \cdot G \cdot I_T} + 1} = 83,36 \text{ KN} \cdot \text{m}$$

$$\lambda_B = \sqrt{\frac{W_{el,y} \cdot f_y}{M_{Cri}}} = \sqrt{\frac{428,87 \cdot 10^3 \cdot 275}{83,36 \cdot 10^6}} = 1.19 \leq 2$$

Ilustración 45

Fuente: "Diseño de estructura básica de nave industrial" (D. Élez, Reche)

- Resultados herramienta:

```
Command Window
>> Mcrvigpi

Mcrvigpi =

    3.7388e+07

>> landavigpi

landavigpi =

    1.7763
```

Ilustración 46

En el caso del pandeo lateral también se encuentran diferencias en los datos intermedios, esta vez se debe a que en el caso de la herramienta se ha decidido seguir la ecuación general para el momento crítico del CTE y en la verificación del galpón ejemplo se ha calculado por otro método, además, el resultado obtenido de la herramienta se encuentra expresado en N/mm. A pesar de la diferencia, en ambos casos el perfil cumple por pandeo lateral.

4.3.4. Resultados del predimensionamiento

A continuación se muestran los perfiles seleccionados para cada tipo de barra:

Tipo de barra	Galpón ejemplo		Caso A		Caso B	
	PI	PF	PI	PF	PI	PF
Pilares	IPE 330	IPE 400	IPE 330	IPE 450	IPE 500	IPE 330
Vigas	IPE 270	-	IPE 270	-	IPE 400	IPE140

Tabla 21

4.3.5. Análisis de la herramienta en relación al ejemplo

A raíz de la comparación entre el galpón de estudio y el de ejemplo, se pueden extraer las siguientes conclusiones:

- En el aspecto de cálculo de acciones se encuentra una gran similitud, la mayoría de resultados coinciden y el resto están separados por una pequeña variación.
- Se observan grandes diferencias en el apartado del cálculo estructural, que afectan directamente al resultado final. Generalmente la herramienta diseñada tiende a sobredimensionar en comparación al galpón ejemplo, esto es debido al valor mayor de sus esfuerzos en las barras. No obstante, también destaca que en el pórtico frontal ocurre el caso contrario, siendo esta vez el galpón ejemplo el que está sobredimensionado en comparación a los resultados de la herramienta, esto es debido al momento flector causado por el viento frontal, que es de un orden mayor en la nave industrial de referencia.
- En cuanto a la fase de comprobación de perfiles existen varias coincidencias entre el ejemplo y el Caso A, como se muestra en la tabla 21, siendo la única variación la dada en los pilares del pórtico frontal, ya que solo existe una diferencia de 1 perfil, se estima que la causa más probable son las pequeñas diferencias que se producían en los cálculos de esbeltez.

CONCLUSIONES

En el presente proyecto se ha tratado de implementar una herramienta computacional capaz de predimensionar ciertos elementos de la estructura de un galpón de acero, con la intención de aportar una alternativa útil, válida, flexible y sencilla dentro de un contexto en el cual predominan softwares profesionales especializados que ofrecen análisis detallados y que demandan para su correcto uso numerosas condiciones.

En base al análisis de los resultados obtenidos, se pueden obtener varias conclusiones:

En primer lugar, se ha conseguido llevar a cabo uno de los principales objetivos de la herramienta, como es la sencillez, representada en especial por los inputs que han sido optimizados con la finalidad de demandar la mínima información posible para realizar un análisis completo.

En segundo lugar, se ha logrado adaptar correctamente la normativa española a la herramienta, especialmente en el cálculo de acciones y en la verificación de perfiles, aspectos que derivan casi exclusivamente de la norma y han resultado fructíferos, como se ha demostrado al realizar la comparación con el ejemplo.

Sin embargo, la herramienta ha demostrado ciertas irregularidades en el apartado del análisis estructural, lo que hace que sus resultados no cuenten

con la suficiente fiabilidad; además debido a estas irregularidades, el rango de acción se ha visto acotado, separándose así de uno de los objetivos primordiales como es la representación de un modelo de galpón general.

Por tanto no puede ser considerada una herramienta funcional en su conjunto en la versión actual.

A pesar de esto, al ser una herramienta pública y 100% libre, sigue contando con numerosas posibilidades para cualquier usuario, como la utilización individual de sus partes que ofrecen resultados fiables (por ejemplo de calcular el valor de las acciones según la norma española, obtener la matriz de rigidez una barra o estructura, la obtención de un perfil IPE para unos esfuerzos dados...) o la edición directa del código expandiendo así su utilidad.

TRABAJOS FUTUROS

De la realización de este trabajo se obtiene una herramienta para ser aplicada en determinados contextos, sin embargo, el software cuenta con unas limitaciones muy marcadas que se deben cumplir para asegurar un resultado coherente, es ahí donde radican las principales oportunidades de mejora o expansión de la herramienta actual, en ampliar dichos límites para ofrecer más opciones al usuario, siempre sin olvidar los principales objetivos de su implantación inicial como son la sencillez y las escasas exigencias de formación previa sobre el propio software. Algunos ejemplos de posibles trabajos futuros pueden ser los siguientes:

- Conseguir mejorar la fiabilidad de la herramienta y hacerla confiable para cualquier combinación de inputs.
- Incluir el predimensionamiento del resto de elementos estructurales del galpón.
- Añadir el estudio de cimentación correspondiente a la nave industrial.
- Expandir la herramienta para que sea capaz de dar más opciones al usuario así como elegir el tipo de cubierta del galpón, el tipo de perfil...
- Incluir un análisis de sismo detallado para galpones situados en las zonas donde esta acción es crítica.
- Trasladar la herramienta a otro contexto geográfico con su normativa correspondiente.

LISTADO DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Comportamiento elástico de una barra	18
Ilustración 2	19
Ilustración 3	20
Ilustración 4	21
Ilustración 5	23
Ilustración 6	27
Ilustración 7	31
Ilustración 8	35
Ilustración 9	39
Ilustración 10	40
Ilustración 11	46
Ilustración 12	47
Ilustración 13	47
Ilustración 14	52

Ilustración 15.....	57
Ilustración 16.....	58
Ilustración 17.....	70
Ilustración 18.....	73
Ilustración 19.....	74
Ilustración 20.....	75
Ilustración 21.....	76
Ilustración 22.....	77
Ilustración 23.....	78
Ilustración 24.....	79
Ilustración 25.....	81
Ilustración 26.....	82
Ilustración 27.....	83
Ilustración 28.....	83
Ilustración 29.....	84
Ilustración 30.....	85
Ilustración 31.....	86

Ilustración 32.....	87
Ilustración 33.....	88
Ilustración 34.....	89
Ilustración 35.....	90
Ilustración 36.....	91
Ilustración 37.....	93
Ilustración 38.....	93
Ilustración 39.....	94
Ilustración 40.....	95
Ilustración 41.....	96
Ilustración 42.....	97
Ilustración 43.....	98
Ilustración 44.....	99
Ilustración 45.....	100
Ilustración 46.....	100

Referencias

Escamilla, J. U. (2002). *Análisis de Estructuras*. Colombia: Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería.

Gasch Salvador, M., & Gasch Molina, I. (2006). *Cálculo Estructural*. UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA.

<https://www.codigotecnico.org/>. (s.f.). <https://www.codigotecnico.org/>. Obtenido de <https://www.codigotecnico.org/index.php/menu-que-cte/menu-presentacion.html>

MathWorks. (s.f.). [mathworks.com](https://www.mathworks.com). Obtenido de https://es.mathworks.com/help/matlab/learn_matlab/product-description.html

Ministerio de Fomento. (2002). *Norma de construcción sismorresistente*.

Ministerio de Vivienda. (2006). *Código Técnico de la Edificación*. Obtenido de <https://www.codigotecnico.org/>

Nonnast, R. (1991). *El proyectista de estructuras mecánicas*. Madrid: Editorial Paraninfo S.A.

ANEXO A: Código de la herramienta computacional

```
%Comienzo del programa

clear all
clc

fprintf ("INTRODUCCIÓN DE DATOS\n\n")

%Dimensiones

long=input('Introduzca la longitud del galpón (m)\n');
ancho=input('Introduzca la amplitud del galpón (m)\n');
alto=input('Introduzca la altura del galpón (m)\n');

%Datos cubierta

pesocubierta=input('Introduzca el peso de la cubierta (kN/m^2)\n');
angulocubierta=input('Introduzca el ángulo de la cubierta (°)\n');

angneg=0;
while angneg==0
    if (5<=angulocubierta)&&(angulocubierta<=15)
        angneg=1;
    else
        angneg=0;
        fprintf('El valor del ángulo de la cubierta debe de estar
entre 5° y 15°\n\n');
        angulocubierta=input('Introduzca el ángulo de la cubierta
(°)\n');
    end
end

difaltura=tand(angulocubierta)*(ancho/2);
alturapilares=alto-difaltura;
lvig=sqrt((ancho/2)^2+difaltura^2);

%Datos de pórticos

numporticos=input('Defina el número de pórticos\n');
distporticos=(long/(numporticos-1));

idistanpor=0;
while idistanpor==0
    if (4<=distporticos)&&(distporticos<=6)
        idistanpor=1;
    end
end
```

```

        else
            idistanpor=0;
            fprintf('La distancia entre pórticos debe de estar
comprendida entre 4 y 6 metros, modifique el número de pórticos o la
longitud del galpón\n\n');
            long=input('Introduzca otra vez la longitud del galpón\n');
            numporticos=input('Introduzca el número de pórticos de
nuevo\n');
            distporticos=(long/(numporticos-1));
        end
    end

numpilarespf=input('Defina el número de pilares del pórtico
frontal\n');
distpilarespf=ancho/(numpilarespf-1);

numpilarespi=input('Defina el número de pilares del pórtico
interior\n');
distpilarespi=ancho/(numpilarespi-1);

%Definición de materiales

tipoacero=input('El acero más común en España es el S275JR, si desea
usar este acero escriba "si", si por el contrario desea usar otro,
escriba "otro"\n','s');
ta=0;
while ta==0
    switch tipoacero
        case 'si'
            Emod=21e4;
            fyk=275;
            fyd=fyk/1.05;
            ta=1;

            case 'otro'
                Emod=input('Introduzca el módulo elástico del acero
(N/m^2)\n');
                fyk=input('Introduzca la resistencia característica del
acero (N/m^2)\n');
                fyd=fyk/1.05;
                ta=2;

            otherwise
                t=0;
                tipoacero=input('Introduzca "si" u "otro" dependiento
del acero que desee usar\n','s');
            end
    end
end

Emod=Emod*10^6;

%Acciones

```

```

%Cargas Permanentes

%Se aproxima el peso propio dividiendo la luz entre 100
PP=ancho/100;
SumaCP=PP+pesocubierta;
%Se multiplica por el ámbito de las vigas
CPPF=SumaCP*(distporticos/2);
CPPI=SumaCP*distporticos;

%Sobrecarga de Uso

%Se toma 0.4 por el CTE
%Se multiplica por el ámbito de las vigas
SUPF=0.4*(distporticos/2);
SUPI=0.4*distporticos;

%Acciones variables

%Nieve
u=1;
carganievehor=input('Introduzca el valor de la carga por nieve
(KN/m^2)\n');
carganieve=carganievehor*u;
nievePF=carganieve*(distporticos/2);
nievePI=carganieve*distporticos;

%Definición de la zona de viento
zonaviento=input('Elección de la zona para cálculo de viento:
(A,B,C)\n','s');
a=0;
while a==0
    switch zonaviento
        case 'A'
            valorviento=26;
            a=1;
        case 'B'
            valorviento=27;
            a=1;
        case 'C'
            valorviento=29;
            a=1;
        otherwise
            fprintf ("Introduzca una zona válida (A,B,C)\n\n")
            zonaviento=input('Elección de la zona para
cálculo de viento: (A,B,C)\n','s');
    end
end

%Cálculo de coeficientes y acciones
%Se utiliza el valor 1,25 kg/m3 como densidad del aire

```

```

densidadaire=1.25/1000;
qb=0.5*densidadaire*(valorviento^2);

coefexpo=input('Introduzca el valor del coeficiente de
exposición\n');

%Cálculo del viento (se incluyen todos los coeficientes para un
posible análisis en profundidad)

%Cálculo en pilares

%Viento lateral

hdlat=alto/anch;

D=0.8;
E=-0.5;

QvD=D*qb*coefexpo;
QvlatE=E*qb*coefexpo;

cargavlatEPI=QvlatE*distporticos;
cargavlatEPF=QvlatE*distporticos/2;

cargavlatDPI=QvD*distporticos;
cargavlatDPF=QvD*distporticos/2;

%Viento frontal

hdfrent=alto/long;

ABC=-0.7;

QvABC=ABC*qb*coefexpo;

cargavfrontABCPILINT=QvABC*distpilarespf;
cargavfrontABCPILEXT=QvABC*distpilarespf/2;

cargavlatABCPI=QvABC*distporticos;
cargavlatABCPIPF=QvABC*distporticos/2;

cargavDPILINT=QvD*distpilarespf;
cargavDPILEXT=QvD*distpilarespf/2;

cargavDext=QvD*distpilarespf;
cargavDint=QvD*distpilarespf/2;

%Cálculo cubierta

%Viento lateral

xang1=[5 15];

```

```

yang1=[-1.2 -0.8];
xq1=angulocubierta;
Gcomp=interp1(xang1,yang1,xq1);
Gsuc=0.1;

Hcomp=-0.5;
Hsuc=0.1;

Icomp=-0.5;
Isuc=0;

xang2=[5 15];
yang2=[0.2 -1];
xq2=angulocubierta;
Jcomp=interp1(xang2,yang2,xq2);

xang3=[5 15];
yang3=[-0.6 0];
xq3=angulocubierta;
Jsuc=interp1(xang3,yang3,xq3);

QvlatGcomp=Gcomp*qb*coefexpo;
QvlatGsuc=Gsuc*qb*coefexpo;

QvlatHcomp=Hcomp*qb*coefexpo;
QvlatHsuc=Hsuc*qb*coefexpo;
QvlatIcomp=Icomp*qb*coefexpo;
QvlatIsuc=Isuc*qb*coefexpo;

QvlatJcomp=Jcomp*qb*coefexpo;
QvlatJsuc=Jsuc*qb*coefexpo;

cargavlatGPIcomp=QvlatGcomp*distporticos;
cargavlatGPIsuc=QvlatGsuc*distporticos;

cargavlatGPFcomp=QvlatGcomp*distporticos/2;
cargavlatGPFsuc=QvlatGsuc*distporticos/2;

cargavlatHPIcomp=QvlatHcomp*distporticos;
cargavlatHPIsuc=QvlatHsuc*distporticos;

cargavlatHPFcomp=QvlatHcomp*distporticos/2;
cargavlatHPFsuc=QvlatHsuc*distporticos/2;

cargavlatIPIcomp=QvlatIcomp*distporticos;
cargavlatIPIsuc=QvlatIsuc*distporticos;

cargavlatIPFcomp=QvlatIcomp*distporticos/2;
cargavlatIPFsuc=QvlatIsuc*distporticos/2;

cargavlatJPIcomp=QvlatJcomp*distporticos;
cargavlatJPIsuc=QvlatJsuc*distporticos;

```

```

cargavlatJPFcomp=QvlatJcomp*distporticos/2;
cargavlatJPFsuc=QvlatJsuc*distporticos/2;

%Viento frontal

Gfront=-1.25;
Hfront=-0.85;
Ifront=-0.5;

QvfrontG=Gfront*qb*coefexpo;
QvfrontH=Hfront*qb*coefexpo;
QvfrontI=Ifront*qb*coefexpo;

cargavfrontGPILINT=QvfrontG*distpilarespf;
cargavfrontGPILEXT=QvfrontG*distpilarespf/2;

cargavGPF=QvfrontG*distporticos/2;

cargavfrontHPILINT=QvfrontH*distpilarespf;
cargavfrontHPILEXT=QvfrontH*distpilarespf/2;

cargavfrontIPILINT=QvfrontI*distpilarespf;
cargavfrontIPILEXT=QvfrontI*distpilarespf/2;

%%

Mperfilespi=zeros(6,2);

%PÓRTICO INTERIOR

%Combinaciones:
%Capacidad portante

Macciones=zeros(6,3);
Macciones(1,1)=1.35*CPPI;
Macciones(2,1)=1.35*CPPI+1.5*SUPI;
Macciones(3,1)=1.35*CPPI+1.5*nievePI;
Macciones(4,1)=1.35*CPPI+1.5*-cargavlatIPIcomp;
Macciones(4,2)=1.5*cargavlatABCPI;
Macciones(5,1)=1.35*CPPI+1.5*-cargavlatIPIcomp+1.5*0.6*nievePI;
Macciones(5,2)=1.5*cargavlatABCPI;
Macciones(6,1)=1.35*CPPI+1.5*nievePI+1.5*0.6*-cargavlatIPIcomp;
Macciones(6,2)=1.5*0.6*cargavlatABCPI;

for icom=1:6

    sumacargasELUPI=Macciones(icom,1);
    cargapilarespi=Macciones(icom,2);

```

```

%CÁLCULO DE MATRIZ DE RIGIDEZ
load IPE.txt

resto=rem(numpilarespi,2);

switch resto
    case 0
        secvigaspi=(ancho/numpilarespi)/cosd(angulocubierta);
        %secvigaspf=(ancho/numpilarespf)/cosd(angulocubierta);
    otherwise
        secvigaspi=distpilarespi/cosd(angulocubierta);
        %secvigaspf=distpilarespf/cosd(angulocubierta);
end

for iIPE=IPE(:,1)>(secvigaspi/50*1000)

    IPEposvig=[IPE(iIPE,1) IPE(iIPE,2) IPE(iIPE,3) IPE(iIPE,4)
IPE(iIPE,5) IPE(iIPE,6) IPE(iIPE,7) IPE(iIPE,8) IPE(iIPE,9)
IPE(iIPE,10) IPE(iIPE,11)];
end

cumplepilpi=0;
cumplevigpi=0;

for iP=1:length(IPEposvig)

    if cumplepilpi==0 && cumplevigpi==0

        perfilvigpi=IPEposvig(iP,1);
        Avvigpi=IPEposvig(iP,2);
        Iyvigpi=IPEposvig(iP,3);
        Wyvigpi=IPEposvig(iP,4);
        Avzvigpi=IPEposvig(iP,5);
        Izvigpi=IPEposvig(iP,6);
        Wzvigpi=IPEposvig(iP,7);
        bltvvigpi=IPEposvig(iP,8);
        bltWvigpi=IPEposvig(iP,9);
        iyvigpi=IPEposvig(iP,10);
        izvigpi=IPEposvig(iP,11);

        Iypilpi=1.4*Iyvigpi;

        if iP<length(IPEposvig) && Iypilpi>=IPEposvig(iP+1,3)
            perfilpilpi=IPEposvig(iP+1,1);
            Avpilpi=IPEposvig(iP+1,2);
            Iypilpi=IPEposvig(iP+1,3);
            Wypilpi=IPEposvig(iP+1,4);
            Avzpilpi=IPEposvig(iP+1,5);
            Izpilpi=IPEposvig(iP+1,6);
            Wzpilpi=IPEposvig(iP+1,7);
            bltvpilpi=IPEposvig(iP+1,8);

```

```

bltWpilpi=IPEposvig (iP+1,9);
iypilpi=IPEposvig (iP+1,10);
izpilpi=IPEposvig (iP+1,11);

else
perfilpilpi=IPEposvig (iP,1);
Avpilpi=IPEposvig (iP,2);
Iypilpi=IPEposvig (iP,3);
Wypilpi=IPEposvig (iP,4);
Avzpilpi=IPEposvig (iP,5);
Izpilpi=IPEposvig (iP,6);
Wzpilpi=IPEposvig (iP,7);
bltvpilpi=IPEposvig (iP,8);
bltWpilpi=IPEposvig (iP,9);
iypilpi=IPEposvig (iP,10);
izpilpi=IPEposvig (iP,11);
end

elseif cumlepilpi==1 && cumlevigpi==0

perfilvigpi=IPEposvig (iP,1);
Avvigpi=IPEposvig (iP,2);
Iyvigpi=IPEposvig (iP,3);
Wyvigpi=IPEposvig (iP,4);
Avzvigpi=IPEposvig (iP,5);
Izvigpi=IPEposvig (iP,6);
Wzvigpi=IPEposvig (iP,7);
bltvvigpi=IPEposvig (iP,8);
bltWvigpi=IPEposvig (iP,9);
iyvigpi=IPEposvig (iP,10);
izvigpi=IPEposvig (iP,11);

Iypilpi=1.4*Iyvigpi;

if iP<length(IPEposvig) && Iypilpi>=IPEposvig (iP+1,3)
perfilpilpi=IPEposvig (iP+1,1);
Avpilpi=IPEposvig (iP+1,2);
Iypilpi=IPEposvig (iP+1,3);
Wypilpi=IPEposvig (iP+1,4);
Avzpilpi=IPEposvig (iP+1,5);
Izpilpi=IPEposvig (iP+1,6);
Wzpilpi=IPEposvig (iP+1,7);
bltvpilpi=IPEposvig (iP+1,8);
bltWpilpi=IPEposvig (iP+1,9);
iypilpi=IPEposvig (iP+1,10);
izpilpi=IPEposvig (iP+1,11);

else
perfilpilpi=IPEposvig (iP,1);
Avpilpi=IPEposvig (iP,2);
Iypilpi=IPEposvig (iP,3);
Wypilpi=IPEposvig (iP,4);
Avzpilpi=IPEposvig (iP,5);
Izpilpi=IPEposvig (iP,6);
Wzpilpi=IPEposvig (iP,7);
bltvpilpi=IPEposvig (iP,8);

```

```

        bltWpilpi=IPEposvig(iP,9);
        iypilpi=IPEposvig(iP,10);
        izpilpi=IPEposvig(iP,11);
        end

        perfilpilpidef=perfilpilpi;

elseif cumlepilpi==0 && cumplevigpi==1

        if iP<length(IPEposvig)
        perfilpilpi=IPEposvig(iP+1,1);
        Avpilpi=IPEposvig(iP+1,2);
        Iypilpi=IPEposvig(iP+1,3);
        Wypilpi=IPEposvig(iP+1,4);
        Avzpilpi=IPEposvig(iP+1,5);
        Izpilpi=IPEposvig(iP+1,6);
        Wzpilpi=IPEposvig(iP+1,7);
        bltvpilpi=IPEposvig(iP+1,8);
        bltWpilpi=IPEposvig(iP+1,9);
        iypilpi=IPEposvig(iP+1,10);
        izpilpi=IPEposvig(iP+1,11);
        end
        perfilvigpidef=perfilvigpi;

elseif cumlepilpi==1 && cumplevigpi==1
        perfilpilpidef=perfilpilpi;
        perfilvigpidef=perfilvigpi;

end

%Número de nodos
for inum=1:numpilarespi

        resto=rem(numpilarespi,2);
        switch resto
        case 0
                numnodospi=numpilarespi*2+1;

        otherwise
                numnodospi=numpilarespi*2;
        end

end

%Matriz de coordenadas de los nodos
for inum=1:round((numpilarespi-0.1)/2)
        coorpi(inum,:)= [inum, (inum-1)*distpilarespi,0];
        coorpi(inum+numpilarespi,:)= [inum+numpilarespi, (inum-
1)*distpilarespi, alturapilarespi+(tand(angulocubierto)*distpilarespi)*
(inum-1)];
        coorpi(numpilarespi-inum+1,:)= [numpilarespi-
inum+1, (numpilarespi-1)*distpilarespi-distpilarespi*(inum-1),0];

```

```

        coorpi (numpilarespi*2-inum+1,:)=[numpilarespi*2-
inum+1,(numpilarespi-1)*distpilarespi-distpilarespi*(inum-
1),alturapilares+(tand(angulocubierta)*distpilarespi)*(inum-1)];
end
resto=rem(numpilarespi,2);
if resto==1
coorpi (round((numpilarespi-
0.1)/2)+1+numpilarespi,:)=[round((numpilarespi-
0.1)/2)+1+numpilarespi,ancho/2,alto];
coorpi (round((numpilarespi-0.1)/2)+1,:)=[round((numpilarespi-
0.1)/2)+1,ancho/2,0];
else
coorpi (numpilarespi*2+1,:)=[numpilarespi*2+1,ancho/2,alto];
end

%Ordenar matriz

coorpiord=sortrows(coorpi,[2 3]);
coorpiord(:,1)=sort(coorpiord(:,1));

% plot(coorpiord(:,2),coorpiord(:,3),'ob','MarkerSize', 3);

%Identificación de pilares y vigas

pilarespi=zeros(numpilarespi,6);
clear vigaspi
bucpilpi=1;
bucvigpi=1;

for ibar=1:(numnodospi-1)

    if coorpiord(ibar,2)==coorpiord(ibar+1,2)

        pilarespi (bucpilpi,:)=[coorpiord(ibar,1)
coorpiord(ibar+1,1) coorpiord(ibar,2) coorpiord(ibar,3)
coorpiord(ibar+1,2) coorpiord(ibar+1,3)];
        bucpilpi=bucpilpi+1;

    elseif coorpiord(ibar,3)~=0 && coorpiord(ibar+2,3)~=0

        vigaspi (bucvigpi,:)=[coorpiord(ibar,1)
coorpiord(ibar+2,1) coorpiord(ibar,2) coorpiord(ibar,3)
coorpiord(ibar+2,2) coorpiord(ibar+2,3)];
        bucvigpi=bucvigpi+1;

    elseif coorpiord(ibar,3)~=0 && (coorpiord(ibar+1,3)~=0)

        vigaspi (bucvigpi,:)=[coorpiord(ibar,1)
coorpiord(ibar+1,1) coorpiord(ibar,2) coorpiord(ibar,3)
coorpiord(ibar+1,2) coorpiord(ibar+1,3)];
        bucvigpi=bucvigpi+1;

    end
end
end

```

```

pilarespi(:,7)=pilarespi(:,6)-pilarespi(:,4);
vigaspi(:,7)=sqrt((vigaspi(:,5)-vigaspi(:,3)).^2+(vigaspi(:,6)-
vigaspi(:,4)).^2);
numvigaspi=vigaspi(:,1);
numvigaspi=length(numvigaspi);
listabarraspi=pilarespi;
listabarraspi((numpilarespi+1):(numvigaspi+numpilarespi),:)=vigaspi;
listabarraspiord=sortrows(listabarraspi,1);

%-----
%-----

%MATRICES DE RIGIDEZ

Mbarras=zeros(6,6*(numpilarespi+numvigaspi));

angulopilares=90;
angx=angulocubierta;

for i=1:numvigaspi+numpilarespi
    angulocubierta=angx;

    if listabarraspiord(i,3)==listabarraspiord(i,5)

        knpil=Avpilpi*Emod/listabarraspiord(i,7);
        k1pil=12*Emod*Iypilpi/(listabarraspiord(i,7)^3);
        k2pil=6*Emod*Iypilpi/(listabarraspiord(i,7)^2);
        k3pil=4*Emod*Iypilpi/listabarraspiord(i,7);
        k4pil=2*Emod*Iypilpi/listabarraspiord(i,7);

        klocalpil=[knpil 0 0 -knpil 0 0;...
0 k1pil k2pil 0 -k1pil k2pil;...
0 k2pil k3pil 0 -k2pil k4pil;...
-knpil 0 0 knpil 0 0;...
0 -k1pil -k2pil 0 k1pil -k2pil;...
0 k2pil k4pil 0 -k2pil k3pil];

        Tpil=[cosd(angulopilares) sind(angulopilares) 0 0 0 0;...
-sind(angulopilares) cosd(angulopilares) 0 0 0 0;...
0 0 1 0 0 0;...
0 0 0 cosd(angulopilares) sind(angulopilares) 0;...
0 0 0 -sind(angulopilares) cosd(angulopilares) 0;...
0 0 0 0 0 1 ];

        kglobalpil=Tpil'*klocalpil*Tpil;
        ktranspil=klocalpil*Tpil;

        Mbarras(1:6,6*(i-1)+1:6*(i-1)+6)=kglobalpil*10^0;
        Tbarras(1:6,6*(i-1)+1:6*(i-1)+6)=ktranspil;
    else
        knvig=Avvigpi*Emod/listabarraspiord(i,7);
        k1vig=12*Emod*Iyvigpi/(listabarraspiord(i,7)^3);

```

```

k2vig=6*Emod*Iyvigpi/(listabarraspiord(i,7)^2);
k3vig=4*Emod*Iyvigpi/listabarraspiord(i,7);
k4vig=2*Emod*Iyvigpi/listabarraspiord(i,7);

klocalvig=[knvig 0 0 -knvig 0 0;...
0 k1vig k2vig 0 -k1vig k2vig;...
0 k2vig k3vig 0 -k2vig k4vig;...
-knvig 0 0 knvig 0 0;...
0 -k1vig -k2vig 0 k1vig -k2vig;...
0 k2vig k4vig 0 -k2vig k3vig];

if listabarraspiord(i,4)>listabarraspiord(i,6)
angulocubierta=180-angulocubierta;
end

Tvig=[cosd(angulocubierta) sind(angulocubierta) 0 0 0 0;...
-sind(angulocubierta) cosd(angulocubierta) 0 0 0 0;...
0 0 1 0 0 0;...
0 0 0 cosd(angulocubierta) sind(angulocubierta) 0;...
0 0 0 -sind(angulocubierta) cosd(angulocubierta) 0;...
0 0 0 0 0 1 ];

kglobalvig=Tvig'*klocalvig*Tvig;
ktransvig=klocalvig*Tvig;

Mbarras(1:6,6*(i-1)+1:6*(i-1)+6)=kglobalvig;
Tbarras(1:6,6*(i-1)+1:6*(i-1)+6)=ktransvig;
end

end

%COLOCACIÓN EN LA MATRIZ GLOBAL DE LA ESTRUCTURA

Kcomp=zeros(numnodospi*3,numnodospi*3);
coorcoloc(:,1)=listabarraspiord(:,1);
coorcoloc(:,2)=listabarraspiord(:,2);

for i=1:(numvigaspi+numpilarespi)
Barra=coorcoloc(i,:);
MatBarras=Mbarras(:,(6*(i-1)+1):(6*(i-1)+6));
Primer_Punto_aa=[3*(Barra(1)-1)+1,3*(Barra(1)-1)+1];
Primer_Punto_ab=[3*(Barra(1)-1)+1,3*(Barra(2)-1)+1];
Primer_Punto_ba=[3*(Barra(2)-1)+1,3*(Barra(1)-1)+1];
Primer_Punto_bb=[3*(Barra(2)-1)+1,3*(Barra(2)-1)+1];

Kcomp(Primer_Punto_aa(1):Primer_Punto_aa(1)+2,Primer_Punto_aa(2):Primer_Punto_aa(2)+2)=...
Kcomp(Primer_Punto_aa(1):Primer_Punto_aa(1)+2,Primer_Punto_aa(2):Primer_Punto_aa(2)+2)+MatBarras(1:3,1:3);

Kcomp(Primer_Punto_ab(1):Primer_Punto_ab(1)+2,Primer_Punto_ab(2):Primer_Punto_ab(2)+2)=...
Kcomp(Primer_Punto_ab(1):Primer_Punto_ab(1)+2,Primer_Punto_ab(2):Primer_Punto_ab(2)+2)+MatBarras(1:3,4:6);

```

```

Kcomp(Primer_Punto_ba(1):Primer_Punto_ba(1)+2,Primer_Punto_ba(2):Primer_Punto_ba(2)+2)=...
Kcomp(Primer_Punto_ba(1):Primer_Punto_ba(1)+2,Primer_Punto_ba(2):Primer_Punto_ba(2)+2)+MatBarras(4:6,1:3);

Kcomp(Primer_Punto_bb(1):Primer_Punto_bb(1)+2,Primer_Punto_bb(2):Primer_Punto_bb(2)+2)=...
Kcomp(Primer_Punto_bb(1):Primer_Punto_bb(1)+2,Primer_Punto_bb(2):Primer_Punto_bb(2)+2)+MatBarras(4:6,4:6);

end

%REPRESENTACIÓN GRÁFICA DEL PÓRTICO

CN(:,1)=coorpiord(:,2);
CN(:,2)=coorpiord(:,3);

EF(:,1)=listabarraspi(:,1);
EF(:,2)=listabarraspi(:,2);

F1=figure(1);
for i=1:(numvigaspi+numpilarespi)
    plot([CN(EF(i,1),1) CN(EF(i,2),1)], [CN(EF(i,1),2)
CN(EF(i,2),2)], '-b', 'MarkerSize', 10)
        Elei=num2str(i);
        Frame=strcat('Barra', Elei);

text((CN(EF(i,1),1)+CN(EF(i,2),1))/2, (CN(EF(i,1),2)+CN(EF(i,2),2))/2
, Frame, 'FontSize', 10, 'HorizontalAlignment', 'center', 'VerticalAlignme
nt', 'top', 'color', 'red')
        hold on
        grid on

end

%-----

%CÁLCULO DE LOS VALORES DE LAS FUERZAS

clear nodosarriba
longjacenas=2*((ancho/2)/cosd(angulocubierta));

[mcoorpiord,ncoorpiord]=size(coorpiord);
for i=1:mcoorpiord

    if coorpiord(i,3)~=0
        nodosarribapi(i,:)=coorpiord(i,:);
    end

end

lennodosar=length(nodosarribapi)-numpilarespi;

```

```

for j=1:lennodosar

    if nodosarribapi(j,1)==0
        nodosarribapi(j,:)=[];
    end
end

%Colocación de fuerzas en los nodos
[mvigaspi,nvigaspi]=size(vigaspi);
for i=1:mvigaspi

    if vigaspi(i,5)<=ancho/2

        vigaspi(i,8)=0;
        vigaspi(i,9)=-sumacargasELUPI*vigaspi(i,7)/2;
        vigaspi(i,10)=sumacargasELUPI*vigaspi(i,7)^2/12;

        vigaspi(i,11)=0;
        vigaspi(i,12)=-sumacargasELUPI*vigaspi(i,7)/2;
        vigaspi(i,13)=-sumacargasELUPI*vigaspi(i,7)^2/12;

    else

        vigaspi(i,8)=0;
        vigaspi(i,9)=-sumacargasELUPI*vigaspi(i,7)/2;
        vigaspi(i,10)=-sumacargasELUPI*vigaspi(i,7)^2/12;

        vigaspi(i,11)=0;
        vigaspi(i,12)=-sumacargasELUPI*vigaspi(i,7)/2;
        vigaspi(i,13)=sumacargasELUPI*vigaspi(i,7)^2/12;

    end

end

axilpilpi=cargapilarespi*alturapilares/2;
momentopilpi=cargapilarespi*alturapilares^2/12;

vigaspi(1,8)=axilpilpi;
vigaspi(1,10)=vigaspi(1,10)-momentopilpi;

vigaspi(mvigaspi,11)=-axilpilpi;
vigaspi(mvigaspi,13)=vigaspi(mvigaspi,13)-momentopilpi;

coorpiord(:,4)=0;
coorpiord(:,5)=0;
coorpiord(:,6)=0;

j=2;
for i=1:mcoorpiord

    if coorpiord(i,3)==0

```

```

        coorpiord(i,4)=0;
        coorpiord(i,5)=0;
        coorpiord(i,6)=0;

    elseif coorpiord(i,1)==2

        coorpiord(i,5)=vigaspi(j,9);

    elseif coorpiord(i,1)==mcoorpiord

        coorpiord(i,5)=vigaspi(j-1,9);

    else
        coorpiord(i,5)=vigaspi(j,9)+vigaspi(j-1,12);
        coorpiord(i,6)=vigaspi(j,10)+vigaspi(j-1,13);
        j=j+1;
    end
end

%Colocación de fuerzas de los pilares
coorpiord(2,4)=axilpilpi;
coorpiord(2,5)=-sumacargasELUPI*vigaspi(1,7)/2;
coorpiord(2,6)=vigaspi(1,10);
coorpiord(mcoorpiord,4)=-axilpilpi;
coorpiord(mcoorpiord,5)=coorpiord(2,5);
coorpiord(mcoorpiord,6)=vigaspi(mvigaspi,13);

%Momentos máximos
listabarraspiord(:,8)=0;
[mlistapi,nlistapi]=size(listabarraspiord);
for i=1:mlistapi
    if listabarraspiord(i,3)~=listabarraspiord(i,5)

listabarraspiord(i,8)=sumacargasELUPI*(listabarraspiord(i,7)^2)/8;
        end
    end
listabarraspiord(1,8)=cargapilarespi*(alturapilares^2)/8;
listabarraspiord(mlistapi,8)=cargapilarespi*(alturapilares^2)/8;

vecfuerzas=zeros(numnodospi*3,1);

for i=1:mcoorpiord

    vecfuerzas(3*(i-1)+1,1)=coorpiord(i,4);
    vecfuerzas(3*(i-1)+2,1)=coorpiord(i,5);
    vecfuerzas(3*(i-1)+3,1)=coorpiord(i,6);
end

Kred=Kcomp;

for i=mcoorpiord:-1:1
    if coorpiord(i,3)==0 && coorpiord(i,4)==0 && coorpiord(i,5)==0
        Kred(3*(i-1)+3,:)=[];
        Kred(:,3*(i-1)+3)=[];
    end
end

```

```

        Kred(3*(i-1)+2,:)=[];
        Kred(:,3*(i-1)+2)=[];
        Kred(3*(i-1)+1,:)=[];
        Kred(:,3*(i-1)+1)=[];
    end
end

vecfuerzasred=vecfuerzas*10^0;

for i=mcoorpiord:-1:1
    if coorpiord(i,3)==0 && coorpiord(i,4)==0 && coorpiord(i,5)==0
        vecfuerzasred(3*(i-1)+3,:)=[];
        vecfuerzasred(3*(i-1)+2,:)=[];
        vecfuerzasred(3*(i-1)+1,:)=[];
    end
end

vecdespred=inv(Kred)*vecfuerzasred;
vecdesp=zeros(numnodospis*3,1);

jdesp=1;
for i=1:mcoorpiord
    if coorpiord(i,3)~=0 || coorpiord(i,4)~=0 || coorpiord(i,5)~=0
        vecdesp(3*(i-1)+1,:)=vecdespred(jdesp,:);
        vecdesp(3*(i-1)+2,:)=vecdespred(jdesp+1,:);
        vecdesp(3*(i-1)+3,:)=vecdespred(jdesp+2,:);
        jdesp=jdesp+3;
    end
end

%CÁLCULO DE SOLICITACIONES

[m,n]=size(listabarraspiord);
desp=zeros(m*6,1);
for i=1:m
    desp((6*(i-1)+1):(6*(i-1)+1)+2,1)=vecdesp((3*(listabarraspiord(i,1)-1)+1):(3*(listabarraspiord(i,1)-1)+1)+2);
    desp((6*(i-1)+1)+3:(6*(i-1)+1)+5,1)=vecdesp((3*(listabarraspiord(i,2)-1)+1):(3*(listabarraspiord(i,2)-1)+1)+2);
end

i=1;
j=1;
k=1;
solicitaciones=zeros(length(vecdesp),1);
for i=1:6:length(Mbarras)

    Sol1=Mbarras(1:6,i:i+5)*desp((6*(k-1)+1):(6*(k-1)+6),1);
    solicitudes((3*(listabarraspiord(k,1)-1)+1):(3*(listabarraspiord(k,1)-1)+1)+2),1)=...

```

```

solicitaciones((3*(listabarraspiord(k,1)-
1)+1):((3*(listabarraspiord(k,1)-1)+1)+2),1)+Sol1(1:3,1);

listabarraspiord(k,9)=Sol1(1,1);
listabarraspiord(k,10)=Sol1(2,1);
listabarraspiord(k,11)=Sol1(3,1);
listabarraspiord(k,12)=Sol1(4,1);
listabarraspiord(k,13)=Sol1(5,1);
listabarraspiord(k,14)=Sol1(6,1);

solicitaciones((3*(listabarraspiord(k,2)-
1)+1):((3*(listabarraspiord(k,2)-1)+1)+2),1)=...
solicitaciones((3*(listabarraspiord(k,2)-
1)+1):((3*(listabarraspiord(k,2)-1)+1)+2),1)+Sol1(4:6,1);

j=j+3;
k=k+1;

end

for i=1:mlistapi

listabarraspiord(i,15)=(listabarraspiord(i,11)+listabarraspiord(i,14
))/2+listabarraspiord(i,8);
end

%-----
-----

%PREDIMENSIONAMIENTO

%PÓRTICO INTERIOR

%Pilares

clear axilespilpi
clear momentospilpi
clear cortantespilpi

h7bpilpi=2;
Wypilpi2=Wypilpi*10^9;
Wzpilpi2=Wzpilpi*10^9;
Iypilpi2=Iypilpi*10^12;
Izpilpi2=Izpilpi*10^12;
Avpilpi2=Avpilpi*10^6;
Avzpilpi2=Avzpilpi*10^6;
Emod2=Emod*10^-6;

for i=1:mlistapi
    if listabarraspiord(i,3)==listabarraspiord(i,5)
        esfuerzospilarespi(i,:)=[listabarraspiord(i,9)
listabarraspiord(i,10) listabarraspiord(i,15)];
    end
end

```

```

    end
end
esfuerzomaxpilpi=max(max(abs(esfuerzospilarespi)));

for i=1:mlistapi
    if listabarraspiord(i,3)==listabarraspiord(i,5)
        if abs(listabarraspiord(i,9))==esfuerzomaxpilpi
            axilmaxpilpi=abs(listabarraspiord(i,9));
            cortantemaxpilpi=abs(listabarraspiord(i,10));
            momentomaxpilpi=max(abs(listabarraspiord(i,15)));
            longpilcriticopi=listabarraspiord(i,7);
        elseif abs(listabarraspiord(i,10))==esfuerzomaxpilpi
            axilmaxpilpi=abs(listabarraspiord(i,9));
            cortantemaxpilpi=abs(listabarraspiord(i,10));
            momentomaxpilpi=max(abs(listabarraspiord(i,15)));
            longpilcriticopi=listabarraspiord(i,7);
        elseif abs(listabarraspiord(i,15))==esfuerzomaxpilpi
            axilmaxpilpi=abs(listabarraspiord(i,9));
            cortantemaxpilpi=abs(listabarraspiord(i,10));
            momentomaxpilpi=max(abs(listabarraspiord(i,15)));
            longpilcriticopi=listabarraspiord(i,7);
        end
    end
end

%Comprobación por resistencia

limiteaxilpilpi=(axilmaxpilpi*10^3/(Avpilpi2))+(momentomaxpilpi*10^6
/(Wypilpi2));
limitecortantepilpi=cortantemaxpilpi*10^3/(Avzpilpi2);

SVMpilpi=sqrt(limiteaxilpilpi^2+3*limitecortantepilpi^2);

if SVMpilpi<fyd
    cumplepilpires=1;
else
    cumplepilpires=0;
end

%Comprobación por radio de giro

Btraspilpi=2;
Bintraspilpi=0.7;

Lkypilpi=longpilcriticopi*Btraspilpi;
Lkzpilpi=longpilcriticopi*Bintraspilpi;

ecgiroypilpi=Lkypilpi*10^3/(2*pi)*sqrt(fyk/Emod2);
ecgirozpilpi=Lkzpilpi*10^3/(2*pi)*sqrt(fyk/Emod2);

if ecgiroypilpi<=iypilpi && ecgirozpilpi<=izpilpi

```

```

        cumplepilpigiro=1;
else
        cumplepilpigiro=0;
end

%Comprobación por pandeo/esbeltez

cmpilpi=1;

Ncargaypilpi=(pi^2*Emod2*Iypilpi2)/((Lkypilpi*10^3)^2);
Ncargazpilpi=(pi^2*Emod2*Izpilpi2)/((Lkzpilpi*10^3)^2);

esbeltezypilpi=sqrt(Avpilpi2*fyk/(Ncargaypilpi));
esbeltezzpilpi=sqrt(Avpilpi2*fyd/(Ncargazpilpi));

if esbeltezypilpi<=2 && esbeltezzpilpi<=2

        cumplepilpiesbeltez=1;
else
        cumplepilpiesbeltez=0;
end

%Definición eje más crítico
if esbeltezypilpi>esbeltezzpilpi
        esbeltezpandeopilpi=esbeltezypilpi;
        Ncargapilpi=Ncargaypilpi;
        Lkpilpi=Lkypilpi;
        Wpandeopilpi=Wypilpi2;
        ejepandeopilpi=1;

else
        esbeltezpandeopilpi=esbeltezzpilpi;
        Ncargapilpi=Ncargazpilpi;
        Lkpilpi=Lkzpilpi;
        Wpandeopilpi=Wzpilpi2;
        ejepandeopilpi=2;
end

curvaa=0.13;
curvaa=0.21;
curvab=0.34;
curvac=0.49;
curvad=0.76;

if h7bpilpi>=1.2
        if ejepandeopilpi==1
                curvapandeopilpi=curvaa;
        else
                curvapandeopilpi=curvab;
        end

else
        if ejepandeopilpi==1
                curvapandeopilpi=curvab;
        else

```

```

        curvapandeopilpi=curvac;

    end
end

fipandeopilpi=0.5+(1+curvapandeopilpi*(esbeltezpandeopilpi-
0.2)+esbeltezpandeopilpi^2);

coefpandeopilpi=1/(fipandeopilpi+sqrt(fipandeopilpi^2-
esbeltezpandeopilpi^2));

pandeopilpi=axilmaxpilpi*10^3/(coefpandeopilpi*fyd*Avpilpi2)+(1/(1-
axilmaxpilpi*10^3/(Ncargapilpi*10^3)))*(cmpilpi*momentomaxpilpi*10^6/
(Wypilpi2*fyd));

if pandeopilpi<=1
    cumplepandeopilpi=1;
else
    cumplepandeopilpi=0;
end

if cumplepilpires==0 || cumplepilpiesbeltez==0 ||
cumplepandeopilpi==0 || cumplepilpigiro==0
    cumplepilpi=0;
else
    cumplepilpi=1;
end

%-----
-
%VIGAS

h7bvigpi=2;
Wyvigpi2=Wyvigpi*10^9;
Wzvigpi2=Wzvigpi*10^9;
Iyvigpi2=Iyvigpi*10^12;
Izvigpi2=Izvigpi*10^12;
Avvigpi2=Avvigpi*10^6;
Avzvigpi2=Avzvigpi*10^6;
Emod2=Emod*10^-6;

%Elección de barra más crítica
for i=1:mlistapi
    if listabarraspiord(i,3)~=listabarraspiord(i,5)
        esfuerzosvigaspi(i,:)=[listabarraspiord(i,9)
listabarraspiord(i,10) listabarraspiord(i,15)];
    end
end
esfuerzomaxvigpi=max(max(abs(esfuerzosvigaspi)));

for i=1:mlistapi
    if listabarraspiord(i,3)~=listabarraspiord(i,5)
        if abs(listabarraspiord(i,9))==esfuerzomaxvigpi
            axilmaxvigpi=abs(listabarraspiord(i,9));
        end
    end
end

```

```

        cortantemaxvigpi=abs(listabarraspiord(i,10));
        momentomaxvigpi=max(abs(listabarraspiord(i,15)));
        longvigcriticopi=listabarraspiord(i,7);
    elseif abs(listabarraspiord(i,10))==esfuerzomaxvigpi
        axilmaxvigpi=abs(listabarraspiord(i,9));
        cortantemaxvigpi=abs(listabarraspiord(i,10));
        momentomaxvigpi=max(abs(listabarraspiord(i,15)));
        longvigcriticopi=listabarraspiord(i,7);
    elseif abs(listabarraspiord(i,15))==esfuerzomaxvigpi
        axilmaxvigpi=abs(listabarraspiord(i,9));
        cortantemaxvigpi=abs(listabarraspiord(i,10));
        momentomaxvigpi=max(abs(listabarraspiord(i,15)));
        longvigcriticopi=listabarraspiord(i,7);

    end
end
end

%Comprobación por resistencia

limiteaxilvigpi=(axilmaxvigpi*10^3/(Avpilpi2))+(momentomaxvigpi*10^6
/(Wyvigpi2));
limitecortantevigpi=cortantemaxvigpi*10^3/(Avzvigpi2);

SVMvigpi=sqrt(limiteaxilvigpi^2+3*limitecortantevigpi^2);

if SVMvigpi<fyd

    cumplevigpires=1;
else
    cumplevigpires=0;
end

%Comprobación por radio de giro

Btrasvigpi=1;
Bintrasvigpi=0.5;

Lkyvigpi=longvigcriticopi*Btrasvigpi;
Lkzvigpi=longvigcriticopi*Bintrasvigpi;

ecgiroyvigpi=Lkyvigpi*10^3/(2*pi)*sqrt(fyk/Emod2);
ecgirozvigpi=Lkzvigpi*10^3/(2*pi)*sqrt(fyk/Emod2);

if ecgiroyvigpi<=iyvigpi && ecgirozvigpi<=izvigpi

    cumplevigpigiro=1;
else
    cumplevigpigiro=0;
end

%Comprobación por esbeltez

Xlt=1;

```

```

cmvigpi=1;

Ncargayvigpi=(pi^2*Emod2*Iyvigpi2)/((Lkyvigpi*10^3)^2);
Ncargazvigpi=(pi^2*Emod2*Izvigpi2)/((Lkzvigpi*10^3)^2);

esbeltezyvigpi=sqrt(Avvigpi2*fyk/Ncargayvigpi);
esbeltezzvigpi=sqrt(Avvigpi2*fyd/Ncargazvigpi);

if esbeltezyvigpi<=2 && esbeltezzvigpi<=2

    cumplevigpiesbeltez=1;
else
    cumplevigpiesbeltez=0;
end

%Pandeo lateral

clvigpil=1.13;

Mltvvigpi=clvigpil/(longvigcriticopi*10^3)*bltvvigpi;
Mltwvigpi=clvigpil/((longvigcriticopi*10^3)^2)*bltWvigpi;

Mcrvigpi=sqrt(Mltvvigpi^2+Mltwvigpi^2);

landavigpi=sqrt(Wyvigpi2*fyk/Mcrvigpi);

if landavigpi<2

    cumplevigpiesbeltez=1;

else

    cumplevigpiesbeltez=0;

end

if cumplevigpires==0 || cumplevigpigiro==0 || cumplevigpiesbeltez==0
    cumplevigpi=0;
else
    cumplevigpi=1;
end

end

Mperfilespi(icom,1)=perfilpilpidef;
Mperfilespi(icom,2)=perfilvigpidef;

end
% Mperfilespi

```

```

perfilpilpidefmax=max(Mperfilespi(:,1));
perfilvigpidefmax=max(Mperfilespi(:,2));

%-----
%-----

%OUTPUTS

fprintf ("\n\nRESULTADOS:\n\n")

fprintf ("A continuación se muestran los resultados obtenidos para
el pórtico interior:\n\n")

Out1=sprintf('El perfil elegido para los pilares es
IPE%d.',perfilpilpidefmax);
disp(Out1)

Out2=sprintf('El perfil elegido para las vigas es
IPE%d.\n',perfilvigpidefmax);
disp(Out2)

%%

%PÓRTICO FRONTAL

Mperfilespf=zeros(4,2);

%Combinaciones:
%Capacidad portante jácenas

Maccionespf=zeros(6,3);
Maccionespf(1,1)=1.35*CPPF;
Maccionespf(2,1)=1.35*CPPF+1.5*SUPF;
Maccionespf(3,1)=1.35*CPPF+1.5*nievePF;
Maccionespf(4,1)=0.8*CPPF+1.5*cargavGPF;
Maccionespf(4,2)=1.5*cargavlatABCPF;
Maccionespf(4,3)=1.5*cargavDint;

for icom2=1:4

    sumacargasELUPF=Maccionespf(icom2,1);
    cargapilarespf=Maccionespf(icom2,2);

%CÁLCULO DE MATRIZ DE RIGIDEZ
load IPE.txt

resto=rem(numpilarespf,2);

switch resto
    case 0

```

```

%         secvigaspi=(ancho/numpilarespf)/cosd(angulocubierta);
         secvigaspf=(ancho/numpilarespf)/cosd(angulocubierta);
    otherwise
%         secvigaspi=distpilarespf/cosd(angulocubierta);
         secvigaspf=distpilarespf/cosd(angulocubierta);
end

for iIPE=IPE(:,1)>(secvigaspf/50*1000)

    IPEposvigpf=[IPE(iIPE,1) IPE(iIPE,2) IPE(iIPE,3) IPE(iIPE,4)
IPE(iIPE,5) IPE(iIPE,6) IPE(iIPE,7) IPE(iIPE,8) IPE(iIPE,9)
IPE(iIPE,10) IPE(iIPE,11)];
end

cumlepilpf=0;
cumlevigpf=0;

for iP=1:length(IPEposvigpf)

    if cumlepilpf==0 && cumlevigpf==0

        perfilvigpf=IPEposvigpf(iP,1);
        Avvigpf=IPEposvigpf(iP,2);
        Iyvigpf=IPEposvigpf(iP,3);
        Wyyvigpf=IPEposvigpf(iP,4);
        Avzvigpf=IPEposvigpf(iP,5);
        Izvigpf=IPEposvigpf(iP,6);
        Wzvigpf=IPEposvigpf(iP,7);
        bltvvigpf=IPEposvigpf(iP,8);
        bltWvigpf=IPEposvigpf(iP,9);
        iyvigpf=IPEposvigpf(iP,10);
        izvigpf=IPEposvigpf(iP,11);

        Iypilpf=1.4*Iyvigpf;

        if iP<length(IPEposvigpf) && Iypilpf>=IPEposvigpf(iP+1,3)
            perfilpilpf=IPEposvigpf(iP+1,1);
            Avpilpf=IPEposvigpf(iP+1,2);
            Iypilpf=IPEposvigpf(iP+1,3);
            Wypilpf=IPEposvigpf(iP+1,4);
            Avzpilpf=IPEposvigpf(iP+1,5);
            Izpilpf=IPEposvigpf(iP+1,6);
            Wzpilpf=IPEposvigpf(iP+1,7);
            bltvpilpf=IPEposvigpf(iP+1,8);
            bltWpilpf=IPEposvigpf(iP+1,9);
            iypilpf=IPEposvigpf(iP+1,10);
            izpilpf=IPEposvigpf(iP+1,11);

        else
            perfilpilpf=IPEposvigpf(iP,1);
            Avpilpf=IPEposvigpf(iP,2);
            Iypilpf=IPEposvigpf(iP,3);

```

```

Wypilpf=IPEposvigpf(iP,4);
Avzpilpf=IPEposvigpf(iP,5);
Izpilpf=IPEposvigpf(iP,6);
Wzpilpf=IPEposvigpf(iP,7);
bltvpilpf=IPEposvigpf(iP,8);
bltWpilpf=IPEposvigpf(iP,9);
iypilpf=IPEposvigpf(iP,10);
izpilpf=IPEposvigpf(iP,11);
end

elseif cumlepilpf==1 && cumlevigpf==0

perfilvigpf=IPEposvigpf(iP,1);
Avvigpf=IPEposvigpf(iP,2);
Iyvigpf=IPEposvigpf(iP,3);
Wyvigpf=IPEposvigpf(iP,4);
Avzvigpf=IPEposvigpf(iP,5);
Izvigpf=IPEposvigpf(iP,6);
Wzvigpf=IPEposvigpf(iP,7);
bltvvigpf=IPEposvigpf(iP,8);
bltWvigpf=IPEposvigpf(iP,9);
iyvigpf=IPEposvigpf(iP,10);
izvigpf=IPEposvigpf(iP,11);

Iypilpf=1.4*Iyvigpf;

if iP<length(IPEposvigpf) && Iypilpf>=IPEposvigpf(iP+1,3)
perfilpilpf=IPEposvigpf(iP+1,1);
Avpilpf=IPEposvigpf(iP+1,2);
Iypilpf=IPEposvigpf(iP+1,3);
Wypilpf=IPEposvigpf(iP+1,4);
Avzpilpf=IPEposvigpf(iP+1,5);
Izpilpf=IPEposvigpf(iP+1,6);
Wzpilpf=IPEposvigpf(iP+1,7);
bltvpilpf=IPEposvigpf(iP+1,8);
bltWpilpf=IPEposvigpf(iP+1,9);
iypilpf=IPEposvigpf(iP+1,10);
izpilpf=IPEposvigpf(iP+1,11);

else
perfilpilpf=IPEposvigpf(iP,1);
Avpilpf=IPEposvigpf(iP,2);
Iypilpf=IPEposvigpf(iP,3);
Wypilpf=IPEposvigpf(iP,4);
Avzpilpf=IPEposvigpf(iP,5);
Izpilpf=IPEposvigpf(iP,6);
Wzpilpf=IPEposvigpf(iP,7);
bltvpilpf=IPEposvigpf(iP,8);
bltWpilpf=IPEposvigpf(iP,9);
iypilpf=IPEposvigpf(iP,10);
izpilpf=IPEposvigpf(iP,11);
end

perfilpilpfdef=perfilpilpf;

elseif cumlepilpf==0 && cumlevigpf==1

```

```

        if iP<length(IPEposvigpf)
            perfilpilpf=IPEposvigpf(iP+1,1);
            Avpilpf=IPEposvigpf(iP+1,2);
            Iypilpf=IPEposvigpf(iP+1,3);
            Wypilpf=IPEposvigpf(iP+1,4);
            Avzpilpf=IPEposvigpf(iP+1,5);
            Izpilpf=IPEposvigpf(iP+1,6);
            Wzpilpf=IPEposvigpf(iP+1,7);
            bltvpilpf=IPEposvigpf(iP+1,8);
            bltWpilpf=IPEposvigpf(iP+1,9);
            iypilpf=IPEposvigpf(iP+1,10);
            izpilpf=IPEposvigpf(iP+1,11);
            end
            perfilvigpfdef=perfilvigpf;

elseif cumplepilpf==1 && cumplevigpf==1
    perfilpilpfdef=perfilpilpf;
    perfilvigpfdef=perfilvigpf;
end

%Número de nodos
for inum=1:numpilarespf

    resto=rem(numpilarespf,2);
    switch resto
    case 0
        numnodospf=numpilarespf*2+1;

    otherwise
        numnodospf=numpilarespf*2;
    end

end

%Matriz de coordenadas de los nodos
for inum=1:round((numpilarespf-0.1)/2)
    coorpf(inum,:)= [inum, (inum-1)*distpilarespf,0];
    coorpf(inum+numpilarespf,:)= [inum+numpilarespf, (inum-
1)*distpilarespf,alturapilares+(tand(angulocubierta)*distpilarespf)*
(inum-1)];
    coorpf(numpilarespf-inum+1,:)= [numpilarespf-
inum+1, (numpilarespf-1)*distpilarespf-distpilarespf*(inum-1),0];
    coorpf(numpilarespf*2-inum+1,:)= [numpilarespf*2-
inum+1, (numpilarespf-1)*distpilarespf-distpilarespf*(inum-
1),alturapilares+(tand(angulocubierta)*distpilarespf)*(inum-1)];
end
resto=rem(numpilarespf,2);
if resto==1
    coorpf(round((numpilarespf-
0.1)/2)+1+numpilarespf,:)= [round((numpilarespf-
0.1)/2)+1+numpilarespf, ancho/2, alto];
    coorpf(round((numpilarespf-0.1)/2)+1,:)= [round((numpilarespf-
0.1)/2)+1, ancho/2, 0];

```

```

else
coorpf(numpilarespf*2+1,:)= [numpilarespf*2+1, ancho/2, alto];
end

%Ordenar matriz

coorpford=sortrows(coorpf, [2 3]);
coorpford(:,1)=sort(coorpford(:,1));

% plot(coorpiord(:,2), coorpiord(:,3), 'ob', 'MarkerSize', 3);

%Identificación de pilares y vigas

pilarespf=zeros(numpilarespf,6);
clear vigaspf
bucpilpf=1;
bucvigpf=1;

for ibar=1:(numnodospf-1)

    if coorpford(ibar,2)==coorpford(ibar+1,2)

        pilarespf(bucpilpf,:)= [coorpford(ibar,1)
coorpford(ibar+1,1) coorpford(ibar,2) coorpford(ibar,3)
coorpford(ibar+1,2) coorpford(ibar+1,3)];
        bucpilpf=bucpilpf+1;

    elseif coorpford(ibar,3)~=0 && coorpford(ibar+2,3)~=0

        vigaspf(bucvigpf,:)= [coorpford(ibar,1)
coorpford(ibar+2,1) coorpford(ibar,2) coorpford(ibar,3)
coorpford(ibar+2,2) coorpford(ibar+2,3)];
        bucvigpf=bucvigpf+1;

    elseif coorpford(ibar,3)~=0 && (coorpford(ibar+1,3)~=0)

        vigaspf(bucvigpf,:)= [coorpford(ibar,1)
coorpford(ibar+1,1) coorpford(ibar,2) coorpford(ibar,3)
coorpford(ibar+1,2) coorpford(ibar+1,3)];
        bucvigpf=bucvigpf+1;

    end
end

pilarespf(:,7)=pilarespf(:,6)-pilarespf(:,4);
vigaspf(:,7)=sqrt((vigaspf(:,5)-vigaspf(:,3)).^2+(vigaspf(:,6)-
vigaspf(:,4)).^2);
numvigaspf=vigaspf(:,1);
numvigaspf=length(numvigaspf);
listabarraspf=pilarespf;
listabarraspf((numpilarespf+1):(numvigaspf+numpilarespf),:)=vigaspf;
listabarraspford=sortrows(listabarraspf,1);

```

```

%-----
%-----

%MATRICES DE RIGIDEZ

Mbarraspf=zeros(6,6*(numpilarespf+numvigaspf));

angulopilares=90;
angx=angulocubierta;

for i=1:numvigaspf+numpilarespf
    angulocubierta=angx;

    if listabarraspford(i,3)==listabarraspford(i,5)

        knpilpf=Avpilpf*Emod/listabarraspford(i,7);
        k1pilpf=12*Emod*Iypilpf/(listabarraspford(i,7)^3);
        k2pilpf=6*Emod*Iypilpf/(listabarraspford(i,7)^2);
        k3pilpf=4*Emod*Iypilpf/listabarraspford(i,7);
        k4pilpf=2*Emod*Iypilpf/listabarraspford(i,7);

        %           knpil=1;
        %           k1pil=1;
        %           k2pil=1;
        %           k3pil=1;
        %           k4pil=1;

        klocalpilpf=[knpilpf 0 0 -knpilpf 0 0;...
            0 k1pilpf k2pilpf 0 -k1pilpf k2pilpf;...
            0 k2pilpf k3pilpf 0 -k2pilpf k4pilpf;...
            -knpilpf 0 0 knpilpf 0 0;...
            0 -k1pilpf -k2pilpf 0 k1pilpf -k2pilpf;...
            0 k2pilpf k4pilpf 0 -k2pilpf k3pilpf];

        Tpilpf=[cosd(angulopilares) sind(angulopilares) 0 0 0 0;...
            -sind(angulopilares) cosd(angulopilares) 0 0 0 0;...
            0 0 1 0 0 0;...
            0 0 0 cosd(angulopilares) sind(angulopilares) 0;...
            0 0 0 -sind(angulopilares) cosd(angulopilares) 0;...
            0 0 0 0 0 1 ];

        kglobalpilpf=Tpilpf'*klocalpilpf*Tpilpf;
        ktranspilpf=klocalpilpf*Tpilpf;

        Mbarraspf(1:6,6*(i-1)+1:6*(i-1)+6)=kglobalpilpf*10^0;
        Tbarraspf(1:6,6*(i-1)+1:6*(i-1)+6)=ktranspilpf;
    else
        knvigpf=Avvigpf*Emod/listabarraspford(i,7);
        k1vigpf=12*Emod*Iyvigpf/(listabarraspford(i,7)^3);
        k2vigpf=6*Emod*Iyvigpf/(listabarraspford(i,7)^2);
        k3vigpf=4*Emod*Iyvigpf/listabarraspford(i,7);
    end
end

```

```

k4vigpf=2*Emod*Iyvigpf/listabarrasford(i,7);

%           knvig=1;
%           k1vig=1;
%           k2vig=1;
%           k3vig=1;
%           k4vig=1;

klocalvigpf=[knvigpf 0 0 -knvigpf 0 0;...
             0 k1vigpf k2vigpf 0 -k1vigpf k2vigpf;...
             0 k2vigpf k3vigpf 0 -k2vigpf k4vigpf;...
             -knvigpf 0 0 knvigpf 0 0;...
             0 -k1vigpf -k2vigpf 0 k1vigpf -k2vigpf;...
             0 k2vigpf k4vigpf 0 -k2vigpf k3vigpf];

if listabarrasford(i,4)>listabarrasford(i,6)
angulocubierta=180-angulocubierta;
end

Tvigpf=[cosd(angulocubierta) sind(angulocubierta) 0 0 0
0;...
-sind(angulocubierta) cosd(angulocubierta) 0 0 0 0;...
0 0 1 0 0 0;...
0 0 0 cosd(angulocubierta) sind(angulocubierta) 0;...
0 0 0 -sind(angulocubierta) cosd(angulocubierta) 0;...
0 0 0 0 0 1 ];

kglobalvigpf=Tvigpf'*klocalvigpf*Tvigpf;
ktransvigpf=klocalvigpf*Tvigpf;

Mbarraspf(1:6,6*(i-1)+1:6*(i-1)+6)=kglobalvigpf;
Tbarraspf(1:6,6*(i-1)+1:6*(i-1)+6)=ktransvigpf;
end

end

%COLOCACIÓN EN LA MATRIZ GLOBAL DE LA ESTRUCTURA

Kcomppf=zeros(numnodospf*3,numnodospf*3);
coorcolocpf(:,1)=listabarrasford(:,1);
coorcolocpf(:,2)=listabarrasford(:,2);

for i=1:(numvigaspf+numpilarespf)
Barrapf=coorcolocpf(i,:);
MatBarras=Mbarraspf(:,(6*(i-1)+1):(6*(i-1)+6));
Primer_Punto_aa=[3*(Barrapf(1)-1)+1,3*(Barrapf(1)-1)+1];
Primer_Punto_ab=[3*(Barrapf(1)-1)+1,3*(Barrapf(2)-1)+1];
Primer_Punto_ba=[3*(Barrapf(2)-1)+1,3*(Barrapf(1)-1)+1];
Primer_Punto_bb=[3*(Barrapf(2)-1)+1,3*(Barrapf(2)-1)+1];

Kcomppf(Primer_Punto_aa(1):Primer_Punto_aa(1)+2,Primer_Punto_aa(2):P
rimer_Punto_aa(2)+2)=...
Kcomppf(Primer_Punto_aa(1):Primer_Punto_aa(1)+2,Primer_Punto_aa(2):P
rimer_Punto_aa(2)+2)+MatBarras(1:3,1:3);

```

```

Kcomppf(Primer_Punto_ab(1):Primer_Punto_ab(1)+2,Primer_Punto_ab(2):P
rimer_Punto_ab(2)+2)=...
Kcomppf(Primer_Punto_ab(1):Primer_Punto_ab(1)+2,Primer_Punto_ab(2):P
rimer_Punto_ab(2)+2)+MatBarras(1:3,4:6);

Kcomppf(Primer_Punto_ba(1):Primer_Punto_ba(1)+2,Primer_Punto_ba(2):P
rimer_Punto_ba(2)+2)=...
Kcomppf(Primer_Punto_ba(1):Primer_Punto_ba(1)+2,Primer_Punto_ba(2):P
rimer_Punto_ba(2)+2)+MatBarras(4:6,1:3);

Kcomppf(Primer_Punto_bb(1):Primer_Punto_bb(1)+2,Primer_Punto_bb(2):P
rimer_Punto_bb(2)+2)=...
Kcomppf(Primer_Punto_bb(1):Primer_Punto_bb(1)+2,Primer_Punto_bb(2):P
rimer_Punto_bb(2)+2)+MatBarras(4:6,4:6);

end

%REPRESENTACIÓN GRÁFICA DEL PÓRTICO

CNpf(:,1)=coopford(:,2);
CNpf(:,2)=coopford(:,3);

EFpf(:,1)=listabarraspf(:,1);
EFpf(:,2)=listabarraspf(:,2);

F12=figure(2);
for i=1:(numvigaspf+numpilarespf)
    plot([CNpf(EFpf(i,1),1) CNpf(EFpf(i,2),1)], [CNpf(EFpf(i,1),2)
CNpf(EFpf(i,2),2)], '-b', 'MarkerSize', 10)
    Elei=num2str(i);
    Frame=strcat('Barra',Elei);

text((CNpf(EFpf(i,1),1)+CNpf(EFpf(i,2),1))/2, (CNpf(EFpf(i,1),2)+CNpf
(EFpf(i,2),2))/2,Frame, 'FontSize',10, 'HorizontalAlignment', 'center',
'VerticalAlignment', 'top', 'color', 'red')
    hold on
    grid on
end
hold off
%-----

%CÁLCULO DE LOS VALORES DE LAS FUERZAS

clear nodosarriba
longjacenas=2*((ancho/2)/cosd(angulocubierta));

[mcoopford,ncoopfiord]=size(coopford);
for i=1:mcoopford

    if coopford(i,3)~=0
        nodosarribapf(i,:)=coopford(i,:);
    end
end

```

```

end

lennodosarpcf=length(nodosarribapcf)-numpilarespcf;

for j=1:lennodosarpcf

    if nodosarribapcf(j,1)==0
        nodosarribapcf(j,:)=[];
    end
end

%Colocación de fuerzas en los nodos
[mvigaspcf,nvigaspcf]=size(vigaspcf);
for i=1:mvigaspcf

    if vigaspcf(i,5)<=ancho/2

        vigaspcf(i,8)=0;
        vigaspcf(i,9)=-sumacargasELUPI*vigaspcf(i,7)/2;
        vigaspcf(i,10)=sumacargasELUPI*vigaspcf(i,7)^2/12;

        vigaspcf(i,11)=0;
        vigaspcf(i,12)=-sumacargasELUPI*vigaspcf(i,7)/2;
        vigaspcf(i,13)=-sumacargasELUPI*vigaspcf(i,7)^2/12;

    else

        vigaspcf(i,8)=0;
        vigaspcf(i,9)=-sumacargasELUPI*vigaspcf(i,7)/2;
        vigaspcf(i,10)=-sumacargasELUPI*vigaspcf(i,7)^2/12;

        vigaspcf(i,11)=0;
        vigaspcf(i,12)=-sumacargasELUPI*vigaspcf(i,7)/2;
        vigaspcf(i,13)=sumacargasELUPI*vigaspcf(i,7)^2/12;

    end

end

axilpilpcf=cargapilarespcf*alturapilares/2;
momentopilpcf=cargapilarespcf*(alturapilares)^2/12;

vigaspcf(1,8)=axilpilpcf;
vigaspcf(1,10)=vigaspcf(1,10)+momentopilpcf;

vigaspcf(mvigaspcf,11)=-axilpilpcf;
vigaspcf(mvigaspcf,13)=vigaspcf(mvigaspcf,13)-momentopilpcf;

coopford(:,4)=0;
coopford(:,5)=0;
coopford(:,6)=0;

```

```

j=2;
for i=1:mcoopford

    if coopford(i,3)==0
        coopford(i,4)=0;
        coopford(i,5)=0;
        coopford(i,6)=0;

    elseif coopford(i,1)==2

        coopford(i,5)=vigaspf(j,9);

    elseif coopford(i,1)==mcoopford

        coopford(i,5)=vigaspf(j-1,9);

    else
        coopford(i,5)=vigaspf(j,9)+vigaspf(j-1,12);
        coopford(i,6)=vigaspf(j,10)+vigaspf(j-1,13);
        j=j+1;
    end
end

%Colocación de fuerzas de los pilares
coopford(2,4)=axilpilpf;
coopford(2,5)=-sumacargasELUPF*vigaspf(1,7)/2;
coopford(2,6)=vigaspf(1,10);
coopford(mcoopford,4)=-axilpilpf;
coopford(mcoopford,5)=coopford(2,5);
coopford(mcoopford,6)=vigaspf(mvigaspf,13);

%Momentos máximos
listabarraspford(:,8)=0;
[mlistapf,nlistapf]=size(listabarraspford);
for i=1:mlistapf
    if listabarraspford(i,3)~=listabarraspford(i,5)

listabarraspford(i,8)=sumacargasELUPF*(listabarraspford(i,7)^2)/8;
        end
    end
listabarraspford(1,8)=cargapilarespf*(alturapilares^2)/8;
listabarraspford(mlistapf,8)=cargapilarespf*(alturapilares^2)/8;

%Eje z

cargapilaresextz=Maccionespf(4,3)/2;
cargapilaresintz=Maccionespf(4,3);

listabarraspford(:,16)=0;
[mlistapf,nlistapf]=size(listabarraspford);
for i=1:mlistapf
    if listabarraspford(i,3)==listabarraspford(i,5)

```

```

        if listabarraspford(i,7)==alturapilares
listabarraspford(i,15)=cargapilaresextz*listabarraspford(i,7)/2;
listabarraspford(i,16)=cargapilaresextz*(listabarraspford(i,7)^2)/8;
        else
listabarraspford(i,15)=cargapilaresintz*listabarraspford(i,7)/2;
listabarraspford(i,16)=cargapilaresintz*(listabarraspford(i,7)^2)/8;
        end
    end
end

vecfuerzaspf=zeros(numnodospf*3,1);

for i=1:mcoopford

    vecfuerzaspf(3*(i-1)+1,1)=coopford(i,4);
    vecfuerzaspf(3*(i-1)+2,1)=coopford(i,5);
    vecfuerzaspf(3*(i-1)+3,1)=coopford(i,6);
end

Kredpf=Kcompf;

for i=mcoopford:-1:1
    if coopford(i,3)==0 && coopford(i,4)==0 && coopford(i,5)==0
        Kredpf(3*(i-1)+3,:)=[];
        Kredpf(:,3*(i-1)+3)=[];
        Kredpf(3*(i-1)+2,:)=[];
        Kredpf(:,3*(i-1)+2)=[];
        Kredpf(3*(i-1)+1,:)=[];
        Kredpf(:,3*(i-1)+1)=[];
    end
end

vecfuerzasredpf=vecfuerzaspf*10^0;

for i=mcoopford:-1:1
    if coopford(i,3)==0 && coopford(i,4)==0 && coopford(i,5)==0
        vecfuerzasredpf(3*(i-1)+3,:)=[];
        vecfuerzasredpf(3*(i-1)+2,:)=[];
        vecfuerzasredpf(3*(i-1)+1,:)=[];
    end
end

vecdesppfredpf=inv(Kredpf)*vecfuerzasredpf;
vecdesppf=zeros(numnodospf*3,1);

jdesp=1;
for i=1:mcoopford
    if coopford(i,3)~=0 || coopford(i,4)~=0 || coopford(i,5)~=0
        vecdesppf(3*(i-1)+1,:)=vecdesppfredpf(jdesp,:);
        vecdesppf(3*(i-1)+2,:)=vecdesppfredpf(jdesp+1,:);
        vecdesppf(3*(i-1)+3,:)=vecdesppfredpf(jdesp+2,:);
    end
end

```

```

        jdesp=jdesp+3;
    end
end

%CÁLCULO DE SOLICITACIONES

[m,n]=size(listabarrasford);
desppf=zeros(m*6,1);
for i=1:m
    desppf((6*(i-1)+1):(6*(i-1)+1)+2,1)=vecdesppf((3*(listabarrasford(i,1)-1)+1):(3*(listabarrasford(i,1)-1)+1)+2);
    desppf((6*(i-1)+1)+3:(6*(i-1)+1)+5,1)=vecdesppf((3*(listabarrasford(i,2)-1)+1):(3*(listabarrasford(i,2)-1)+1)+2);
end

i=1;
j=1;
k=1;
solicitacionespf=zeros(length(vecdesppf),1);
for i=1:6:length(Mbarraspf)

    Soll1pf=Mbarraspf(1:6,i:i+5)*desppf((6*(k-1)+1):(6*(k-1)+6),1);
    solicitudespf((3*(listabarrasford(k,1)-1)+1):(3*(listabarrasford(k,1)-1)+1)+2,1)=...
    solicitudespf((3*(listabarrasford(k,1)-1)+1):(3*(listabarrasford(k,1)-1)+1)+2,1)+Soll1pf(1:3,1);

    listabarrasford(k,9)=Soll1pf(1,1);
    listabarrasford(k,10)=Soll1pf(2,1);
    listabarrasford(k,11)=Soll1pf(3,1);
    listabarrasford(k,12)=Soll1pf(4,1);
    listabarrasford(k,13)=Soll1pf(5,1);
    listabarrasford(k,14)=Soll1pf(6,1);

    solicitudespf((3*(listabarrasford(k,2)-1)+1):(3*(listabarrasford(k,2)-1)+1)+2,1)=...
    solicitudespf((3*(listabarrasford(k,2)-1)+1):(3*(listabarrasford(k,2)-1)+1)+2,1)+Soll1pf(4:6,1);

    j=j+3;
    k=k+1;

end

solicitacionespf;

for i=1:mlistapf

listabarrasford(i,17)=(listabarrasford(i,11)+listabarrasford(i,14))/2+listabarrasford(i,8);
end

```

```

%-----
%-----

%PREDIMENSIONAMIENTO

%PÓRTICO FRONTAL

%Pilares

clear axilespilpf
clear momentospilpf
clear cortantespilpf

h7bpilpf=2;
% Emod=210000;
% resto=rem(numpilarespf,2);

Wypilpf2=Wypilpf*10^9;
Wzpilpf2=Wzpilpf*10^9;
Iypilpf2=Iypilpf*10^12;
Izpilpf2=Izpilpf*10^12;
Avpilpf2=Avpilpf*10^6;
Avzpilpf2=Avzpilpf*10^6;
Emod2=Emod*10^-6;

for i=1:mlistapf
    if listabarraspford(i,3)==listabarraspford(i,5)
        esfuerzospilarespf(i,:)=[listabarraspford(i,9)
listabarraspford(i,10) listabarraspford(i,15) listabarraspford(i,16)
listabarraspford(i,17)];
    end
end
esfuerzomaxpilpf=max(max(abs(esfuerzospilarespf)));

for i=1:mlistapf
    if listabarraspford(i,3)==listabarraspford(i,5)
        if abs(listabarraspford(i,9))==esfuerzomaxpilpf
            axilmaxpilpf=abs(listabarraspford(i,9));
            cortantemaxpilpf=abs(listabarraspford(i,10));
            momentomaxpilpf=max(abs(listabarraspford(i,17)));
            longpilcriticopf=listabarraspford(i,7);
        elseif abs(listabarraspford(i,10))==esfuerzomaxpilpf
            axilmaxpilpf=abs(listabarraspford(i,9));
            cortantemaxpilpf=abs(listabarraspford(i,10));
            momentomaxpilpf=max(abs(listabarraspford(i,17)));
            longpilcriticopf=listabarraspford(i,7);
        elseif abs(listabarraspford(i,17))==esfuerzomaxpilpf
            axilmaxpilpf=abs(listabarraspford(i,9));
            cortantemaxpilpf=abs(listabarraspford(i,10));
            momentomaxpilpf=max(abs(listabarraspford(i,17)));
            longpilcriticopf=listabarraspford(i,7);
        elseif abs(listabarraspford(i,15))==esfuerzomaxpilpf
            axilmaxpilpf=abs(listabarraspford(i,9));
            cortantemaxpilpf=abs(listabarraspford(i,15));
        end
    end
end

```

```

        momentomaxpilpf=max(abs(listabarrasford(i,16)));
        longpilcriticopf=listabarrasford(i,7);
elseif abs(listabarrasford(i,15))==esfuerzomaxpilpf
    axilmaxpilpf=abs(listabarrasford(i,9));
    cortantemaxpilpf=abs(listabarrasford(i,15));
    momentomaxpilpf=max(abs(listabarrasford(i,16)));
    longpilcriticopf=listabarrasford(i,7);
end
end
end

%Comprobación por resistencia

%Comprobación por resistencia

limiteaxilpilpf=(axilmaxpilpf*10^3/(Avpilpf2))+(momentomaxpilpf*10^6
/(Wypilpf2));
limitecortantepilpf=cortantemaxpilpf*10^3/(Avzpilpf2);

SVMpilpf=sqrt(limiteaxilpilpf^2+3*limitecortantepilpf^2);

if SVMpilpf<fyd

    cumplepilpfres=1;
else
    cumplepilpfres=0;
end

%Comprobación por radio de giro

Btraspilpf=2;
Bintraspilpf=0.7;

Lkypilpf=longpilcriticopf*Btraspilpf;
Lkzpilpf=longpilcriticopf*Bintraspilpf;

ecgiroypilpf=Lkypilpf*10^3/(2*pi)*sqrt(fyk/Emod2);
ecgirozpilpf=Lkzpilpf*10^3/(2*pi)*sqrt(fyk/Emod2);

if ecgiroypilpf<=iypilpf && ecgirozpilpf<=izpilpf

    cumplepilpfgiro=1;
else
    cumplepilpfgiro=0;
end

%Comprobación por pandeo/esbeltez

cmpilpf=1;

Ncargaypilpf=(pi^2*Emod2*Iypilpf2)/((Lkypilpf*10^3)^2);

```

```

Ncargazpilpf=(pi^2*Emod2*Izpilpf2)/((Lkzpilpf*10^3)^2);

esbeltezpilpf=sqrt(Avpilpf2*fyk/Ncargaypilpf);
esbeltezzpilpf=sqrt(Avpilpf2*fyd/Ncargazpilpf);

if esbeltezpilpf<=2 && esbeltezzpilpf<=2

    cumplepilpfesbeltez=1;
else
    cumplepilpfesbeltez=0;
end

%Definición eje más crítico
if esbeltezpilpf>esbeltezzpilpf
    esbeltezpandeopilpf=esbeltezpilpf;
    Ncargapilpf=Ncargaypilpf;
    Lkpilpf=Lkypilpf;
    ejepandeopilpf=1;

else
    esbeltezpandeopilpf=esbeltezzpilpf;
    Ncargapilpf=Ncargazpilpf;
    Lkpilpf=Lkzpilpf;
    ejepandeopilpf=2;
end

curvaa=0.13;
curvaa=0.21;
curvab=0.34;
curvac=0.49;
curvad=0.76;

if h7bpilpf>=1.2
    if ejepandeopilpf==1
        curvapandeopilpf=curvaa;
    else
        curvapandeopilpf=curvab;
    end

else
    if ejepandeopilpf==1
        curvapandeopilpf=curvab;
    else
        curvapandeopilpf=curvac;
    end

end

fipandeopilpf=0.5+(1+curvapandeopilpf*(esbeltezpandeopilpf-
0.2)+esbeltezpandeopilpf^2);

coefpandeopilpf=1/(fipandeopilpf+sqrt(fipandeopilpf^2-
esbeltezpandeopilpf^2));

```

```

pandeopilpf=axilmaxpilpf*10^3/(coefpandeopilpf*fyd*Avpilpf2)+(1/(1-
axilmaxpilpf*10^3/(Ncargapilpf*10^3))*(cmpilpf*momentomaxpilpf*10^6/
(Wypilpf2*fyd)));

if pandeopilpf<=1
    cumplepandeopilpf=1;
else
    cumplepandeopilpf=0;
end

if cumplepilpfres==0 || cumplepilpfesbeltez==0 ||
cumplepandeopilpf==0
    cumplepilpf=0;
else
    cumplepilpf=1;
end

%-----
-

%VIGAS

h7bvigpf=2;
Wyvigpf2=Wyvigpf*10^9;
Wzvigpf2=Wzvigpf*10^9;
Iyvigpf2=Iyvigpf*10^12;
Izvigpf2=Izvigpf*10^12;
Avvigpf2=Avvigpf*10^6;
Avzvigpf2=Avzvigpf*10^6;
Emod2=Emod*10^-6;

%Elección de barra más crítica
for i=1:mlistapf
    if listabarraspford(i,3)~=listabarraspford(i,5)
        esfuerzosvigaspf(i,:)=listabarraspford(i,9)
listabarraspford(i,10) listabarraspford(i,17)];
    end
end
esfuerzomaxvigpf=max(max(abs(esfuerzosvigaspf)));

for i=1:mlistapf
    if listabarraspford(i,3)~=listabarraspford(i,5)
        if abs(listabarraspford(i,9))==esfuerzomaxvigpf
            axilmaxvigpf=abs(listabarraspford(i,9));
            cortantemaxvigpf=abs(listabarraspford(i,10));
            momentomaxvigpf=max(abs(listabarraspford(i,17)));
            longvigcriticopf=listabarraspford(i,7);
        elseif abs(listabarraspford(i,10))==esfuerzomaxvigpf
            axilmaxvigpf=abs(listabarraspford(i,9));
            cortantemaxvigpf=abs(listabarraspford(i,10));
            momentomaxvigpf=max(abs(listabarraspford(i,17)));
            longvigcriticopf=listabarraspford(i,7);
        elseif abs(listabarraspford(i,17))==esfuerzomaxvigpf
            axilmaxvigpf=abs(listabarraspford(i,9));
            cortantemaxvigpf=abs(listabarraspford(i,10));
            momentomaxvigpf=max(abs(listabarraspford(i,17)));
        end
    end
end

```

```

        longvigcriticopf=listabarrasford(i,7);

        end
    end
end

%Comprobación por resistencia

limiteaxilvigpf=(axilmaxvigpf*10^3/(Avpilpf2))+(momentomaxvigpf*10^6
/(Wyvigpf2));
limitecortantevigpf=cortantemaxvigpf*10^3/(Avzvigpf2);

SVMvigpf=sqrt(limiteaxilvigpf^2+3*limitecortantevigpf^2);

if SVMvigpf<fyd

    cumplevigpfres=1;
else
    cumplevigpfres=0;
end

%Comprobación por radio de giro

Btrasvigpf=1;
Bintrasvigpf=0.5;

Lkyvigpf=longvigcriticopf*Btrasvigpf;
Lkzvigpf=longvigcriticopf*Bintrasvigpf;

ecgiroyvigpf=Lkyvigpf*10^3/(2*pi)*sqrt(fyk/Emod2);
ecgirozvigpf=Lkzvigpf*10^3/(2*pi)*sqrt(fyk/Emod2);

if ecgiroyvigpf<=iyvigpf && ecgirozvigpf<=izvigpf

    cumplevigpfgiro=1;
else
    cumplevigpfgiro=0;
end

%Comprobación por pandeo/esbeltez

Xlt=1;

cmvigpf=1;

Ncargayvigpf=(pi^2*Emod2*Iyvigpf2)/((Lkyvigpf*10^3)^2);
Ncargazvigpf=(pi^2*Emod2*Izvigpf2)/((Lkzvigpf*10^3)^2);

esbeltezyvigpf=sqrt(Avvigpf2*fyk/(Ncargayvigpf));
esbeltezzvigpf=sqrt(Avvigpf2*fyd/(Ncargazvigpf));

if esbeltezyvigpf<=2 && esbeltezzvigpf<=2

```

```

        cumplevigpfesbeltez=1;
else
        cumplevigpfesbeltez=0;
end

%Pandeo lateral

clvigpil=1.13;

Mltvvigpf=clvigpil/(longvigcriticopf*10^3)*bltvvigpf;
Mltwvigpf=clvigpil/(longvigcriticopf*10^3)^2*bltWvigpf;

Mcrvigpf=sqrt(Mltvvigpf^2+Mltwvigpf^2);

landavigpf=sqrt(Wyvigpf*fyk/Mcrvigpf);

fipandeovigpf=0.5*(1+0.21*(landavigpf-0.2)+landavigpf^2);

coefpandeovigpf=1/sqrt(fipandeovigpf+sqrt(fipandeovigpf^2-landavigpf^2));

Mbvigpf=coefpandeovigpf*Wyvigpf2*fyk/1.05;

if landavigpf<2

        cumplevigpfesbeltez=1;

else

        cumplevigpfesbeltez=0;

end

if cumplevigpfres==0 || cumplevigpfesbeltez==0 || cumplevigpfgiro==0
        cumplevigpf=0;
else
        cumplevigpf=1;
end

end

Mperfilespf(icom2,1)=perfilpilpfdef;
Mperfilespf(icom2,2)=perfilvigpfdef;

end

% Mperfilespi

perfilpilpfdefmax=max(Mperfilespf(:,1));
perfilvigpfdefmax=max(Mperfilespf(:,2));

```

```
%-----  
-----
```

```
%Outputs
```

```
fprintf ("A continuación se muestran los resultados obtenidos para  
el pórtico frontal:\n\n")
```

```
Out3=sprintf('El perfil elegido para los pilares es  
IPE%d.',perfilpilpfdefmax);  
disp(Out3)
```

```
Out4=sprintf('El perfil elegido para las vigas es  
IPE%d.',perfilvigpfdefmax);  
disp(Out4)
```

ANEXO B: NOTACIONES

En este anexo se muestran las notaciones utilizadas en la programación con su correspondiente explicación:

...: Los 3 puntos suspensivos no aparecen en la programación, se utilizarán en este glosario junto a una variable para indicar que pueden ser sustituidos por: "pil", "vig", "pi", "pf" o una combinación de varios

pil: pilar(es).

vig: viga(s)

pi: pórtico interior

pf: pórtico frontal

areaparcela: área de la parcela donde estará situado el galpón.

long: longitud del galpón

ancho: amplitud/luz del galpón.

alto: altura del galpón.

pesocubierta: peso de la cubierta del galpón.

angulocubierta: ángulo de la cubierta respecto a la horizontal.

difaltura: diferencia entre el punto más alto y el más bajo de la cubierta.

alturapilares: altura de los pilares del galpón.

distporticos: distancia entre los pórticos.

numpilarespf: número de pilares del pórtico frontal.

distpilarespf: distancia entre pilares del pórtico frontal.

numpilarespi: número de pilares de los pórticos interiores.

distpilarespi: distancia entre pilares de los pórticos interiores.

tipoacero: variable usada para almacenar el valor “si” en el caso de querer utilizar el acero tipo S275JR o por el contrario el valor “otro” en caso de querer usar un acero diferente.

Emod: módulo elástico del acero.

fyk: resistencia característica del acero escogido.

fyd: resistencia de cálculo del acero escogido.

zonaviento: variable utilizada para almacenar los valores “A”, “B” o “C” según la zona de viento que quiera seleccionar el usuario.

valorviento: valor de la velocidad del viento.

densidadaire: densidad del aire.

qb: presión dinámica.

coefexpo: coeficiente de exposición

PP: peso propio

SumaCP: suma de cargas permanentes

CPPF: CP aplicadas al pórtico frontal

CPPI: CP aplicadas al pórtico interior

SUPF: sobrecarga de uso aplicada al pórtico frontal.

SUPI: sobrecarga de uso aplicada al pórtico interior.

u: coeficiente de forma.

carganievehor: carga de nieve en una superficie horizontal.

carganieve: valor de la acción ocasionada por la nieve.

nievePF: acción de la nieve aplicada al pórtico frontal.

nievePI: acción de la nieve aplicada al pórtico interior

hdlat: esbeltez lateral del galpón

D: valor del coeficiente en la zona “D” para el cálculo del viento.

E: valor del coeficiente en la zona “E” para el cálculo del viento.

QvlatD: carga causada por el viento lateral en la zona “D”

QvlatE: carga causada por el viento lateral en la zona “E”

cargavlatEPI: carga causada por el viento lateral en la zona “E” aplicada al pórtico interior.

cargavlatEPF: carga causada por el viento lateral en la zona “E” aplicada al pórtico frontal.

cargavlatDPI: carga causada por el viento lateral en la zona “D” aplicada al pórtico interior.

cargavlatDPF: carga causada por el viento lateral en la zona “D” aplicada al pórtico frontal.

hdfront: esbeltez frontal

ABC: valor del coeficiente en la zona “ABC” para el cálculo del viento.

QvfrontABC: carga causada por el viento frontal en la zona “ABC”

cargavfrontABCPIINT: carga causada por el viento frontal en la zona “ABC” aplicada a los pilares interiores.

cargavfrontABCPILEXT: carga causada por el viento frontal en la zona “ABC” aplicada a los pilares exteriores.

Gcomp: valor del coeficiente en la zona “G” a compresión para el cálculo del viento.

Gsuc: valor del coeficiente en la zona “G” a succión para el cálculo del viento.

Hcomp: valor del coeficiente en la zona “H” a compresión para el cálculo del viento.

Hsuc: valor del coeficiente en la zona “H” a succión para el cálculo del viento.

Icomp: valor del coeficiente en la zona “I” a compresión para el cálculo del viento.

Isuc: valor del coeficiente en la zona “I” a succión para el cálculo del viento.

Jcomp: valor del coeficiente en la zona “J” a compresión para el cálculo del viento.

Jsuc: valor del coeficiente en la zona “J” a succión para el cálculo del viento.

QvlatGcomp: carga causada por el viento lateral a compresión en la zona “G”

QvlatGsuc: carga causada por el viento lateral a succión en la zona “G”

QvlatHcomp: carga causada por el viento lateral a compresión en la zona “H”

QvlatHsuc: carga causada por el viento lateral a succión en la zona “H”

QvlatIcomp: carga causada por el viento lateral a compresión en la zona “I”

QvlatIsuc: carga causada por el viento lateral a succión en la zona “I”

QvlatJcomp: carga causada por el viento lateral a compresión en la zona “J”

QvlatJsuc: carga causada por el viento lateral a succión en la zona “J”

cargavlatGPIcomp: carga causada por el viento lateral a compresión en la zona “G” aplicada al pórtico interior.

cargavlatGPIsuc: carga causada por el viento lateral a succión en la zona “G” aplicada al pórtico interior.

cargavlatGPFcomp: carga causada por el viento lateral a compresión en la zona “G” aplicada al pórtico frontal.

cargavlatGPFsuc: carga causada por el viento lateral a succión en la zona “G” aplicada al pórtico frontal.

cargavlatHPIcomp: carga causada por el viento lateral a compresión en la zona “H” aplicada al pórtico interior.

cargavlatHPIsuc: carga causada por el viento lateral a succión en la zona “H” aplicada al pórtico interior.

cargavlatHPFcomp: carga causada por el viento lateral a compresión en la zona “H” aplicada al pórtico frontal.

cargavlatHPFsuc: carga causada por el viento lateral a succión en la zona “H” aplicada al pórtico frontal.

cargavlatIPIcomp: carga causada por el viento lateral a compresión en la zona “I” aplicada al pórtico interior.

cargavlatIPIsuc: carga causada por el viento lateral a succión en la zona “I” aplicada al pórtico interior.

cargavlatIPFcomp: carga causada por el viento lateral a compresión en la zona “I” aplicada al pórtico frontal.

cargavlatIPFsuc: carga causada por el viento lateral a succión en la zona “I” aplicada al pórtico frontal.

cargavlatJPIcomp: carga causada por el viento lateral a compresión en la zona “J” aplicada al pórtico interior.

cargavlatJPIsuc: carga causada por el viento lateral a succión en la zona “J” aplicada al pórtico interior.

cargavlatJPFcomp: carga causada por el viento lateral a compresión en la zona “J” aplicada al pórtico frontal.

cargavlatJPFsuc: carga causada por el viento lateral a succión en la zona “J” aplicada al pórtico frontal.

Gfront: valor del coeficiente en la zona “G” para el cálculo del viento frontal.

Hfront: valor del coeficiente en la zona “H” para el cálculo del viento frontal.

Ifront: valor del coeficiente en la zona “I” para el cálculo del viento frontal.

QvfrontG: carga causada por el viento frontal en la zona “G”

QvfrontH: carga causada por el viento frontal en la zona “H”

QvfrontI: carga causada por el viento frontal en la zona “I”

cargavfrontGPILINT: carga causada por el viento frontal en la zona “I” aplicada en los pilares interiores

cargavfrontGPILEXT: carga causada por el viento frontal en la zona “G” aplicada en los pilares exteriores

cargavfrontHPILINT: carga causada por el viento frontal en la zona “H” aplicada en los pilares interiores

cargavfrontHPILEXT: carga causada por el viento frontal en la zona “H” aplicada en los pilares exteriores

cargavfrontIPILINT: carga causada por el viento frontal en la zona "I" aplicada en los pilares interiores.

cargavfrontIPIEXT: carga causada por el viento frontal en la zona "I" aplicada en los pilares exteriores.

Mperfiles...: matriz que almacena los perfiles mínimos que cumplen con los requisitos por cada estado de carga.

Macciones...: matriz que almacena las diferentes combinaciones de acciones

cargapilares...:carga distribuida y mayorada que se aplica a los pilares

IPE: archivo .txt que contiene la información de diferentes aspectos de los perfiles IPE

secvigas...: longitud estimada uniforme de cada barra que compone la jácena.

IPEposvig...: matriz que recoge todos los perfiles y sus datos que cumplen con la primera condición de prediseño.

perfil...: altura del perfil IPE que se está usando para los cálculos en ese momento.

Av...: área de la sección transversal que corresponde al perfil anterior.

Iy...: momento de inercia en el eje y que corresponde al perfil anterior.

Wy...: módulo resistente en el eje y que corresponde al perfil anterior.

Avz...: área de cortante que corresponde al perfil anterior.

Iz...: momento de inercia en el eje z que corresponde al perfil anterior.

Wz...: módulo resistente en el eje z que corresponde al perfil anterior.

bltv...: conjunto de valores constantes, extraído de la tabla de constante IPE.

bltW...: conjunto de valores constantes, extraído de la tabla de constante IPE

iy...: radio de giro de la sección respecto a y

iz...: radio de giro de la sección respecto a z

perfil...def: perfil que ha conseguido cumplir todas las comprobaciones aplicadas.

cumple...: variable lógica que indica si cumple o no un tipo de barra determinado.

coor...: vector de coordenadas de los nodos de un pórtico.

coor...ord: vector de coordenadas de los nodos de un pórtico ordenadas de una forma determinada.

pilares...: lista de pilares de un pórtico.

vigas...: lista de vigas de un pórtico.

numnodos...: número de nodos que contiene un pórtico.

numvigas...: número de vigas que contiene un pórtico.

numpilares...: número de pilares que contiene un pórtico.

listabarras...: lista de barras de un pórtico.

listabarras...ord: lista de barras de un pórtico ordenadas.

Mbarras...: matriz que almacena las diferentes k_{global} de un pórtico.

kn,k1,k2,k3,k4: coeficientes de rigidez.

klocal: matriz de un elemento barra en ejes locales.

T: matriz de transformación de un elemento barra.

kglobal: matriz de rigidez de una barra a ejes globales.

ktranspil: matriz transformada de una barra.

Kcomp....: matriz de rigidez de la estructura a ejes globales.

longjacentas: longitud de ambas jácenas juntas.

axil....: fuerza horizontal aplicada a una barra.

momento....: valor del momento flector aplicado a una barra.

vecfuerzas....: vector que recoge las fuerzas externas aplicadas sobre un pórtico

Kred....: matriz completa reducida.

vecfuerzasred....: vecfuerzas reducido.

vecdesp....: vector desplazamientos.

solicitaciones....: vector que contiene las solicitaciones de cada nodo

h7b....: h/b en perfil, siempre será mayor a 1,4.

esfuerzos....: matriz que guarda todos los esfuerzos que existen sobre una barra.

esfuerzomax....: valor del esfuerzo máximo del vector esfuerzos.

axilmax....: fuerza horizontal máxima del vector esfuerzos.

cortantemax....: valor del cortante máximo del vector esfuerzos

momentomax...: valor del momento flector máximo del vector esfuerzos.

momentomin...: valor del momento flector mínimo del vector esfuerzos.

long...critico...: longitud de la barra que contenga el esfuerzo máximo.

limiteaxil...: tensión a tracción.

limitecortante...: tensión a cortante.

SVM...: tensión de Von Mises.

Cumple...res: variable lógica que indica si un perfil determinado cumple por resistencia.

Btras...: coeficiente β de pandeo traslacional.

Bintras...: coeficiente β de pandeo intraslacional.

Lky...: longitud de pandeo en el eje y.

Lkz...: longitud de pandeo en el eje z.

Ecgiroy...: radio de giro en el eje y

Ecgiroz...: radio de giro en el eje y

Cumple...giro: variable lógica que indica si un perfil determinado cumple por radio de giro.

cm...: coeficiente de momento equivalente

Ncargay...: carga crítica en el eje y

Ncargaz...: carga crítica en el eje z

esbeltez: esbeltez mecánica.

cumple...: esbeltez: variable lógica que indica si un perfil determinado cumple por esbeltez.

curva: curva de pandeo.

ejepandeo...: eje en el cual el efecto del pandeo se considerará más crítico.

fipandeo...: ϕ .

coefpandeo...: χ

pandeo... valor del pandeo.

cumplepandeo...: variable lógica que indica si un perfil determinado cumple por pandeo.

c1...: coeficiente de momento equivalente.

Mltv...: componente de M_{cr} que representa la torsión uniforme.

Mltw...: componente de M_{cr} que representa la torsión uniforme.

Mcr...: momento crítico elástico.

landa...: esbeltez en vigas.

perfil...defmax: perfil máximo dentro de Mperfiles...

Out: output

resto: variable lógica que indica si el número de pilares es par o impar.