

Universidad de Valladolid



# UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

# **ESCUELA DE INGENIERIAS INDUSTRIALES**

# Grado en Ingeniería Mecánica

# Dimensionamiento de estructuras mediante CYPE y comparación de resultados con SAP2000.

Autor: Yagüe Ortega, Álvaro

**Tutores:** 

Magdaleno González, Álvaro. García García, Ismael.

Departamento de Construcciones Arquitectónicas, Ingeniería del Terreno y Mecánica de los Medios Continuos y Teoría de Estructuras.

Valladolid, septiembre, 2024.

Agradecimientos.

Me gustaría transmitir mis más sentidos agradecimientos a las siguientes personas:

-Mis tutores: Antolín Lorenzana Iban y Álvaro Magdaleno González, por haber aceptado y tutorizado mi propuesta de proyecto, por haberme ayudado y enfocado en la dirección correcta para conseguir un trabajo bien realizado.

-Mis familiares, por su apoyo incansable y por haberme impulsado a conseguir todos mis objetivos personales y académicos.

-Mis compañeros de universidad, por haber aprendido y disfrutado muchos momentos juntos, tanto en clase como fuera y haber hecho este camino más liviano.

-Todos los profesores de los que he tenido el placer de aprender y me han ayudado a formarme en la Universidad de Valladolid.

Resumen:

Este proyecto consiste en el dimensionamiento y cálculo de varias estructuras metálicas con distintas cargas aplicadas mediante el software CYPE. Una vez obtenido el dimensionamiento, se hará el cálculo de la estructura en el software SAP 2000 con las mismas cargas y realizará una comparación de resultados (desplazamientos, esfuerzos, deformada, modo de pandeo ...) entre ambos softwares.

Se realizarán tres estudios distintos, primero una barra rígida biapoyada con carga de "Sobrecarga de uso", un segundo caso de un pórtico rígido a dos aguas biempotrado con carga de "Sobrecarga de uso" y un tercero caso de un pórtico rígido a dos aguas biempotrado con cargas de peso propio, viento y nieve.

Palabras clave:

SAP 2000, CYPE, dimensionamiento, esfuerzos, cargas, estudio comparativo.

#### Abstract:

This project involves the sizing and calculation of various metal structures with different applied loads using CYPE software. Once the sizing is obtained, will perform a calculation of the structure in SAP 2000 software with the same loads and make a comparison of results (displacements, stresses, deformed shape, buckling multiplier factor, etc.) between both software programs.

Three different studies will be carried out, first a rigid double-supported bar with a "Use Overload" load, a second case of a rigid double-recessed gable frame with a "Use Overload" load and a third case of a rigid double-recessed gable frame with loads of its own weight, wind and snow.

Keywords:

SAP 2000, CYPE, sizing, stresses, loads, comparative study.

# **INDICE:**

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN.	1
1.1-MOTIVACIÓN	1
1.2-OBJETIVO Y ALCANCE DEL PROYECTO	2
1.3- METODOLOGÍA DEL TRABAJO	2
CAPÍTULO 2. CONSIDERACIONES PREVIAS	3
2.1-ESTRUCTURA. CONCEPTOS BÁSICOS	3
2.2-CARGAS APLICADAS EN LAS ESTRUCTURAS	3
2.3-ELECCIÓN DEL MATERIAL DE LA ESTRUCTURA	4
2.4-PROGRAMAS COMPUTACIONALES DE CÁLCULOS	5
2.4.1. CYPE:	5
2.4.2. SAP 2000:	5
CAPÍTULO 3. CASOS DE ESTUDIO	7
3.1-BARRA	7
3.2- PÓRTICO CON CARGA DE SOBRECARGA DE USO	7
3.3- PÓRTICO CON CARGAS DE VIENTO, NIEVE Y PESO PROPIO	8
CAPÍTULO 4. ESTUDIO	9
4.1-BARRA	9
4.1.1. CYPE:	9
4.1.2. SAP 2000:	
4.2-PÓRTICO CON CARGA DE SOBRECARGA DE USO	
4.2.1. CYPE:	
4.2.2.SAP 2000:	
4.3- PÓRTICO CON CARGAS DE VIENTO, NIEVE Y PESO PROPIO	
4.3.1. CYPE:	
4.3.2. SAP 2000:	81
CAPÍTULO 5. RESULTADOS	
5.1- BARRA	
5.2- PÓRTICO CON CARGA DE SOBRECARGA DE USO	
5.3- PÓRTICO CON CARGAS DE VIENTO, NIEVE Y PESO PROPIO	115
CAPÍTULO 6. CONCLUSIONES	125
6.1- CONCLUSIONES FINALES	125
6.2- LÍNEAS DE MEJORA	
6.3-CONSIDERACIONES ADICIONALES	
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS:	

# CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN.

# 1.1-MOTIVACIÓN

En este trabajo se va a realizar el dimensionamiento y cálculo de varias estructuras con diferentes cargas. El material a utilizar será el metal, concretamente el acero, debido a que éste, ofrece grandes ventajas, respecto a otros. El acero presenta alta resistencia, capacidad de soportar grandes cargas, flexibilidad de diseño y construcción rápida. Estas características hacen que sea una opción perfecta para elaborar barras rígidas y pórticos y su posterior utilización en una futura o hipotética nave industrial.

El motivo por el que se ha elegido este tema para el Trabajo Final de Grado (TFG) ha sido el de poner en práctica parte de los conocimientos adquiridos durante el transcurso de los cuatros años de carrera, sobre todo, en la asignatura de "Estructuras y Construcciones industriales" de cuarto curso. Asignatura por la que el alumno ha mostrado gran interés, así como, por la realización de proyectos en ingeniería y el deseo de seguir adquiriendo nuevos conocimientos sobre cálculo estructural. Será el primer proyecto que realizará como" ingeniero" de forma autónoma.

Según la definición de Ingeniero" Es aquella persona que puede llevar a cabo cualquier servicio de ingeniería en una empresa. Tiene una titulación universitaria superior y puede diseñar materiales, estructuras, máquinas y sistemas".

Esto, sumado también al empeño de ampliar y profundizar en el uso y dominio de algunos programas informáticos específicos, como son "CYPE", "SAP2000" y también se utilizará el "Word" para la redacción del proyecto. En la sociedad actual y moderna, es muy importante en ingeniería el uso de software para el dimensionamiento y cálculo de las edificaciones. Éstos, facilitan el trabajo, haciéndolo más cómodo y fiable. Para finalmente analizar e interpretar los resultados obtenidos.

Por último, servirá para completar y obtener la titulación del grado en Ingeniería mecánica. Este documento tiene un valor de 12 créditos y es imprescindible para la obtención del título del grado anteriormente mencionado.

Todo ello, ha influido en la elección de dicho tema.

#### 1.2-OBJETIVO Y ALCANCE DEL PROYECTO.

#### o Objetivo principal:

El objetivo principal del presente trabajo es el estudio comparativo de las distintas estructuras con las diferentes cargas mediante los programas de CYPE y SAP 2000.

#### o Objetivos secundarios:

-Dimensionamiento de las distintas estructuras (barra y pórticos) con las diferentes cargas aplicadas (sobrecarga de uso y peso propio, viento y nieve) mediante CYPE.

-Cálculo y análisis de esfuerzos de las estructuras mediante ambos softwares.

-Cálculo y análisis a pandeo de las estructuras mediante ambos programas de cálculo.

-El estudio del pórtico de la hipotética nave se emplazará en España, en la ciudad de Valladolid, la edificación se construirá en el polígono industrial de San Cristóbal, a una altitud de 691 metros sobre el nivel del mar.

#### <u>1.3- METODOLOGÍA DEL TRABAJO.</u>

La metodología del proyecto ha consistido en varias etapas:

Una primera junto con los tutores para enfocar y definir los casos de estudio (en barra rígida y pórtico con carga de sobrecarga de uso y pórtico con cargas de viento, nieve y peso propio). Una segunda etapa de diseño preliminar en el que se selecciona el material, las restricciones y las acciones aplicadas.

Y una vez realizado esto, se procede a dimensionar respecto a las cargas aplicadas en CYPE. Se realiza también un estudio analítico de esfuerzos y deformaciones y un estudio a pandeo en CYPE y SAP 2000.

Para finalizar, una tercera etapa de comprobación, inspección del trabajo, comparación de los resultados obtenidos entre los diferentes softwares utilizados y propuestas de mejora.

# CAPÍTULO 2. CONSIDERACIONES PREVIAS.

# 2.1-ESTRUCTURA. CONCEPTOS BÁSICOS

En el ámbito de la ingeniería y arquitectura se refiere a **estructura** a un sistema organizado de elementos diseñados para resistir cargas y proporcionar estabilidad. Estas cargas pueden ser de distintos tipos, como cargas gravitatorias, sísmicas, de viento, de nieve, entre otras. Las estructuras se diseñan meticulosamente para soportar estas cargas cumpliendo con los requisitos y normativas de seguridad y funcionalidad.

Las estructuras puedes ser de diferentes tipos, desde simples, como una viga o una columna, hasta complejas, como puentes, rascacielos o presas. Se clasifican según su función y cargas a las que están sometidas y pueden estar construidos con una variedad de materiales, como acero, hormigón, madera e incluso materiales compuestos.

De manera general, para el diseño de una estructura se deberán tener en cuenta los aspectos que se enumeran a continuación:

- Resistencia y estabilidad: los elementos se deberán dimensionar para que en ninguna situación se sobrepasen las tensiones admisibles en los materiales como consecuencia de la actuación de las cargas a las que están sometidos.

- Aptitud al servicio: las deformaciones y vibraciones de los elementos estructurales deberán mantenerse dentro de unos límites, de forma que se mantenga la integridad estructural y no se afecte al confort de los usuarios.

- Durabilidad: toda construcción se diseña para que la influencia de las posibles acciones químicas, físicas o biológicas que no comprometa la capacidad portante de la misma.

- Aspecto económico: no se deberá incurrir en costes innecesarios para no encarecer el precio de las construcciones. Como se sabe, afecta a todo tipo de proyectos.

También es importante tener en cuenta otros factores como la geometría, el tipo de material y las condiciones ambientales a la hora de diseñar una estructura. [1]

## 2.2-CARGAS APLICADAS EN LAS ESTRUCTURAS

En cuanto a las cargas que afectan a las estructuras, se clasifican en varias categorías según su naturaleza y cómo actúan sobre la estructura.[8]

-Cargas permanentes o cargas muertas: Se engloban las cargas como son el peso propio de la estructura (viga, losa...), el peso de los acabados (revestimientos, techos...) y el peso de las instalaciones (eléctricas, climatización...). Estas cargas son constantes, no cambian con el tiempo.

-Cargas variables o cargas vivas: Se engloban las cargas como son las personas y mobiliario (peso de personas, muebles...) y carga de uso. Pueden variar con el tiempo.

-Cargas dinámicas: Aquí se encuentras las cargas de impacto (golpes) y las vibraciones (maquinaria, tráfico, terremotos...). Son causadas por fuerzas que varían en el tiempo.

-Cargas ambientales: Aquí se engloban las producidas por viento, nieve, cambios de temperatura(térmicas) y sísmicas. Son fuerzas que actúan sobre la estructura debido a condiciones climáticas y naturales.

-Cargas accidentales: Son las producidas por explosiones y colisiones. Son fuerzas que resultan de eventos no planificados y poco frecuentes.

-Cargas de asentamiento: Desplazamientos desiguales del terreno debidas al movimiento del suelo bajo la estructura.

-Cargas especiales: Aquí se engloban las cargas de mantenimiento (equipos utilizados) y las cargas de construcción (material almacenado).

Como se puede ver hay una gran clasificación.

El estudio de los tres casos de este proyecto serán la carga de uso (sobrecarga de uso) para el primer y segundo caso y carga de peso propio, nieve y viento para el tercer caso. [1]

## 2.3-ELECCIÓN DEL MATERIAL DE LA ESTRUCTURA

El material utilizado para la realización de estructuras de una nave industrial, generalmente suele ser el hormigón, metálica(acero) o mixta.[4]

En este caso, el material utilizado para realizar las estructuras de este proyecto será el acero. Por tanto, se van a definir las ventajas y los inconvenientes de dicho material.

#### ACERO:

<u>Ventajas:</u>

-Resistencia estructural: El acero estructural es un material que posee alta resistencia a compresión como a tracción. Además de la alta resistencia mecánica, tiene un reducido peso propio, por lo que las secciones resistentes necesarias son de reducidas dimensiones.

-Uniformidad: las propiedades del acero no sufren cambios destacables a lo largo del tiempo.

-Durabilidad: las estructuras de acero duran indefinidamente, siempre que su mantenimiento sea el adecuado.

-Gran rapidez de montaje: debido a la posibilidad de prefabricar los elementos de la estructura.

-Gran facilidad de unión: Ya sea unión soldada o por medio de tornillos o remaches.

-Fiabilidad y calidad: Los elementos fabricados son conforme a un control de calidad, están normalizados y deben tener certificación.

-Reciclaje: Es el material reciclado por excelencia, se puede reciclar infinidad de veces sin perder ninguna de sus propiedades.

#### Desventajas:

-Elevado coste de mantenimiento: El acero es susceptible a la corrosión, al estar expuestos al aire y al agua, por lo tanto, precisan tratamientos que eviten esa corrosión.

-Mala resistencia al fuego: las propiedades de resistentes del acero a altas temperaturas se reducen considerablemente.

-Pandeo: Susceptibles a este fenómeno cuanto más esbeltos y largos sean los elementos sometidos a compresión.

-Fractura fácil: Bajo ciertas condiciones, el acero puede fallar de forma frágil provocando fallos catastróficos.[3]

## 2.4-PROGRAMAS COMPUTACIONALES DE CÁLCULOS.

El Trabajo Final de Grado se va a apoyar en los programas CYPE y SAP 2000 para la realización del cálculo.

### 2.4.1. CYPE:

Dentro del conjunto de programas CYPE, el estudio se va a centrar en "CYPE 3D", que es una herramienta específica para el análisis y diseño tridimensional de estructuras. También se va a utilizar "Generador de Pórticos" para el estudio del segundo y tercer caso.

Algunas de las características y funcionalidades de CYPE 3D incluyen:

-Modelado tridimensional: Permite la creación de modelos detallados de estructuras en tres dimensiones.

-Análisis estructural: Realiza análisis estáticos y dinámicos de la estructura, teniendo en cuenta diferentes tipos de cargas como las provenientes del viento, sismo o cargas vivas.

-Generación de informes y documentación técnica.

En este trabajo, se ha utilizado CYPE para obtener el dimensionamiento de la estructura con las cargas aplicadas y posteriormente se ha realizado un análisis estático de la estructura.[2]

#### 2.4.2. SAP 2000:

Es una herramienta ampliamente utilizada por ingenieros civiles y estructurales para el modelado, análisis y diseño de estructuras. En la universidad se ha trabajado con ella en varias asignaturas, por lo que ya existía un conocimiento previo del programa y el alumno ya está familiarizado con él.

Aquí hay algunos aspectos destacados sobre SAP 2000:

-Modelado tridimensional.

-Análisis estructural: El software realiza análisis estáticos y dinámicos de la estructura, teniendo en cuenta una variedad de cargas como las provenientes del viento, sismo, cargas vivas y más. Puede calcular los desplazamientos, esfuerzos, deformaciones y reacciones en la estructura.

-Diseño de miembros: SAP 2000 incluye herramientas para el diseño y optimización de miembros estructurales, como vigas y columnas, de acuerdo con los criterios de diseño y normativas internacionales.

-Interfaz gráfica amigable.

-Compatibilidad: SAP 2000 es compatible con una amplia gama de formatos de archivo para importar y exportar modelos, lo que facilita la colaboración con otros programas de diseño y análisis.

-Documentación y reportes: El software permite generar informes detallados sobre el análisis y diseño de la estructura, incluyendo cálculos, planos y resultados.

Se ha utilizado SAP2000 para realizar un análisis estático con el dimensionamiento obtenido en CYPE.[5][6]

# CAPÍTULO 3. CASOS DE ESTUDIO.

Para los tres casos de estudio se van a describir el tipo de estructura, material, restricciones y acciones aplicadas.

Tanto para el caso de estudio 1 como para el caso de estudio 2 la carga aplicada es "Sobrecarga de uso" y en ambos casos es uniforme de valor 6kN/m.

Para el tercer caso de estudio la estructura es la misma que en el caso 2, un pórtico a dos aguas biempotrado, pero en este caso las acciones aplicadas son una combinación de cargas (peso propio, viento y nieve).

<u>3.1-BARRA.</u>

-Diseño y geometría:

Barra rígida apoyada a los extremos. Longitud 20 metros. Perfil IPE.

-Propiedades del material:

Acero dúctil: S275.

-Restricciones:

Apoyos fijos.

-Acciones:

Sobrecarga de uso uniforme de 6KN/m.

## 3.2- PÓRTICO CON CARGA DE SOBRECARGA DE USO.

-Diseño y geometría:

Pórtico rígido a dos aguas biempotrado.

Perfil IPE.

-Propiedades del material:

Acero dúctil: S275.

-Restricciones:

Empotramientos fijos.

-Acciones:

Sobrecarga de uso uniforme de 6KN/m.



Figura 2.Pórtico1

Figura 1.Barra rígida

-Diseño y geometría:

Pórtico rígido a dos aguas biempotrado.

Perfil IPE.

-Propiedades del material:

Acero S275.

-Restricciones:

Empotramientos fijos.

-Acciones:

Peso propio, viento y nieve.



Figura 3.Pórtico 2

# CAPÍTULO 4. ESTUDIO.

# 4.1-BARRA.

Primeramente, se va a realizar un estudio de una barra rígida mediante los programas de cálculo CYPE y SAP2000.

# 4.1.1. CYPE:

Para comenzar con el cálculo, lo primero es crear un archivo nuevo de CYPE, en el módulo de estructuras se trabajará CYPE 3D. Se van a explicar los pasos a seguir para obtener el dimensionamiento y posterior cálculo estático y cálculo a pandeo:



Figura 4. Pantalla de inicio CYPE.

lormas:	Códig	o Técr	ico de la Edificación - Código Estructural	
Perfiles		fy	Hormigón armado	
Acero laminado	S275		Hormigón para pilares	HA-25, Yc=1.5 ~
Acero conformado	\$235 v		Hormigón para vigas <mark>d</mark> e forjado	HA-25, Yc=1.5 ~
Nadera	Aserrada, procedente de con iferas	o	Hormigón para elementos de cimentación	HA-25, Yc=1.5 ~
Vuminio	EN AW-5083 - F		Acero de barras	B 500 S, Ys=1.15
Hormigón	HA-25, Yc=1.5	~	Características del árido	Cuarcita (15 mm), 30 mm
			Recubrimientos	Mermas de acero
Acciones			Terreno de cimentación	
Con sismo dinámico			Verificar deslizamiento de zapatas	
	Registencia al fuero		Tensiones admisibles del terreno	0.200 μp
Fot	ados límite (combinaciones)		Situaciones persistentes	0.200 MPa
La	It's facile adjainables		Situaciones sisinicas y accidentales	
	Hipotesis adicionales			
	Cimentación			
	Proceso constructivo			
Opciones			Ambiente	
Pilares	Cimentación		Vigas	XO
Vigas	Uniones			

Figura 5. Configuración general CYPE

Una vez creado el archivo nuevo, se van a configurar los distintos ajustes:

-La normativa a cumplir va a ser el Código Técnico de la Edificación.

-El perfil elegido para diseñar la estructura va a ser un perfil laminado tipo IPE.

-El tipo de acero elegido por sus propiedades y resistencia va a ser un acero dúctil S275.

En cuanto a las acciones aplicadas:

-La resistencia al fuego, no se va a considerar a la hora de dimensionar y calcular.

-En hipótesis adicionales hay que indicar la categoría de uso, que para los tres casos de estudio se considera "G2. Cubiertas accesibles únicamente para mantenimiento." La carga a estudiar va a ser "Sobrecarga de uso", por lo que aparece un coeficiente 1. La carga de peso propio aparece automáticamente, pero se va a desactivar una vez que esté diseñada la barra con restricciones, para estudiar únicamente la carga de sobrecarga de uso.

Acero Madera	Q	Categorías de u	so			Ç
) <b>No considerar la situación de incendio</b> ) Comprobar la resistencia al fuego (CTE DB SI)		G2. Cubiertas accesi mantenimiento	bles únicamente	; para	ð	1
) Calcular la temperatura crítica en la situación de incendio		Acciones				
			Automáticas	Adicia	onales	
		Peso propio	1	17	-	
		Cargas muertas	171	0	ð	
		Sobrecarga de uso	-	1	ð	
		Temperatura	-	0	ð	
		Retracción	2	0	0	
		Viento		0	6	
		Sismo	-	0	ð	
		Nieve	-	0	6	
		Empujes del terreno	-	0	ð	
		Accidental	-	0	0	

Figura 7.Configuración de cargas CYPE

Una vez configurado el archivo se pasa al espacio de trabajo tridimensional. Se trabaja en el plano YZ, ya que de esta forma se aprovecha la máxima inercia de los perfiles.

Este primer caso de estudio es una barra rígida de 20 metros de longitud. Para ello, se van a generar tres puntos (dos extremos y uno intermedio).



Figura 8.Espacio de trabajo

Se procede a generar una barra que pase por los tres puntos. Para ello se elige el perfil, que como se ha indicado anteriormente, será un perfil IPE y dentro de la serie de perfiles IPE, un IPE 300 (es un perfil provisional, ya que una vez definidas las cargas aplicadas sobre la barra, se dimensionará el perfil de forma que resista dichas cargas.)

Barra

<u>,+</u>	Nueva	Ctrl+b
ſĨ†	Nu <u>e</u> vo pilar	
111	Nueva <u>v</u> iga	
•*•	<u>B</u> orrar	
V	Mover extremo	

Figura 9. Introducción de perfil



Figura 10. Elección de perfil

Una vez está la barra definida y en el plano de trabajo se procede a situar apoyos fijos en los nudos extremos que restrinjan los desplazamientos tanto verticales como horizontales.

	Nudo				_	
		+	<u>N</u> uevo			
		<b>+</b> ‡+	Mover			
		×	<u>B</u> orrar			
		#	<u>V</u> inculac	ión interior		
		<b>A</b>	Vinculac	ión <u>e</u> xterior		
		î.	<u>L</u> igadura	15		
		<b>.</b>	B <u>u</u> scar			
-				Vinculación exterior  Vinculación exterior	¥ ¥ ¥ ¥	× 0
Ĺ.				Aceptar		Cancelar

Figura 11. Introducción de apoyos



Ahora se procederá a la introducción de cargas. Se introduce la carga uniforme de 6kN/m de sobrecarga de uso. En el caso de que la carga de peso propio esté activada al generar la barra se desactiva ya que para este estudio se va a tener únicamente en cuenta la carga de sobrecarga de uso.

<u>C</u> arga				
	<u>"<u>†</u>†+</u>	Introducir cargas sobre barras		
	H2	Editar <u>c</u> argas sobre barras		
	. <mark>∔*∔</mark>	Editar hipótesis de cargas <u>s</u> obre barras		
	<mark>жн</mark>	Borrar cargas sobre barras		
	+×	Generación de las cargas de peso propio	de las barras	
Hipótesis vista In Hipótesis Sobrecarga de uso V Vertodas			🛐 Introducir cargas sobre barras Hipótesis Sobrecarga de uso 🗸	×
\$			Top de cargo	
^		· ·	Ejes sobre los que se define la dirección de la carga	
			Direction y sentido de aplicación de la carga $\underbrace{\sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{n} \underbrace{\sum_{i=1}^{n} \sum_{i=1}^{n} \underbrace{\sum_{i=1}^{n} \sum_{i=1}^{n} \underbrace{\sum_{i=1}^{n} \sum_{i=1}^{n} \underbrace{\sum_{i=1}^{n} \sum_{i=1}^{n} \underbrace{\sum_{i=1}^{n} \sum_{i=1}^{n} \underbrace{\sum_{i=1}^{n} \underbrace{\sum_{i=1}^{n} \sum_{i=1}^{n} \underbrace{\sum_{i=1}^{n} \sum_{i=1}^{n} \underbrace{\sum_{i=1}^{n} \sum_{i=1}^{n} \underbrace{\sum_{i=1}^{n} \sum_{i=1}^{n} \underbrace{\sum_{i=1}^{n} \sum_{i=1}^{n} \underbrace{\sum_{i=1}^{n} \underbrace{\sum_{i=1}^{n} \sum_{i=1}^{n} \underbrace{\sum_{i=1}^{n} \underbrace{\sum_{i=1}^{n} \underbrace{\sum_{i=1}^{n} \sum_{i=1}^{n} \underbrace{\sum_{i=1}^{n} \sum_{i=1$	
Ľ			Aceptar	

Figura 13. Introducción de cargas

Figura 14. Estructura con carga aplicada

Una vez que está definida la carga de sobrecarga de uso y desactivada la carga de peso propio se pasa a configurar el pandeo lateral y el pandeo de la barra y posteriormente al dimensionamiento de la barra.



Figura 15. Configuración pandeo lateral

Se va a impedir el pandeo lateral tanto en el ala superior como en el ala inferior, por lo tanto, el coeficiente de pandeo en ambas alas es 0.



Figura 16. Pandeo lateral

Barra

Pandeo	Ctrl+p
Pande <u>o</u> lateral	
Articular extremos	Ctrl+e
Empotramiento en e <u>x</u> tremos	
<u>R</u> ótulas plásticas	
	Pandeo Pande <u>o</u> lateral Ar <u>t</u> icular extremos Empotramiento en e <u>x</u> tremos <u>R</u> ótulas plásticas

En cuanto al pandeo, se va a impedir fuera del plano con un coeficiente de pandeo ( $\beta$ ) nulo, pero en el plano de trabajo se considera como barra biapoyada con un coeficiente de pandeo ( $\beta$ ) de la unidad.

Pandeo	×
Zt	
XXX	<u>s</u>
Asignar axiles críticos	
Asignar longitud de pandeo (Plano xy)	
$\begin{array}{c c} \textbf{B}=0, \\ \textbf{B}=0.5 \\ \textbf{K} \end{array} \end{array} \begin{array}{c} \textbf{B}=0.7 \\ \textbf{B}=1.0 \\ \textbf{K} \end{array} \end{array} \begin{array}{c} \textbf{B}=2.0 \\ \textbf{K} \end{array} \end{array} \begin{array}{c} \textbf{B}=? \\ \textbf{K} \end{array} \begin{array}{c} \textbf{L}_k =? \\ \textbf{K} \end{array} \end{array}$	
🗹 Asignar longitud de pandeo (Plano xz)	
$ \begin{array}{c} \mathbf{\beta} = 0 \\ \mathbf{\beta} = 0.5 \\ \mathbf{\beta} = 0.7 \\ \mathbf{\beta} = 0.$	
Asignar coeficiente de momentos (Plano xy)	
Coeficiente de momento equivalente Cm 1.000	
Asignar coeficiente de momentos (Plano xz)	
Coeficiente de momento equivalente Cm 1.000	
Asignar criterios para el análisis de pandeo	
Asignar criterios para el análisis de pandeo     Considerar en el análisis de pandeo	
Asignar criterios para el análisis de pandeo     Considerar en el análisis de pandeo     Pemitir actualizar los coeficientes de pandeo en el plano xy	

Se procede al cálculo con dimensionamiento de perfil.

20	iculo	Análisis d <u>e</u> pandeo	BIMserver.center	Venta
		<u>C</u> ombinaciones no lir	ieales	
6	1 (	Calcular <u>t</u> ensiones y d	eformaciones	
f	1	Pilares		•
17	=1 1	∐igas		•
	l	<u>U</u> niones		
álculo				
No se hi No dimer <b>Dimens</b> i	a activ nsional	vado la opción de comp r perfiles niento rápido de per	robación de resistencia	a al fueg
) No se hi No dimer <b>Dimens</b> io Dimensio	a activ nsional <b>ionan</b>	vado la opción de comp r perfiles niento rápido de per nto óptimo de perfiles	robación de resistencia files	a al fueg
No se hi No dimer Dimensi Dimensio	a activ nsional <b>ional</b> namie	vado la opción de comp r perfiles niento rápido de per nto óptimo de perfiles erfiles de la serie superi	robación de resistencia files	a al fueg
No se hi No dimer Dimensio Dimensio Utiliza	a activ Isional ional Inamie ando p	vado la opción de comp r perfiles niento rápido de per nto óptimo de perfiles erfiles de la serie superi o todos los perfiles d	robación de resistencia files pres al actual <b>le la serie</b>	a al fueg
No se hi No dimer Dimensio Dimensio Utiliza Utiliza	a activ nsional ional namie ando p zando ar las l	vado la opción de comp r perfiles niento rápido de per into óptimo de perfiles erfiles de la serie superi <b>todos los perfiles d</b> barras	robación de resistencia files pres al actual le la serie	a al fueg

Una vez dimensionado con respecto a las cargas aplicadas sobre la barra se puede observar la serie del perfil elegido al dimensionar:

4	IPE 500	к.	, IPE 500		K
X	-		•	<u> </u>	b.

#### Figura 20. Dimensionamiento obtenido.

En la siguiente tabla se puede ver el aprovechamiento de la resistencia según las distintas series de perfiles. Como se puede ver en la comprobación, cumple a partir del IPE 500 en el que el aprovechamiento de la barra es inferior al 100%.

CIII	Peso	Resistencia	Errores
K IPE 80	5.97		No es posible realizar la comprobación, ya que el cortante es excesivo y
K IPE 100	8.09		No es posible realizar la comprobación, ya que el cortante es excesivo y
<b>CIPE 120</b>	10.36	2830.61 %	
<b>C</b> IPE 140	12.87	1945.85 %	
<b>IPE 160</b>	15.78	1385.63 %	
FIPE 180	18.76	1035.05 %	
IPE 200	22.37	777.46 %	
FIPE 220	26.22	602.87 %	
🕻 IPE 240	30.69	468.17 %	
K IPE 270	36.03	355.00 %	
C IPE 300	42.23	273.60 %	
IPE 330	49.14	213.70 %	
<b>K</b> IPE 360	57.07	168.61 %	
🕻 IPE 400	66.33	131.46 %	
🕻 IPE 450	77.56	100.95 %	
/ IPE 500	90.67	78.31 %	
IPE 550	105.50	63.98 %	
1	122.46	50.77 %	

Figura 21. Comprobación de dimensionamiento

En este caso no se estudia a pandeo, ya que la barra sólo está sometida a flexión y no tiene cargas de compresión, por lo tanto, no va a pandear.

Posteriormente en el apartado de resultados se pueden observar los resultados del cálculo estático de la estructura.

Ahora se pasa a realizar el cálculo en el programa SAP 2000.

## 4.1.2. SAP 2000:

Ahora se va a explicar el cálculo de la barra en SAP 2000 con el dimensionamiento obtenido en CYPE.



Figura 22. Pantalla inicial SAP2000.

Para comenzar a configurar el archivo hay que elegir el tipo de plantilla que se va a usar de inicio. En este caso, se usará "Grid Only", tiene una rejilla tipo cuadrícula en la que se pueden definir número de divisiones tanto verticales como horizontales en la que apoyarse a la hora de definir la geometría.

New Model Initialization				Project Information	
<ul> <li>Initialize Model from</li> </ul>	m Saved Settings		$\sim$		
O Initialize Model from	n an Existing File				
Initialize Model from	n Default Settings			Modify/Sh	ow Information
Default Units		KN, m, C	~	woodity/ Sh	ow momator
Default Mater	ials	Europe	~		
Save Options as D	efault				
Select Template					
			(		
	, <del>,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,</del>	<del></del>			
			4		TRUT
Blank	Grid Only	Beam	2D Trusses	3D Trusses	2D Frames
a <u></u>					
		Sauceases a			
<b>M</b>				457	
2D Eramon		Ent Slab	Shalla	Stairaaaaa	Storage Structures
3D maines	vvdii	Flat Slab	Jileiis	Stalicases	Storage Structures
	_				
		620			

Figura 23. Configuración archivo SAP2000

Se va a configurar la rejilla. La rejilla consta de 3 líneas verticales distanciadas en 10 metros y una línea horizontal. La explicación de poner tres líneas verticales en lugar de dos es para tener localizado el punto intermedio de la barra.

El sistema de ejes globales se sitúa en el punto intermedio de la barra. En SAP 2000 se trabaja en el plano XZ, ya que de esta forma se consigue la máxima inercia de las barras.

Cartesian Cylindrical	
Coordinate System N	lame
GLOBAL	
Number of Grid Lines	8
X direction	3
Y direction	1
Z direction	1
Grid Spacing	
X direction	10,
Y direction	1,
Z direction	1,
First Grid Line Locat	ion
X direction	-10,
Y direction	0,
Z direction	0,

Figura 24. Configuración rejilla

Una vez configurada la rejilla se puede ver en el espacio de trabajo tridimensional y en el plano XZ, donde se seguirá diseñando la barra.



Se configura el material de la barra a estudiar en SAP2000.

laterials	Click to:
S275	Add New Material
	Add Copy of Material
	Modify/Show Material
	Delete Material
	Show Advanced Properties

Figura 26. Definición de material

Aquí se pueden ver las propiedades del material elegido, acero S275.

Material Name and Display Color	S275		
Material Type	Steel 🗸		
Material Grade	S275		
Material Notes	Modify/Show Notes		
Weight and Mass	Units		
Weight per Unit Volume 76,9	729 KN, m, C		
Mass per Unit Volume 7,84	9		
sotropic Property Data			
Modulus Of Elasticity, E	2,100E+08		
Poisson, U	0,3		
Coefficient Of Thermal Expansion, A	1,170E-05		
Shear Modulus, G	80769231,		
Other Properties For Steel Materials			
Minimum Yield Stress, Fy	275000,		
Minimum Tensile Stress, Fu	430000,		
Expected Yield Stress, Fye	302500,		
Expected Tensile Stress, Fue	473000,		
Switch To Advanced Property Displa	W		

Figura 27. Propiedades del material

Una vez elegido el material, se procede a elegir el tipo de perfil y la serie del perfil.

Se va a definir un perfil IPE 500, ya que es el dimensionamiento obtenido anteriormente en CYPE.

Define Draw Select Assign An				
Section Properties	I F	rame Sections		
	~ Te	endon Sections able Sections		
S Frame Properties	×	S Import Frame Section Property		×
Properties         Find this property:         Import New Property         Add New Property         Add Copy of Property         Add Copy of Property         Modify/Show Property         Delete Property         OK		Select Property Type Frame Section Property Type Click to Import a Steel Section           Image: Double Angle         Image: Double Angle           Image: Double Angle         Image: Double Channel	Steel Tee	Angle Tube
		Car	cel	

Figura 28. Definición de perfil

Para obtener la serie de perfiles se busca la biblioteca. En este caso se importa de la biblioteca europea "Euro.pro".

AISCASDO DDO		P	
AISCASD9.PRO	Section Type	Wide Flange	
J AISCLRFD1.pro	Material +	S275	~
] AISCLRFD2.pro			
] AISCLRFD3.pro	Select Sections to	Import	
] Aluminum.pro	IPE3300		
ASTMA1085.pro	IPE330R		
] AusNZV8.pro	IPE360		
BSShapes.PRO	IPE360R		
BSShapes2006.pro	IPE400		
Chinese.pro	IPE4000		
ChineseGB08.pro	IPE400V		
	IPE450		
	IPE450R		
	IPE450V		
1 Cisc 10.pro	IPE500		
] Euro.pro	IPE500R		
] Indian.pro	IPE500V		
JJIS-G-3192-2014.pro	IPE5500		~
] joists.pro	L Contraction		
] Nordic.pro			
] Russian.pro	ОК	Cancel	
SECTIONS.PRO	( <b>1</b>		

Aquí se pueden observar las características geométricas y propiedades del perfil IPE 500:

Section Name IPE500		✓ Display Color	
Section Notes	Modify/Show Notes		
Extract Data from Section Property	File		
Open File c:\program fi	les\computers and structures\sap2000 2	22\euro.pro Import	
Dimensions		Section	
Outside height (t3)	0,5	2	
Top flange width (t2)	0,2		
Top flange thickness (tf)	0,016	3	
Web thickness (tw)	0,0102		
Bottom flange width (t2b)	0,2		
Bottom flange thickness ( tfb )	0,016		
		Properties	
Material	Property Modifiers	Section Properties	
+ S275	V Set Modifiers	Time Dependent Properties	

Figura 30. Dimensiones del perfil

Section Name	IP	E500	
Properties			
Cross-section (axial) area	0,0116	Section modulus about 3 axis	1,928E-03
Moment of Inertia about 3 axis	4,820E-04	Section modulus about 2 axis	2,142E-04
Moment of Inertia about 2 axis	2,142E-05	Plastic modulus about 3 axis	2,194E-03
Product of Inertia about 2-3	0,	Plastic modulus about 2 axis	3,360E-04
Shear area in 2 direction	5,100E-03	Radius of Gyration about 3 axis	0,2038
Shear area in 3 direction	5,333E-03	Radius of Gyration about 2 axis	0,043
Torsional constant	8,910E-07	Shear Center Eccentricity (x3)	0,

Figura 31. Propiedades geométricas del perfil

Una vez definida la sección se procede a diseñar la barra con ayuda de la rejilla.



Figura 32. Estructura sin definir los apoyos

Ahora se definen los apoyos fijos en los nudos extremos que van a impedir los desplazamientos horizontales y verticales.

Assign	Analyze	Display	Design	Options		
*	Joint			۲	5*	Restraints
1	Frame			•	$\mathbf{4}$	Constraints
C	Cable			۲		Springs
~	Tendon			×	•*	Masses
Ď	Area			۲	×	Local Axes
đ	Solid			•	1	Panel Zones
×	Link/Support			۲	1	Merge Number

Figura 33. Introducción apoyos



Figura 34. Estructura con apoyos definidos.



Figura 35. Estructura 3D con apoyos definidos

Se pasa a definir la carga "Sobrecarga de uso" que va a aplicarse en la barra.

Define		
	VD VE	Load Patterns
	1.0 D 1.5 E	Load Cases
	D+L +E	Load Combinations

oad Patterns					Click To:
Load Pattern Name	Тур	e Mi	Weight Auto Late Itiplier Load Patt	eral tern	Add New Load Pattern
Sobrecarga de uso	Live	~ 0		~	Add Copy of Load Pattern
Sobrecarga de uso	Live	0			Modify Load Pattern
					Modify Lateral Load Pattern
					Delete Load Pattern
					Show Load Pattern Notes

Figura 36. Definición de cargas

Se asigna la carga "Sobrecarga de uso" sobre la barra.

Assign			
÷:	Joint Loads	•	
im	Frame Loads	• 2	Gravity
et.	Cable Loads	• *	Point
~	Tendon Loads	•	Distributed
Line and the second sec	Area Loads	* */	Temperature
<b>H</b>	Solid Loads	۲ الم قاری	Chaning
	Link/Support Loads	· * *	Deformation
		*	Target Force
		Į <b>7.</b>	, Auto Wave Loading Parameters
		-	Open Structure Wind Parameters
		X	Fireproofing

Figura 37. Introducción de carga

General					Options		
Load Pattern	Sobrec	LOBAL ~ ravity ~		Add to Existing Loads		g Loads	
Coordinate System	GLOBA			<ul> <li>Replace Existing Loads</li> <li>Delete Existing Loads</li> </ul>			
Load Direction	Gravity						
Load Type	Force	Force			Uniform Load		
				6	k	:N/m	
ap <mark>ezoidal</mark> Loads	1.	2.		3.	4.		
Relative Distance	0	0,25	0,75		1		
Loads	0	0	0		0	kN/m	
Relative Distance	e from End-I	🔿 Absolu	te Distance	from End	-1		
	Γ	Reset Form to D	efault Value	20			

Figura 38. Introducción tipo de carga

Se puede apreciar la barra con la carga distribuida aplicada.



Figura 39. Barra con carga aplicada

Ahora se pasa al cálculo de la estructura:

	-			Click to:
Case Name Sobrecaroa de uso	Type Linear Static	Status Not Run	Run	Run/Do Not Run Case
				Show Case
				Delete Results for Case
				Run/Do Not Run All
				Delete All Results
				Show Load Case Tree

Figura 40. Cálculo estático

## 4.2-PÓRTICO CON CARGA DE SOBRECARGA DE USO.

Como segundo caso, se va a realizar un estudio de un pórtico rígido mediante los programas de cálculo CYPE y SAP2000.

## 4.2.1. CYPE:

Para comenzar con el cálculo, primero vamos a crear un archivo nuevo en CYPE.



Figura 41. Pantalla de inicio programa CYPE

Se van a explicar los pasos a seguir para obtener el dimensionamiento:

Para explicar el dimensionamiento y cálculo mediante CYPE del pórtico rígido planteado se usarán los siguientes comandos de Estructuras dentro de CYPE, "Generador de pórticos" y "CYPE 3D". También se podría realizar únicamente con "CYPE 3D" y modelar el pórtico generando puntos, pero es más ágil usando ambos comandos.

Se comienza por "Generador de Pórticos", en el que se define la geometría del pórtico.



Figura 42. Diseño de pórtico rígido a dos aguas en Generador de pórticos.

Una vez definida la geometría, se procede a exportar el archivo a CYPE 3D.

Se realiza la exportación a CYPE 3D. En este proceso se elige la configuración de exportación:

-El tipo de apoyos, en este caso "pórtico biempotrado".

-Las opciones de pandeo, en este caso "pandeo en pórticos traslacionales".

-El tipo de generación, en este caso va a ser un pórtico aislado (2D) y se va a elegir el segundo pórtico de la supuesta nave industrial).

-Las opciones de agrupación, no agrupar planos.

poyos       Opciones de pandeo         ulados       O No generar longitudes de pandeo         otrados <ul> <li>Pandeo en pórticos traslacionales</li> <li>Pandeo en pórticos intraslacionales</li> </ul>		

Figura 43. Exportación de Generador de pórticos a CYPE 3D.

El programa da dos opciones, la primera es realizar un estudio de los distintos pórticos que forman la nave (3D) y la segunda es estudiar únicamente un pórtico(2D). En este caso se va a optar por estudiar únicamente un pórtico(2D).

Al tratarse de un pórtico aislado(2D) el que vamos a estudiar nos informa que las cargas son uniformes.



Figura 44. Aviso sobre cargas a la hora de la exportación.

Cuando se ha realizado la exportación a CYPE 3D hay que configurar el tipo de materiales y las acciones.

Normas:	Cód	igo Técr	nico de la Edificación - Código Estructural			
Perfiles		fy	Hormigón armado			
Acero laminado	S275	~	Hormigón para pilares	HA-25, Yc=1.5 ~		
Acero conformado	S235	~	Hormigón para vigas de forjado	HA-25, Yc=1.5 ~		
Nadera	Aserrada, procedente de con ifera:	s o	Hormigón para elementos de cimentación	HA-25, Yc=1.5 ~		
Auminio	EN AW-5083 - F		Acero de barras	B 500 S, Ys=1.15		
łormigón	HA-25, Yc=1.5	~	Características del árido	Cuarcita (15 mm), 30 mm		
			Recubrimientos	Mermas de acero		
Acciones	7~		Recubrimientos	Mermas de acero		
Acciones ] Con sismo dinár	nico		Recubrimientos Terreno de cimentación Verificar deslizamiento de zapatas	Mermas de acero		
Acciones ] Con sismo dinár	nico Resistencia al fuego	X	Recubrimientos Terreno de cimentación Verificar deslizamiento de zapatas Tensiones admisibles del terreno Situaciones persistentes	0.200 MPa		
Acciones Con sismo dinár Est	nico Resistencia al fuego ados límite (combinaciones)		Recubrimientos         Terreno de cimentación         Verificar deslizamiento de zapatas         Tensiones admisibles del terreno         Situaciones persistentes         Situaciones s ismicas y accidentales	0.200 MPa		
Acciones ] Con sismo dinár Est	nico Resistencia al fuego ados límite (combinaciones) Hipótesis adicionales		Recubrimientos         Terreno de cimentación         Verificar deslizamiento de zapatas         Tensiones admisibles del terreno         Situaciones persistentes         Situaciones sísmicas y accidentales	0.200         MPa           0.300         MPa		
Acciones Con sismo dinár Est	nico Resistencia al fuego tados límite (combinaciones) Hipótesis adicionales Cimentación		Recubrimientos         Terreno de cimentación         Verificar deslizamiento de zapatas         Tensiones admisibles del terreno         Situaciones persistentes         Situaciones sísmicas y accidentales	Mermas de acero		
Acciones Con sismo dinár Est	nico Resistencia al fuego tados límite (combinaciones) Hipótesis adicionales Cimentación Proceso constructivo		Recubrimientos         Terreno de cimentación         Verificar deslizamiento de zapatas         Tensiones admisibles del terreno         Situaciones persistentes         Situaciones sísmicas y accidentales	Mermas de acero		
Acciones Con sismo dinár Est	nico Resistencia al fuego ados límite (combinaciones) Hipótesis adicionales Cimentación Proceso constructivo		Recubrimientos         Terreno de cimentación         Verficar deslizamiento de zapatas         Tensiones admisibles del terreno         Situaciones persistentes         Situaciones sísmicas y accidentales	Mermas de acero		
Acciones Con sismo dinár Est Opciones Pilares	nico Resistencia al fuego tados límite (combinaciones) Hipótesis adicionales Cimentación Proceso constructivo Cimentación		Recubrimientos         Terreno de cimentación         Verificar deslizamiento de zapatas         Tensiones admisibles del terreno         Situaciones persistentes         Situaciones sísmicas y accidentales	Mermas de acero		

Figura 45. Configuración general CYPE.

Una vez creado el archivo nuevo, se van a configurar los distintos ajustes:

-La normativa a cumplir va a ser el Código Técnico de la Edificación.

-El perfil elegido para diseñar va a ser un perfil laminado tipo IPE.

-El tipo de acero elegido por sus propiedades y resistencia va a ser un acero dúctil S275.

En cuanto a las acciones aplicadas:

-La resistencia al fuego, no se va a considerar a la hora de dimensionar y calcular.

-En hipótesis adicionales hay que indicar la categoría de uso, que para los tres casos de estudio se considera "G2. Cubiertas accesibles únicamente para mantenimiento." La carga a estudiar va a ser "Sobrecarga de uso", por lo que aparece un coeficiente 1. La carga de peso propio aparece automáticamente, pero se va a desactivar una vez que esté diseñada la barra con restricciones, para estudiar únicamente la carga de sobrecarga de uso.
Hipótesis adicio	nales			×	
Categorias de us	50			😡 🛛 Resistencia al fuego	
G2. Cubiertas accesil mantenimiento	bles úni <mark>ca</mark> mente	para	Q	Acero Madera     No considerar la situación de incendio	
Acciones				O Comprobar la resistencia al fuego (CTE DB SI)	
	Automáticas	Adic	ionales	O Calcular la temperatura crítica en la situación de incendio	
Peso pr <mark>o</mark> pio	1		-		
Cargas muertas	-	0	D		
Sobrecarga de uso	-	1	ð		
Temperatura	-	0	D		
Retracción	23	0	D		
Viento	-	0	ð		
Sismo	-	0	ð		
Nieve	-	0	ð		
Empujes <mark>del terren</mark> o	1	0	ð		
Accidental	-	0	D		

Figura 46. Configuración de cargas CYPE.

Figura 47. Configuración resistencia al fuego CYPE.

Una vez configurado el archivo se puede observar el pórtico en el espacio de trabajo tridimensional.



Figura 48. Espacio de trabajo CYPE.





Figura 49. Plano de trabajo CYPE (plano XZ).

Se pasa a describir los perfiles del pórtico, es decir indicar el tipo y tamaño del perfil. Se va a poner un IPE300 tanto en pilares como en vigas y una vez dimensione el programa con la carga aplicada se comprueba si es suficiente para resistir o si por lo contrario, es necesario un perfil mayor de la serie.



Figura 50. Elección de perfil CYPE.



Figura 51. Elección de perfil.

Una vez definido el tamaño de la serie del perfil se pasa a definir e introducir las cargas.

En caso de estar activada la carga de peso propio al definir las barras hay que desactivarla.



Figura 52. Elección de perfil inicial.

Se introduce la carga "Sobrecarga de uso" de 6kN/m en las vigas del pórtico

<u>C</u> arga			
	<u></u>	Introducir cargas sobre barras	
	Щ.	Editar <u>c</u> argas sobre barras	
	. <mark>∔*∔</mark>	Editar hipótesis de cargas sobre barras	
·	ШX.	Borrar cargas sobre barras	
	+*	Generación de las cargas de peso propio de las barras	
Hipótesis vista			
Vertodas		🛐 Introducir cargas sobre barras	×
		Hipótesis Sobrecarga de uso V	
Ø			at at 2 at 1
		Ejes sobre los que se define la dirección de la	carga
		C Eles locales de la barra	
ww		Dirección y sentido de aplicación de la carga $ \underbrace{\begin{array}{c} & & \\ & &$	
		Aceptar	Cancelar

Figura 53. Introducción de cargas.

Una vez introducidas las cargas que van a estudiar, se procede a definir el pandeo y el pandeo lateral y posteriormente a dimensionar y calcular.

Barra			
	No.	Pandeo	Ctrl+p
	V	Pande <u>o</u> lateral	
	₽*	Articular extremos	Ctrl+e
	þæ	Empotramiento en e <u>x</u> tremos	
	×	<u>R</u> ótulas plásticas	

Figura 54. Configuración pandeo lateral.

El pandeo lateral se impide para todas las barras, tanto en el ala superior como en el ala inferior, coeficiente de pandeo ( $\beta$ ) nulo.

Pandeo lateral	×
S S S S S S S S S S S S S S S S S S S	
Asignar momentos críticos	
Ala superior (S)	
$ \begin{array}{c} \textbf{\beta}_{v}=0 \\ \hline \end{array} \\ \textbf{\beta}_{v}=10 \\ \textbf{\beta}_{v}=10 \\ \textbf{\beta}_{v}=10 \\ \textbf{\beta}_{v}=20 \\ \beta$	
Ala inferior (I)	
$ \begin{array}{c c} \beta_{v}=0 \\ \hline \end{array} \\ \hline \end{array} \\ \begin{array}{c} \beta_{v}=0.5 \\ \hline \end{array} \\ \hline \end{array} \\ \begin{array}{c} \beta_{v}=1.0 \\ \hline \end{array} \\ \hline \end{array} \\ \begin{array}{c} \beta_{v}=2.0 \\ \hline \end{array} \\ \hline \end{array} \\ \begin{array}{c} \beta_{v}=2.0 \\ \hline \end{array} \\ \begin{array}{c} \beta_{v}=? \\ \hline \end{array} \\ \begin{array}{c} L_{b}=? \\ \hline \end{array} \\ \begin{array}{c} L_{b}=? \\ \hline \end{array} \\ \begin{array}{c} + \\ \hline \end{array} \\ \begin{array}{c} 0 \\ \hline \end{array} \\ \end{array} \\ \begin{array}{c} + \\ 0 \\ \hline \end{array} \\ \end{array} \\ \begin{array}{c} 0 \\ \end{array} \\ \end{array} $	
Asignar factor de momento crítico	
Factor de modificación para el momento crítico C1	1.000
Aceptar	Cancelar
igura 55. Pandeo lateral.	

"Be	Pandeo	Ctrl+p
IZ	Pande <u>o</u> lateral	
1	Articular extremos	Ctrl+e
þ×e	Empotramiento en e <u>x</u> tremos	
×	<u>R</u> ótulas plásticas	

Figura 56. Configuración pandeo.

En el pandeo, se va a estudiar el pandeo en el plano de trabajo (plano XY) y pandeo fuera del plano (plano XZ) según la referencia de la imagen. En el plano XY está impedido ( $\beta$ =0), en el plano XZ se comporta como una barra biempotrada, coeficiente de pandeo ( $\beta$ =0.5).

Pandeo	×
7.	ģ
X	۷
Asignar axiles críticos	
Asignar longitud de pandeo (Plano xy)	
$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	
Asignar longitud de pandeo (Plano xz)	
$\begin{array}{c} \mathbf{p}_{\mathbf{z},\mathbf{v}} \\ \blacksquare \\$	
Asignar coeficiente de momentos (Plano xy)	
Coeficiente de momento equivalente Cm 1.000	1
Asignar coeficiente de momentos (Plano xz)	
Coeficiente de momento equivalente Cm 1.000	
Asignar criterios para el análisis de pandeo	
Considerar en el análisis de pandeo	
Permitir actualizar los coeficientes de pandeo en el plano xy	
Permitir actualizar los coeficientes de pandeo en el plano xz	
	Cancelar

Figura 57. Pandeo.

#### Se procede a calcular y dimensionar el pórtico.





Figura 59. Dimensionamiento obtenido.

Una vez realizado el cálculo, se puede observar el dimensionamiento obtenido en el pórtico.

En este segundo caso hay barras sometidas a compresión, por lo tanto, es necesario realizar un estudio a pandeo.



Figura 60. Cálculo a pandeo.

Álvaro Yagüe Ortega

Análisis de pandeo		×
Modos de pandeo		()
Número <mark>d</mark> e modos	20	2
Filtrar autovalores superiores al valor indicado	100.000	
Discretización de barras		
Número de tramos	16	
◯ Longitud máxima de tramo		
Barras de acero		
Valor de Ned/Nrd mínimo para que una barra se considere en el análisis	1.00 %	
Actualizar las combinaciones para el análisis de pandeo antes de calcu	lar	
Actualizar los coeficientes de pande <mark>o</mark> y comprobar las barras		
Porcentaje de participación mínimo de la barra en el modo	20.00 %	
Considerar la dimensión finita de los nudos		

Figura 61. Configuración pandeo.

El número de modos de estudio va a ser 20.

El número de tramos a dividir la estructura va a ser 16. Cada barra se divide en 4 tramos.

CYPE 3D		— D	×
Cálco	ceso de cálculo ilo de esfuerzos		
LC1 - LC2			100%
10:07:45	[LC2] CTestEnergyIncr::test() - iteration: 1 last EnergyInc	r: 6.46989e-16 (max: 1e-08)	^
10:07:45	[LC2] CTestEnergyIncr:test() - iteration: 1 last EnergyInc	r: 1.2061e-15 (max: 1e-08)	
10:07:45	[LC2] CTestEnergyIncr::test() - iteration: 1 last EnergyInc	r: 9.0332e-16 (max: 1e-08)	
10:07:45	[LC2] CTestEnergyIncr::test() - iteration: 1 last EnergyInc	r: 1.36806e-15 (max: 1e-08)	
10:07:45	[LC2] CTestEnergyIncr::test() - iteration: 1 last EnergyInc	r: 1.17954e-15 (max: 1e-08)	
10:07:45	[LC2] CTestEnergyIncr::test() - iteration: 1 last EnergyInc	r: 1.94049e-16 (max: 1e-08)	~
-		OpenSees – Open System For Earthquake Engineering Simulatio	n
6	OmenCase	Pacific Earthquake Engineering Research center	
	Opensees	Version 3.2.2 64-Bit	
		(c) Copyright 1999-2021 The Regents of the University of Californ	nia
		C	ancelar
Cerrar el progres	so al finalizar	Tiempo total transcurrido	00:00:01

Figura 62. Proceso de cálculo a pandeo.



Figura 63. Pandeo calculado correctamente.

## 4.2.2.SAP 2000:

Ahora se va a explicar el cálculo del pórtico en SAP 2000 con el dimensionamiento obtenido en CYPE.



Figura 64. Pantalla inicial SAP2000.

Para comenzar a configurar el archivo hay que elegir el tipo de plantilla que se va a usar de inicio. En este caso, se usará "Grid Only", tiene una rejilla tipo cuadrícula en la que se pueden definir número de divisiones tanto verticales como horizontales en la que apoyarse a la hora de definir la geometría. También podría realizarse con los comandos "2D Frames" o "Blank".

Saved Settings an Existing File Default Settings		~	Project Information	
Saved Settings an Existing File Default Settings		~		
an Existing File Defau <mark>l</mark> t Settings				
Default Settings				
			Modify/Sh	ow Information
	KN, m, C	$\sim$		
ls	Europe	~		
ault				
		-		1
		· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·		
3 <del>4 - 1 - 1 - 1 - 1 - 1</del>	<del></del>		RHA.	
				TEAT
Grid Only	Beam	2D Trusses	3D Trusses	2D Frames
			ZZ	
Wall	Flat Slab	Shells	Staircases	Storage Structures
	2			
	is ault Grid Only Wall	is Europe ault	is Europe ault Grid Only Beam Beam D D D D D Shells S	is Europe ~ ault Grid Only Beam 2D Trusses 3D Trusses Wal Rat Slab Shells Shells Staircases Staircases

Figura 65. Configuración archivo SAP2000.

Se va a configurar la rejilla. La rejilla consta de 3 líneas verticales distanciadas en 10 metros y tres líneas horizontales distanciadas en 8 metros el primer tramo y 1,763 metros el segundo tramo. Esto no es posible de configurar de primeras, por lo tanto, se diseñará en 3 líneas verticales distanciadas 10 metros y 3 líneas horizontales distanciadas 8 metros y posteriormente se modificará.

El sistema de ejes globales se sitúa en el punto intermedio horizontal del pórtico y a la altura de los empotramientos.

En SAP 2000 se trabaja en el plano XZ, ya que de esta forma se aprovecha la máxima inercia de las barras.

S Quick Gri	id Lines	×
Cartesian	Cylindrical	
Coordin	ate System Na	ame
GLO	BAL	
Number	of Grid Lines	
X dire	ction	3
Y dire	ction	1
Z dire	ction	3
Grid Sp	acing	
X dire	ction	10,
Y dire	ction	1,
Z dire	ction	8,
First Gr	id Line Locatio	n
X dire	ction	-10,
Y dire	ction	0,
Z dire	ction	0,
[	ОК	Cancel

Figura 66. Configuración rejilla inicial.

Una vez diseñada la rejilla se puede ver en el espacio de trabajo tridimensional como en el plano XZ de trabajo.



Figura 67. Espacio de trabajo inicial.

Las dimensiones de la rejilla no son las deseadas, por lo tanto, es necesario modificarlas.

Syst	em Name		GLO	BAL				Quick Start
Grid	Data							
0	Grid ID	Ordinate (m)	Line Type	Visible	Bubble Loc	Grid Color		
	A	-10	Primary	Yes	End		Add	
	В	0	Primary	Yes	End		Delete	
-	С	10	Primary	Yes	End		Delete	
C	Grid ID	Ordinate (m) 0	Line Type Primary	Visible Yes	Bubble Loc Start	Grid Color	Add Delete	Ordinates
Grid	Data							Reset to Default Color
	Grid ID	Ordinate (m	i) Line	Туре	Visible	Bubble Loc	· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	Reorder Ordinates
	Z1	0	Prir	nary	Yes	End	Add	
	Z2	8	Prir	nary	Yes	End	Delete	
	Z3	9,76	Prir	nary	Yes	End	Donto	
								OK Cancel

Figura 68. Configuración rejilla definitiva.

Una vez configurada la rejilla correctamente se puede ver en el espacio de trabajo y en el plano XZ, donde se seguirá diseñando el pórtico.



Figura 69. Espacio de trabajo definitivo.

Concluido el diseño de la cuadrícula deseada, se define el material para el pórtico.

Define Materials		
Materials	Click to:	
S275	Add New Material	
	Add Copy of Material	
	Modify/Show Material	
	Delete Material	
	Show Advanced Properties	

Figura 70. Definición de material.

Aquí se pueden ver las propiedades del material elegido, acero S275.

Material Name and Display Color	S275
Material Type	Steel
Material Grade	S275
Material Notes	Modify/Show Notes
Veight and Mass	Units
Weight per Unit Volume 76,9	729 KN, m, C
Mass per Unit Volume 7,84	9
sotropic Property Data	
Modulus Of Elasticity, E	2,100E+08
Poisson, U	0,3
Coefficient Of Thermal Expansion, A	1,170E-05
Shear Modulus, G	80769231,
Other Properties For Steel Materials	
Minimum Yield Stress, Fy	275000,
Minimum Tensile Stress, Fu	430000,
Expected Yield Stress, Fye	302500,
Expected Tensile Stress, Fue	473000,

Figura 71. Propiedades del material.

Se va a definir un IPE 360, ya que es el dimensionamiento obtenido anteriormente en CYPE.

Define Draw Select Assign And TÊ Materials	
Section Properties	Frame Sections Tendon Sections Cable Sections
S Frame Properties	X S Import Frame Section Property X
Properties       Click to:         Find this property:       Import New Property         Add New Property       Add Copy of Property         Add Copy of Property       Delete Property         Delete Property       OK	Select Property Type Frame Section Property Type Click to Import a Steel Section Click to Import a Steel Section U U U U U U U U U U U U U U U U U U U
	Rectangular Circular Steel Joist

Figura 72. Definición de perfil.

Para obtener la serie de perfiles se elige la biblioteca de importación. En este caso es la biblioteca europea "Euro.pro".

Section Type Wide Flan	ge	AISCASD9.PRO
Material + S275	~	AISCLRFD1.pro
select Sections to Import		AISCLRFD3.pro
solution to import		Aluminum.pro
IPE2400 IPE240R	^	ASTMA1085.pro
IPE270		🗋 AusNZV8.pro
IPE2700		BSShapes.PRO
IPE300		BSShapes2006.pro
IPE3000		Chinese.pro
IPE330		ChineseGB08.pro
IPE330O		CISC.PRO
IPE330R IPE360		CISC9.pro
IPE3600		CISC10.pro
IPE360R IPE400		Euro.pro
IPE400O		📋 Indian.pro
IPE400R		JIS-G-3192-2014.pro
IPE450	× .	joists.pro

Figura 73. Serie de perfil.

Section Name	IPE3	60	Display Color
Section Notes		Modify/Show Notes	
Extract Data from Section P	roperty File		
Open File	gram files\com	puters and structures\sap2000 2	2\euro.pro Import
Dimensions			Section
Outside height (t3)		0,36	2
Top flance width (t2)		0,17	
Top flange thickness ( tf )		0,0127	3
Web thickness (tw.)		8,000E-03	
Bottom flange width ( t2b	,	0,17	
Bottom flange thickness (	/ tfb.)	0,0127	
Dottom nange mexicas (			Properties
Material		Property Modifiers	Section Properties
+ \$275	~	Set Modifiers	Time Dependent Properties

Aquí se observan las características geométricas y propiedades del perfil IPE 360:

Figura 74. Dimensiones del perfil.

Section Name			
Properties			
Cross-section (axial) area	7,270E-03	Section modulus about 3 axis	9,039E-04
Moment of Inertia about 3 axis	1,627E-04	Section modulus about 2 axis	1,227E-04
Moment of Inertia about 2 axis	1,043E-05	Plastic modulus about 3 axis	1,019E-03
Product of Inertia about 2-3	0,	Plastic modulus about 2 axis	1,910E-04
Shear area in 2 direction	2,880E-03	Radius of Gyration about 3 axis	0,1496
Shear area in 3 direction	3,598E-03	Radius of Gyration about 2 axis	0,0379
Torsional constant	3,740E-07	Shear Center Eccentricity (x3)	0,

Figura 75. Propiedades geométricas del perfil.



Una vez definida la sección se diseña el pórtico con ayuda de la rejilla.

Figura 76. Estructura sin definir apoyos.

Ahora toca definir los apoyos deseados en los puntos en los que el pórtico está en contacto con el terreno. En este caso el pórtico va a ser biempotrado como se ha hecho anteriormente en el programa CYPE.

Assign	Analyze	Display	Design	Options		
🦕 Joi	int			•	5*	Restraints
🕇 Fra	ame			•	$\mathbf{4}$	Constraints
📩 Ca	ble			×		Springs
📩 Te	ndon			×	•*	Masses
Ar	ea			۲	*	Local Axes
j So	lid			۲	10	Panel Zones
🕇 Lir	nk/Support			۲	1.	Merge Number

Figura 77. Introducción de apoyos.



Figura 78. Definición de apoyos.

Ahora se define la carga de "Sobrecarga de uso".

Define		
	VD VE	Load Patterns
	1.0 D 1.5 E	Load Cases
	D+L +E	Load Combinations

oad Patterns				Click To:
Load Pattern Name	Туре	Self Weight Multiplier	Auto Lateral Load Pattern	Add New Load Pattern
sobrecarga	Live	~ 0	~ ·	Add Copy of Load Pattern
sobrecarga	Live	0		Modify Load Pattern
				Modify Lateral Load Pattern
				Delete Load Pattern
				Show Load Pattern Notes

Figura 79. Definición de cargas.

Una vez definida la carga, se pasa a aplicar sobre el pórtico:

Assign					
	3:	Joint Loads	•		
	in	Frame Loads	•	2	Gravity
	200	Cable Loads	•	×	Point
	~	Tendon Loads	•	12	Distributed
	<u> </u>	Area Loads	•	•	Temperature
	₩*	Solid Loads	•	₽/ ō(, >	
		Link/Support Loads	•	14	Strain
				1.	Deformation
				×	Target Force
				<b>[</b> ].	Auto Wave Loading Parameters
				1	Open Structure Wind Parameters
				1	Fireproofing

Figura 80. Introducción de cargas.

eneral				Option	ns	
Load Pattern	SOB	RECARGA	~	0	Add to <mark>Exis</mark> ting	g Loads
Coordinate System	GLO	GLOBAL ~		Replace Existing Loads		
Load Direction	Grav	ity	2	0	Delete Existing	g Loads
Load Type	Forc	e	~	Unifor 6	m Load	N/m
rapezoidal Loads		2				
Relative Distance	0	0,25	0,75	3.	4.	
Loads	0	0	0		0	kN/m
Relative Distance	ce from End-I	O Abs	olute <mark>Dis</mark> tance	from End-I		
		Reset Form to	o Default Value	25		

Figura 81. Introducción tipo de carga.



Figura 82. Pórtico con carga aplicada.

Viendo el pórtico como perfiles extruidos se ve de la siguiente forma:



Figura 83. Pórtico con perfiles extruidos.

Se procede al cálculo estático de la estructura.

Load Cases to Kun				
				Click to:
Case Name	Туре	Status	Action	Run/Do Not Run Case
sobrecarga	Linear Static	Not Run	Run	Show Case
				Delete Results for Case
				Run/Do Not Run All
				Delete All Results
				Show Load Case Tree
alysis Monitor Options	3			Model-Alive
) Always Show				Run Now
Never Show				

Figura 84. Cálculo estático.

Una vez realizado el cálculo estático de esfuerzos y reacciones, se procede a realizar un análisis de pandeo. Para ello, primero se divide cada barra de la estructura en varios tramos, en este caso se ha optado por 4 tramos e impedir el desplazamiento fuera del plano para evitar el vuelco. Al estar trabajando en el plano XZ, el desplazamiento impedido será u<sub>y</sub> o también denominado v.

A continuación, se divide cada barra que forma el pórtico en 4 tramos.

Edit

•	Edit Points	•	
10	Edit Lines	× 14	<ul> <li>Divide Frames</li> </ul>
10	Edit Areas	× 14	<ul> <li>Join Frames</li> </ul>
D	Divide Solids	-1:	Trim/Extend Frames
		2	Edit Curved Frame Geometry
			Edit Cable Geometry
			Edit Tendon Profile

Figura 85. División de barras.

Divide Options for Selected Straight Frame Objects	
Divide into Specified Number of Frames	
Number of Frames	4
Last/First Length Ratio	1
$\bigcirc$ Break at Intersections with Selected Joints, Straight Frames, Area Edges and Solid Edges	
○ Divide at Specified Distance from I-end of Frame	
Distance Type	
Distance	
O Divide at Intersection with a Coordinate Plane in the Current Coordinate System	
Coordinate Plane	
Intersection with Plane at	
O Divide at Intersection with Visible Grid Planes in the Current Coordinate System	
Grid Plane	
Reset Form to Default Values	

Figura 86. Configuración comando dividir.

Se obtienen las barras divididas.



Figura 87. Perfil extruido con barras divididas.

Ahora se procede a impedir los desplazamientos de los nudos creados al dividir las barras en varios tramos. De esta forma se evita el vuelco de la estructura fuera del plano.

Para este paso se seleccionan todos los nudos.



Figura 88. Nudos del pórtico seleccionados.

Assi	gn Analyz	e Display	Design	Options			
*	Joint			•	2.	Restraints	
1	Frame			•	<b>4</b>	Constraints	34
3	Cable			۲		Springs	
~	Tendon			н	•*	Masses	
	Area			۲	×	Local Axes	
đ	Solid			•	١.	Panel Zones	
×	Link/Suppo	ort		×	1	Merge Number	
	E	S Assign Join	t Restraint	s	1		×
		Restraints in .	loint <mark>Loc</mark> al	Direction	s		
		Transla	tion 1			Rotation about 1	
		✓ Translat	tion 2			Rotation about 2	
		Transla	tion 3			Rotation about 3	
		Fast Restraint	s 7		7	<u>⇔</u>	
			OK	Cle	ose	Apply	

Figura 89. Introducción apoyos intermedios para evitar vuelco.

Se obtiene la estructura con apoyos que impiden el desplazamiento 2 (eje Y).

Para el estudio a pandeo hay que modificar unos ajustes en los casos de carga (Load cases) respecto al estudio estático:



Figura 90. Pórtico con barras dividas y apoyos intermedios.

Define

Load Patterns... Load Cases... D+L +E Load Combinations...

ad Cases		Click to:	
Load Case Name	Load Case Type	Ad	I New Load Case
obrecarga	Buckling	Add	Copy of Load Case
		Modif	y/Show Load Case
			Delete Load Case
		Display Load	l Cases
		Sho	w Load Case Tree

Figura 91. Casos de cargas pandeo.

.oad Case Name			No	tes	Load Case Type		
sobrecarga		Set Def Nam	e	Modify/Show	Buckling	~	Design
Stiffness to Use					Mass Source		
Zero Initial Condition	ons - Unstressed S	tate			MSSSRC1		
Stiffness at End o	f Nonlinear Case						
Important Note:	Loads from the No	nlinear Case are	NOT included	d in the current			
	case						
oads Applied	Load N	ama S	cale Factor				
Load Pattern V	sobrecarga						
Load Pattern	sobrecarga			Add			
				Modify			
				Delete			
Other Parameters							

Figura 92. Configuración caso de cargas pandeo.

Ahora ya está listo para proceder al cálculo a pandeo del pórtico.

(5)
121

				Click to:
Case Name	Туре	Status	Action	Run/Do Not Run Case
sobrecarga	Buckling	Not Run	Run	Show Case
				Delete Results for Case
				Run/Do Not Run All
				Delete All Results
				Show Load Case Tree
nalysis Monitor Options				Model-Alive
Always Show				Run Now

Figura 93. Cálculo a pandeo.

## 4.3- PÓRTICO CON CARGAS DE VIENTO, NIEVE Y PESO PROPIO.

Como tercer caso, se va a realizar un estudio de un pórtico rígido mediante los programas de cálculo CYPE y SAP2000.

#### 4.3.1. CYPE:

Para comenzar con el cálculo, primero se va a crear un archivo nuevo en CYPE en el que, con respecto a la geometría y las cargas aplicadas nos va a dimensionar el perfil.

Se va a explicar los pasos para obtener el dimensionamiento: Para explicar el dimensionamiento y cálculo mediante CYPE del pórtico planteado para mi trabajo final de grado se usarán los siguientes comandos de Estructuras dentro de CYPE, "Generador de pórticos" y "CYPE 3D".

CYPE 2024	(Castellano). Versión Camp	ous. Uso no p	rofesional				- 🗆 X
	Estructuras	Ú	MEP Infraestructuras	1	CYPETHERM	þ	Gestión
	CYPECAD		CYPECAD MEP	1 1 2 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3	CYPETHERM HYGRO	1	Generadores de presupuestos
	Portal frame generator		CYPELEC REBT		CYPETHERM BRIDGES	<u></u>	Predimensionadores de mediciones y presupuestos
	CYPE 3D	V	CYPEPLUMBING Sanitary Systems	ø	Arquímedes		CYPE Estudio básico de seguridad y salud
<b>*</b>	CYPE Connect Classic	k∰ S	CYPEPLUMBING Water Systems	2	Arquímedes y control de obra	S.	CYPE Proyecto de demolición
	StruBIM Embedded Walls		CYPESOUND CTE	Es.	Generador de precios	DXF	Detalles constructivos
						Con	probar actualizaciones on-line
Sistem Soport Comun Soport Lista d Manua Noved	a de unidades te técnico nidad de usuarios te deseos les ades	Estructura Diseño, cák madera, inc	<b>as</b> ulo y dimensionado de estructuras luyendo el dimensionamiento y op	s de hormigo timización de	in armado, de acero, de aluminio y e secciones.	/ de	Software para Arquitectura, Ingeniería y Construcción
CYPE Cam	pus Ve	rsión Campus	🖋 Utilizar Licencia Ele	ectrónica 묽	Administrar la Licenc	ia Electrónic	а Да <u>www.cype.com</u>

Figura 94. Pantalla inicial CYPE.



Figura 95. Diseño de pórtico rígido a dos aguas en Generador de pórticos.

pórtico.

Una vez definida la geometría, se procede a definir cargas de viento y nieve según la ubicación y la exposición de dichas cargas que se van a estudiar. Para añadir las cargas de viento y nieve hay que considerar que hay cerramiento tanto en la cubierta como en los laterales, con su peso cada uno, aunque en este caso se desprecian ya que en el estudio no se va a tener en cuenta el peso de los cerramientos.

Para el estudio de este pórtico se supone que se va a diseñar una nave industrial de 6 pórticos (5 vanos) y la separación entre los distintos pórticos va a ser 5 metros.

Datos generales	>
Número de vanos	5
Separación entre pórticos	5.00 m
Con cerramiento en cubierta	
Peso del cerramiento	0.00 kN/m <sup>2</sup>
Sobrecarga del cerramiento	0.00 kN/m²
✓ Con cerramiento en laterales	
Peso del cerramiento	0.00 kN/m <sup>2</sup>
Estados límite E.L.U. de rotura. Acero conformado: CTE DB SE-A E.L.U. de rotura. Acero laminado: CTE DB SE-A	
Desplazamientos       Acciones características	
Aceptar	Cancelar

Figura 96. Datos generales Generador de pórticos.

Para la carga del viento hay que elegir el país donde se está diseñando y la normativa que va a seguir, posteriormente la zona que en este caso al ser Valladolid corresponde a la zona A y el grado de aspereza que se va a tener, que en este caso va a ser única y va a ser de categoría 4 (zona urbana, industrial o forestal)



Figura 97. Configuración general carga viento en Generador de pórticos.

Para la carga de nieve hay que elegir el lugar de emplazamiento (zona y altitud, que se asignan al elegir la provincia y término municipal donde se va a ejecutar) y la exposición al viento que en nuestro caso va a ser normal.



Figura 98. Configuración general carga nieve en Generador de pórticos.

Se realiza la exportación a CYPE 3D.

Datos generales		
	b	Edición de correas en cubierta y laterales
	×	Opciones de visualización de cotas, correas y cargas
	B	Gestión de la biblioteca de perfiles
	fy	Biblioteca de aceros de usuario
	A	Exportar a <u>C</u> YPE 3D

Figura 99. Exportación a CYPE 3D.

En este proceso hay que elegir la configuración de exportación.

ooringaraoion ao apoyoo	Opciones de pandeo	1
O Pórticos biarticulados	O No generar longitudes de pandeo	3
Pórticos biempotrados	Pandeo en pórticos traslacionales	
	O Pandeo en pórticos intraslacionales	
Tipo de generación		
Pórtico aislado (2D)     2	$\sim$	
O Generación pórticos 3D		
Opciones de agrupación		
Opciones de agrupación No agrupar planos		
Opciones de agrupación No agrupar planos Agrupar todos		
Opciones de agrupación No agrupar planos Agrupar todos Agrupar centrales y finales		
Opciones de agrupación Opciones de agrupación No agrupar planos Agrupar todos Agrupar centrales y finales		
Opciones de agrupación No agrupar planos Agrupar todos Agrupar centrales y finales		
Opciones de agrupación No agrupar planos Agrupar todos Agrupar centrales y finales		
Opciones de agrupación No agrupar planos Agrupar todos Agrupar centrales y finales		
Opciones de agrupación No agrupar planos Agrupar todos Agrupar centrales y finales		

Figura 100. Configuración de exportación a CYPE 3D.

El programa da dos opciones, la primera es realizar un estudio de los distintos pórticos que forman la nave (3D) y la segunda es estudiar únicamente un pórtico(2D). En este caso se va a optar por estudiar únicamente un pórtico(2D).

Al tratarse de un pórtico aislado(2D) el que se va a estudiar, nos informa que las cargas son uniformes.

Cuando se ha realizado la exportación a CYPE 3D hay que configurar el tipo de materiales que se van a utilizar en los perfiles (en este caso es un perfil IPE 300, en acero laminado, elegimos acero S275.



Figura 101. Dato informativo sobre la exportación de cargas.

lormas:	Códi	igo lécn	ico de la Edificación - Código Estructural				
Perfiles		fy	Hormigón armado				
Acero laminado	S275	~	Hormigón para pilares	HA-25, Yc=1.5 ~			
Acero conformado	S235	~	Hormigón para vigas de forjado	HA-25, Yc=1.5 ~			
Madera	Aserrada, procedente de con iferar	s o	Hormigón para elementos de cimentación	HA-25, Yc=1.5 ~			
Auminio	EN AW-5083 - F		Acero de barras	B 500 S, Ys=1.15			
Hormigón	HA-25, Yc=1.5	~	Características del árido	Cuarcita (15 mm), 30 mm			
			Recubrimientos	Mermas de acero			
Acciones			Terreno de cimentación Uverificar deslizamiento de zapatas Tensiones admisibles del terreno				
Con sismo dinár	nico						
	Desistantia al france						
	Resistencia al fuego		Situaciones persistentes	0.200 MPa			
Est	ados limite (combinaciones)		Situaciones sísmicas y accidentales 0.300 M				
	Hipótesis adicionales						
	Cimentación						
	Proceso constructivo						
Opciones		Ambiente					
Pilares	Cimentación		Vigas	XO			
10000000000	(Laboratory)	_					

Figura 102. Configuración general CYPE.

Una vez realizada la exportación a CYPE 3D, se van a configurar los distintos ajustes:

-La normativa a cumplir va a ser el Código Técnico de la Edificación.

-El perfil elegido para diseñar va a ser un perfil laminado tipo IPE.

-El tipo de acero elegido por sus propiedades y resistencia va a ser un acero dúctil S275.

En cuanto a las acciones aplicadas:

-La resistencia al fuego, no se va a considerar a la hora de dimensionar y calcular.

-En hipótesis adicionales hay que indicar la categoría de uso, que para los tres casos de estudio se considera "G2. Cubiertas accesibles únicamente para mantenimiento.". Las cargas a estudiar van a ser peso propio, nieve y viento. La carga de peso propio aparece automáticamente, las cargas de viento y nieve se exportan desde "Generador de pórticos", por lo tanto, no va a aparecer un 1 en hipótesis adicionales.

🗿 Hipótesis adicio	onales			Х	Resistencia al fuego	×
Categorías de u G2. Cubiertas accesi mantenimiento	<b>iso</b> ibles únicamente	para	ò	() ()	Acero Madera No considerar la situación de incendio Comprobar la resistencia al fuego (CTE DB SI)	Circle Ci
Acciones					O Calcular la temperatura crítica en la situación de incendio	
	Automáticas	Adio	ionales			
Peso propio	1					
Cargas muertas	2	0	ð			
Sobrecarga de uso		0	ð			
Temperatura	-	0	ð			
Retracción	-	0	ð			
Viento	-2	0	ð			
Sismo	12	0	ð			
Nieve	-	0	ð			
Empujes del terreno	-	0	ð			
Accidental	- 2	0	ð			
Acentar		17	ancelar		Ca	ancelar
nceptai		1	anceia		Figura 104. Configuración resistencia al fuego CYPE	

Figura 103. Configuración de cargas CYPE.

Una vez configurado el archivo se puede observar el pórtico en el espacio de trabajo tridimensional.



Figura 105. Espacio de trabajo.



Figura 106. Pórtico visto en el plano XZ.

Ahora se van a describir los perfiles del pórtico, es decir indicar el tipo y tamaño del perfil. Inicialmente se elige un IPE300 tanto en pilares como en vigas y una vez se dimensione se verá si es capaz de soportar las cargas aplicadas o si cambia de tamaño dentro de la serie de perfiles IPE.



Figura 107. Elección del perfil.



Figura 108. Pórtico con perfiles elegidos.

Hay que activar la carga de peso propio de los perfiles que forman el pórtico, en el caso de que al definir la geometría no se hubiera activado.

Una vez activada ya están todas las cargas: viento (6 hipótesis), nieve (3 hipótesis) y el peso propio (1 hipótesis). Aquí se pueden visualizar:



Figura 109. Cargas totales generadas al exportar desde Generador de pórticos.

Se van a mostrar una a una las distintas hipótesis de cargas:

-Peso propio.

-Viento.

-Nieve.

# Peso propio (PP):



Figura 110. Carga de peso propio.

# Viento:

#### V0º H1:



Figura 111. Hipótesis 1 de carga de viento incidente 0°.




Figura 112. Hipótesis 2 de carga de viento incidente 0°.





Figura 113. Hipótesis 1 de carga de viento incidente 90°.

# V180° H1:



Figura 114. Hipótesis 1 de carga de viento incidente 180°.

## V180° H2:



Figura 115. Hipótesis 2 de carga de viento incidente 180°.

# V270° H1:



Figura 116. Hipótesis 1 de carga de viento incidente 270°.

# Nieve:



Figura 117. Hipótesis 1 de carga de nieve.

# N(R)1:



Figura 118. Hipótesis 2 de carga de nieve.

N(R)2:



Figura 119. Hipótesis 3 de carga de nieve.

De todas estas hipótesis de cargas se va a coger la combinación de cargas más crítica (Peso propio + nieve + viento). Por lo tanto, la combinación de cargas de estudio va a ser la siguiente:

PP+V0° H1+N(EI)

PP:



Figura 120. Carga de peso propio.

# V0º H1:



Figura 121. Hipótesis 1 de carga de viento incidente 0°.

N(EI):



Figura 122. Hipótesis 1 de carga de nieve.

Una vez definidas las hipótesis de cargas a estudiar faltaría de configurar el pandeo lateral y el pandeo y se procedería a dimensionar y calcular.

No.	<u>P</u> andeo	Ctrl+p
V	Pande <u>o</u> lateral	
2	Articular extremos	Ctrl+e
(pred	Empotramiento en e <u>x</u> tremos	
×	<u>R</u> ótulas plásticas	

Figura 123. Configuración pandeo lateral.

El pandeo lateral se va a impedir para todas las barras, tanto en el ala superior como en el ala inferior, con un coeficiente de pandeo ( $\beta$ ) nulo.

Pandeo lateral	×
Z S V S S	0
Asignar momentos críticos	
Ala superior (S)	
$ \begin{array}{c} \beta_{\mathbf{v}} = 0 \\ \hline \end{array} \\ \begin{array}{c} \beta_{\mathbf{v}} = 0 \\ \hline \end{array} \\ \begin{array}{c} \beta_{\mathbf{v}} = 10 \\ \hline \end{array} \\ \begin{array}{c} \beta_{\mathbf{v}} = 20 \\ \hline \end{array} \\ \begin{array}{c} \beta_{\mathbf{v}} = 2 \\ \hline \end{array} \\ \end{array} \\ \begin{array}{c} \beta_{\mathbf{v}} = 2 \\ \hline \end{array} \\ \begin{array}{c} \beta_{\mathbf{v}} = 2 \\ \hline \end{array} \\ \end{array} \\ \begin{array}{c} \beta_{\mathbf{v}} = 2 \\ \end{array} \\ \begin{array}{c} \beta_{\mathbf{v}} = 2 \\ \end{array} \\ \end{array} \\ \begin{array}{c} \beta_{\mathbf{v}} = 2 \\ \end{array} \\ \end{array} \\ \begin{array}{c} \beta_{\mathbf{v}} = 2 \\ \end{array} \\ \end{array} \\ \end{array} \\ \begin{array}{c} \beta_{\mathbf{v}} = 2 \\ \end{array} \\ \end{array} \\ \begin{array}{c} \beta_{\mathbf{v}} = 2 \\ \end{array} \\ \end{array} \\ \end{array} \\ \end{array} \\ \begin{array}{c} \beta_{\mathbf{v}} = 2 \\ \end{array} \\ \end{array} \\ \end{array} \\ \end{array} \\ \begin{array}{c} \beta_{\mathbf{v}} = 2 \\ \end{array} \\ \end{array} \\ \end{array} \\ \end{array} $ \\ \begin{array}{c} \beta_{\mathbf{v}} = 2 \\ \end{array} \\ \end{array} \\ \end{array} \\ \end{array} \\ \end{array}  \\ \end{array}	
Ala inferior (I)	
$ \begin{array}{c} \mathbf{\beta}_{\mathbf{v}} = 0 \\ \end{array} \\ \begin{array}{c} \mathbf{\beta}_{\mathbf{v}} = 0.5 \\ \end{array} \\ \begin{array}{c} \mathbf{\beta}_{\mathbf{v}} = 1.0 \\ \end{array} \\ \begin{array}{c} \mathbf{\beta}_{\mathbf{v}} = 2.0 \\ \end{array} \\ \begin{array}{c} \mathbf{\beta}_{\mathbf{v}} = ? \\ \end{array} \\ \end{array} \\ \begin{array}{c} \mathbf{\beta}_{\mathbf{v}} = ? \\ \end{array} \\ \begin{array}{c} \mathbf{\beta}_{\mathbf{v}} = ? \\ \end{array} \\ \begin{array}{c} \mathbf{\beta}_{\mathbf{v}} = ? \\ \end{array} \\ \end{array} \\ \begin{array}{c} \mathbf{\beta}_{\mathbf{v}} = ? \\ \end{array} \\ \end{array} \\ \begin{array}{c} \mathbf{\beta}_{\mathbf{v}} = ? \\ \end{array} \\ \end{array} \\ \begin{array}{c} \mathbf{\beta}_{\mathbf{v}} = ? \\ \end{array} \\ \end{array} \\ \begin{array}{c} \mathbf{\beta}_{\mathbf{v}} = ? \\ \mathbf{\beta}_{\mathbf{v}} = ? \\ \end{array} \\ \end{array} \\ \begin{array}{c} \mathbf{\beta}_{\mathbf{v}} = ? \\ \end{array} \\ \end{array} \\ \end{array} \\ \begin{array}{c} \mathbf{\beta}_{\mathbf{v}} = ? \\ \end{array} \\ \end{array} \\ \end{array} \\ \begin{array}{c} \mathbf{\beta}_{\mathbf{v}} = ? \\ \mathbf{\beta}_{\mathbf{v}} = ? \\ \end{array} \\ \end{array} \\ \end{array} \\ \begin{array}{c} \mathbf{\beta}_{\mathbf{v}} = ? \\ \end{array} \\ \end{array} \\ \end{array} \\ \end{array} $ \\ \begin{array}{c} \mathbf{\beta}_{\mathbf{v}} = ? \\ \mathbf{\beta}_{\mathbf{v}} = ? \\ \end{array} \\ \end{array} \\ \end{array} \\ \end{array} \\ \end{array} \\ \end{array}  \\ \begin{array}{c} \mathbf{\beta}_{\mathbf{v}} = ? \\ \mathbf{\beta}_{\mathbf{v}} = ? \\ \end{array} \\ \end{array} \\ \end{array} \\ \end{array} \\ \end{array} \\ \end{array}  \\ \begin{array}{c} \mathbf{\beta}_{\mathbf{v}} = ? \\ \end{array} \\ \end{array} \\ \end{array} \\ \end{array} \\ \end{array}  \\ \end{array}  \\ \end{array}  \\ \end{array}  \\ \end{array}  \\ \end{array}  \\ \end{array}  \\ \end{array}  \\ \end{array} \\ \end{array}	
Asignar factor de momento crítico	
Factor de modificación para el momento crítico C1	
Aceptar	Cancelar

Figura 124. Pandeo lateral.

Barra			
	"and	Pandeo	Ctrl+p
	V	Pande <u>o</u> lateral	
	2	Ar <u>t</u> icular extremos	Ctrl+e
	þ×d	Empotramiento en e <u>x</u> tremos	
	×	<u>R</u> ótulas plásticas	

Figura 125. Configuración pandeo.

Se va a estudiar el pandeo en el plano (plano XY) y pandeo fuera del plano (plano XZ) según la referencia de la imagen. En el plano XY está impedido ( $\beta$ =0), en el plano XZ se va a comportar como una barra biempotrada con un coeficiente de pandeo ( $\beta$ =0.5).

Pandeo Pandeo	×
Z+	Q
X	0
Asignar axiles críticos	
Asignar longitud de pandeo (Plano xy)	
$\begin{array}{c c} \boldsymbol{\beta}=\boldsymbol{0} \\ \boldsymbol{\beta}=\boldsymbol{0}$	
Asignar longitud de pandeo (Plano xz)	
$ \begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	
Asignar coeficiente de momentos (Plano xy)	
Coeficiente de momento equivalente Cm 1.000	
Asignar coeficiente de momentos (Plano xz)	
Coeficiente de momento equivalente Cm 1.000	
Asignar criterios para el análisis de pandeo	
Considerar en el análisis de pandeo	
Permitir actualizar los coeficientes de pandeo en el plano xy	
Permitir actualizar los coeficientes de pandeo en el plano xz	
Aceptar	elar

Figura 126. Pandeo.



Ahora se procede a calcular y dimensionar el pórtico.

Figura 127. Cálculo de la estructura.

Aquí se puede observar el dimensionamiento obtenido:



Figura 128. Dimensionamiento obtenido.

Al haber obtenido un dimensionamiento con distintos tamaños de perfil en el pórtico se va a realizar el estudio del pórtico con todas las barras con el mismo perfil (el mayor). Por lo tanto, en este caso se va a estudiar el pórtico con 4 barras de perfil IPE 300.



Figura 129. Dimensionamiento final.

En este tercer caso también hay barras sometidas a compresión, por lo tanto, se va a realizar un estudio a pandeo.

Análisis d <u>e</u> pandeo		BIMserver.center	Ventana	Ay		
	<u>G</u> rupos de a C <u>o</u> mbinacio	nálisis nes				
原	<u>C</u> alcular					
MT)	Modos de pandeo					
15h	lsovalores de pandeo de la ventana activa					
R <sup>W</sup>	Asignar coeficientes de pandeo					
Figura	130. Cálculo	a pandeo.				

El número de modos a estudiar va a ser 20.

El número de tramos en los que se va a dividir la estructura va a ser 16. Cada barra se va a dividir en 4 tramos.

Álvaro Yagüe Ortega

Análisis de pandeo	
Modos de pandeo	
Número de modos	20
Filtrar autovalores superiores al valor indicado	100.000
Discretización de barras	
Número de tramos	16
O Longitud máxima de tramo	
Barras de acero	
/alor de Ned/Nrd mínimo para que una barra se considere en el análisis	1.00 %
Actualizar las combinaciones para el análisis de pandeo antes de calcu	ılar
Actualizar los coeficientes de pandeo y comprobar las barras	
Porcentaje de participación mínimo de la barra en el modo	20.00 %
Considerar la dimensión finita de los nudos	

Figura 131. Configuración cálculo pandeo.

CYPE 3D	c <b>eso de cálculo</b> ulo de esfuerzos	- D >	č.
LC1 - LC2		10	0%
10:07:45	[LC2] CTestEnergyIncr::test() - iteration: 1 last EnergyInc	r: 6.46989e-16 (max: 1e-08)	^
10:07:45	[LC2] CTestEnergyIncr::test() - iteration: 1 last EnergyInc	r: 1.2061e-15 (max: 1e-08)	
10:07:45	[LC2] CTestEnergyIncr::test() - iteration: 1 last EnergyInc	r: 9.0332e-16 (max: 1e-08)	
10:07:45	[LC2] CTestEnergyIncr:test() - iteration: 1 last EnergyInc	r: 1.36806e-15 (max: 1e-08)	
10:07:45	[LC2] CTestEnergyIncr::test() - iteration: 1 last EnergyInc	r: 1.17954e-15 (max: 1e-08)	
10:07:45	[LC2] CTestEnergyIncr:test() - iteration: 1 last EnergyInc	r: 1.94049e-16 (max: 1e-08)	~
		OpenSees - Open System For Earthquake Engineering Simulation	
6		Pacific Earthquake Engineering Research center	
	Opensees	Version 3.2.2 64-Bit	
		(c) Copyright 1999-2021 The Regents of the University of California	
		Cancelar	r
Cerrar el progres	so al finalizar	Tiempo total transcurrido 00:00:	:01

Figura 132. Proceso de cálculo a pandeo.



Figura 133. Cálculo a pandeo realizado correctamente.

## 4.3.2. SAP 2000:

Ahora se va a explicar el cálculo del pórtico en SAP 2000 con el dimensionamiento obtenido en CYPE.



### Figura 134. Pantalla inicial SAP 2000.

Para comenzar a configurar el archivo hay que elegir el tipo de plantilla que se va a usar de inicio. En este caso, se usará "Grid Only", tiene una rejilla tipo cuadrícula en la que se pueden definir número de divisiones tanto verticales como horizontales en la que apoyarse a la hora de definir la geometría. También podría realizarse con los comandos "2D Frames" o "Blank".



Se va a configurar la rejilla. Consta de 3 líneas verticales distanciadas en 10 metros y 3 líneas horizontales distanciadas en 8 metros el primer tramos y 1,763 metros el segundo tramo. Esto no es posible configurarlo de primeras, por lo tanto, se diseñará en 3 líneas verticales distanciadas 10 metros y 3 líneas horizontales distanciadas 8 metros y posteriormente se modificará.

El sistema de ejes globales se sitúa en el punto intermedio horizontal del pórtico y a la altura de los empotramientos.

En SAP 2000 se trabaja en el plano XZ, ya que de esta forma se aprovecha la máxima inercia de las barras.

Cartesian	Cylindrical	
Coordi	nate System N	lame
GL	OBAL	
Numbe	r of Grid Lines	3
X dire	ction	3
Y dire	ection	1
Z dire	ction	3
Grid Sp	bacing	
X dire	ction	10,
Y dire	ection	1,
Z dire	ction	8,
First G	rid Line Locati	on
X dire	ection	-10,
Y dire	ection	0,
Z dire	ction	0,

Figura 136. Configuración rejilla inicial.

Una vez diseñada la rejilla se puede ver tanto en el espacio de trabajo (plano XZ), como



Figura 137. Espacio de trabajo inicial.

Las dimensiones de la rejilla no son las deseadas, es necesario modificarlas.

N	_	01.01	PAL				Grid Lines	04- d
System Nam	e	GLO	DAL				QUICK	Start
Grid Data								
Grid ID	Ordinate (m)	Line Type	Visible	Bubble Loc	Grid Color			
A	-10	Primary	Yes	End		Add		
В	0	Primary	Yes	End		Delata		
С	10	Primary	Yes	End		Delete	0	
Grid ID	Ordinate (m) O	Line Type Primary	Visible Yes	Bubble Loc Start	Grid Color	Add Delete	Ordinates     Hide All G     Glue to G	O Spacing rid Lines rid Lines
Grid Data							Bubble Size Reset to D	1,5625 efault Color
Grid ID	Ordinate (m	) Line	Туре	Visible	Bubble Loc		Reorder	Ordinates
Z1	0	Pri	mary	Yes	End	Add		
Z2	8	Pri	mary	Yes	End	Delete		
Z3	9,76	Pri	mary	Yes	End	Delete		
							01	0.000

Figura 138. Configuración rejilla definitiva.





Figura 139. Espacio de trabajo definitivo.

Concluida la cuadrícula deseada se define el material para el pórtico.

Define Materials		
Materials	Click to:	
S275	Add New Material	
	Add Copy of Material	
	Modify/Show Material	l
	Delete Material	
	Show Advanced Propertie	es
	ОК	
	Canaal	

Figura 140. Definición de material.

Aquí se pueden ver las propiedades del material elegido, acero S275.

Material Name and Display Color	S275
Material Type	Steel 🗸 🗸
Material Grade	S275
Material Notes	Modify/Show Notes
Veight and Mass	Units
Weight per Unit Volume 76,9	729 KN, m, C 🗸
Mass per Unit Volume 7,84	9
sotropic Property Data	
Modulus Of Elasticity, E	2,100E+08
Poisson, U	0,3
Coefficient Of Thermal Expansion, A	1,170E-05
Shear Modulus, G	80769231,
Other Properties For Steel Materials	
Minimum Yield Stress, Fy	275000,
Minimum Tensile Stress, Fu	430000,
Expected Yield Stress, Fye	302500,
Expected Tensile Stress, Fue	473000,

Figura 141. Propiedades del material.

Una vez elegido el material, se procede a elegir el tipo y la serie del perfil.

Se va a definir un IPE 300, ya que es el dimensionamiento obtenido anteriormente en CYPE.

Define Draw Select Assign Ani Pre Materials Section Properties	<ul> <li>Frame Sec</li> <li>Tendon Se</li> <li>Cable Sect</li> </ul>	tions ctions tions		
Frame Properties       Find this property:     Import New Property       Add New Property     Add Copy of Property       Add Copy of Property     Modify/Show Property       Delete Property     OK	S Import I	Frame Section Property  Property Type  e Section Property Type  Import a Steel Section  Utide Flange Utide Flange Utide Angle	Steel	X L Angle Tube

Figura 142. Definición de perfil.

Para obtener la serie de perfiles hay que elegir la biblioteca por la que se va a regir. En este caso se importa la biblioteca europea "Euro.pro".

AISC15.pro	C (programmes	neo		c3 (30)200011
AISC15M.pro				
AISCASD9.PRO	Carlina Treas		Wide Flange	
AISCLRFD1.pro	Section Type		i i i i i i i i i i i i i i i i i i i	
] AISCLRFD2.pro	Material	+	S275	~
] AISCLRFD3.pro				
] Aluminum.pro	Select Sections	to In	port	
ASTMA1085.pro	IPE2000			^
AusN7V8.pro	IPE200R			
BSShapes PRO	IPE220			
BSShapes2006 pro	IPE220R			
	IPE240			
Chinese.pro	IPE240R			
ChineseGB08.pro	IPE270			
	IPE2700 IPE270R			
_] CISC9.pro	IPE300			
] CISC10.pro	IPE3000			
] Euro.pro	IPE300R			
🗋 Indian.pro	IPE330O			
] JIS-G-3192-2014.pro	IPE330R			
] joists.pro	IPE3600			~
] Nordic.pro	10.74685			10/226
Russian.pro				
] SECTIONS.PRO		ОК	Cancel	

Figura 143. Serie de perfil

$\pi$ qui se observan las calaciensileas geometricas y propiedades del permi n' $\simeq$ 500	Aquí se observan l	as características	geométricas y p	ropiedades del	perfil IPE 300:
--	--------------------	--------------------	-----------------	----------------	-----------------

Section Name	IPE300	V Display Color
Section Notes	Modify/Show Notes	
Extract Data from Section Property F	File	
Open File C:\program file	s\computers and structures\sap2000 2	22\euro.pro Import
Dimensions		Section
Outside height (t3)	0,3	
Top flange width (t2)	0,15	
Top flange thickness (tf)	0,0107	3
Web thickness (tw)	7,100E-03	
Bottom flange width (t2b)	0,15	
Bottom flange thickness (tfb)	0,0107	
		Properties
Material	Property Modifiers	Section Properties
+ S275	Set Modifiers	Time Dependent Properties

Figura 144. Dimensiones del perfil.

Section Name			
Properties			
Cross-section (axial) area	5,380E-03	Section modulus about 3 axis	5,571E-04
Moment of Inertia about 3 axis	8,356E-05	Section modulus about 2 axis	8,053E-05
Moment of Inertia about 2 axis	6,040E-06	Plastic modulus about 3 axis	6,280E-04
Product of Inertia about 2-3	0,	Plastic modulus about 2 axis	1,250E-04
Shear area in 2 direction	2,130E-03	Radius of Gyration about 3 axis	0,1246
Shear area in 3 direction	2,675E-03	Radius of Gyration about 2 axis	0,0335
Torsional constant	1,990E-07	Shear Center Eccentricity (x3)	0,

Figura 145. Propiedades geométricas del perfil.



Una vez definida la sección definida se diseña el pórtico con ayuda de la rejilla.

Figura 146. Estructura sin definir los apoyos.

Ahora toca definir los apoyos deseados en los puntos en los que el pórtico está en contacto con el terreno. En este caso el pórtico va a ser biempotrado como se ha hecho anteriormente en el programa CYPE.

Assig	jn 🛛	Analyze	Display	Design	Options		
*	Joint	:			۲	5	Restraints
1	Fram	ne			•	<b>4</b>	Constraints
C	Cabl	e			۲		Springs
~	Tend	lon			×	•*	Masses
	Area				۲	×	Local Axes
đ	Solid	1			۲	10	Panel Zones
×	Link	/Support			۲	1	Merge Number

Figura 147. Definición de restricciones.



Figura 148. Estructura con empotramientos fijos definidos.

Ahora se pasa a definir las cargas:

-Peso propio.

-Nieve.

-Viento.

	Define		
		Load Patterns	
	1.0 I 1.5 I	Load Cases	
	D+  +E	Load Combinations	
S Define Load Patter	rns		

×

Load Pattern Name	Туре	Multiplier	Load Pattern		Add New Load Pattern
p	Dead	~ 1			Add Copy of Load Pattern
PP	Dead	1			Modify Load Dattorn
N	Snow	0	CONTRACTOR OF CONT	(married	mouny Load Pattern
v	Wind	0	None		Modify Lateral Load Pattern
				•	Delete Load Pattern
					Show Load Pattern Notes

Figura 149. Definición de cargas.

Una vez definidas las cargas, se pasa a aplicarlas sobre el pórtico:

Assign				
		Joint Loads	•	
	im	Frame Loads	• 2	Gravity
	er.	Cable Loads	• %	Point
	~	Tendon Loads	· /	, Distributed
	<u> </u>	Area Loads	• •	7 Temperature
	₫,	Solid Loads	۲ ۱/۱۰	
		Link/Support Loads	· ~	Deformation
			X	Target Force
			<b>J</b> 7.	Auto Wave Loading Parameters
			13	Open Structure Wind Parameters
Figura 150.	Introdu	cción de cargas.	X	Fireproofing

-Peso propio:



Figura 151. Carga de peso propio.

# -Viento:



Figura 152. Carga de viento.





Figura 153. Carga de nieve.

Una vez asignadas las cargas en el pórtico, se genera un caso de cargas en el que se combinan las cargas (si se quisiera, se podrían poner coeficientes distintos a la unidad).



Load Cases		Click to:
Load Case Name	Load Case Type	Add New Load Case
PP	Linear Static	
N	Linear Static Linear Static	Add Copy of Load Case
PP+V+N	Linear Static	Modify/Show Load Case
		Delete Load Case
		Display Load Cases
		Show Load Case Tree
		OK Cancel
.oad Case Data - Linear Static		
.oad Case Data - Linear Static oad Case Name	Notes	Load Case Type
Load Case Data - Linear Static oad Case Name PP+V+N	Notes Set Def Name Modify/Show	Load Case Type Static V Design
Load Case Data - Linear Static oad Case Name PP+V+N tiffness to Use	Set Def Name Modify/Show	Load Case Type Static V Design
Load Case Data - Linear Static oad Case Name PP+V+N tiffness to Use Zero Initial Conditions - Unstresse	Set Def Name Modify/Show	Load Case Type Static V Design Analysis Type
Load Case Data - Linear Static oad Case Name PP+V+N tiffness to Use Zero Initial Conditions - Unstresse Stiffness at End of Nonlinear Case	Set Def Name Modify/Show	Load Case Type Static V Design Analysis Type Linear Nonlinear
Load Case Data - Linear Static oad Case Name PP+V+N tilffness to Use 2ero Initial Conditions - Unstresse Stiffness at End of Nonlinear Case Important Note: Loads from the case	Set Def Name Modify/Show d State e Nonlinear Case are NOT included in the current	Load Case Type Static V Design Analysis Type Linear Nonlinear
Load Case Data - Linear Static oad Case Name PP+V+N tiffness to Use 2 Zero Initial Conditions - Unstresse Stiffness at End of Nonlinear Case Stiffness at End of Nonlinear Case Important Note: Loads from the case oads Applied	Set Def Name Modify/Show d State e Nonlinear Case are NOT included in the current	Load Case Type Static V Design Analysis Type
Load Case Data - Linear Static oad Case Name PP+V+N tiffness to Use Zero Initial Conditions - Unstresse Stiffness at End of Nonlinear Case Important Note: Loads from the case oads Applied Load Type Loa	Set Def Name Modify/Show d State e Nonlinear Case are NOT included in the current d Name Scale Factor	Load Case Type Static V Design Analysis Type
Load Case Data - Linear Static oad Case Name PP+V+N tiffness to Use © Zero Initial Conditions - Unstresse O Stiffness at End of Nonlinear Case Important Note: Loads from the case oads Applied Load Type Loa Load Pattern V PP	Set Def Name       Notes         d State       Modify/Show         e       Value         Nonlinear Case are NOT included in the current         d Name       Scale Factor         v       0.8	Load Case Type Static V Design Analysis Type Linear Nonlinear Mass Source MSSSRC1
Load Case Data - Linear Static oad Case Name PP+V+N tiffness to Use © Zero Initial Conditions - Unstresse O Stiffness at End of Nonlinear Case Important Note: Loads from the case oads Applied Load Type Loa Load Pattern V PP Load Pattern PP Load Pattern N	Notes Notes Set Def Name Modify/Show  d State Nonlinear Case are NOT included in the current d Name Scale Factor 0,8 0,8 0,8 0,8 Add	Load Case Type Static V Design Analysis Type Linear Nonlinear Mass Source MSSSRC1
Load Case Data - Linear Static oad Case Name PP+V+N tiffness to Use © Zero Initial Conditions - Unstresse O Stiffness at End of Nonlinear Case Important Note: Loads from the case oads Applied Load Type Loa Load Pattern V Load Pattern N Load Pattern N Load Pattern V	Notes Set Def Name Modify/Show d State a Nonlinear Case are NOT included in the current d Name Scale Factor 0,8 0,8 1,5 0,9 Add 1,5 0,9 Modify/Show	Load Case Type Static V Design Analysis Type Linear Nonlinear Mass Source MSSSRC1
Load Case Data - Linear Static oad Case Name PP+V+N tilffness to Use Zero Initial Conditions - Unstresse Stiffness at End of Nonlinear Case Important Note: Loads from the Case oads Applied Load Type Loa Load Pattern V Load Pattern PP Load Pattern N Load Pattern V	Set Def Name     Notes       d State     Modify/Show       a     Image: Scale Factor       Monimear Case are NOT included in the current     Image: Scale Factor       d Name     Scale Factor       0,8     Image: Scale Factor       0,8     Image: Scale Factor       0,9     Image: Modify	Load Case Type Static V Design Analysis Type Linear Nonlinear Mass Source MSSSRC1

Figura 154. Caso de cargas estático.

Viendo el pórtico como perfiles extruidos se vería de la siguiente forma:



Figura 155. Pórtico con perfiles extruidos.

Se procede al cálculo estático de la estructura.



Figura 156. Cálculo estático.

Una vez realizado el cálculo estático de esfuerzos y reacciones, se procede a realizar un análisis de pandeo. Para ello, primero se divide cada barra de la estructura en varios tramos, en este caso se ha optado por 4 tramos e impedir el desplazamiento fuera del plano para evitar el vuelco. Al estar trabajando en el plano XZ, el desplazamiento impedido será  $u_y$  o también denominado v.

•	Edit Points	•	
10	Edit Lines	× 14	≁ Divide Frames
Ľ	Edit Areas	× 13	P Join Frames
Ø	Divide Solids	-	Trim/Extend Frames
		*	Edit Curved Frame Geometry
			Edit Cable Geometry
			Edit Tendon Profile

Figura 157. División de estructura.

S Divide Selected Frames	×
Divide Options for Selected Straight Frame Objects	
Divide into Specified Number of Frames	
Number of Frames 4	
Last/First Length Ratio	
O Break at Intersections with Selected Joints, Straight Frames, Area Edges and Solid Edges	
O Divide at Specified Distance from I-end of Frame	
Distance Type	
Distance	
O Divide at Intersection with a Coordinate Plane in the Current Coordinate System	
Coordinate Plane	
Intersection with Plane at	
O Divide at Intersection with Visible Grid Planes in the Current Coordinate System	
Grid Plane	
Reset Form to Default Values	
OK Close Apply	
or oppy	

Figura 158. Configuración comando dividir.

Se obtienen las barras divididas.



Figura 159. Pórtico extruido con barras divididas.

Ahora se procede a impedir los desplazamientos de los nudos creados al dividir las barras en varios tramos. De esta forma se evita el vuelco de la estructura fuera del plano.

Para este paso se seleccionan todos los nudos.



Figura 160. Nudos seleccionados.

Assi	gn	Analyze	Display	Design	Options		
•	Joi	int			۲	5	Restraints
*	Fra	ame			•	$\langle$	Constraints
* 3	Ca	ble			•		Springs
*	Ter	ndon			×	•*	Masses
3	Ar	ea			۲	*	Local Axes
Ĵ	So	lid			۲	1	Panel Zones
<	Lir	nk/Support			•	1.0	Merge Number
		Tran	Islation 1			otatio	n about 1
		✓ Tran	slation 2		Ra	otation otation	n about 2 n about 3
		Fast Restra	aints	+		77	•
			OK	(	Close	A	Apply

Figura 161. Apoyos para impedir vuelco.



Se obtiene la estructura con apoyos que impiden el desplazamiento 2 (eje Y).

Figura 162. Pórtico extruido con barras divididas y apoyos intermedios.

Para el estudio a pandeo se tienen que modificar unos ajustes en los casos de carga (Load cases) respecto al estudio estático:

Define			
	VD VE	Load Patterns	
	1.0 D 1.5 E	Load Cases	
	D+L +E	Load Combinations	
Define Load Cases			
Load Cases			Click to:
Load Case Na	ame	Load Case Type	Add New Load Case
PP N V		Linear Static Linear Static Linear Static	Add Copy of Load Case
PP+N+V		Buckling	Modify/Show Load Case
			Delete Load Case
			Display Load Cases
			Show Load Case Tree
			OK Cancel

Figura 163. Caso de cargas para pandeo.

Load Case Name			Notes	Load Case Type	
PP+N+V		Set Def Name	Modify/Show	Buckling	✓ Design
Stiffness to Use				Mass Source	
Zero Initial Condition	ns - Unstressed State	MSSSRC1			
Stiffness at End of	Nonlinear Case		Υ.		
Important Note:	Loads from the Nonline case	ear Case are NOT incli	uded in the current		
oads Applied					
Load Type	Load Name	Scale Fac	tor		
Load Pattern V	N	~ 1,5			
Load Pattern Load Pattern	PP	1,5	Add		
Load Pattern	v	0,9	Modify		
			Delete		
L	L				
)ther Parameters					N.
Number of Buckling Mo	des	6		OK	
2	-	4 0005 00		Canaal	

Figura 164. Configuración casos de carga para pandeo.

Ahora ya está listo para proceder al cálculo a pandeo del pórtico.

				Click to:
Case Name	Туре	Status	Action	Run/Do Not Run Case
N V	Linear Static Linear Static	Not Run Not Run	Run Run	Show Case
PP+N+V	Buckling	Not Run	Run	Delete Results for Case
				Run/Do Not Run All
				Delete All Results
7				Show Load Case Tree
nalysis Monitor Option	5			Model-Alive

Figura 165. Cálculo a pandeo.

# CAPÍTULO 5. RESULTADOS.

# <u>5.1- BARRA.</u>

En cuanto a la comparación de los resultados, se comenzará comparando las reacciones de los apoyos:

### Reacciones:

CYPE:

	×	
	0	
	0	
* *		
- ×.		
Ť	-	N2 (0, 20, 0)
v		N3 (0, 20, 0)
¥		N3 (0, 20, 0) Rx: 0.000 kN
· ·		N3 (0, 20, 0) Rx: 0.000 kN Ry: 0.000 kN
•		N3 (0, 20, 0) Rx: 0.000 kN Ry: 0.000 kN Rz: 60.000 kN
~		N3 (0, 20, 0) Rx: 0.000 kN Ry: 0.000 kN Rz: 60.000 kN Mx: 0.00 kN·m
•		N3 (0, 20, 0) Rx: 0.000 kN Ry: 0.000 kN Rz: 60.000 kN Mx: 0.00 kN·m My: 0.00 kN·m
	~	

Figura 166. Reacciones barra CYPE.

SAP 2000:



Figura 167.Reacciones barra SAP 2000.

Como se puede observar, las reacciones obtenidas en ambos softwares son iguales, obteniendo las reacciones verticales en ambos apoyos del valor de 60kN y el resto nulas.

Ahora se pasa a comparar los desplazamientos en los extremos y en el centro de la barra.

### **Desplazamientos:**

### CYPE:



Figura 168. Desplazamientos barra CYPE.

### SAP 2000:



#### Figura 169. Desplazamientos barra SAP 2000.

Según las imágenes, los desplazamientos obtenidos en ambos softwares son iguales.

El axil es nulo, ya que la barra sólo tiene cargas de flexión.

## Cortante:

CYPE:



	Multivalued Options Envelope (Max or Min) Step 1 *
	Display Type © Force O Stress Component O Aviel Force O Torsion
1	Shear 2-2     Shear 3-3     Moment 3-3
	Scaling for Diagram O Automatic User Defined
	Options for Diagram O Fill Diagram
	Reset Form to Default Values Reset Form to Current Window Settings
	OK Close Apply

Figura 171. Cortante barra SAP2000.

Como se puede observar, los esfuerzos cortantes obtenidos en ambos softwares son iguales, obteniendo valores en ambos apoyos de 60kN y en el centro de la barra nulo.





Figura 173. Momento flector barra SAP2000.

En las figuras 172 y 173, los esfuerzos flectores obtenidos en ambos softwares son iguales, obteniendo el valor en ambos apoyos de 300kNm y en los extremos de la barra nulos.
Por último, se va a comparar la deformada:

#### Deformada:

CYPE:



Ambas deformadas tienen una escala multiplicadora de 100.

En este caso no se puede realizar el estudio a pandeo, ya que la barra no está sometida a compresión, sino que sólo trabaja a flexión.

## 5.2- PÓRTICO CON CARGA DE SOBRECARGA DE USO.

En cuanto a la comparación de los resultados, se comenzará por las reacciones de los empotramientos:

Reacciones:

CYPE:

	10		
*			
	Reacciones	x	
	Combinación seleccionada	(ca)	
		C Market	
	O Envolventes de las combinaciones de equilibrio de cimentación	0	
N1 (0, 0, 0)	<ul> <li>Envolventes de las combinaciones de equilibrio de cimentación</li> <li>Envolventes de las combinaciones de tensión sobre el terreno</li> </ul>	0	N3 (0, 20, 0)
N1 (0, 0, 0) Rx: 0.000 kN	Envolventes de las combinaciones de equilibrio de cimentación     Envolventes de las combinaciones de tensión sobre el terreno     Comb. seleccionada	<b>0</b>	N3 (0, 20, 0) Rx: 0.000 kN
N1 (0, 0, 0) Rx: 0.000 kN Ry: 31.891 kN	Envolventes de las combinaciones de equilibrio de cimentación     Envolventes de las combinaciones de tensión sobre el terreno <b>Comb. seleccionada</b> Hipótesis simple	•	N3 (0, 20, 0) Rx: 0.000 kN Ry: -31.891 kN
N1 (0, 0, 0) Rx: 0.000 kN Ry: 31.891 kN Rz: 60.922 kN Mx: -101 D2 kN-m	Envolventes de las combinaciones de equilibrio de cimentación     Envolventes de las combinaciones de tensión sobre el terreno     Comb. seleccionada     Hipótesis simple     Q.1		N3 (0, 20, 0) Rx: 0.000 kN Ry: -31.891 kN Rz: 60.922 kN Mx: 101.02 kN-
N1 (0, 0, 0) Rx: 0.000 kN Ry: 31.891 kN Rz: 60.922 kN Mx: -101.02 kN⋅m My: 0.00 kN⋅m	O Envolventes de las combinaciones de equilibrio de cimentación     O Envolventes de las combinaciones de tensión sobre el terreno     Comb. seleccionada     Hipótesis simple     Q 1		N3 (0, 20, 0) Rx: 0.000 kN Ry: -31.891 kN Rz: 60.922 kN Mx: 101.02 kN-r My: 0.00 kN-r

Figura 176. Reacciones pórtico 1 CYPE.

SAP 2000:



Figura 177. Reacciones pórtico 1 SAP2000.

Como se puede observar, las reacciones obtenidas en ambos softwares son iguales, obteniendo las reacciones verticales del valor de 60,92 kN, horizontales 31,93kN y el momento de 31,9kNm en ambos apoyos.

Ahora se pasará a comparar los desplazamientos en los extremos de las vigas que forman el pórtico:

#### **Desplazamientos:**

#### CYPE:



Figura 178. Desplazamientos pórtico 1 CYPE.

SAP 2000:

o Joint Displacements		~							42.52
Joint Object 2 1 Trans -0,0162 Rotn (	Joint Element 2 2 2 0, 0, 0,00619	3 -3,192E-04 0,		T.	-	Joint Object 3 Trans Rotn	, 1 0, 0,	Joint Element 3 2 0, 0,	3 -0,09387 0,
					Į.				
				The last					
			S Joint Displacem	hents		×			
			S Joint Displacem Joint Object 4 Trans Rotn	nents 1 0,01622 0,	oint Element 4 2 0, -0,00619	3 -3,192E-04 0,			

Figura 179. Desplazamientos pórtico 1 SAP2000.

Según las figuras 178 y 179, los desplazamientos obtenidos en ambos softwares son iguales.

<u>Axil:</u>

CYPE:



Figura 180. Axil pórtico 1 CYPE.

SAP 2000:



Figura 181. Axil pórtico 1 SAP2000.

Los resultados obtenidos son muy similares.

## Cortante:

#### CYPE:



Figura 182. Cortante pórtico 1 CYPE.

SAP 2000:



Figura 183. Cortante pórtico 1 SAP2000.

Como se puede observar, los esfuerzos cortantes obtenidos en ambos softwares son iguales.

## Momento Flector:

## CYPE:



Figura 184. Momento flector pórtico 1 CYPE.

## SAP 2000:



Figura 185. Momento flector pórtico 1 SAP2000.

Según las figuras 184 y 185, los esfuerzos de momentos flectores obtenidos en ambos softwares son muy similares.

Por último, se comparará la deformada:

Deformada:

CYPE:



Figura 186. Deformada pórtico 1 CYPE.

SAP 2000:



Figura 187. Deformada pórtico 1SAP2000.

Ambas deformadas tienen una escala multiplicadora de 100.

Ahora se compararán los resultados del estudio a pandeo.

Una vez realizado el cálculo a pandeo se pueden ver los distintos modos de pandeo obtenidos y se utilizará el que pandee dentro del plano y con menor coeficiente.

## Pandeo:

## CYPE:

En CYPE se pueden ver los modos de resultados de dos formas diferentes:

Anális	is d <u>e</u> pandeo	BIMserver.center	Ventana	Ay	
E	<u>G</u> rupos de a	nálisis			
KL	C <u>o</u> mbinacio	nes			
1	Calcular				
历	<u>M</u> odos de p	andeo			
m	<u>l</u> sovalores de	e pandeo <mark>de l</mark> a vent	ana activa		
K*	Asignar coe	ficientes de pandeo			
-igura	188. Modos d	e pandeo.		_	

	Modos de pandeo 🛛	$\lambda$
	Todos los elementos	A.
<b>\</b>	O Sólo los elementos seleccionados	
	Deformada 10.000	
1	Análisis de sensibilidad (Participación)	$\lambda$
	[1] 0.8 PP+1.5 Q 1 v [12 [27.3099] v	M.
	Ver la estructura	

Figura 189. Resultado modos de pandeo pórtico 1.

También hay otra forma en la que se puede observar la deformada y es más visual, ya que representa los perfiles de la estructura.

Anális	is d <u>e</u> pandeo	BIMserver.center	<u>V</u> entana	Ay
믭	<u>G</u> rupos de a	nálisis		
KL	C <u>o</u> mbinacio	nes		
1	<u>C</u> alcular			
M	Modos de p	andeo		
M	lsovalores de	e pandeo de la vent	ana activa	
к*	<u>A</u> signar coel	ficientes de pandeo	ę	

Figura 190. Isovalores de pandeo.



Figura 191. Resultado isovalores de pandeo pórtico 1 CYPE.

En ambos casos el factor multiplicador de los desplazamientos es 10.

El isovalor de pandeo obtenido es 27,3099.

Hay que tener en cuenta que la combinación de cargas es peso propio y sobrecarga de uso. La carga "Sobrecarga de uso" tiene un coeficiente multiplicador de 1.5 y la carga "Peso propio" tiene un coeficiente multiplicador de 0.8. El coeficiente multiplicador de la carga "Peso propio" no es importante ya que se ha desactivado la carga de peso propio del pórtico para este estudio.

Las combinaciones de cargas que aparecen las realiza el programa automáticamente.



SAP2000:

Figura 192. Resultado isovalores pórtico 1 SAP2000.

En SAP 2000 el resultado obtenido de isovalor de pandeo es 41,01651. Hay que tener en cuenta que el factor multiplicador de la carga es 1, mientras que en CYPE en la combinación mostrada el factor multiplicador es 1,5. Si en SAP 2000 se tuviera el factor multiplicador de 1,5 como en CYPE se obtendría el siguiente isovalor.

Set Def Name	Modify/Show	Buckling Mass Source	✓ Design
e		Mass Source	
e			
		MSSSRC1	
	~		
near Case are NOT inc	luded in the current		
e Scale Fa	stor		
√ 1,5			
1,5	Add		
	Modify		
	Delete		
6			JK
	e Scale Fa	e Scale Factor v 1,5 1,5 Add Modify Delete 6 4 appr 25	e Scale Factor 1,5 1,5 1,5 Celete Celete

Figura 193. Modificación caso de cargas pandeo.



Figura 194. Resultado isovalores definitivo pórtico 1 SAP2000.

Como se puede ver, poniendo el coeficiente multiplicador de carga 1,5 en ambos programas se obtiene prácticamente el mismo isovalor de pandeo.

Este valor obtenido significa que con la carga "Sobrecarga de uso" con un coeficiente multiplicador de 1.5 aplicado, la estructura soportaría 27,3765 veces esa carga en el caso de CYPE y 27,3443 en el caso de SAP 2000. Es un valor muy similar.

## 5.3- PÓRTICO CON CARGAS DE VIENTO, NIEVE Y PESO PROPIO.

En cuanto a la comparación de los resultados, se va a estudiar la combinación de cargas de peso propio, viento y nieve aplicados los siguientes coeficientes:

Peso propio: 0,8

Viento:0,9

Nieve:1,5

Combinación de estudio: 0.8\*PP+0.9\*V+1.5\*N

Se comienza por las reacciones de los empotramientos:

Reacciones:

CYPE:

N2			
	Reacciones	×	
	Combinación seleccionada	(ja	
	O Envolventes de las combinaciones de equilibrio de cimentación	0	
	O Envolventes de las combinaciones de tensión sobre el terreno		
	Comb. seleccionada		
	Acero laminado y armado	$\sim$	
	0.8-PP+0.9-V1+1.5-N1	~	
4(0,0,0)			NE (0. 20. 0
Rx: 0.000 kN			Ry: 0.000 J
Ry: -7.208 kN			Ry: -24.182
Rz: 26.140 kN			Rz: 23.355
My: 20 65 kN m 1			Mx: 84.10

Figura 195. Reacciones pórtico 2 CYPE.

SAP 2000:



Los valores obtenidos son semejantes, pero se alejan un poco en cuanto a los valores de reacciones de los casos anteriores.

Ahora se pasa a comparar los desplazamientos en los extremos de las vigas que forman el pórtico.

#### **Desplazamientos:**

CYPE:



Figura 197. Desplazamientos pórtico 2 CYPE.

SAP 2000:



Figura 198. Desplazamientos pórtico 2 SAP2000.

Los valores obtenidos de desplazamientos, de la misma manera que en las reacciones son similares en ambos programas, pero se alejan un poco a diferencia de los casos anteriores.

Ahora se compararán las gráficas de esfuerzos (axil, cortante y momento flector).

<u>Axil:</u>

CYPE:





SAP 2000:



Figura 200. Axil pórtico 2 SAP2000.

Los valores de esfuerzo axil obtenidos en ambos programas son similares, pero al igual que las reacciones y desplazamientos se alejan un poco entre un programa y otro a diferencia de los casos de estudio anteriores.

#### Cortante:

#### CYPE:



Figura 201. Cortante pórtico 2 CYPE.

## SAP 2000:



Figura 202. Cortante pórtico 2 SAP2000.

Los valores de esfuerzos cortante obtenidos en ambos programas son similares.

## Momento Flector:

## CYPE:



Figura 203. Momento flector pórtico 2 CYPE.

SAP 2000:



Figura 204. Momento flector pórtico 2 SAP 2000.

Los valores de esfuerzos de momento flector obtenidos en ambos programas son similares.

Por último, se compara la deformada:

Deformada:

CYPE:



Figura 205. Deformada pórtico 2 CYPE.

SAP 2000:



Figura 206. Deformada pórtico 2 SAP2000.

Ambas deformadas tienen una escala multiplicadora de 100.

Ahora se pasa a la comparación de resultados del estudio a pandeo:

Una vez realizado el cálculo a pandeo podemos ver los distintos modos de pandeo que hemos obtenido y vamos a quedarnos con el modo que nos pandee dentro del plano y con menor coeficiente.

Pandeo:

CYPE:

Dentro de CYPE se pueden ver los modos de resultados de dos formas diferentes:



	-17
Modos de pandeo 🗙	
<ul> <li>Todos los elementos</li> <li>Sólo los elementos seleccionados</li> </ul>	
Deformada 10.000 Análisis de sensibilidad (Participación)	
[3] 0.8·PP+0.9·V 1+1.5·N 1 ~ [11 [55.4862] ~	
🗹 Ver la estructura	

Figura 207. Resultado modos de pandeo pórtico 2 CYPE.

También hay otra forma en la que se puede observar la deformada y es más visual, ya que representa los perfiles de la estructura en 3D.

Anális	is d <u>e</u> pandeo	BIMserver.center	<u>V</u> entana	Ay	
E KL	<u>G</u> rupos de a C <u>o</u> mbinacio	nálisis mes			
原闭	<u>C</u> alcular <u>M</u> odos de p	andeo			
M	lsovalores de	e pandeo de la vent	ana activa		
K Asignar coeficientes de pandeo					

🖓 Opciones	×	
Factor de escala para los desplazamientos	10.0 🏢 🥝	
Ver la estructura		
[3] 0.8·PP+0.9·V 1+1.5·N 1 V 11 [55	5.4862] 🗸	
		J
	line and the second sec	

Figura 208. Resultado isovalores pórtico 2 CYPE.

En ambos casos el factor multiplicador de los desplazamientos es 10.

El isovalor de pandeo obtenido y que me interesa ya que pandea dentro del plano es 55.4862 para la combinación de cargas que estamos estudiando.

## SAP 2000:

Deformed Shape (PP+V+N) - Mode 1; Factor 47,10102



Figura 209. Resultado isovalores pórtico 2 SAP2000.

En SAP 2000 el resultado de isovalor obtenido es 47,10102.

Este valor obtenido significa que, con la combinación de cargas y sus coeficientes multiplicadores, la estructura soportaría 55.4862 veces esa carga en el caso de CYPE y 47.10102 en el caso de SAP 2000.Son valores similares, pero se alejan un poco entre un programa y otro a diferencia del segundo caso de estudio.

# CAPÍTULO 6. CONCLUSIONES.

## 6.1- CONCLUSIONES FINALES.

Para el **primer caso de estudio**, en el que la estructura es una **barra rígida** de longitud 20 metros con apoyos fijos en los extremos con la carga "Sobrecarga de uso" uniforme y de valor 6kN/m. La conclusión del estudio es que los resultados obtenidos tanto en reacciones y desplazamientos como en esfuerzos son iguales prácticamente, por lo tanto, sería indiferente estudiarlo con uno u otro software. En este primer caso no se ha estudiado a pandeo ya que la barra está sometida a flexión únicamente y por lo tanto, no va a pandear.

Para el **segundo caso de estudio**, en el que la estructura es un **pórtico rígido** a dos aguas biempotrado con la **carga** "**Sobrecarga de uso**" uniforme y de valor 6kN/m. La conclusión del estudio es que los resultados obtenidos tanto en reacciones y desplazamientos como en esfuerzos son muy parecidos, por lo tanto, sería indiferente estudiarlo con uno u otro software. En este segundo caso se ha estudiado el pandeo, ya que las barras que forman el pórtico están sometidas a compresión y los valores obtenidos han sido iguales, eso indica que es indiferente utilizar un software u otro.

Para el **tercer caso de estudio**, en el que la estructura es un **pórtico rígido** a dos aguas biempotrado **con las cargas de viento**, **nieve y peso propio**. La conclusión del estudio es que los valores de reacciones, esfuerzos y coeficientes de pandeo son parecidos, pero se distancian más que en los casos anteriores y esto se explica por el método de cálculo de cada programa. Para el estudio de pandeo, en CYPE podemos definir el comportamiento de la estructura frente al pandeo lateral y pandeo mientras que en SAP 2000 lo considera automáticamente.

Como se puede observar ambos softwares son compatibles para realizar un estudio de una estructura sencilla ya que los resultados obtenidos son muy similares, pero cuando la estructura y cargas son más compleja los resultados que se obtienen se diferencian y por tanto, se tendría que decidir teniendo en cuenta si se quiere utilizar un programa más o menos restrictivo.

## 6.2- LÍNEAS DE MEJORA.

Una posible mejora para obtener un cálculo más preciso y realista del pórtico de una nave industrial sería crear cartelas y definir correctamente los diferentes tipos de uniones entre pilar y dintel.

Otra posible mejora para realizar un cálculo más preciso sería definir el tipo de zapata de cimentación de la hipotética nave de estudio según el tipo de terreno donde se va a edificar.

Estas opciones serían viables a estudiar en ambos programas de cálculo.

En SAP 2000 se puede definir el elemento cartela, pero no se puede definir la unión, pero en CYPE se pueden definir tanto la cartela como la unión.

Una última posible mejora podría ser hacer el estudio completo de la nave industrial, conjunto de pórticos y estudiar su comportamiento a las diferentes cargas aplicadas.

## 6.3-CONSIDERACIONES ADICIONALES.

El desplazamiento y el pandeo fuera del plano de trabajo de las estructuras a estudiar está impedido.

El estudio se ha realizado con un material metálico, se podría realizar un estudio de las mismas estructuras con otros materiales, como pueden ser hormigón o madera...

Se podría hacer un estudio con otros programas de cálculo de estructuras (ETABS, Tekla Structures...)

Se podría realizar un estudio económico de cada estructura a estudiar.

## **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS:**

[1] "Avial Azcunaga, Fernando Rodríguez. Construcciones metálicas. s.l. : Bellisco ediciones."

[2] "CYPE 2008: Cálculo de estructuras metálicas con Nuevo Metal 3D" Antonio Manuel Reyes. Ed: Anaya Multimedia. 2008.

[3] "La estructura metálica de hoy" Ramón Argüelles Álvarez. Ed: Librería Técnica Bellisco 1975-1987.

[4] "Estructuras metálicas para edificación: adaptado al CTE" Jose Monfort Lleonart. Ed UPV. 2006

[5] "Análisis y diseño de estructuras con SAP 2000 v15". Ed. Macro

[6] "Spain, CSi. CSi Spain SAP2000. CSi Spain SAP2000. [En línea] CSi Spain, 2020. https://www.csiespana.com/software/2/sap2000." (09/09/2024)

[7] "EC-3. (2013). Eurocódigo 3. Norma UNE-EN 1993-1-1 *Proyecto de estructuras de acero. Parte1-1: Reglas generales y reglas para edificios.* Madrid: AENOR."

[8] https://skyciv.com/es/docs/tutorials/load-tutorials/types-of-loads/ (06/09/2024)

[9] "Cálculo de aplicaciones reales con metal 3D". Editor: Antonio Madrid Vicente

[10] "Estructuras de acero. Tomo 5-Naves industriales" J.Fernández Diezma, R.Argüelles Bustillo.