

CURSO DE CONSTRUCCIÓN DE ESTRUCTURA METÁLICA CON NUEVO METAL 3D



**Aplicación práctica a nave almacén
con forjado para oficinas y puente grúa**

ÍNDICE

MODULO 1.	INTRODUCCIÓN	12
1 1.	Utilización de acero en estructuras de edificación	13
1 2.	Bases de cálculo.....	17
1 3.	El Predimensionamiento	19
MODULO 2.	DESCRIPCIÓN DE LA OBRA	21
2 1.	Situación	21
2 2.	Las Acciones.....	22
MODULO 3.	GENERADOR DE PÓRTICOS	28
3 1.	Datos generales de la obra	34
3 2.	Muro perimetral	42
3 3.	Diseño y cálculo de correas	45
3 4.	Exportación a Nuevo METAL 3D.....	52
MODULO 4.	GEOMETRÍA DE LA NAVE.....	54
4 1.	Geometría de arriostramiento de la nave. Cruces San Andrés.	55
4 2.	Geometría del forjado de oficinas.	66
4 3.	Geometría de las ménsulas. Puente grúa.	68
MODULO 5.	NUDOS Y UNIONES.....	72
5 1.	Uniones. Métodos de resolución. Uniones soldadas.	73
5 2.	Nudos de la estructura. Tipo y detalles constructivos.	77
MODULO 6.	BARRAS Y PREDIMENSIONAMIENTO.....	87
6 1.	Creación de grupos de barras.....	88
6 2.	Predimensionamiento de barras.....	92

6 3.	Condiciones de contorno de las barras, material y disposición..	100
MODULO 7.	PANDEO DE BARRAS Y LIMITACIÓN DE FLECHAS	107
7 1.	Pandeo global. Conceptos teóricos.....	108
7 2.	Pandeo global. Asignación a barras.....	115
7 3.	Pandeo Lateral. Conceptos teóricos.....	123
7 4.	Pandeo lateral. Asignación a barras.....	127
7 5.	Limitación de flechas.....	130
MODULO 8.	CARGAS. CÁLCULO E IMPLEMENTACIÓN.....	135
8 1.	Combinaciones de acciones.....	135
8 1.	Acciones no consideradas.....	139
MODULO 9.	CÁLCULO Y REDIMENSIONADO.....	158
9 1.	Cálculo, comprobación y rediseño de barras. Método de la rigidez.	158
9 2.	Cálculo, comprobación y rediseño de nudos.....	176
MODULO 10.	CIMENTACIÓN Y PLACAS DE ANCLAJE	185
10 1.	Base geotécnica	186
10 2.	Tipologías de cimentaciones	192
10 3.	Cálculo de la cimentación.....	194
MODULO 11.	ANEJOS DE PROYECTO.....	208
11 1.	Planos.....	209
11 2.	Listados.....	214

FIGURAS

Figura 1.1: Vista general de la estructura de una nave almacén.....	13
Figura 1.2: Estructura de nave almacén hecho con prefabricados de hormigón.	14
Figura 1.3: Estructura metálica salvando una gran luz.....	16
Figura 1.4: Elementos estructurales que trabajaran a compresión por excelencia.	18
Figura 2.1: Naves industriales en el polígono de Las Quemadas (Córdoba).	22
Figura 2.2: Pilar recubierto protección contra fuego.	28
Figura 3.1: Cuadro inicial de nueva obra en el módulo de generación de pórticos.....	29
Figura 3.2: Vista frontal de un pórtico tipo.	30
Figura 3.3: Pórticos resueltos con cerchas.....	31
Figura 3.4: Cuadro del editor de pórticos a dos aguas.....	32
Figura 3.5: Cuadro inicial de nueva obra en el módulo de generación de pórticos.....	33
Figura 3.6: Cuadro inicial de nueva obra en el módulo de generación de pórticos.....	35
Figura 3.7: Tabla del CTE de valores característicos de la sobrecarga de uso.	36
Figura 3.8: Disparidad de huecos de fachada.....	38
Figura 3.9: Esquema de introducción de datos y acotación de huecos.....	39
Figura 3.10: Cuadros de diálogo para el cálculo de la sobrecarga de viento.....	40
Figura 3.11: Cuadro de diálogo para el cálculo de la sobrecarga de nieve.	41
Figura 3.12: Cuadro de diálogo de los datos generales de la obra ya cumplimentado.	42
Figura 3.13: Muro lateral de la estructura conformado de placas de hormigón.....	43
Figura 3.14: Cuadro de diálogo del muro lateral y su efecto en el esquema del pórtico.	44
Figura 3.15: Disposición general de las correas de cubierta.....	45
Figura 3.16: Diagramas flectores para vigas biapoyadas y continuas de 2 vanos.	46

Figura 3.17: Correa de cubierta tipo ZF y fijación rígida mediante soldadura.	47
Figura 3.18: Resultado del dimensionamiento de las correas de cubierta.	49
Figura 3.19: Comprobación definitiva de las correas de cubierta.	50
Figura 3.20: Esquema final del pórtico maestro.	51
Figura 3.21: Disposición general de correas ZF de cubierta en nave.	51
Figura 3.22: Cuadro de opciones de exportación a Nuevo Metal 3D.	52
Figura 4.1: Vista general 3D del conjunto de pórticos.	54
Figura 4.2: Mosaico vertical de las distintas vistas del proyecto.	56
Figura 4.3: Pilares de muro piñón y acotado básico.	58
Figura 4.4: Vista real de los pilares auxiliares del muro piñón.	58
Figura 4.5: Vigas de arriostamiento entre pórticos.	59
Figura 4.6: Vigas de arriostamiento longitudinal de la nave (entre pórticos).	60
Figura 4.7: Esquema de momentos flectores en los pórticos vistos transversalmente según una carta puntual en cabecera.	61
Figura 4.8: Ejemplo de cruces de San Andrés ejecutadas con tirantes (izquierda) y perfiles comerciales (derecha).	63
Figura 4.9: Detalle estructural del cruce de dos perfiles comerciales.	64
Figura 4.10: Funcionamiento de los tirantes de una cruz de San Andrés.	64
Figura 4.11: Estructura con cruces de San Andrés.	65
Figura 4.12: Estructura con cruces de San Andrés.	66
Figura 4.13: Geometría del forjado de oficinas.	67
Figura 4.14: Vista general de la estructura de un pequeño forjado para oficinas.	68
Figura 4.15: Ficha técnica del puente grúa birraíl ZTK de 5 Tn de ABUS.	70

Figura 4.16: Resultado final de la geometría de la nave industrial con forjado para oficinas y puente grúa.....	72
Figura 4.17: Ejemplos reales de ménsulas. A la izquierda ménsula sin cartela y a la derecha ménsula con cartela.....	72
Figura 5.1: Ejemplos reales de uniones atornilladas y soldadas.....	74
Figura 5.2: Esquema de un cordón de soldadura. Parámetros.....	75
Figura 5.3: Tensiones de garganta en el plano de garganta.....	75
Figura 5.4: Ejemplo de distribución de tensiones.....	76
Figura 5.5: Cordones de soldadura en los rigidizadores base de varios pilares.....	77
Figura 5.6: Cuadro de diálogo de vinculación exterior.....	78
Figura 5.7: Empotramiento en placa de anclaje con cartelas rigidizadoras.....	79
Figura 5.8: Unión soldada de un empotramiento viga-pilar.....	80
Figura 5.9: Unión soldada de un empotramiento pilar-viga.....	81
Figura 5.10: Unión soldada de un empotramiento viga-pilar con cartela.....	82
Figura 5.11: Unión soldada en cumbrera sin y con cartelas rigidizadoras.....	83
Figura 5.12: Cuadro de diálogo de vinculación interior.....	84
Figura 5.13: Cuadro de diálogo de vinculación exterior de los pilares auxiliares.....	85
Figura 5.14: Funcionamiento de los pilares auxiliares.....	85
Figura 5.15: Unión articulada viga-pilar.....	86
Figura 6.1: Agrupación de barras pilar de los pórticos intermedios.....	89
Figura 6.2: Grupo G1 de barras pilar de los pórticos intermedios.....	90
Figura 6.3: Cuadro de diálogo del submenú para crear piezas.....	91
Figura 6.4: Agrupación final de barras de la estructura.....	92

Figura 6.5: Ejemplo de cálculo los momentos de inercia principales I_x e I_y .	94
Figura 6.6: Cuadro de diálogo de descripción de perfiles.	95
Figura 6.7: Predimensionado de pilares y dinteles de pórticos interiores.	96
Figura 6.8: Placas alveolares de hormigón de cerramiento. Detalle y colocación.	97
Figura 6.9: Colocación del cerramiento de hormigón. Camión, grúa y carro elevador.	98
Figura 6.10: Cuadro de diálogo de descripción de los tirantes.	99
Figura 6.11: Predimensionamiento completo de la estructura.	100
Figura 6.12: Cuadro de diálogo de empotramiento en extremos.	101
Figura 6.13: Condiciones de contorno de las barras definidas.	102
Figura 6.14: Cuadro de diálogo de descripción del tipo de material.	103
Figura 6.15: Cuadro de diálogo de descripción del tipo de material.	105
Figura 6.16: Detalle de la disposición de los pilares auxiliares.	106
Figura 6.17: Vista Render 3D de nuestra superestructura predimensionada.	107
Figura 7.1: Cálculo de la carga crítica de Euler.	108
Figura 7.2: Ejemplo de modos de pandeo en una barra biapoyada.	109
Figura 7.3: Coeficiente de pandeo y formula general de la carga crítica.	110
Figura 7.4: Tabla y curvas de pandeo.	112
Figura 7.5: Cuadro de diálogo de asignación de coeficientes de pandeo.	116
Figura 7.6: Deformada senoidal entre correas del dintel de cubierta central.	117
Figura 7.7: Cuadro de diálogo de asignación de coeficientes de pandeo. Eje xz.	118
Figura 7.8: Ejemplo del pilar de esquina con pletinas de arriostramiento.	119
Figura 7.9: Ejemplo del pilar de esquina con pletinas de arriostramiento 2.	120
Figura 7.10: Corrección del coeficiente de pandeo global.	122

Figura 7.11: Coeficientes de pandeo global de la estructura.	123
Figura 7.12: Detalle de tornapuntas de arriostramiento del pandeo lateral en los dinteles.....	128
Figura 7.13: Disposición de tornapuntas de arriostramiento del pandeo lateral en los dinteles.	129
Figura 7.14: Asignación de longitudes de pandeo lateral para los dinteles.	130
Figura 7.15: Asignación de la flecha límite a los dinteles de los pórticos centrales.....	132
Figura 7.16: Limitación de la flecha en los dinteles de los pórticos centrales.	133
Figura 7.17: Limitación de la flecha en todas las barras de la estructura.....	134
Figura 8.1: Esquema de las combinaciones de acciones persistentes.	136
Figura 8.2: Esquema de las combinaciones de acciones extraordinarias.	137
Figura 8.3: Esquema de las combinaciones de acciones sísmicas.	137
Figura 8.4: Tablas de coeficientes para combinaciones de acciones.	138
Figura 8.5: Asignación del sistema de unidades al proyecto.	140
Figura 8.6: Asignación del sistema de unidades al proyecto.	140
Figura 8.7: Peso propio sobre las barras de la estructura.	141
Figura 8.8: Introducción de cargas sobre barras.	142
Figura 8.9: Peso lineal del cerramiento sobre dintel de puerta.	143
Figura 8.10: Cargas del cerramiento sobre la cimentación.....	144
Figura 8.11: Modificación de la escala de visualización de cargas.....	145
Figura 8.12: Cuadro de diálogo de Hipótesis adicionales.....	146
Figura 8.13: Cuadro de diálogo de Categorías de uso.....	147
Figura 8.14: Nueva Hipótesis en sobrecarga de uso B.	147
Figura 8.15: Nuevo paño sobre el forjado de oficinas.	148
Figura 8.16: Cuadro de diálogo de Cargas en paño.	149

Figura 8.17: Sobrecarga de uso B sobre forjado de oficinas.	150
Figura 8.18: Esquema de las hipótesis de carga del puente grúa.	153
Figura 8.19: Hipótesis de sobrecarga de uso del puente grúa.	154
Figura 8.20: Introducción de carga máxima sobre ménsulas.	155
Figura 8.21: Cargas máximas sobre ménsulas.	155
Figura 8.22: Cargas máximas sobre ménsulas.	156
Figura 8.23: Primera hipótesis de carga del puente grúa.	157
Figura 9.1: Cuadro de diálogo del submenú Cálculo.	158
Figura 9.2: Cuadro de diálogo del proceso de cálculo.	160
Figura 9.3: Esquema de funcionamiento del método de la rigidez.	161
Figura 9.4: Esquema de funcionamiento del método de la rigidez.	163
Figura 9.5: Aplicación de protección contra incendio a estructura metálica.	164
Figura 9.6: Comprobación de barras.	165
Figura 9.7: Comprobación de los dinteles de los pórticos centrales.	166
Figura 9.8: Envolvente tensional en el pórtico intermedio.	167
Figura 9.9: Asignación de cartelas para los dinteles.	168
Figura 9.10: Comprobación satisfactoria de solicitaciones en el dintel central.	169
Figura 9.11: Parque de obra.	170
Figura 9.12: Comprobación de barras en el muro piñón 1.	171
Figura 9.13: Comprobación de barras en la estructura.	174
Figura 9.14: Comprobación primer grupo cruces de San Andrés.	175
Figura 9.15: Resultado final con todas las barras calculadas.	176
Figura 9.16: Cuadro de diálogo del menú Cálculo de uniones.	177

Figura 9.17: Vista general de la mayoría de los nudos de la estructura.....	178
Figura 9.18: Vista general de la mayoría de los nudos de la estructura.....	179
Figura 9.19: Detalle de resolución de un nudo de la estructura.	180
Figura 9.20: Vista general de la mayoría de los nudos de la estructura.....	181
Figura 9.21: Detalle de la no resolución de un nudo de la estructura.	182
Figura 9.22: Detalle del nudo de la jácena correctamente resuelto.	183
Figura 9.23: Vista general de la estructura con todas las uniones calculadas.	184
Figura 10.1: Cimentación y terreno portante de una estructura metálica.	185
Figura 10.2: Ensayo proctor.....	188
Figura 10.3: Ángulo de rozamiento.....	189
Figura 10.4: Ensayo de placa de carga.....	190
Figura 10.5: Ensayo de placa de carga.....	190
Figura 10.6: Carga admisible mediante gráfica del SPT.	191
Figura 10.7: Tabla de asignación de tipos de cimentación.....	193
Figura 10.8: Tipología de cimentaciones.....	194
Figura 10.9: Cuadro de diálogo de datos generales de cimentación.	195
Figura 10.10: Tabla de valores de carga admisible del tipo de terreno.	196
Figura 10.11: Tabla de valores de carga admisible del tipo de terreno.	198
Figura 10.12: Detalle de la colocación de una placa de anclaje en la cimentación.	199
Figura 10.13: Cuadro de diálogo de los elementos de cimentación.....	200
Figura 10.14: Submenú de zapatas de hormigón armado.....	201
Figura 10.15: Vista general del replanteo de zapatas.....	201
Figura 10.16: Viga con centrado automático en extremos. Detalles.....	202

Figura 10.17: Replanteo de las zapatas y las vigas de cimentación.....	203
Figura 10.18: Cuadro de diálogo del dimensionamiento de la cimentación.	204
Figura 10.19: Primera vista general de la cimentación calculada.....	204
Figura 10.20: Opciones de cálculo de las zapatas aisladas.	205
Figura 10.21: Sobrecarga por compactación.	206
Figura 10.22: Elementos de cimentación calculados e igualados.	207
Figura 10.23: Zapata y viga de atado ejecutadas.....	207
Figura 10.24: Cimentación por zapadas y vigas de atado terminada y ejecutada.....	208
Figura 10.25: Render general de la estructura calculada.....	208
Figura 11.1: Cuadro de diálogo de incidencias.	210
Figura 11.2: Submenú de edición de planos.....	210
Figura 11.3: Selección de planos.	211
Figura 11.4: Composición de planos.....	212
Figura 11.5: Edición del nombre y ubicación de ficheros.	213
Figura 11.6: Vista de planos en programa de CAD.....	213
Figura 11.7: Edición de listados de la estructura.....	214
Figura 11.8: Vista previa listado.	215
Figura 11.9: Vista final listados de obra.....	216

MODULO 1. INTRODUCCIÓN

CYPE METAL 3D y CYPECAD en general no saben de estructuras, no toman decisiones de diseño ni construcción. Este software no es sino una herramienta que ayuda a los técnicos cualificados a resolver estructuras ahorrando en coste de cálculo. Por lo tanto, nuestras decisiones en cuanto a la elección de particularidades estructurales, como son las secciones de los elementos, la resolución de nudos o las cimentaciones y sus apoyos, serán cruciales para el éxito del proyecto que nos propongamos, recayendo la responsabilidad final sobre nosotros, el técnico. Partiendo de una solución inicial dada por el personal cualificado que lo maneje, este software es capaz, mediante iteraciones, de proporcionar información de validación sobre los elementos estructurales o de llegar a una solución óptima de diseño, guardando todas las premisas iniciales.

Sin embargo, no podemos esperar que alguno de los módulos que implementa el programa, METAL 3D en el caso que nos incumbe en este curso, nos proporcione tal información o llegue a una solución óptima cualquiera que sea la solución inicial. Llegados a este punto es fundamental resaltar la importancia de el predimensionamiento estructural. Un predimensionamiento correcto hará que obtengamos una respuesta del programa en su fase de cálculo mucho más eficiente en términos de duración de proceso. Hacer este último en defecto, quedándose muy lejos la solución inicial de la final o finales (pues una única estructura puede resolverse de muchas y diversas maneras, todas ellas a elección del técnico cualificado), hará que el programa solicite mucho más tiempo de cálculo, o incluso reporte algún fallo, lógicamente dependiendo

de las características de la máquina que lo ejecute. Por otro lado, hacer el predimensionamiento en exceso, pasándonos de la solución óptima y disponiendo una solución que derroche material y, por tanto, dinero, puede hacer que elijamos finalmente una solución no óptima para nuestro proyecto, encareciéndolo y haciendo menos competitivo en el mercado (por ejemplo, en caso de un concurso público en el que se presenta más de un facultativo o empresa).



Figura 1.1: Vista general de la estructura de una nave almacén.

1.1. Utilización de acero en estructuras de edificación

Desde el último tercio del siglo XIX ha venido utilizándose el acero para la ejecución de estructuras de edificios. En España se utilizó mucho durante el primer

tercio del siglo XIX. Desde esa fecha la escasez de acero hizo que se emplease menos en edificación. A partir de 1957 el aumento en la producción de acero hizo que se volviese a emplear mucho, sobre todo durante los años 60. Sin embargo, actualmente han sido desplazadas por el empleo generalizado del hormigón armado, cuyo avance tecnológico ha conseguido abaratar sus costes con respecto a las estructuras de acero. Un ejemplo de esto lo constata las estructuras prefabricadas de hormigón (figura 1.2).



Figura 1.2: Estructura de nave almacén hecho con prefabricados de hormigón.

No obstante, la construcción con acero presenta una serie de ventajas que la hacen competitiva en ciertos aspectos:

- i. Son estructuras que ocupan poco espacio: soportes y vigas son de menores dimensiones (como se aprecia en la estructura diáfana de la figura 1.1).
- ii. Las estructuras metálicas avisan, al adquirir grandes deformaciones antes del colapso.
- iii. El acero es un material homogéneo, y la posibilidad de fallos humanos es mucho más reducida que en estructuras construidas con otros materiales.
- iv. Las estructuras metálicas no padecen fenómenos reológicos que hayan de tenerse en cuenta, manteniendo indefinidamente sus magníficas propiedades.
- v. Las estructuras metálicas admiten reformas, con refuerzos en general sencillos y rápidos.
- vi. Se construyen deprisa, requiriendo menos mano de obra, lo cual constituye un ahorro económico importante.
- vii. Las estructuras metálicas producen un último beneficio a la hora de demolerlas: su valor residual.

Estas estructuras se utilizan fundamentalmente en soluciones con grandes luces o cargas y espacios mínimos, como por ejemplo la estructura de la figura 1.3.

No son adecuadas en los siguientes casos:

- 1) En zonas de atmósfera agresiva (corrosión del acero).
- 2) En edificios con carga de fuego (almacenes, pues afecta en demasía a los nudos).

Sin embargo, tomando medidas de protección contra fuego se puede tomar la excepción, como es el hecho del caso que nos incumbe.

- 3) En zonas con cargas sísmicas importantes (deben colaborar con otros elementos de hormigón, como pantallas antisísmicas, a no ser que la estructura sea de una o dos plantas, como es el caso de las naves industriales).



Figura 1.3: Estructura metálica salvando una gran luz.

No obstante, el mayor inconveniente para su utilización generalizada es su coste, aproximadamente un 30% más caras que las estructuras de hormigón.

1.2. Bases de cálculo

Para el cálculo de estas estructuras en edificación es preceptivo el empleo del Código Técnico de la Edificación, en su documento DB-SE A Acero, del Eurocódigo 3 para ciertos aspectos y de la instrucción de acero estructural EAE.

En dichas normativas se establecen los tipos de acero utilizados en edificación:

- i. S235, de límite elástico 235 N/mm² y límite de rotura 360 N/mm².
- ii. S275, de límite elástico 275 N/mm² y límite de rotura 410 N/mm².
- iii. S355, de límite elástico 355 N/mm² y límite de rotura 470 N/mm².
- iv. S450, de límite elástico 450 N/mm² y límite de rotura 550 N/mm².

Igualmente, en las tablas 1 y 2 del CTE DB-SE de Seguridad General se encuentran recogidos los coeficientes de mayoración de acciones y coeficientes de simultaneidad respectivamente. Los coeficientes de minoración los proporciona el CTE DB-SE A en la tabla 3.

Es muy importante realizar un cálculo tensional, calculando la tensión de comparación según el Criterio de Von Mises:

$\sigma_{comp} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2}$, tensión que no debe superar el límite elástico del material. En piezas sometidas a compresión (pilares fundamentalmente) se realizará un cálculo global a pandeo de la pieza. En el cálculo de la estructura habrá que prestar especial atención a aquellas hipótesis de cálculo que hagan trabajar a determinadas piezas a compresión (figura 1.4), ya que pueden agotarlas mucho antes que para otras hipótesis, a priori más desfavorables, donde las mismas piezas trabajan a tracción. Por otra parte, en piezas comprimidas hay que tener en cuenta que una pieza puede pandear según dos

planos en planta, donde los radios de giro pueden ser muy diferentes, y habrá que comprobar ambos planos de pandeo. En aquellas partes comprimidas de las piezas (almas y alas comprimidas) se realizará una comprobación de abolladura, disponiendo donde sea necesario rigidizadores transversales y longitudinales. Dado que estas estructuras son muy flexibles, se deberán comprobar las flechas en vigas y forjados, ya que una excesiva deformación puede dañar los elementos no estructurales del edificio (cerramientos, tabiques, revestimientos, solerías, etc.). Otro aspecto importante es el dimensionamiento de las uniones, que pueden ser soldadas o atornilladas, aunque lo convencional, como veremos en el desarrollo de este curso, son las uniones soldadas.



Figura 1.4: Elementos estructurales que trabajaran a compresión por excelencia.

1.3. El Predimensionamiento

En la literatura podemos encontrar distintos métodos de predimensionamiento, la mayoría de ellos basados en la experiencia personal de muchos técnicos que, a lo largo de los años, han ido unificando sus experiencias. Según el tipo de estructura y de materiales utilizados en ella, estos métodos se encuentran más o menos generalizados y, por tanto, usados en la vida real. Por ejemplo, el método de predimensionamiento de vigas y pilares de hormigón armado para edificación se encuentra en la actualidad muy extendido y posee una amplia aceptación por parte de la comunidad estructural. Este método se basa en establecer las dimensiones del canto y anchura de las vigas, así como las dimensiones en planta del pilar, dependiendo de la planta en la que estemos predimensionando, del número de plantas del edificio en cuestión, de la ductilidad del edificio (deducida a partir de la rigidez de la misma que depende mucho de las soluciones de sus nudos), etc.

El predimensionamiento de vigas y pilares de estructura metálica no atiende a ningún método establecido mediante la lógica o la experiencia. Tradicionalmente este se ha basado y se basa en un pequeño cálculo conociendo las acciones que provocan los esfuerzos principales. Así, dependiendo del elemento del que estemos hablando tendremos:

- ❖ Vigas: se asume que las vigas trabajan predominantemente a flexión simple. Dado un tipo de perfil (perfil I, perfil H o perfil U, entre otros) se comprueba la resistencia y la rigidez a partir del máximo momento flector, a través de la siguiente relación:

$$W_f \geq \frac{M_f}{\sigma_{adm}}$$

donde W_f es el momento resistente, M_f el momento flector máximo sobre la viga y σ_{adm} la tensión admisible del material de la viga. Escogido el tipo de perfil, con el momento resistente se entra en las tabla de la serie de perfiles de la misma forma y se elige aquel que satisfaga el momento resistente.

- ❖ Pilares: se asume que estos elementos trabajan principalmente a esfuerzo normal. Suponiendo axil centrado N y esbeltez inferior a 100, el área transversal A del pilar debe cumplir la siguiente relación:

$$\frac{N}{\chi_{max}\sigma_{adm}} \geq A \geq \frac{N}{\sigma_{adm}}$$

donde χ_{max} es el coeficiente de reducción resistente por pandeo y es aproximadamente 0.15. Obteniendo los dos límites y designando un tipo de perfil, entramos en la tabla correspondiente del tipo de perfil y elegimos cuya área cumpla la relación anterior.

Sin embargo, en la práctica no se utiliza mucho este tipo de predimensionamiento y se recurre la experiencia y/o al sentido común del técnico proyectista. En el caso práctico de este curso utilizamos este último como método para predimensionamiento de los elementos estructurales que conforman la nave industrial con forjado para oficinas y puente grúa.

MODULO 2. DESCRIPCIÓN DE LA OBRA

El ejemplo de cálculo que se implementa dentro de este curso se corresponde con el diseño de una nave industrial al uso, con tres huecos/puertas de entrada que hacen a la estructura asimétrica, forjado para oficinas a un lateral transversal de la misma y un puente grúa cuyas ménsulas serán las que entren en el cálculo. Las dimensiones de la nave industrial en planta serán de cuarenta metros de longitud por veinte metros de anchura . Sobre esta planta se pueden disponer muchos tipos de resolución de nuestra estructura, tantos como necesidades diferentes tenga nuestro promotor. Así, por ejemplo, los dinteles de los pórticos se pueden resolver mediante cerchas, perfiles de sección constante o perfiles de sección variable, la inclinación de la cubierta podrá variar entre el 20% y el 30% dependiendo de las exigencias climáticas de la zona (una cubierta con más pendiente evacúa mejor el agua/nieve, pero también recibe mayor carga de viento), etc. La solución estructural elegida definitivamente en este curso se justifica por su sencillez y por las características de la zona de situación.

2.1. Situación

La obra se encontrará situada en el polígono industrial Las Quemadas, al norte de la provincial de Córdoba, situado frente al nuevo campus de Rabanales de la Universidad de Córdoba (como las del ejemplo de la figura 2.1). Los terrenos sobre los que se asentará la estructura son del tipo Fluvisoles, correspondientes a depósitos coluviales en terraza del río Guadalquivir, formados por el mismo y sus afluentes. los

Fluvisoles del Guadalquivir son morfológicamente terrazas llanas, cuya altitud con respecto al nivel del río es por lo general menor de veinte metros. Edafológicamente hablando estos suelos presentan un perfil general AC o ABC poco diferenciado. Son suelos profundos, de color pardo o pardo oscuro, franco arenosos, de estructura grumosa, porosos, permeables, friables en húmedo y sueltos en seco. Como veremos más adelante, una descripción meticulosa de las características del suelo sobre el que se edificará es fundamental para el cálculo de la cimentación.



Figura 2.1: Naves industriales en el polígono de Las Quemadas (Córdoba).

2.2. Las Acciones

Las cargas de una estructura se pueden clasificar como:

22 ACADEMIA INGNOVA. CURSO ONLINE DE CONSTRUCCIÓN DE ESTRUCTURA METÁLICA CON NUEVO METAL 3D. APLICACIÓN PRÁCTICA A NAVE ALMACÉN CON FORJADO PARA OFICINAS Y PUENTE GRÚA

- ❖ Acciones gravitatorias, que se dividen a su vez en:
 - ◆ Permanentes: pesos propios estructurales y cargas muertas.
 - ◆ Sobrecargas: sobrecargas de uso y nieve.
- ❖ Viento
- ❖ Acciones térmicas y reológicas (en el caso de la estructura metálica obviamos esta última)
- ❖ Acciones sísmicas
- ❖ Acciones del terreno (presiones del terreno en cimentación y empujes de tierras sobre muros)
- ❖ Fuego

Para determinar las acciones que actuarán sobre nuestra nave almacén seguiremos las especificaciones recogidas en el Código Técnico de la Edificación (CTE), en concreto la parte denominada "CTE-DB SE-AE Acciones en la Edificación", excepto para determinar acciones sísmicas, ya que se utiliza la "Norma de Construcción Sismorresistente: Parte general y Edificación", del año 2002 (NCSE-02). Así mismo acudiremos al "CTE-DB SE-C" para las acciones del terreno, al "CTE-DB SI" para el fuego, y al "CTE-DB SE" para establecer la combinación de acciones.

Referente a este último apartado de CTE se establece una serie de combinaciones de cálculo donde se considera la simultaneidad de acciones. Fundamentalmente se consideran 3 hipótesis de combinación de acciones, todas ellas recogidas en los algoritmos de resolución del módulo CYPE METAL 3D:

- Hipótesis I: situación persistente o transitoria (combina las acciones permanentes + una acción variable (las variables pueden ser: sobrecargas gravitatorias, térmicas, reológicas, acciones del terreno y viento).
- Hipótesis II: situación extraordinaria (combina las acciones permanentes + todas las variables antes mencionadas, afectadas con ciertos coeficientes parciales, más una acción accidental que no sea el sismo).
- Hipótesis III: situación sísmica (combina las acciones permanentes + todas las variables antes mencionadas, afectadas con ciertos coeficientes parciales, más la acción sísmica).

a) Acciones Gravitatorias

Las acciones gravitatorias las podemos desglosar en tres grupos:

- ◆ Peso propio de los elementos estructurales: son los pesos de todos los elementos que componen la estructura, tales como pilares, vigas, forjados, etc. El peso de estos elementos lo generará automáticamente el programa, por lo que no debemos preocuparnos del mismo.
- ◆ Cargas permanentes: engloban los acabados de suelos y techos, forjados, cerramientos exteriores y cerramientos interiores. Para determinar las cargas permanentes deberemos consultar las tablas C.1 - C.6 del Anejo C del CTE-DB SE-AE Acciones en la Edificación.

Así se definen las siguientes cargas permanentes de la estructura:

- Peso propio del forjado de viguetas unidireccionales de hormigón del forjado de oficinas (25cm + 5cm de cubrición):
 5 KN/m^2
 - Solería (<0.08m): 1 KN/m^2
 - Material de cubrición (panel sándwich de 80 mm):
 0.24 KN/m^2
- ◆ Sobrecargas de uso: el CTE establece las sobrecargas de uso en edificación en la Tabla 3.1 del DB SE-AE Acciones en la Edificación, para distintos tipos de edificios. Entrando en la tabla se definen las siguientes sobrecargas de uso para la estructura:
- La zona del forjado de oficinas tendrá una sobrecarga de uso de valor 2 KN/m^2 correspondiente a la categoría de uso B (zonas administrativas).
 - La cubierta será transitable, pero solo para mantenimiento. Por ello, la sobrecarga de uso será 0.4 KN/m^2 correspondiente a la categoría de uso G1 (cubiertas accesibles únicamente para mantenimiento, no concomitante con el resto de acciones variables).

b) Acciones del Viento

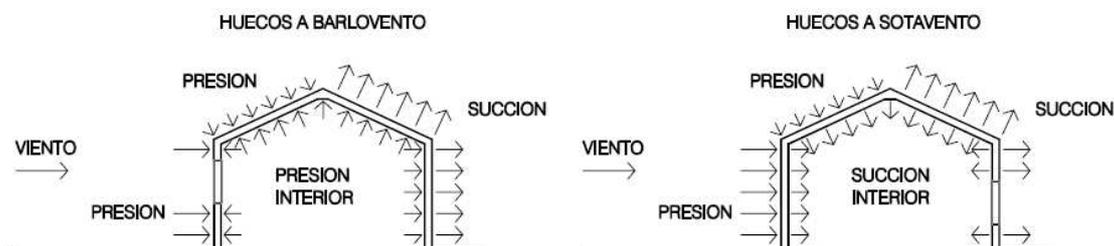
El Código Técnico de la Edificación en el DB SE-AE trata edificaciones situadas a menos de 2.000 metros de altitud. Los efectos dinámicos del viento son

despreciables con esbelteces menos de 6 (esbeltez=altura del edificio/lado menor en planta del edificio).

El viento en los edificios se calcula como una acción perpendicular a la superficie expuesta de las fachadas y/o cubiertas. Por tanto, el CTE define la presión estática q_e como:

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

donde q_b es la presión dinámica del viento; en España puede tomarse 0.5 KN/m^2 . c_e es el coeficiente de exposición, variable con la altura y el entorno del edificio. En edificios urbanos de hasta 8 plantas puede tomarse un valor constante igual a 2. Para otros casos hay que consultar los valores del coeficiente de exposición en la Tabla 3.3 del apartado del CTE antes citado. Por último, c_p es el coeficiente eólico (habrá uno de presión y otro de succión, tabla 3.4 del DB SE-AE en función de la esbeltez del edificio). En función de la situación de los huecos en nuestra estructura, los pórticos se encontrarán sometidos a presiones tales como:



En nuestro caso de cálculo particular CYPE METAL 3D implementa todo el cálculo de acciones del viento. Simplemente debemos indicar la zona en la que se

encuentra nuestra estructura (atendiendo a un mapa proporcionado por CYPE) y el tipo de zona dependiendo del uso de la construcción y de la zona que lo rodea.

c) Acciones Térmicas

El Código Técnico de la Edificación en su Artículo 3.4 indica que no es necesario considerar las acciones térmicas en las estructuras formadas por pilares y vigas cuando se disponen juntas de dilatación a una distancia adecuada. En estructuras ordinarias de edificación de acero laminado una distancia adecuada son 40 m. Aunque no lo dice el CTE, esta distancia podría aumentarse a 50 m si los pilares son de rigidez pequeña, y ha de reducirse a 30 m si los pilares son de gran rigidez.

d) Acciones Sísmicas

Según el NCSE-02, que establece las zonas de riesgo sísmico en España en función de la aceleración horizontal máxima, la zona en la que se encuentra la estructura es una zona poco sísmica y, por tanto, obviamos el cálculo sísmico para este proyecto, entre otras cosas, para no complicar en exceso el cálculo.

e) Acciones del Terreno

Las cimentaciones, bien sean zapatas, losas o pilotes, se encuentran sometidas a unas presiones como reacción del terreno en su apoyo inferior (en el lateral de los fustes en pilotes), que crea unos esfuerzos en ellas, y deberán armarse estos elementos para resistirlos (las cimentaciones son siempre de hormigón).

Todo lo referente a las acciones del terreno se rige por el CTE-DB SE-C.

Una acción que consideramos adicional a los empujes del terreno es la referente a la sobrecarga de compactación. Sin embargo, esta carga no se define en este apartado, pues posee un carácter especial y será definida más adelante.

f) Acciones de Fuego

Todo lo referente a las acciones de fuego se encuentra recogido en el CTE-DB SI. Según este documento deberemos elegir el tipo de resistencia, en función de nuestra estructura y su uso, así como la protección contra incendio. Como es frecuente, en este curso se opta por pintura intumescente (figura 2.2) como revestimiento de la estructura contra el fuego. Este tipo de revestimiento se aplica proyectando con pistola y debe cumplir unos requerimientos mínimos de espesor, para garantizar una buena protección.



Figura 2.2: Pilar recubierto protección contra fuego.

MODULO 3. GENERADOR DE PÓRTICOS

Para generar la estructura de la nave metálica, descrita en apartados anteriores, podemos hacerlo de dos maneras diferentes: dibujando desde cero la estructura completa en el módulo METAL 3D o generando un pórtico tipo y definiendo las pautas de repetición del mismo para que el programa dibuje automáticamente la mayor parte de la estructura.

En este caso, y por lo general para el diseño de naves industriales, elegimos la segunda opción (como veremos más adelante reporta más beneficios a posteriori), por lo que en primer lugar, al iniciar CYPE, abriremos el Generador de Pórticos. Dentro crearemos una nueva obra dentro del menú **Archivo\Nueva obra**, dándole un nombre del fichero y una descripción que consideremos apropiada (figura 3.1). Debemos tomarnos en serio la descripción de nuestra obra en este paso, pues quedará reflejada en las salidas del programa.

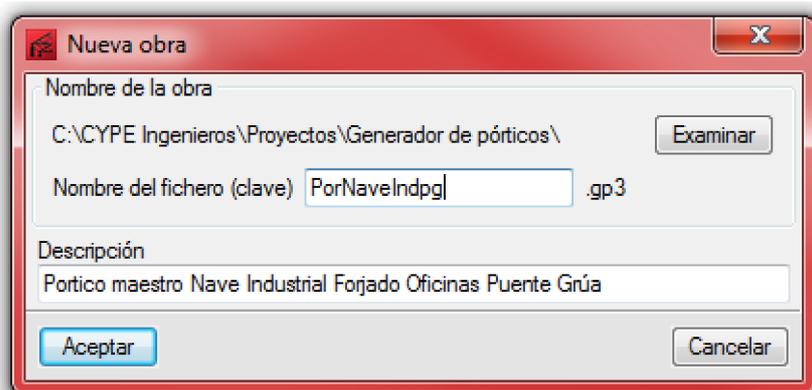


Figura 3.1: Cuadro inicial de nueva obra en el módulo de generación de pórticos.

Tras introducir los datos que nos requiere el cuadro anterior y aceptar el programa nos preguntará si queremos introducir un Nuevo pórtico. Lógicamente nos

dispondremos a introducirlo y elegiremos pórtico a dos aguas. La razón por la que se hace esta elección es porque los dinteles se encontrarán menos solicitados, puesto que la luz que salvan es menor (encuentran un apoyo central superior), y, por tanto, las dimensiones de las vigas que los conforman serán menores, suponiendo esto un ahorro en el coste final del proyecto bastante importante, como se puede apreciar en la figura 3.2.



Figura 3.2: Vista frontal de un pórtico tipo.

Haciendo esto último desbloquearemos el editor de pórticos. Esta nueva ventana, que podemos ver en la figura 3.4, cumple las funciones de definición del tipo de pórtico y establecimiento de las dimensiones del mismo. Que aparezca el pórtico empotrado en sus extremos no es más que una orientación ilustrativa, nada tendrá que