Universidad Zaragoza
1542

Trabajo Fin de Grado

Cálculo y dimensionado de la estructura de una planta industrial para el almacenamiento y distribución de bobinas de acero

ANEXOS

Autor/es

Jorge Alonso Sanz

Director/es

Víctor Tabuenca Cintora

Grado en Ingeniería Mecánica

Escuela de Ingeniería y

Arquitectura de Zaragoza

2022

ANEXO I

ESTUDIO DE UBICACIÓN

ÍNDICE

1. Datos 1
2. Antecedentes 5
3. Modelo de factores ponderados 6
4. Cálculo de la superficie necesaria 8
5. Conclusiones y resumen 10

1. Datos

Para determinar dónde se va a ubicar el emplazamiento de nuestra parcela se va a realizar un pequeño estudio basado en el método de factores ponderados para garantizarnos una correcta elección.

Estos factores serán determinantes para el tipo de actividad que vamos a realizar destacando entre ellos la accesibilidad, localización, precio del suelo y las comunicaciones. Como podemos observar son distintos y de muchos tipos atendiendo cada uno a intereses de mucho peso para el ámbito empresarial.

Después de haber tenido en cuenta dichos factores, se ha procedido a seleccionar 3 posibles ubicaciones que a continuación serán descritas:

Plataforma Logística de Zaragoza

Situado en la zona metropolitana de Zaragoza (Aragón), es un polígono que tiene relativamente poco tiempo pero que actualmente es un referente logístico muy importante a nivel europeo. Por lo tanto no será difícil encontrar mano de obra cualificada para llevar a cabo la actividad industrial.

Destaca por su infraestructura que cuenta con todo tipo de servicios y por su accesibilidad ya que tiene salida directa a la Z-40, lo que le permite tomar con facilidad cualquier acceso de los que comunican la ciudad sin entrar en la misma, y a la A-2 que conecta Madrid con Barcelona, además de tener el aeropuerto de Zaragoza a menos de 0.5 km y tener acceso directo al ferrocarril de alta velocidad.

Al ser una referencia logística de tanto peso se facilita tanto el acceso a la materia prima como a la propia demanda. Además cuenta con un precio asequible del suelo (90 euros/m^2).

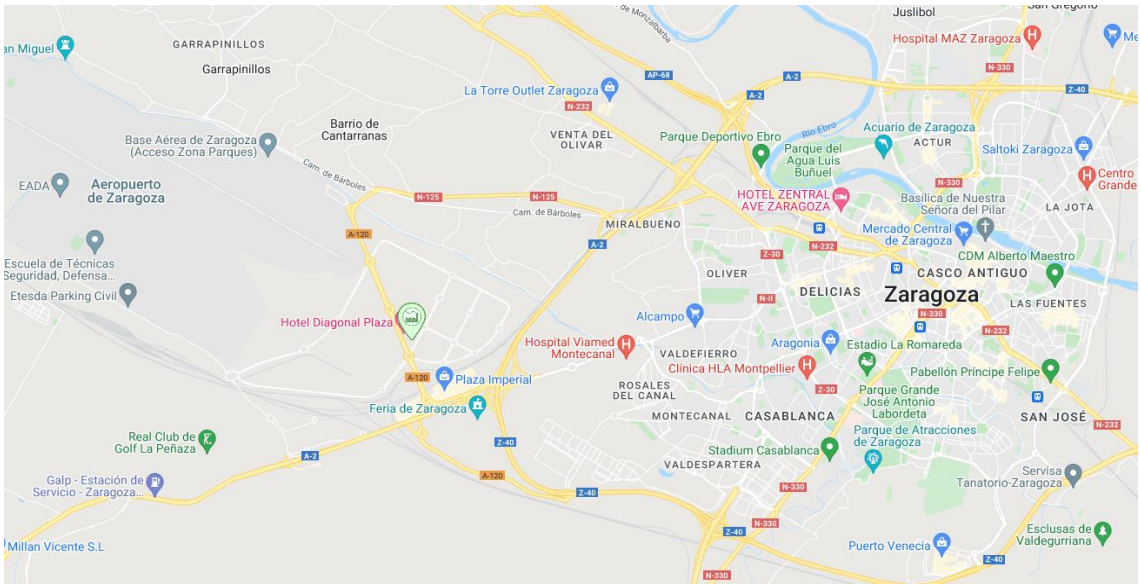


Figura 1 Ubicación de la Plataforma Logística de Zaragoza

Malpica

Situado en la Puebla de Alfindén, a 5 km de Zaragoza. Tiene acceso directo a la A-2 que conecta Madrid con Barcelona, así como el ferrocarril y el aeropuerto a menos de 4 km.

Aunque se encuentre a 5 km de la capital eso no dificulta la obtención de mano de obra cualificada ya que es una zona poblada y con un fácil acceso desde Zaragoza, además el estar más alejada se ve reflejado en el precio del suelo que en este caso posee un valor medio de 80 euros/m^2.



Figura 2 Ubicación del polígono de Malpica

Cogullada

Situado en plena capital aragonesa en el barrio de Cogullada, el cual le da nombre al polígono.

Se encuentra atravesado por el tercer y cuarto cinturón de Zaragoza (Z-30 y Z-40) los cuales conectan a la ciudad con los principales accesos y salidas de la misma sin llegar a entrar en esta por lo que la logística es sencilla y rápida a pesar de encontrarse en la ciudad. Por otro lado se encuentra a 2 km del ferrocarril más cercano y a 10 km del aeropuerto de Zaragoza.

Además gracias a su ubicación se simplifican las tareas de búsqueda de mano de obra cualificada pero, por otro lado, repercute en el precio medio del terreno que adopta un valor de 100 euros/m^2.



Figura 3 Ubicación del polígono de Cogullada

A continuación se expondrá una tabla para explicar de una forma más visible cuales son las características de cada polígono atendiendo a ciertos factores.

Polígonos	**Plataforma Logística de Zaragoza**	**Malpica**	**Cogullada**
Localización	50297 Zaragoza, Carretera N-II, N-125 Km 0.0	50297 Zaragoza, Carretera N-II, Km 330	50297 Zaragoza, Carretera n-II Km 0.0
Comunicaciones /accesos	Ferrocarril: Si Aeropuerto: Zaragoza 0.5 Km Puerto: Tarragona 230 Km	Ferrocarril: Zaragoza, 4 Km Aeropuerto: Zaragoza 4Km Puerto: Tarragona 230 Km/ Pasajes de San Juan 262 Km	Ferrocarril: Zaragoza 2 Km Aeropuerto: Zaragoza 10 Km Puerto: Tarragona 230 Km/ Pasajes de San Juan 262 Km
Superficie total del polígono [m^2]	13.177.977	2.490.000	580.767
Superficie total de las parcelas [m2]	5.458.323	2.287.937	457.376
Superficie ocupada [m^2]	4.609.311	2.041.245	413.594
Superficie libre [m^2]	849.012	246.692	43782
Precio medio de venta [€/m^2]	90	80	100
Infraestructura	Pavimentación: Si Iluminación: Si Red de incendios: Si	Pavimentación: Si Iluminación: Si Red de incendios: Si	Pavimentación: Si Iluminación: Si Red de incendios: No
Abastecimiento de agua	Agua potable: Si Alternativa: Si, doble Depósito de agua: Si	Agua potable: Si Alternativa: No Depósito de agua: Si	Agua potable: Si Alternativa: No Depósito de agua: Si
Suministro de energía	Gas: Si Suministro eléctrico: Si	Gas: Si Suministro eléctrico: Si	Gas: Si Suministro eléctrico: Si
Vertidos	Red de saneamiento: Si Depuradora: Si, propia	Red de saneamiento: Si Depuradora: Si	Red de saneamiento: Si Depuradora: No
Red de comunicaciones	Red telefónica: Si Banda ancha: Si	Red telefónica: Si Banda ancha: Si	Red telefónica: Si Banda ancha: Si
Coeficiente de edificabilidad	0.85	0.72	0.7

Tabla 1 Características de cada polígono seleccionado

2. Antecedentes

A continuación se expondrán aquellos factores que más se tendrán en cuenta a la proyectar la planta industrial en una ubicación u otra.

Como suele ser habitual, uno de los factores más importantes es el económico, ya que se está hablando de cantidades de suelo muy extensas y se tendrá en cuenta el precio del suelo por metro cuadrado.

Además un factor a tener en cuenta, y que en parte va ligado al económico, es la infraestructura que ofrece el propio polígono.

Otro factor es la edificabilidad del suelo, ya que de nada nos sirve una gran parcela con poca edificabilidad donde apenas se pueda construir y nos quedemos faltos de espacio. Además si luego se ampliara la nave o se instalaran otro tipo de servicios en la parcela convendría tener buena edificabilidad.

En último lugar se debe subrayar la importancia de la logística en este tipo de actividades industriales, por lo que el tener buenos accesos tanto de llegada de materia prima como de salida de la misma es fundamental. Por lo tanto, un polígono que tenga accesos fáciles y rápidos con las principales carreteras y vías de comunicación (aeropuertos, puertos…etc) ofrecerá un crecimiento más acelerado de la empresa debido a la reducción de costes de transporte en la distribución de la materia.

3. Modelo de factores ponderados

Se trata de un modelo de localización multicriterio ya que tiene en cuenta más de un factor a la hora de determinar la ubicación más aceptable para desarrollar la actividad. Una vez elegidos esos factores se puntúan en una escala del 0 al 10 para cada una de las ubicaciones, y estas puntuaciones se ponderan después por el peso asignado a cada factor, con la condición de que la suma de las ponderaciones sea la unidad.

El valor global de cada alternativa de localización se obtiene con la siguiente expresión:

$$V_j = \sum_{i=1}^{m} w_i * P_{ij}$$

Donde, V_j es el valor total para la localización j; w_i es la ponderación para el factor i; P_{ij} es el valor para el factor i en la localización j y m es el número de factores.

Los factores a analizar serán:

- Accesos: facilitar la entrada y salida de materia prima, trabajadores, clientes…etc de nuestra planta industrial es fundamental para el desarrollo de la actividad.

- Logística: tener alrededor a las principales vías de comunicación supondrá una gran ventaja gracias a la rapidez y facilidad que estas proporcionan al transporte.

- Demanda: el estar rodeado de clientes ahorrará costes de transporte y será una posibilidad para darse a conocer mejor, por lo que aumentará la demanda.

- Edificabilidad: será positivo que se pueda construir el máximo posible dentro de la parcela para sacarle el mayor rendimiento posible si se presenta la posibilidad.

- Precio del terreno: interesará conocer el precio por metro cuadrado del terreno para saber si lo permite el presupuesto.

- Mano de obra: encontrar una gran oferta de mano de obra cualificada para llevar a cabo la actividad no será igual de fácil en una ubicación que en otra por lo que es primordial tener esto en cuenta.

- Infraestructura: es importante conocer con que servicios cuenta cada ubicación (Pavimentación, iluminación, red de incendios, vertidos, abastecimiento de agua, suministro de energía, telecomunicaciones…etc.) para saber con qué se va a contar y a que se va a renunciar una vez se seleccione esa ubicación.

Ponderaciones	Factores	Polígonos Industriales		
		Plataforma Logística de Zaragoza	Malpica	Cogullada
0,15	Accesos	**8**	**7**	**8**
0,2	Logística	**8**	**7**	**7**
0,15	Demanda	**7**	**7**	**8**
0,15	Edificabilidad	**8**	**7**	**7**
0,15	Precio m^2	**7**	**8**	**6**
0,1	Mano de obra	**8**	**7**	**9**
0,1	Infraestructura	**8**	**7**	**6**

Tabla 2 Puntuación de cada Polígono

Siguiendo los pasos anteriormente descritos y aplicando la fórmula obtenemos los resultados finales.

PUNTUACIÓN TOTAL	Plataforma Logística de Zaragoza	Malpica	Cogullada
	7,7	**7,15**	**7,25**

Tabla 3 Ponderación total de cada polígono

Como podemos observar, el polígono industrial **"Plataforma Logística de Zaragoza"** es el que más se adecúa a nuestras necesidades de acuerdo a la importancia que le hemos asignado a dichos factores, por lo que es aquí donde ubicaremos la planta industrial.

4. Cálculo de la superficie necesaria

Una vez elegido el polígono, se ha de seleccionar una parcela del mismo y esta ha de adaptarse a las necesidades industriales que se vayan a llevar a cabo por lo que ha de realizarse una estimación de la superficie necesaria.

Para ello se tendrá en cuenta la posible maquinaria, el espacio necesario de almacenaje de bobinas, servicios, vestuarios, espacios de tránsito y distribución…etc. Además en el exterior de la nave se ha de tener en cuenta un espacio mínimo de carga y descarga de material, parking para clientes y trabajadores…etc.

Se puede estimar una superficie mínima necesaria para llevar a cabo la actividad industrial teniendo en cuenta que el proceso productivo será el siguiente:



Figura 4 Proceso industrial

Y a la hora de distribuirlas de acuerdo a la demanda del cliente el proceso será el mismo pero a la inversa.

Se va a llevar a cabo una estimación de la superficie interior y exterior necesaria.

Zona interior de la nave industrial	Superficie necesaria estimada [m^2]	
Maquinaria (Carretillas elevadoras x2)	30	**1465**
Zona de entrega y recogida de material por el puente grúa	150	
Zona de almacén de bobinas	480	
Oficina	30	
Baños/vestuarios	20	
Almacén de material	30	
Zona de entrega y recogida de material por la maquinaria	125	
Zona de tránsito	100	
Espacio para movimiento del puente grúa	500	

Tabla 4 Superficie interior estimada

Zona exterior de la nave industrial	Superficie necesaria estimada [m^2]	
Zona de carga/descarga	1000	**1850**
Zona de tránsito	700	
Zona de parking (10 plazas de 3x5)	150	

Tabla 5 Superficie exterior estimada

Una vez que ya se tiene claro el proceso industrial y se ha hecho una estimación de la superficie mínima necesaria para llevar a cabo el proyecto, se llega a la conclusión de diseñar una estructura industrial con unas dimensiones de 25x60 metros y con una altura de cumbrera de 15.25 metros que permitirá tener una altura bajo gancho de puente grúa de 10 metros aproximadamente, lo que aumentará la capacidad de almacén en dirección vertical considerablemente.

Aparte de esto, se puede estimar que, teniendo en cuenta el coeficiente de edificabilidad medio del polígono, se va a necesitar una parcela con un área total aproximada de 3500 m^2.

5. Conclusiones y resumen

La instalación se va a ubicar en la parcela "PE-3.1.1" de la Calle Bari, en la Plataforma Logística de Zaragoza, 50197 Zaragoza.

Es una parcela de 4200 m^2 de dimensiones aproximadas 100x42 metros que permitirá cumplir con las zonas mínimas necesarias anteriormente explicadas.

Los motivos por los que se ha elegido esta ubicación se pueden resumir en:

- Ofrece una buena infraestructura, con unos buenos accesos a un precio del suelo razonable (90€/m^2)
- Cercanía a las principales vías de comunicación como la A-2, la Z-40, el aeropuerto o el ferrocarril.
- Estar ubicado en un punto logístico tan importante a nivel nacional como europeo.

Se va a mostrar la ubicación concreta del polígono:

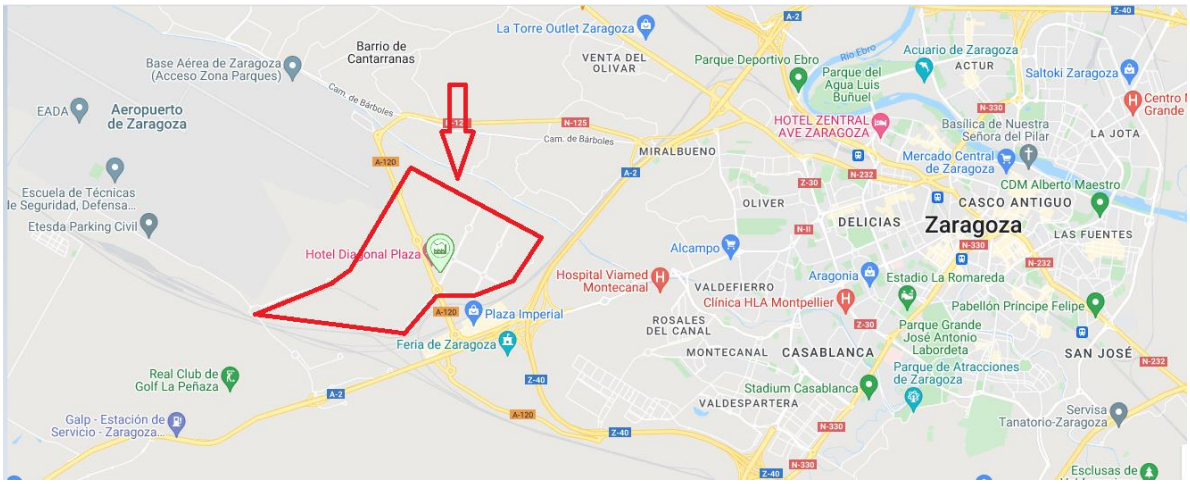


Figura 5 Ubicación del Polígono

Se urbanizará la parcela de acuerdo al P.G.O.U de Zaragoza difundido en el año 2007, excepto todo aquello que explícitamente se regula en una normativa propia del polígono.

El acceso al polígono se realiza a través de la A-2, que conecta Madrid con Barcelona, de la Z-40, que rodea Zaragoza y permite tomar rápidamente todo tipo de conexiones sin entrar en la ciudad, o de la A-120 que conecta directamente con el aeropuerto de Zaragoza.

En la siguiente imagen se muestra la ubicación de la parcela dentro del polígono:

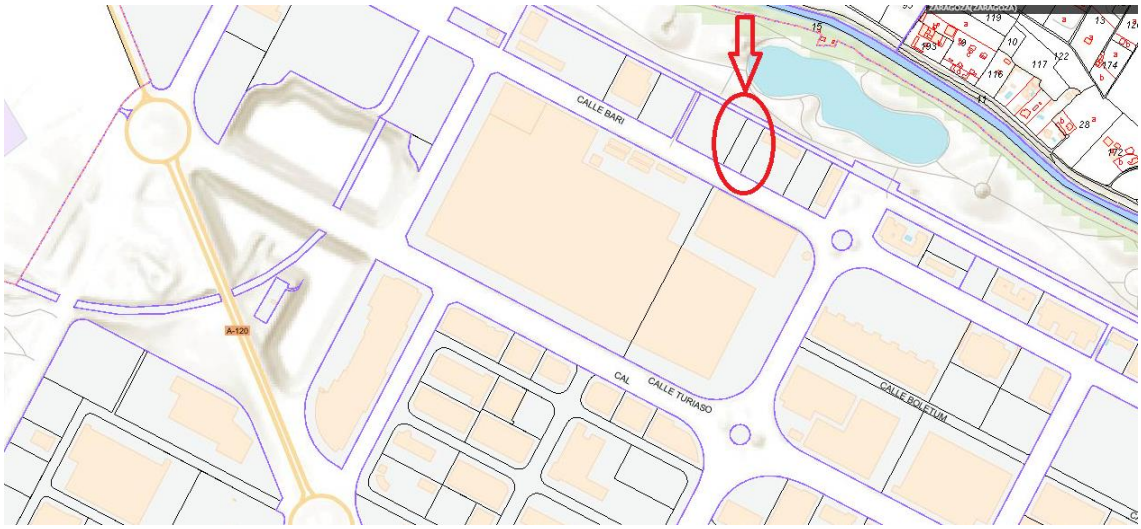


Figura 6 Ubicación de la parcela dentro del polígono

La situación del polígono y su itinerario por carretera para llegar desde Zaragoza, así como la situación de las parcelas respecto a la población, pueden encontrarse en el documento “PLANOS” recogido con el título de “EMPLAZAMIENTO”.

ANEXO II

CÁLCULOS ESTRUCTURALES JUSTIFICATIVOS

ÍNDICE

1. Introducción 1
2. Cálculo de acciones sobre la estructura 2
   2.1. Cálculo de acciones de viento 2
   2.2. Cálculo de acciones de nieve 17
3. Correas 19
   3.1. Cerramientos 20
   3.2. Correas laterales 21
   3.3. Correas frontales 32
   3.4. Correas de cubierta 38
4. Viga carril 57
5. Ménsula 75
6. Pórtico principal 81
   6.1. Cálculo del dintel del pórtico principal 83
   6.2. Cálculo del pilar del pórtico principal 111
7. Pórtico de cierre o hastial 145
   7.1. Dintel de cierre 147
   7.2. Pilares de cierre 168
8. Arriostramientos 202
   8.1. Arriostramiento de cubierta transversal 203
   8.2. Arriostramiento de fachada lateral 208
   8.3. Arriostramiento de cubierta longitudinal 213
   8.4. Arriostramiento de fachada frontal 216
9. Uniones 220
   9.1. Unión del corte del dintel principal 220
   9.2. Unión de cumbrera del pórtico principal 235
   9.3. Unión Pilar-Dintel principal 243
   9.4. Unión ménsula-pilar principal 249
   9.5. Unión viga carril-ménsula 254
   9.6. Unión de cumbrera en pórtico hastial 255
   9.7. Unión dintel-pilar hastial “B” 263
   9.8. Unión del perfil compuesto de la viga carril 270
   9.9. Unión en sistema de arriostramiento 272
10. Placas de anclaje 280
   10.1. Pilares principales 282

10.2. Pilares hastiales 286
11. Cimentación 288
11.1. Zapata A 289
11.2. Zapata B 294
11.3. Zapata C 298
11.4 Zapata D 302
11.5 Zapata E 307
11.5 Viga centradora 311

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Valor básico de la velocidad del viento 3
Figura 2 Coeficientes para tipo de entorno 3
Figura 3 Zonas de influencia según V1(0º) 4
Figura 4 Coeficientes de presión 5
Figura 5 Carga estática de viento hipótesis V1(0º) 6
Figura 6 Zonas de influencia según V2 (90º) 6
Figura 7 Coeficientes de presión exterior para paramentos verticales 7
Figura 8 Zonas de influencia según V1a (0º) 8
Figura 9 Parámetros geométricos de cubierta 9
Figura 10 Coeficientes de presión exterior para paramentos de cubierta 10
Figura 11 Zonas de influencia según V1b (0º) 11
Figura 12 Parámetros geométricos de cubierta 11
Figura 13 Coeficientes de presión exterior para paramentos de cubierta 12
Figura 14 Zonas de influencia según V2 (90º) 13
Figura 15 Parámetros geométricos de cubierta 14
Figura 16 Superficies de las áreas de influencia 14
Figura 17 Coeficientes de presión exterior para paramentos de cubierta según V2 (90º) 15
Figura 18 Carga estática de viento para la hipótesis V2 (90º) 15
Figura 19 Zonas climáticas en invierno 17
Figura 20 Valores de la sobrecarga de nieve 18
Figura 21 Geometría del perfil CM 40/974 20
Figura 22 Detalle del solape 20
Figura 23 Valores de carga de viento para fachada lateral por hipótesis 21
Figura 24 Acciones sobre la correa lateral 21
Figura 25 Esquema de carga de correa en plano X-Z 22
Figura 26 Diagrama de momentos en el plano X-Z de la correa 22
Figura 27 Secciones de cálculo 22
Figura 28 Diagrama de momentos en el plano X-Y 23
Figura 29 Secciones de cálculo 24
Figura 30 Flecha máxima de la correa en el plano X-Z 25
Figura 31 Esquema de las correas de fachada 26

Figura 32 Esquema de carga de última correa lateral en el plano X-Y 27
Figura 33 Diagrama de momentos en el plano X-Z de la última correa 28
Figura 34 Secciones de cálculo 28
Figura 35 Diagrama de momento en el plano X-Y de la última correa 29
Figura 36 Distribución de cargas en la correa superior 30
Figura 37 Esquema de carga de la última correa en plano X-Y 30
Figura 38 Flecha máxima de la última correa en el plano X-Y 31
Figura 39 Valores de carga de viento para fachada frontal por hipótesis 32
Figura 40 Acciones sobre la correa lateral 33
Figura 41 Esquema de carga de la correa frontal del plano X-Z 33
Figura 42 Diagrama de momentos correa frontal en plano X-Z 33
Figura 43 Secciones de cálculo 34
Figura 44 Diagrama de momentos correa de fachada en plano X-Y 34
Figura 45 Secciones de cálculo 35
Figura 46 Flecha máxima de la correa frontal en el plano X-Z 36
Figura 47 Esquema de las correas de fachada 37
Figura 48 Valores de carga de viento en la cubierta 38
Figura 49 Esquema de carga de las correas de cubierta 39
Figura 50 Esquema de carga de la correa de cubierta en el plano X-Z 39
Figura 51 Diagrama de momentos CP 42
Figura 52 Diagrama de momentos N 42
Figura 53 Diagrama de momentos V1a 43
Figura 54 Diagrama de momentos V1b 43
Figura 55 Diagrama de momentos V2 44
Figura 56 Diagrama de momentos CP 45
Figura 57 Diagrama de momentos N 45
Figura 58 Sección y geometría de la correa 46
Figura 59 Flecha máxima en plano X-Z 47
Figura 60 Acciones sobre la correa superior de cubierta 48
Figura 61 Esquema de carga de la última correa en el plano X-Z 49
Figura 62 Diagrama de momentos CP 52
Figura 63 Diagrama de momentos N 52
Figura 64 Diagrama de momentos V1a 53
Figura 65 Diagrama de momentos V1b 53
Figura 66 Diagrama de momentos V2 54
Figura 67 Esquema de carga en plano X-Y 54

Figura 68 Diagrama de momentos CP 55
Figura 69 Diagrama de momentos N 55
Figura 70 Sección y geometría de la correa 56
Figura 71 Distribución de cargas en viga carril 57
Figura 72 Esquema de cargas viga carril en X-Z 58
Figura 73 Diagrama de momentos en X-Z 58
Figura 74 Posiciones del puente grúa en la viga carril 59
Figura 75 Líneas de fluencia sobre la viga carril 60
Figura 76 Perfil de la viga carril 61
Figura 77 Esfuerzos y puntos más desfavorables sobre la sección de la viga carril 62
Figura 78 Tensiones de compresión sobre la sección de la cabeza por la carga P_f 64
Figura 79 Coeficiente de interacción k_z 66
Figura 80 Coeficientes del momento equivalente 66
Figura 81 Esquema de los rigidizadores de alma 67
Figura 82 Condición geométrica según C.T.E. 68
Figura 83 Esquema y geometría del rigidizador 69
Figura 84 Modo de transferencia de cargas 71
Figura 85 Ancho de la entrega rígida de una carga sobre un ala 71
Figura 86 Esquema geométrico de la ménsula 75
Figura 87 Esquema de los rigidizadores de alma 78
Figura 88 Condición geométrica según C.T.E. 78
Figura 89 Esquema y geometría del rigidizador 79
Figura 90 Pórtico principal 81
Figura 91 Corte del dintel principal 82
Figura 92 Límites de esbeltez para elementos apoyados en un borde y libres en el otro 84
Figura 93 Límites de esbeltez para elementos planos, apoyados en dos bordes. 84
Figura 94 Ecuaciones 6.11 del DB SE-A 86
Figura 95 Ancho eficaz de elementos planos o parcialmente comprimidos 88
Figura 96 Sección eficaz A 89
Figura 97 Sección eficaz C 93
Figura 98 Comprobación de estabilidad de elementos comprimidos y flectados 94
Figura 99 Coeficiente c en piezas de sección variable 96
Figura 100 Coeficientes de interacción 98
Figura 101 Valor del factor C_1 99
Figura 102 Distribución de momentos entre 0 m y 2.7 m del dintel 100
Figura 103 Curvas de pandeo según el elemento 101

Figura 104 Coeficientes de interacción 103
Figura 105 Valor del factor C1 106
Figura 106 Distribución de momentos entre 2.7 m y 12.5 m del dintel 106
Figura 107 Curvas de pandeo según el elemento 108
Figura 108 Coeficientes de interacción 109
Figura 109 Pilar principal 111
Figura 110 Límites de esbeltez para elementos apoyados en un borde y libres en el otro 112
Figura 111 Límites de esbeltez para elementos apoyados en dos bordes 113
Figura 112 Distribución de esfuerzos sección bruta 114
Figura 113 Sección Eficaz 1ª iteración 116
Figura 114 Distribución de esfuerzos en la sección eficaz 117
Figura 115 Sección eficaz tras la 2ª iteración 118
Figura 116 Interacción de esfuerzos en secciones 120
Figura 117 Comprobación de estabilidad de elementos comprimidos y flectados 122
Figura 118 Coeficiente C en piezas de sección variable 125
Figura 119 Coeficientes de interacción 126
Figura 120 Valor del factor C_1 127
Figura 121Distribución de momentos entre 6.5 m y 10.7 m del pilar. 128
Figura 122 Curvas de pandeo según el elemento 129
Figura 123 Coeficientes de interacción 132
Figura 124 Límites de esbeltez para elementos apoyados en un borde y libres en el otro 133
Figura 125 Límites de esbeltez para elementos apoyados en dos bordes 134
Figura 126 Distribución de esfuerzos sección bruta 135
Figura 127 Comprobación de estabilidad de elementos comprimidos y flectados 136
Figura 128 Coeficientes de interacción 137
Figura 129 Valor del factor C_1 138
Figura 130 Distribución de momentos entre 0 m y 6.5 m del pilar 139
Figura 131 Características de torsión en perfiles IPE 139
Figura 132 Curvas de pandeo según el elemento 141
Figura 133 Coeficientes de interacción 142
Figura 134 Distribución de esfuerzo axil y flector en el pilar principal 143
Figura 135 Esquema del pórtico hastial 145
Figura 136 Pórtico hastial 146
Figura 137 Límites de esbeltez para elementos apoyados en un borde y libres en el otro 148
Figura 138 Límites de esbeltez para elementos apoyados en dos bordes 148
Figura 139 Interacción de esfuerzos en secciones 150

Figura 140 Comprobación de estabilidad de elementos comprimidos y flectados 151
Figura 141 Valor del factor C_1 153
Figura 142 Distribución de momentos en el dintel de cierre 154
Figura 143 Características de torsión en perfiles IPE 154
Figura 144 Curvas de pandeo según el elemento 156
Figura 145 Coeficientes de interacción 157
Figura 146 Coeficientes de interacción 159
Figura 147 Valor del factor C1 162
Figura 148 Curvas de pandeo según el elemento 163
Figura 149 Coeficientes de interacción 164
Figura 150 Curvas de pandeo según el elemento 166
Figura 151 Pilares de cierre 168
Figura 152 Límites de esbeltez para elementos apoyados en un borde y libres en el otro 169
Figura 153 Límites de esbeltez para elementos apoyados en dos bordes 170
Figura 154 Distribución de esfuerzos sección bruta 171
Figura 155 Interacción de esfuerzos en secciones 172
Figura 156 Esquema del pilar de cierre B y D 173
Figura 157 Comprobación de estabilidad de elementos comprimidos y flectados 174
Figura 158 Valor del factor C_1 176
Figura 159 Distribución de momentos en el tramo 1 del pilar B 176
Figura 160 Características de torsión en perfiles IPE 177
Figura 161 Curvas de pandeo según el elemento 178
Figura 162 Coeficientes de interacción 180
Figura 163 Coeficientes de momento equivalente 180
Figura 164 Coeficientes de interacción 182
Figura 165 Valor del factor C_1 185
Figura 166 Distribución de momentos en el tramo 2 del pilar B 185
Figura 167 Curvas de pandeo según el elemento 187
Figura 168 Coeficientes de interacción 187
Figura 169 Coeficientes de momento equivalente 188
Figura 170 Coeficientes de interacción 190
Figura 171 Interacción de esfuerzos en secciones 192
Figura 172 Comprobación de estabilidad de elementos comprimidos y flectados 194
Figura 173 Coeficientes de interacción 195
Figura 174 Coeficientes de momento equivalente 196
Figura 175 Coeficientes de interacción 197

Figura 176 Coeficientes de interacción 199
Figura 177 Coeficientes de interacción 200
Figura 178 Conjunto de arriostramientos de la instalación 202
Figura 179 Esquema arriostrado cubierta transversal 203
Figura 180 Esquema del perfil cuadrado hueco 205
Figura 181 Esquema del redondo macizo 205
Figura 182 Arriostramientos de fachada lateral 208
Figura 183 Esquema del arriostrado de fachada lateral 209
Figura 184 Esquema del perfil cuadrado hueco 210
Figura 185 Esquema del redondo macizo 211
Figura 186 Arriostramiento longitudinal de la instalación 213
Figura 187 Esquema del perfil cuadrado hueco 214
Figura 188 Esquema del redondo macizo 214
Figura 189 Geometría arriostramiento de fachada frontal 216
Figura 190 Acciones por hipótesis 216
Figura 191 Esquema del perfil cuadrado hueco 217
Figura 192 Esquema del redondo macizo 217
Figura 193 Sección del dintel a 2.8 metros del pilar 220
Figura 194 Esquema de la unión atornillada 221
Figura 195 Componentes de una unión rígida viga-pilar 222
Figura 196 Cortante de nudo 223
Figura 197 Coeficientes de correlación 224
Figura 198 Modos de ruina del ala de un casquillo (de unión) en T 226
Figura 199 Valores de α para alas de pilar rigidizadas 228
Figura 200 Geometría de la unión 229
Figura 201 Dimensiones de un casquillo en T 230
Figura 202 Tramos del casquillo 230
Figura 203 Parámetro geométrico "p" 231
Figura 204 Distribución plástica de la resistencia eficaz de los tornillos 234
Figura 205 Detalle de la unión 234
Figura 206 Unión de cumbrera 235
Figura 207 Esquema de la unión 235
Figura 208 Tensiones en plano de soldadura 237
Figura 209 Coeficientes de correlación 237
Figura 210 Detalle de la unión de cumbrera del pórtico principal 242
Figura 211 Unión pilar-dintel principal 243

Figura 212 Esquema de la unión soldada 244
Figura 213 Esquema de fuerzas 245
Figura 214 Coeficientes de correlación 246
Figura 215 Detalle de la unión pilar-dintel principal 248
Figura 216 Unión de la ménsula con el pilar principal 249
Figura 217 Distribución de tensiones en la sección 250
Figura 218 Tensiones en plano de soldadura 250
Figura 219 Detalle de la unión ménsula-pilar 253
Figura 220 Detalle de la unión viga carril-ménsula 254
Figura 221 Unión de cumbrera en pórtico hastial 255
Figura 222 Distribución de tensiones en la sección 259
Figura 223 Tensiones en plano de soldadura 260
Figura 224 Detalle de la unión del dintel en la cumbrera 262
Figura 225 Unión dintel con pilar hastial 263
Figura 226 Parámetros geométricos 264
Figura 227 Tensiones en plano de soldadura 268
Figura 228 Detalle de unión dintel con pilar hastial 269
Figura 229 Unión perfil compuesto de la viga carril 271
Figura 230 Unión de sistema de arriostramiento 272
Figura 231 Parámetros geométricos 273
Figura 232 Tensiones en plano de soldadura 276
Figura 233 Geometría de la unión 277
Figura 234 Detalle 1 de la unión de arriostramientos 278
Figura 235 Detalle 2 de la unión de arriostramientos 279
Figura 236 Placa de anclaje en pilar principal 280
Figura 237 Esquema de viga biapoyada 282
Figura 238 Coeficiente m 284
Figura 239 Comprobaciones de CYPE 285
Figura 240 Comprobaciones de CYPE 287
Figura 241 Distribución de la cimentación 288
Figura 242 Detalle de la zapata A 293
Figura 243 Detalle de la zapata B 297
Figura 244 Detalle de la zapata C 301
Figura 245 Detalle de zapata D 306
Figura 246 Detalle de la zapata E 310

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Superficies de las áreas de influencia 5
Tabla 2 Superficies de las áreas de influencia 7
Tabla 3 Carga estática de viento para la hipótesis V2 (90º) 8
Tabla 4 Superficies de las áreas de influencia 9
Tabla 5 Carga estática de viento para la hipótesis V1a (0º) 10
Tabla 6 Superficies de las áreas de influencia 12
Tabla 7 Carga estática de viento para la hipótesis V1b (0º) 13
Tabla 8 Valores de carga en ejes de la viga carril 58
Tabla 9 Valores de carga mayorados en ejes de la viga carril 58
Tabla 10 Propiedades del perfil compuesto viga carril 61
Tabla 11 Parámetros del conjunto del perfil compuesto viga carril 61
Tabla 12 Parámetros de la cabeza del conjunto del perfil compuesto viga carril 62
Tabla 13 Propiedades del perfil IPE 360 75
Tabla 14 Propiedades del dintel principal 83
Tabla 15 Acciones por hipótesis de la sección A 85
Tabla 16 Acciones por hipótesis sección C 90
Tabla 17 Propiedades del pilar principal 111
Tabla 18 Tensiones por hipótesis de la sección bajo la ménsula 113
Tabla 19 Acciones por hipótesis en la base del pilar 121
Tabla 20 Acciones por hipótesis a 6.5 metros de la base del pilar 134
Tabla 21 Acciones por hipótesis dintel de cierre 147
Tabla 22 Propiedades dintel de cierre 147
Tabla 23 Acciones por hipótesis a 5.35 metros de la base del pilar de cierre 169
Tabla 24 Propiedades IPE 450 169
Tabla 25 Acciones por hipótesis del tramo 2 183
Tabla 26 Acciones por hipótesis 191
Tabla 27 Propiedades IPE 450 192
Tabla 28 Acciones por hipótesis sección más solicitada tramo 1 194
Tabla 29 Cargas por metro lineal 203
Tabla 30 Reacciones en cada pilar de cierre 203
Tabla 31 Esfuerzo de las barras que componen el entramado por la hipótesis V1 en la fachada frontal 204

Tabla 32 Acciones en las barras del entramado de cubierta transversal..... 204
Tabla 33 Propiedades del montante 205
Tabla 34 Propiedades de la diagonal 205
Tabla 35 Axiles por hipótesis del arriostramiento lateral de fachada 210
Tabla 36 Propiedades del montante 210
Tabla 37 Propiedades de la diagonal 211
Tabla 38 Acciones por hipótesis..... 213
Tabla 39 Propiedades del montante 214
Tabla 40 Propiedades de la diagonal 214
Tabla 41 Propiedades del montante 217
Tabla 42 Propiedades de la diagonal 217
Tabla 43 Acciones por hipótesis de la unión..... 221
Tabla 44 Acciones por hipótesis en la unión..... 236
Tabla 45 Acciones por hipótesis..... 255
Tabla 46 Parámetros geométricos 256
Tabla 47 Acciones por hipótesis en la cabeza del pilar 263
Tabla 48 Acciones por hipótesis en la base del pilar..... 282

1. Introducción

En el presente anexo se va a proceder a calcular y dimensionar los elementos que componen la instalación industrial explicada en la memoria.

La instalación está pensada para cumplir su función principal que es la de almacén de bobinas de acero, facilitando además las labores de extracción y recepción de las mismas con la mayor comodidad posible ayudándose además de un moderno sistema robotizado.

Como se ha explicado anteriormente, la ubicación será la "Plataforma Logística de Zaragoza", situada a las afueras de la misma por lo que se habrán tenido en cuenta las condiciones que esta ubicación ofrece a la hora de los cálculos de la estructura.

Las dimensiones de la instalación serán de 25 metros de luz por 60 metros de profundidad con una cubierta a dos aguas de pendiente 10%, una altura de cumbrera de 15.25 metros y una altura bajo gancho de 10 metros que permita apilar el mayor número de bobinas para optimizar al máximo el espacio útil de la nave.

La altura de los pilares será de 14 metros, lo que permitirá alojar el entramado del puente grúa birrail con carro giratorio de 20 Toneladas.

La modulación de los pórticos será de 6 metros y existirá un muro perimetral de 4 metros de altura situado en la cara exterior del pilar.

Debido al suelo en el que se encuentra la parcela, los pórticos se encuentran articulados en la base por lo que, para optimizar el material, se ha optado por elegir unos perfiles de inercia variable como pilares y vigas principales.

Sin embargo, debido a la articulación de las bases y a la gran altura de los pilares, se ha tenido que instalar un entramado de sistemas de arriostramiento para repartir mejor los esfuerzos y limitar las deformaciones causadas por el viento en las fachadas de la instalación.

2. Cálculo de acciones sobre la estructura

En este apartado se calcularán las acciones que actúan sobre la estructura de acuerdo con la normativa actual vigente; el Código Técnico de la Edificación, concretamente el Documento Básico SE-AE (Seguridad Estructural y Acciones en la edificación).

2.1. Cálculo de acciones de viento

Dentro de la normativa anteriormente nombrada, se va a seguir el mismo guion que el apartado 3.3 de la misma.

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

Siguiendo con la norma, se define el viento como una fuerza perpendicular a la superficie de cada punto expuesto, o presión estática, q_e que puede expresarse como:

$$q_e = q_b * c_e * c_p$$

Donde:

q_e= Presión estática del viento.

q_b= Presión dinámica del viento. De forma simplificada, como valor en cualquier punto del territorio español, puede adoptarse 0.5 Kn/m^2. Pueden obtenerse valores más precisos mediante el Anexo D de la presente norma en función del emplazamiento geográfico de la obra.

C_e= coeficiente de exposición, variable con la altura del punto considerado, adopta distintos valores en función del grado de aspereza del entorno donde se encuentra ubicada la construcción. Se determina siguiendo el apartado 3.3.3 de la norma ya citada.

C_p= coeficiente eólico o de presión, dependiendo de la forma y orientación de la superficie respecto al viento, y en su caso, de la situación del punto respecto a los bordes de esa superficie; un valor negativo indica succión. Para establecer su valor se recurre a los apartados 3.3.4 y 3.3.5.

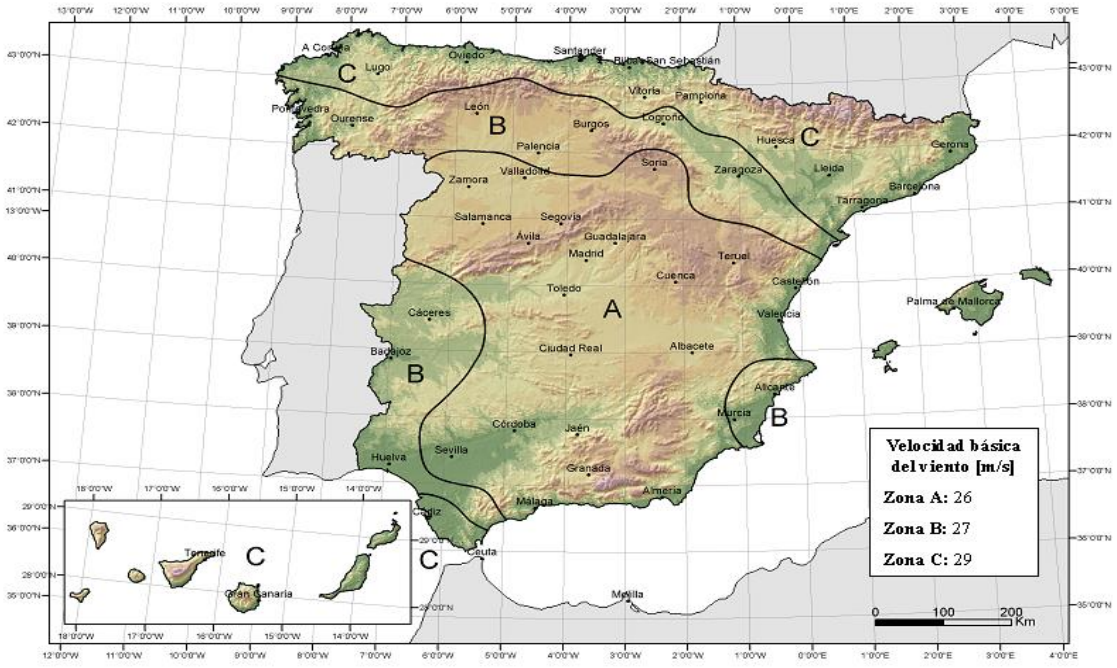


Figura 1 Valor básico de la velocidad del viento

El valor básico de la presión dinámica del viento q_b, en la localidad de Zaragoza adopta un valor de 0.45 Kn/m^2 por ser considerada Zona B.

Para calcular el coeficiente de exposición se hará uso de las fórmulas que dice la norma:

$$C_e = F * (F + 7 * k)$$

$$F = k * \ln(\frac{\max(z, Z)}{L})$$

Siendo K, l, y Z parámetros característicos de cada tipo de entorno que podemos encontrar en la tabla D.2 del Anexo D de la norma.

Tabla D.2 Coeficientes para tipo de entorno

	Grado de aspereza del entorno	Parámetro		
		k	L (m)	Z (m)
I	Borde del mar o de un lago, con una superficie de agua en la dirección del viento de al menos 5 km de longitud	0,156	0,003	1,0
II	Terreno rural llano sin obstáculos ni arbolado de importancia	0,17	0,01	1,0
III	Zona rural accidentada o llana con algunos obstáculos aislados, como árboles o construcciones pequeñas	0,19	0,05	2,0
IV	Zona urbana en general, industrial o forestal	0,22	0,3	5,0
V	Centro de negocios de grandes ciudades, con profusión de edificios en altura	0,24	1,0	10,0

Figura 2 Coeficientes para tipo de entorno

Al estar situada la instalación en una zona industrial, nuestro grado de aspereza será de IV, por lo que nuestros valores geométricos serán los siguientes:

$$K = 0.22, L = 0.3\ metros, Z = 5\ metros$$

Mientras que el parámetro z será la altura máxima de cada punto de estudio.

Los puntos de estudio variarán según la dirección del viento escogiéndose siempre los más desfavorables.

Podemos establecer distintas hipótesis según donde incide perpendicularmente el viento:

Fachada lateral izquierda: viento a 0º → Hipótesis V1 (0º)

Fachada lateral derecha: viento a 180º → Hipótesis V1 (180º)

Fachada frontal delantera: viento a 90º → Hipótesis V2 (90º)

Fachada frontal trasera: viento a 270º → Hipótesis V1 (270º)

PARÁMENTOS VERTICALES

-Hipótesis V1 (0º):

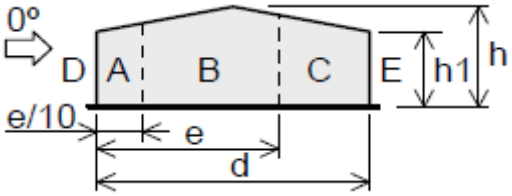


Figura 3 Zonas de influencia según V1(0º)

Para esta hipótesis hay que tener en cuenta que nuestra z= 14 metros por lo que con esto ya se puede calcular el coeficiente de exposición:

$$F = k * \ln\left(\frac{\max(z, Z)}{L}\right) = 0.22 * \ln\left(\frac{\max(14,5)}{0.3}\right) = 0.845$$

$$C_e = F * (F + 7 * k) = 0.845 * (0.845 + 7 * 0.22) = 2.016$$

Por último, se necesita calcular el coeficiente de presión exterior c_p.

En la norma se indica que podemos recurrir al Anexo D para averiguar ese valor. De las tablas D.3 a D.13 se dan valores de coeficientes de presión para diversas formas simples de construcciones, obtenidos estudiando el pésimo punto debido a varias direcciones del viento.

Para obtener esos valores de coeficientes de presión, primero se va a calcular una serie de datos geométricos necesarios acotados en la Figura 3:

h= altura de cumbrera = 15.25 m

h1= altura máxima de pilar = 14 m

d= luz de la nave = 25 m

b= profundidad de la nave = 60 m

e= min (b, 2h) = min (60, 30.5) = 30.5 m

Una vez que se tienen todos estos datos, se pueden calcular cada una de las áreas de influencia de cada zona de la fachada (A, B, C, D Y E) como se indica en la figura 3.

	A	B	C	D	E
Superficie de las zonas [m^2]	43,16	322,46	0	840	840

Tabla 1 Superficies de las áreas de influencia

Cómo se puede observar, en este caso para esta hipótesis no existe un área de influencia C.

Ahora que ya se conocen los valores de la superficie, se pueden obtener los coeficientes de presión con la tabla D.3 del Anexo D de la norma, pero para ello es necesario definir el parámetro h/d.

$$\frac{h}{d} = \frac{15.25}{25} = 0.61$$

A (m^2)	h/d	Zona (según figura), $-45° < \theta < 45°$				
		A	B	C	D	E
≥ 10	5	-1,2	-0,8	-0,5	0,8	-0,7
	1	"	"	"	"	-0,5
	≤ 0,25	"	"		0,7	-0,3
5	5	-1,3	-0,9	-0,5	0,9	-0,7
	1	"	"	"	"	-0,5
	≤ 0,25	"	"	"	0,8	-0,3
2	5	-1,3	-1,0	-0,5	0,9	-0,7
	1	"	"	,"	"	-0,5
	≤ 0,25	"	"	"	0,7	-0,3
≤ 1	5	-1,4	-1,1	-0,5	1,0	-0,7
	1	"	"	"	"	-0,5
	≤ 0,25	"	"	"	"	-0,3

Figura 4 Coeficientes de presión

Al tener todas las áreas de influencia mayores de 10 m^2, se accede a la tabla por la primera fila y se seleccionan aquellos h/d entre los que se encuentra el valor que se ha obtenido.

Seguidamente se calcula cual es el coeficiente de presión que corresponde a este caso interpolando linealmente con los datos de la Figura 4.

Ya se puede calcular la presión estática del viento (q_e) para esta hipótesis. Además se calculará la media ponderada de las áreas A, B y C (Fachada frontal) y así se obtendrá la carga en cada una de las fachadas.

		A	B	C	D	E
Superficie de las zonas [m^2]		43,16	322,46	0	840	840
H/D	1	-1,2	-0,8	-0,5	0,8	-0,5
	0,25	-1,2	-0,8	-0,5	0,7	-0,3

	Cp	-1,2	-0,8	-0,5	0,748	-0,396
	Cp*Ce	-2,42	-1,61	-1,008	1,507	-0,798
	Carga q [Kn/m^2]	-1,089	-0,7245	-0,45	0,67	-0,3591
Media ponderada ABC		-0,767				

Figura 5 Carga estática de viento hipótesis V1(0º)

Es necesario mencionar que los valores positivos indican carga de presión mientras que los negativos indican carga de succión sobre la superficie en la que actúan.

Por lo tanto se han obtenido los siguientes resultados para la hipótesis V1 (0º):

-Carga estática de viento en las fachadas frontales: -0.767 KN/m^2 (Succión).

-Carga estática de viento en la fachada lateral donde incide el viento: 0.67 KN/m^2 (Presión).

-Carga estática de viento en la fachada lateral opuesta a la dirección del viento: -0.3591 KN/m^2 (Succión).

Ahora tendría que seguirse el mismo proceso con la hipótesis V1 (180º), pero al tratarse de una instalación simétrica esto no es necesario y se toman los mismos resultados que en la hipótesis V1 (0º).

-Hipótesis V2 (90º):

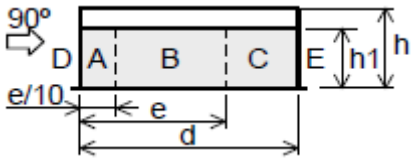


Figura 6 Zonas de influencia según V2 (90º)

Para esta hipótesis se ha de tener en cuenta que el punto de estudio será la altura a la que se encuentra la cumbrera por lo que z= 15.25 metros. Con esto ya se puede calcular el coeficiente de exposición:

$$F = k * \ln\left(\frac{\max(z, Z)}{L}\right) = 0.22 * \ln\left(\frac{\max(15.25,5)}{0.3}\right) = 0.864$$

$$C_e = F * (F + 7 * k) = 0.864 * (0.864 + 7 * 0.22) = 2.077$$

Como se ha hecho anteriormente, solo queda calcular el coeficiente de presión c_p para posteriormente hallar la carga estática q_e para esta hipótesis. Por lo que se van a seguir los mismos pasos.

Para obtener esos valores de coeficientes de presión, primero se va a calcular una serie de datos geométricos necesarios acotados en la Figura 6:

h= altura de cumbrera = 15.25 m

h1= altura máxima de pilar = 14 m

d= profundidad de la nave = 60 m

b= luz de la nave = 25 m

e= min (b, 2h) = min (25, 30.5) = 25 m

Una vez que tenemos todos estos datos, se pueden calcular cada una de las áreas de influencia de cada zona de la fachada (A, B, C, D Y E) como se indica en la figura 6.

	A	B	C	D	E
Superficie de las zonas [m^2]	35	315	490	365,62	365,62

Tabla 2 Superficies de las áreas de influencia

Ahora que ya se conocen los valores de la superficie, se pueden obtener los coeficientes de presión con la tabla D.3 del Anexo D de la norma, pero para ello es necesario definir el parámetro h/d.

$$\frac{h}{d} = \frac{15.25}{25} = 0.61$$

A (m^2)	h/d	Zona (según figura), $-45° < \theta < 45°$ A	B	C	D	E
≥ 10	5	-1,2	-0,8	-0,5	0,8	-0,7
	1	"	"	"	"	-0,5
	≤ 0,25	"	"		0,7	-0,3
5	5	-1,3	-0,9	-0,5	0,9	-0,7
	1	"	"	"	"	-0,5
	≤ 0,25	"	"	"	0,8	-0,3
2	5	-1,3	-1,0	-0,5	0,9	-0,7
	1	"	"	"	"	-0,5
	≤ 0,25	"	"	"	0,7	-0,3
≤ 1	5	-1,4	-1,1	-0,5	1,0	-0,7
	1	"	"	"	"	-0,5
	≤ 0,25	"	"	"	"	-0,3

Figura 7 Coeficientes de presión exterior para paramentos verticales

Al tener todas las áreas de influencia mayores de 10 m^2, se accede a la tabla por la primera fila y se seleccionan aquellos h/d entre los que se encuentra el valor que se ha obtenido.

Seguidamente se calcula cual es el coeficiente de presión que corresponde a este caso interpolando linealmente con los datos de la Figura 7.

Ya se puede calcular la presión estática del viento (q_e) para esta hipótesis. Además se calculará la media ponderada de las áreas A, B y C (Fachada frontal) y así se obtendrá la carga en cada una de las fachadas.

		A	B	C	D	E
Superficie de las zonas [m^2]		35	315	490	365,62	365,62
H/D	1	-1,2	-0,8	-0,5	0,8	-0,5
	0,25	-1,2	-0,8	-0,5	0,7	-0,3
	Cp	-1,2	-0,8	-0,5	-0,7	-0,3
	Cp*Ce	-2,49	-1,66	-1,03	1,45	-0,62
	Carga q [Kn/m^2]	-1,12	-0,747	-0,46	0,65	-0,27
Media ponderada ABC		-0,595				

Tabla 3 Carga estática de viento para la hipótesis V2 (90º)

Por lo tanto se han obtenido los siguientes resultados para la hipótesis V2 (90º):

-Carga estática de viento en las fachadas laterales: -0.595 KN/m^2 (Succión).

-Carga estática de viento en la fachada frontal donde incide el viento: 0.65 KN/m^2 (Presión).

-Carga estática de viento en la fachada frontal opuesta a la dirección del viento: -0.27 KN/m^2 (Succión).

Ahora tendría que seguirse el mismo proceso con la hipótesis V2 (270º), pero al tratarse de una instalación simétrica esto no es necesario y se toman los mismos resultados que en la hipótesis V2 (90º).

PARAMENTOS DE CUBIERTA

Siguiendo con la norma DB SA-AE, en esta se indica que para la hipótesis V1 (0º) existen dos casos de carga en los paramentos de cubierta (V1a (0º) y V1b (0º)). En ambos la dirección del viento es la misma pero varían los coeficientes de presión c_p, que esta vez se obtienen de la tabla D.6 en el Anexo D.

Como se ha hecho para los paramentos verticales, se va a comenzar calculando el coeficiente de exposición c_e que será el mismo para las 3 hipótesis de cubierta.

Se ha de tener en cuenta que el punto de estudio será la altura a la que se encuentra la cumbrera por lo que z= 15.25 metros. Con esto ya se puede calcular el coeficiente de exposición:

$$F = k * \ln\left(\frac{\max(z, Z)}{L}\right) = 0.22 * \ln\left(\frac{\max(15.25,5)}{0.3}\right) = 0.864$$

$$C_e = F * (F + 7 * k) = 0.864 * (0.864 + 7 * 0.22) = 2.077$$

Por último, se necesita calcular el coeficiente de presión exterior c_p. Se va a realizar un estudio por hipótesis como en los paramentos verticales ya que el coeficiente de presión varía según los casos de carga de viento.

-Hipótesis V1a (0º):

En esta hipótesis la dirección del viento es la misma que en la hipótesis V1 (0º) pero esta vez incide de forma perpendicular a los paramentos de la cubierta a dos aguas, que cuentan con una pendiente del 10% formando un ángulo de 5’71º con la horizontal.

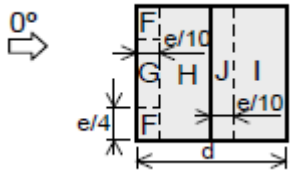


Figura 8 Zonas de influencia según V1a (0º)

Para calcular el coeficiente de presión c_p se recurre a las tablas D.6 como se ha mencionado anteriormente y se busca el caso que le corresponde a esta instalación; cubierta a dos aguas con viento entre ±45º.

Para conocer el valor de las áreas de influencia que se muestran en la Figura 8 se necesita calcular el parámetro geométrico "e" como también fue necesario en los paramentos verticales.

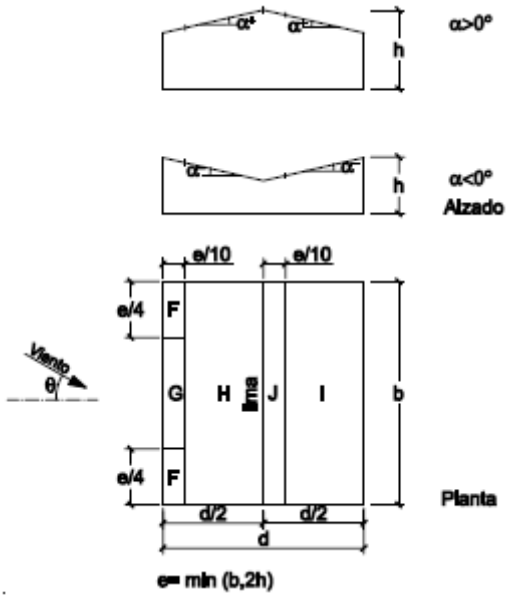


Figura 9 Parámetros geométricos de cubierta

h= altura de cumbrera = 15.25 m

d= luz de la nave = 25 m

b= profundidad de la nave = 60 m

e= min (b, 2h) = min (60, 30.5) = 30.5 m

Una vez que se conocen estos datos, se calculan las áreas de cada zona de cubierta:

	F	G	H	I	J
Superficie de las zonas [m^2]	46,51	136,48	567	567	183

Tabla 4 Superficies de las áreas de influencia

Ahora que ya se conocen los valores de la superficie, se pueden obtener los coeficientes de presión con la tabla D.6 del Anexo D de la norma.

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

Figura 10 Coeficientes de presión exterior para paramentos de cubierta

Se accede a la tabla comenzando por los grados de inclinación con los que cuenta la cubierta de la instalación. Seguidamente, al tener todas las áreas de influencia mayores de 10 m^2, se seleccionan las primeras filas de cada una de las dos pendientes (5º y 15º).

A continuación, para la hipótesis V1a (0º), se selecciona la primera fila de valores de coeficientes de presión para las áreas mayores de 10 m^2 de cada pendiente de cubierta.

Una vez que se tienen las dos filas (Que se encuentran seleccionadas en la Figura 10), se interpola entre las dos teniendo en cuenta cual es el ángulo de inclinación de la instalación para obtener el coeficiente de presión exterior.

Ya se puede calcular la presión estática del viento (q_e) para esta hipótesis. Además se calculará la media ponderada de las áreas F, G y H (Que son las que conforman la cubierta que se encuentra a barlovento) y de las áreas I y J (Que son las que conforman la cubierta que se encuentra a sotavento), obteniendo así la carga estática en cada mitad de la cubierta.

		F	G	H	I	J
Superficie de las zonas [m^2]		46,51	136,48	567	567	183
PENDIENTE EN GRADOS	5	-1,7	-1,2	-0,6	-0,6	0,2
	15	-0,9	-0,8	-0,3	-0,4	-1
	Cp	-1,64	-1,17	-0,57	-0,58	0,11
	Cp*Ce	-3,4	-2,43	-1,18	-1,2	0,22
	Carga q [Kn/m^2]	-1,53	-1,09	-0,531	-0,54	0,1
Media ponderada		-0,69			-0,38	
		BARLOVENTO			SOTAVENTO	

Tabla 5 Carga estática de viento para la hipótesis V1a (0º)

Por lo tanto se han obtenido los siguientes resultados para la hipótesis V1a (0º):

-Carga estática de viento en la cubierta donde incide el viento (Barlovento): -0.69 KN/m^2 (Succión).

-Carga estática de viento en la cubierta opuesta a donde incide el viento (Sotavento): -0.38 KN/m^2 (Succión).

Ahora tendría que seguirse el mismo proceso con la hipótesis V1a (180º), pero al tratarse de una instalación simétrica esto no es necesario y se toman los mismos resultados que en la hipótesis V1a (0º).

-Hipótesis V1b (0º):

En esta hipótesis la dirección del viento es la misma que en la hipótesis V1 (0º) pero esta vez incide de forma perpendicular a los paramentos de la cubierta a dos aguas, que cuentan con una pendiente del 10% formando un ángulo de 5'71º con la horizontal.

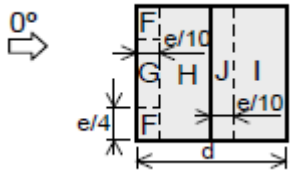


Figura 11 Zonas de influencia según V1b (0º)

Para calcular el coeficiente de presión c_p se recurre a las tablas D.6 como se ha mencionado anteriormente y se busca el caso que le corresponde a esta instalación; cubierta a dos aguas con viento entre ±45º.

Para conocer el valor de las áreas de influencia que se muestran en la Figura 11 se necesita calcular el parámetro geométrico "e".

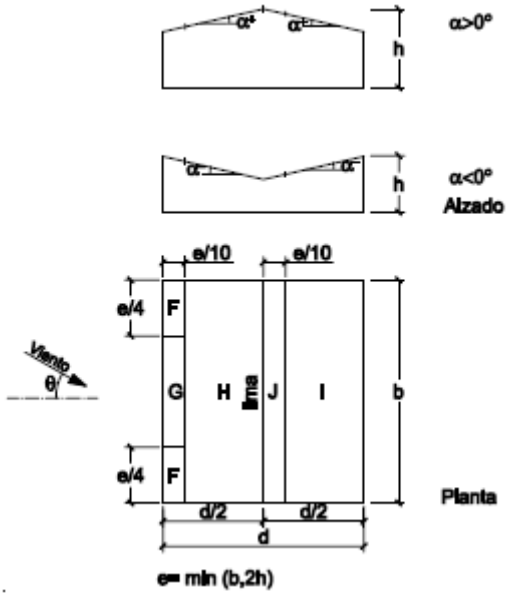


Figura 12 Parámetros geométricos de cubierta

h= altura de cumbrera = 15.25 m

d= luz de la nave = 25 m

b= profundidad de la nave = 60 m

e= min (b, 2h) = min (60, 30.5) = 30.5 m

Una vez que se conocen estos datos, se calculan las áreas de cada zona de cubierta:

	F	G	H	I	J
Superficie de las zonas [m^2]	46,51	136,48	567	567	183

Tabla 6 Superficies de las áreas de influencia

Ahora que ya se conocen los valores de la superficie, se pueden obtener los coeficientes de presión con la tabla D.6 del Anexo D de la norma.

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

Figura 13 Coeficientes de presión exterior para paramentos de cubierta

Se accede a la tabla de la misma forma que en la hipótesis V1a (0º), comenzando por los grados de inclinación con los que cuenta la cubierta de la instalación. Seguidamente, al tener todas las áreas de influencia mayores de 10 m^2, se seleccionan las primeras filas de cada una de las dos pendientes (5º y 15º).

A continuación, ya que esta vez se trata de la hipótesis V1b (0º), se selecciona la segunda fila de valores de coeficientes de presión para las áreas mayores de 10 m^2 de cada pendiente de cubierta.

Una vez que se tienen las dos filas (Que se encuentran seleccionadas en la Figura 13), se interpola entre las dos teniendo en cuenta cual es el ángulo de inclinación de la instalación para obtener el coeficiente de presión exterior.

Ya se puede calcular la presión estática del viento (q_e) para esta hipótesis. Además se calculará la media ponderada de las áreas F, G y H (Que son las que conforman la cubierta que se encuentra a barlovento) y de las áreas I y J (Que son las que conforman la cubierta que se encuentra a sotavento), obteniendo así la carga estática en cada mitad de la cubierta.

		F	G	H	I	J
Superficie de las zonas [m^2]		46,51	136,48	567	567	183
PENDIENTE EN GRADOS	5	0	0	0	-0,6	-0,6
	15	0,2	0,2	0,2	0	0
	Cp	0,01	0,01	0,01	-0,55	-0,55
	Cp*Ce	0,02	0,02	0,02	-1,14	-1,14
	Carga q [Kn/m^2]	0,009	0,009	0,009	-0,513	-0,513
Media ponderada		0,009			-0,513	
		BARLOVENTO			SOTAVENTO	

Tabla 7 Carga estática de viento para la hipótesis V1b (0º)

Por lo tanto se han obtenido los siguientes resultados para la hipótesis V1b (0º):

-Carga estática de viento en la cubierta donde incide el viento (Barlovento): 0.009 KN/m^2 (Presión).

-Carga estática de viento en la cubierta opuesta a donde incide el viento (Sotavento): -0.513 KN/m^2 (Succión).

Ahora tendría que seguirse el mismo proceso con la hipótesis V1b (180º), pero al tratarse de una instalación simétrica esto no es necesario y se toman los mismos resultados que en la hipótesis V1b (0º).

-Hipótesis V2 (90º):

En esta hipótesis la dirección del viento es la misma que en la hipótesis V2 (90º) para los paramentos verticales, pero esta vez incide de forma perpendicular a los paramentos de la cubierta a dos aguas, que cuentan con una pendiente del 10% formando un ángulo de 5'71º con la horizontal.

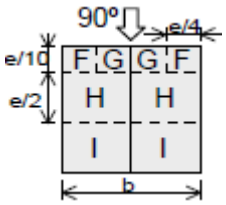


Figura 14 Zonas de influencia según V2 (90º)

Para calcular el coeficiente de presión c_p se recurre a las tablas D.6 como se ha mencionado anteriormente y se busca el caso que le corresponde a esta instalación; cubierta a dos aguas con viento entre 45º y 135º.

Para conocer el valor de las áreas de influencia que se muestran en la Figura 14 se necesita calcular el parámetro geométrico "e".

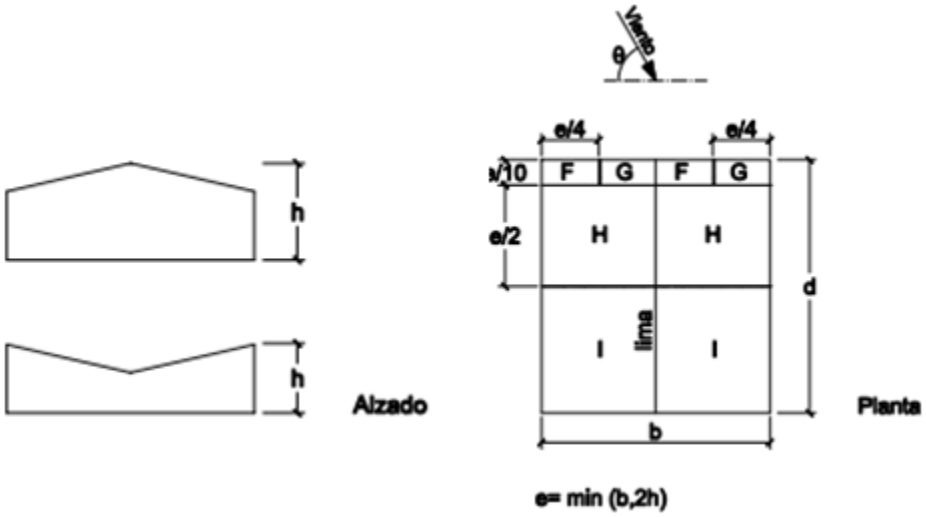


Figura 15 Parámetros geométricos de cubierta

h= altura de cumbrera = 15.25 m

d= profundidad de la nave = 60 m

b= luz de la nave = 25 m

e= min (b, 2h) = min (25, 30.5) = 25 m

Una vez que se conocen estos datos, se calculan las áreas de cada zona de cubierta:

	F	G	H	I
Superficie de las zonas [m^2]	31,25	31,25	312,5	1125

Figura 16 Superficies de las áreas de influencia

Ahora que ya se conocen los valores de la superficie, se pueden obtener los coeficientes de presión con la tabla D.6 del Anexo D de la norma.

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

Figura 17 Coeficientes de presión exterior para paramentos de cubierta según V2 (90º)

Se accede a la tabla de la misma forma que en la hipótesis V1a (0º), comenzando por un intervalo en el que se encuentran los grados de inclinación con los que cuenta la cubierta de la instalación. Seguidamente, al tener todas las áreas de influencia mayores de 10 m^2, se seleccionan las primeras filas de cada una de las dos pendientes (5º y 15º).

A continuación se selecciona la fila de valores de coeficientes de presión para las áreas mayores de 10 m^2 de cada pendiente de cubierta, ya que todas las áreas de la instalación superan los 10 m^2.

Una vez que se tienen las dos filas (Que se encuentran seleccionadas en la Figura 17), se interpola entre las dos teniendo en cuenta cual es el ángulo de inclinación de la instalación para obtener el coeficiente de presión exterior.

Ya se puede calcular la presión estática del viento (q_e) para esta hipótesis. Además se calculará la media ponderada de las áreas F, G, H e I, que son las que conforman la mitad de la cubierta, y al ser simétricas se obtiene la carga estática en cada mitad de la cubierta.

		F	G	H	I
Superficie de las zonas [m^2]		31,25	31,25	312,5	1125
PENDIENTE EN GRADOS	5	-1,6	-1,3	-0,7	-0,6
	15	-1,3	-1,3	-0,6	-0,5
	Cp	-1,57	-1,3	-0,69	-0,59
	Cp*Ce	-3,26	-2,7	-1,43	-1,22
	Carga q [Kn/m^2]	-1,467	-1,215	-0,643	-0,549
Media ponderada ABC		-0,6			

Figura 18 Carga estática de viento para la hipótesis V2 (90º)

Por lo tanto se han obtenido los siguientes resultados para la hipótesis V2 (90º):

-Carga estática de viento en cada mitad de la cubierta: -0.6 KN/m^2 (Succión).

Ahora tendría que seguirse el mismo proceso con la hipótesis V2 (270º), pero al tratarse de una instalación simétrica esto no es necesario y se toman los mismos resultados que en la hipótesis V2 (270º).

2.2. Cálculo de acciones de nieve

Para el cálculo de las acciones de nieve se va a recurrir al apartado 3.5 del Documento Básico DB SE-AE.

La distribución y la intensidad de la carga de nieve sobre un edificio, o en particular sobre una cubierta, depende del clima del lugar, del tipo de precipitación, del relieve del entorno, de la forma del edificio o de la cubierta, de los efectos del viento, y de los intercambios térmicos en los paramentos exteriores.

Como valor de carga de nieve por unidad de superficie en proyección horizontal, q_n, puede tomarse:

$$q_n = \mu * s_k$$

Siendo:

μ= coeficiente de forma de la cubierta según el apartado 3.5.3.

s_k= valor característico de la carga de nieve sobre un terreno horizontal según 3.5.2.

Para determinar el coeficiente de forma μ, el C.T.E. cita que en un faldón limitado inferiormente por cornisas y en el que no hay impedimento al deslizamiento de la nieve, el coeficiente de forma tiene el valor de 1 para cubiertas con inclinación menor o igual que 30º y para cubiertas con una inclinación mayor o igual que 60º. Al cumplir estos requisitos la instalación adoptara un coeficiente de forma igual a 1.

Para calcular el valor característico de la carga de nieve en la norma se dice que se puede recurrir al Anexo E. Dentro de dicho anexo se debe determinar en qué zona se encuentra la instalación.



Figura 19 Zonas climáticas en invierno

Como se puede observar en la Figura 19 la instalación se encuentra en la zona 2.

A continuación, se puede obtener el valor de sobrecarga de nieve a través de la tabla E.2 en función de la altitud del emplazamiento o término municipal, y de la zona climática del mapa de la Figura 19.

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

Figura 20 Valores de la sobrecarga de nieve

Al encontrarse la instalación en las afueras de la ciudad de Zaragoza se tomará la altura media de la ciudad como la de la misma instalación, es decir, 210 metros aproximadamente. Por lo tanto y como se puede ver en la Figura 20, le corresponde una sobrecarga de nieve de 0.5 KN/m^2.

Ya se puede calcular el valor de la carga de nieve:

$$q_n = \mu * s_k = 1 * 0.5 = 0.5\ KN/m^2$$

3. Correas

En este apartado se van a dimensionar y calcular las correas de la instalación, estas sirven como medio de unión entre las vigas y pilares y el cerramiento exterior que será colocado en las fachadas y cubierta de la nave.

Se cuenta con distintos tipos de correas para los cuales existe una manera distinta de estudiarlas; en primer lugar se estudiarán las correas de fachadas laterales, en segundo lugar las correas de fachadas frontales, y por último las correas de cubierta.

Para las dos primeras se tendrán en cuenta las cargas de peso propio y viento que actúe en cada una de las fachadas. En las cargas de peso propio se engloban el de la misma correa y el del cerramiento.

Para las correas de cubierta será necesario tener en cuenta además de las cargas mencionadas anteriormente, el efecto que produce la carga de nieve que hemos calculado en el apartado 2.2.

Todas ellas se van a dimensionar y comprobar para Estado Límite Último (ELU) de acuerdo con el Documento Básico del Acero (DB SE-A) del C.T.E.

Dentro de cada tipo de correa, esta se dimensionará atendiendo al caso más desfavorable, es decir, adoptando los mayores valores posibles de las cargas en la superficie donde se alojen, lo que se traduce en la zona con mayores cargas por efecto del viento, las cuales se han calculado en el apartado 2.1 del presente anexo.

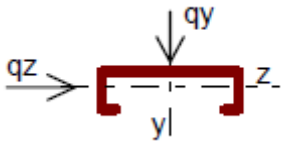
Las correas se comprobarán a flexión compuesta ya que hay cargas actuando en distintos planos. La forma de hacerlo es la que dice el DB SE-A apartado 6.2.8 (Flexión compuesta sin cortante) del C.T.E.

$$\frac{N_{ed}}{N_{rd}} + \frac{M_{y\,Ed}}{M_{y\,Rd}} + \frac{M_{z\,Ed}}{M_{z\,Rd}} \leq 1$$

Sin embargo, se puede realizar una simplificación ya que en ningún caso de las correas van a existir esfuerzos axiles, por lo que se puede despreciar este término y la anterior ecuación queda de la siguiente forma:

$$\frac{M_{y\,Ed}}{M_{y\,Rd}} + \frac{M_{z\,Ed}}{M_{z\,Rd}} \leq 1$$

Además cabe mencionar que cada correa debe ser estudiada en dos de sus secciones; en el centro de cada vano ya que es ahí donde se produce el momento flector máximo del eje z, y en el apoyo central que es donde va a producirse el momento flector máximo respecto al eje y.



Aparte de las comprobaciones de tensión también se van a efectuar las comprobaciones de deformación, estableciendo una deformación vertical máxima de L/300 tal y como indica el C.T.E., siendo L la longitud total del vano.

Las correas se supondrán como vigas continuas e irán apoyadas sobre tres pórticos en el plano horizontal (X-Z).

En el plano vertical (X-Y) se contará con un apoyo adicional en el centro de cada vano ya que se instalará una tirantilla con la intención de distribuir entre las correas de ese mismo paño los esfuerzos provocados por el peso propio de las mismas. Esto conllevará a la instalación de una doble correa al final de cada paño ya que será la mayor responsable de la absorción de esos esfuerzos ya mencionados.

Estas tirantillas también serán tenidas en cuenta a la hora de realizar el cálculo.

3.1. Cerramientos

En las fachadas y en la cubierta se va a utilizar el mismo tipo de cerramiento que será un panel de "CURBIMETAL" CM 40/974 que se situará cada dos vanos. Dicho panel cuenta con un perfil grecado conformado en frío y fabricado con acero galvanizado en continuo según la norma UNE-EN 10346. Cuenta con 50 milímetros de longitud de trapecios en la parte superior, 147.5 milímetros de longitud de valle y 0.6 mm de espesor.

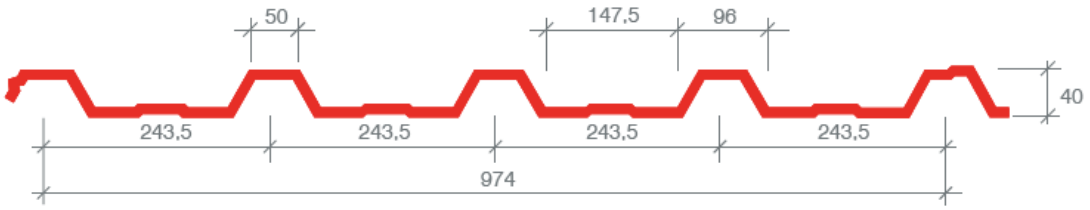


Figura 21 Geometría del perfil CM 40/974

Además este perfil cuenta con una resistencia máxima de 1.59 KN/m^2 para una luz entre apoyos de 2.5 metros (que es la distancia máxima entre correas que vamos a obtener), y como podemos comprobar por los resultados del apartado 2.1, este valor es superior a cualquier carga de viento de cualquier área de influencia en todas las hipótesis.

Su exclusivo sistema de solape permite su instalación en cubiertas con pendiente mínima y garantiza la eliminación de todo tipo de filtraciones.



Figura 22 Detalle del solape

Este panel cuenta con un peso propio de 6.04 kg/m^2.

3.2. Correas laterales

Se comienza determinando los esfuerzos que actúan sobre los paramentos verticales de las fachadas laterales. Como se ha mencionado anteriormente, para dimensionar las correas se va a tener en cuenta aquella que se encuentre en la situación más desfavorable, es decir, la que posea mayores esfuerzos.

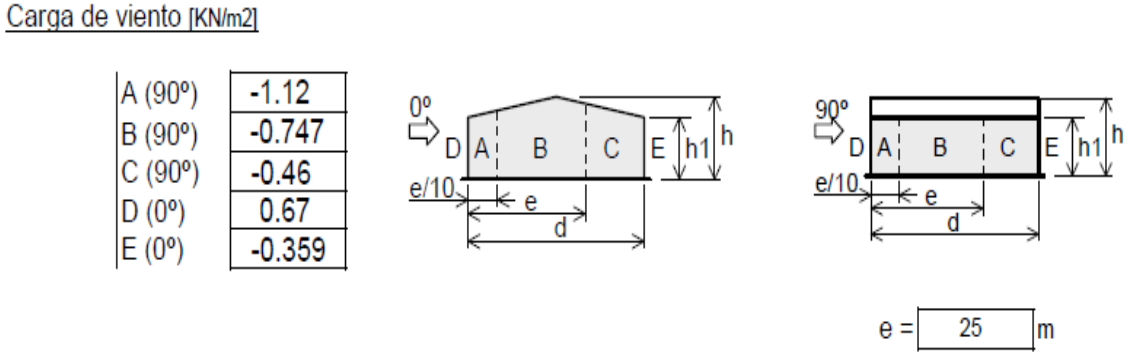


Figura 23 Valores de carga de viento para fachada lateral por hipótesis

En esta instalación la altura de paño lateral es de 14 metros, sin embargo hay que descontar los 4 metros de altura que tendrá de fábrica el muro perimetral que va a colocarse, por lo que queda una altura restante de 10 metros de paño de chapa.

Las correas van a distribuirse de forma homogénea, por lo que se colocarán 5 correas, quedando una distancia entre correas de 2.5 metros. Estas mismas tendrán una longitud de 12 metros por lo que irán dispuestas cada 2 vanos e irán apoyadas en 3 pórticos.

Como se puede observar, la zona con mayor carga es la zona A para la hipótesis V2 (90º) y después la zona B para la hipótesis V2 (90º). Sin embargo la zona A tiene una longitud de e/10, es decir, de 2.5 metros por lo que parte de la correa se encontrará en la zona A y la otra parte en la zona B.

Por lo tanto para dimensionar las correas laterales se tendrán en cuenta unos valores de -1.12 KN/m^2 (Succión) y -0.747 KN/m^2 (Succión) correspondientes a la zona A y B respectivamente y de la hipótesis V2 (90º).

Como se ha mencionado anteriormente, se estudiarán los dos planos de carga; el plano horizontal (X-Z) donde sólo actúan las acciones de viento y el plano vertical (X-Y) donde actúan las cargas del peso propio de las correas y del cerramiento del apartado 3.1.

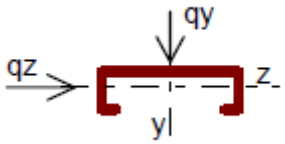


Figura 24 Acciones sobre la correa lateral

Plano X-Z (My):

Como ya se ha dicho, la zona A posee una longitud de 2.5 metros por lo que la carga de viento de la hipótesis V2 (90º) actuará a lo largo de esta distancia.

El resto de la correa, es decir los 10.5 metros restantes, se verá afectada por la carga de viento que existe en la zona B de la hipótesis V2 (90º).

Todo esto queda reflejado en la siguiente figura donde además se puede observar como la correa va quedar apoyada en tres puntos que corresponden a los tres pórticos nombrados anteriormente y que son los que componen los dos vanos.

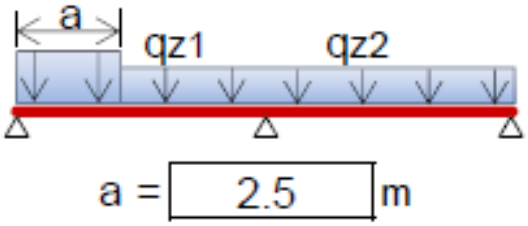


Figura 25 Esquema de carga de correa en plano X-Z

Las cargas q_{z1} y q_{z2} se calculan como la carga de viento que corresponde a cada zona por la distancia entre correas.

$$q_{z1} = -\frac{1.12\ KN}{m^2} * 2.5\ m = -2.8\frac{KN}{m}$$

$$q_{z2} = -\frac{0.747\ KN}{m^2} * 2.5\ m = -1.86\frac{KN}{m}$$

A continuación se introducen la geometría y las cargas que se acaban de calcular en el software comercial de CYPE y se obtienen los siguientes resultados:

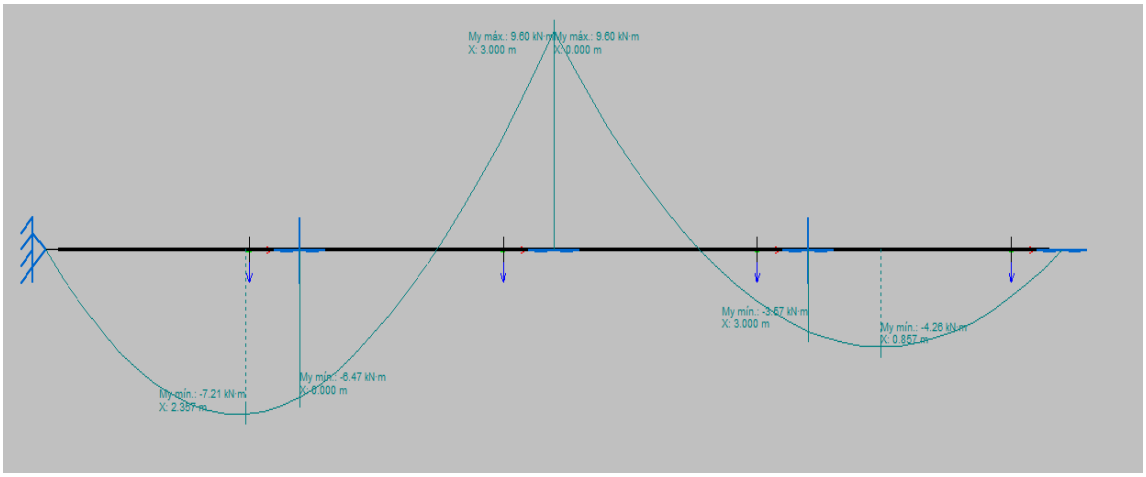


Figura 26 Diagrama de momentos en el plano X-Z de la correa

A continuación, gracias a la información de CYPE proporcionada en la Figura 26, se obtienen los momentos de las secciones 1 y 2 siendo estas el apoyo central y el centro del primer vano respectivamente, como se puede apreciar en la siguiente imagen:

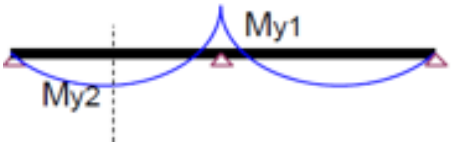


Figura 27 Secciones de cálculo

$$M_{y\,1} = 9.6\ KN * m$$

$$M_{y\,2} = -6.47\ KN * m$$

Plano X-Y (Mz):

Como se ha mencionado anteriormente, en este plano sólo actúan el peso propio de las correas y el cerramiento. Como aún no se conoce el perfil que se va a necesitar se va a realizar una aproximación del peso propio de la correa a 0.1 KN/m. Además y como se ha mencionado en el apartado 3.1, el peso del cerramiento es de 0.0604 KN/m^2, por lo que se tiene que multiplicar por la distancia entre correas para obtener la carga por metro lineal.

Por lo tanto y a modo de conclusión; el valor de carga permanente por metro lineal que tendrán que soportar las correas en el plano X-Y será:

$$q_y = 0.1\frac{KN}{m} + 0.0604\frac{KN}{m^2} * 2.5\ m = 0.243\ KN/m$$

Además cabe volver a mencionar que la correa se considera apoyada en 5 puntos; tres de los cuales corresponden a los pórticos y los otros dos a las tirantillas que se situarán en el centro de cada vano. De esta forma se reparten mejor los esfuerzos producidos por el peso propio que están actuando en el "eje débil" de las correas.

Nuevamente se introducen la geometría y las cargas que se acaban de calcular en el software comercial de CYPE y se obtienen los siguientes resultados:

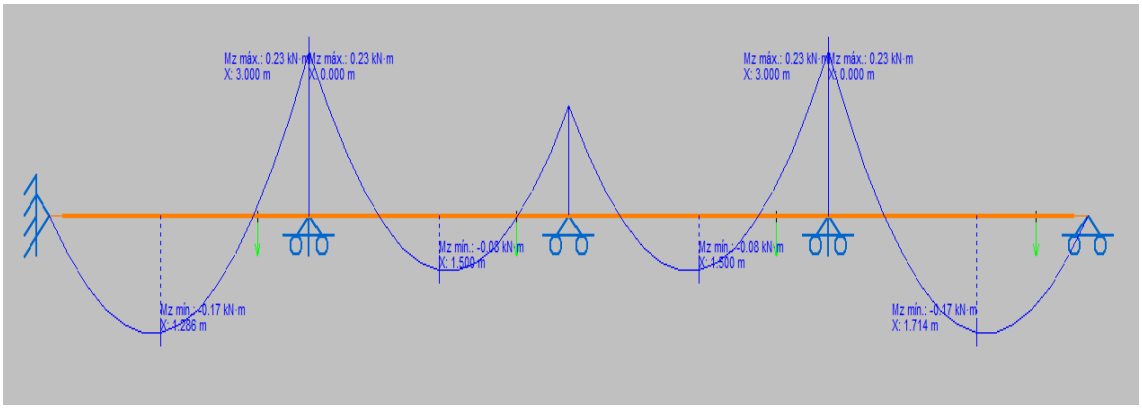


Figura 28 Diagrama de momentos en el plano X-Y

A continuación y como se ha mencionado anteriormente, gracias a la información de CYPE, se obtienen los momentos de las secciones 1 y 2 siendo estas el vano central y el centro del primer vano respectivamente. Además también se obtendrá el esfuerzo axil que soporta cada tirantillas para dimensionarla posteriormente. Como se puede apreciar en la siguiente imagen:



Figura 29 Secciones de cálculo

$$M_{z\,1} = 0.16\ KN * m$$
$$M_{z\,2} = 0.23\ KN * m$$
$$R_y = 0.833\ KN$$

Una vez que ya se conocen los momentos flectores de ambos planos, se establece la combinación de esfuerzos más desfavorable para obtener los esfuerzos en valor de cálculo y, que en este caso, al tener en cuenta el peso propio y la hipótesis de viento V2 (90º) resulta ser:

1.35 CP + 1.5 V2 (90º)

Ya se puede realizar la comprobación a flexión compuesta sin axil que fue mencionada al inicio del apartado 3.

Se comienza calculando los esfuerzos en valor de cálculo para la sección 1 que corresponde al apoyo central:

$$M_{y1\,Ed} = 1.5 * 9.6 = 14.4\ KN * m$$
$$M_{z1\,Ed} = 1.35 * 0.16 = 0.216\ KN * m$$

A continuación se calculan los esfuerzos en valor de cálculo para la sección 2 que corresponde al centro del primer vano:

$$M_{y2\,Ed} = 1.5 * -6.47 = -9.7\ KN * m$$
$$M_{z2\,Ed} = 1.35 * 0.23 = 0.31\ KN * m$$

Se va a escoger un perfil de acero conformado en frío CF 225x2.5 que cuenta con las siguientes características mecánicas:

I_y = 8.05 E6 mm^4; W_y = 71.7 E3 mm^4

I_z = 0.9 E6 mm^4; W_z = 16.2 E3 mm^4

Con estas propiedades se obtienen los siguientes momentos resistentes:

$$M_{y\,Rd} = W_y * f_{yd} = 71.7\ E3 * \frac{275}{1.05} = 18.78\ KN * m$$
$$M_{z\,Rd} = W_z * f_{yd} = 16.2\ E3 * \frac{275}{1.05} = 4.24\ KN * m$$

Por último, se realiza la comprobación de las secciones:

Sección 1:

$$\frac{M_{y\,Ed}}{M_{y\,Rd}} + \frac{M_{z\,Ed}}{M_{z\,Rd}} = \frac{14.4}{18.78} + \frac{0.216}{4.24} = 0.76 + 0.05 = 0.81 < 1\ (Cumple)$$

Sección 2:

$$\frac{M_{y\,Ed}}{M_{y\,Rd}} + \frac{M_{z\,Ed}}{M_{z\,Rd}} = \frac{9.7}{18.78} + \frac{0.31}{4.24} = 0.51 + 0.08 = 0.59 < 1\ (Cumple)$$

Como se puede observar, la sección del perfil seleccionado más desfavorable está trabajando a un 81% de su capacidad.

Seguidamente se comprueba la flecha máxima y nuevamente se obtiene gracias a la ayuda del software comercial CYPE 3D. Se realiza la comprobación de Estado Límite Siguiente (ELS) para combinación frecuente (Deformación) con las cargas permanentes (Peso propio) y las de viento.

La flecha máxima se obtendrá en el plano X-Z debido a las cargas de viento, además se puede intuir que en la mitad del primer vano es donde va a existir mayor deformación por poseer unos valores de carga mayores que en el resto de la correa (Ya que pertenece a la zona de influencia A, que era la más desfavorable).

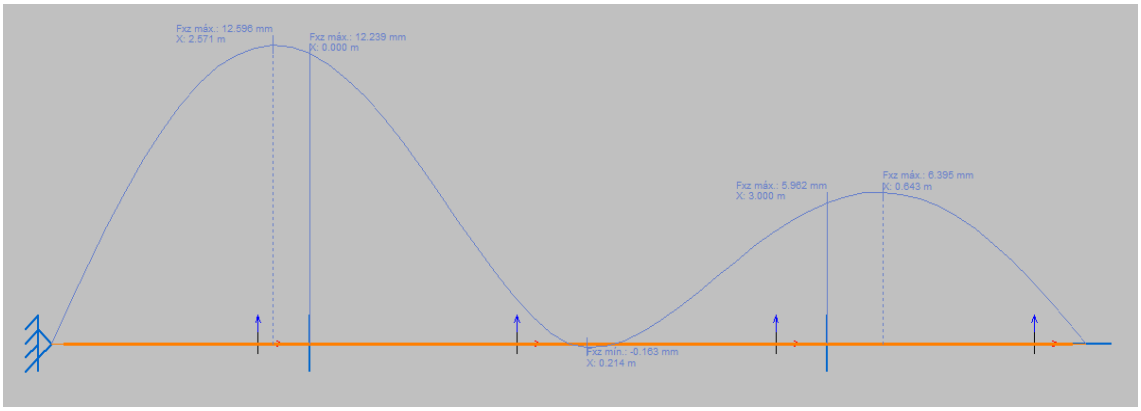


Figura 30 Flecha máxima de la correa en el plano X-Z

Como puede observarse en la Figura 30, se obtiene un desplazamiento máximo de 12.59 mm a una distancia de 2.5 m del comienzo de la correa.

Tal y como indica el CTE en el DB SE apartado 4.3.2 ,al encontrarse en una combinación frecuente donde solo está produciendo desplazamiento la hipótesis de viento, se debe multiplicar el valor obtenido con CYPE por un coeficiente $\Psi_{1,1}$ que para el viento adopta un valor de 0.5. Por lo tanto el valor de la flecha en combinación frecuente obtiene un valor de: 0.5*12.59=6.3 mm.

La flecha máxima será L/300, es decir, 20 mm. Como 6.3 mm < 20 mm se puede concluir que el perfil seleccionado cumple la condición de flecha máxima.

Como conclusión se puede obtener que el perfil CF 225x2.5 cumple todas las condiciones establecidas.

Una vez dimensionadas y comprobadas las correas de la fachada lateral, se puede pasar a dimensionar las tirantillas que unirán dichas correas como se ha mencionado con anterioridad.

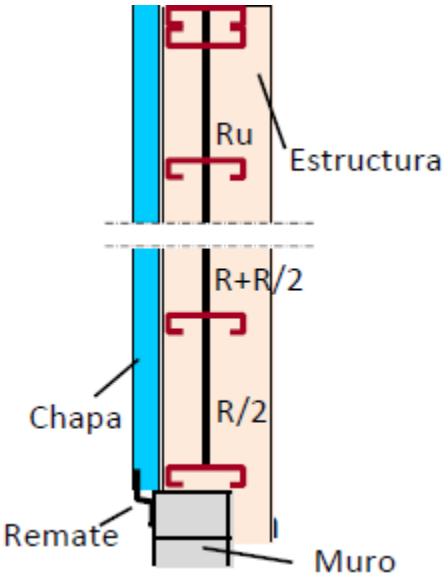


Figura 31 Esquema de las correas de fachada

Como se puede observar en la Figura 31, la correa situada en la parte inferior tendrá la mitad de área tributaria que el resto ya que va apoyada en el muro de hormigón por lo que se debería de tener en cuenta una R_y igual a la mitad que se ha obtenido en el plano X-Y. Sin embargo ya que su efecto no es muy significativo en este tipo de correas y que se estará por el lado de la seguridad al considerar la reacción igual al total del valor obtenido para el caso de esa correa, se va a considerar que todas las reacciones son iguales desde la primera correa hasta la última.

Por lo tanto, la tirantilla de la segunda correa inferior tendrá la carga de la correa inferior R_y y la suya, soportando un esfuerzo de $2*R_y$. Esto ocurrirá sucesivamente hasta llegar a la última tirantilla por lo que se puede concluir que estará sometida a un esfuerzo de $N*R_y$, siendo N el número de tirantillas en el paño. El dimensionamiento de estas tirantillas se realizará en función de este valor por ser el más desfavorable.

Como se ha mencionado anteriormente, se tiene un total de 5 correas por paño, lo que da lugar a 4 tirantillas. Por lo que el esfuerzo total que deberá soportar la última tirantilla, y para el que se van a dimensionar el resto de ellas es de $4*R_y$.

El valor de R_y se ha obtenido anteriormente en el diagrama de esfuerzos del plano X-Y pero se encuentra en valor característico por lo que se tendrá que mayorar de acuerdo a la combinación de esfuerzos más desfavorable. Se conoce que este esfuerzo es causado por la hipótesis de carga permanente por lo que:

$$R_{Ed} = 1.35 * R_y = 1.35 * 0.833 = 1.13\ KN$$

Por lo tanto el valor que soportará la última tirantilla:

$$R_{u\,Ed} = 4 * R_{Ed} = 4 * 1.13 = 4.52\ KN$$

Tal y como se indica en el C.T.E. DB SE-A apartado 6.2.3; como resistencia de las secciones a tracción puede emplearse:

$$N_{t,Rd} = A_{min} * f_{yd}$$

En este caso $N_{t,Rd}$= $R_{u\,Ed}$, por lo tanto ya se puede obtener el área mínima que necesitará la tirantilla para soportar dicha carga:

$$A_{min} = \frac{R_{u\,Ed}}{f_{yd}} = \frac{4.52 * 10^3}{\frac{275}{1.05}} = 17.8\ mm^2$$

Con esta área mínima se calcula el diámetro mínimo necesario:

$$\emptyset_{min} = \sqrt{\frac{4 * A_{min}}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 * 17.8}{\pi}} = 4.7\ mm$$

Se instalarán tirantillas de diámetro 10 mm ya que no es producente utilizar redondos de menor diámetro que este.

CORREA SUPERIOR

La correa superior del paño crea un problema aparte, ya que aunque posee la mitad de área tributaria que el resto, tiene que soportar en el plano X-Y su propio peso, el del cerramiento y el del resto de correas, ya que al ser la superior no cuenta con tirantillas que le ayuden a repartir los esfuerzos de ese plano.

Como se ha realizado con anterioridad, se va a comprobar la resistencia de la sección y la flecha máxima para los planos X-Y, donde actuarán las cargas de peso propio de todas las correas y las del cerramiento, y del X-Z, donde únicamente actuará la carga de viento.

Plano X-Z (My):

Como ya se ha dicho, la zona A posee una longitud de 2.5 metros por lo que la carga de viento de la hipótesis V2 (90º) actuará a lo largo de esta distancia.

El resto de la correa, es decir los 10.5 metros restantes, se verá afectada por la carga de viento que existe en la zona B de la hipótesis V2 (90º).

Todo esto queda reflejado en la siguiente figura donde además se puede observar como la correa va quedar apoyada en tres puntos que corresponden a los tres pórticos nombrados anteriormente y que son los que componen los dos vanos.

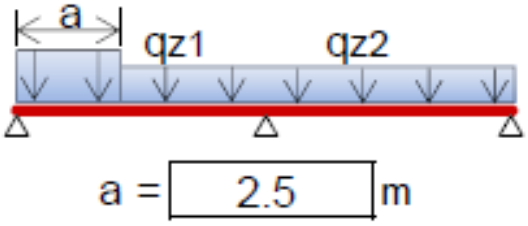


Figura 32 Esquema de carga de última correa lateral en el plano X-Y

Las cargas q_{z1} y q_{z2} se calculan como la carga de viento que corresponde a cada zona por la distancia entre correas dividida entre dos, ya que en este caso el área tributaria es la mitad por ser la última correa.

$$q_{z1} = -\frac{1.12\ KN}{m^2} * \frac{2.5}{2}\ m = -1.4\frac{KN}{m}$$

$$q_{z2} = -\frac{0.747\ KN}{m^2} * \frac{2.5}{2}\ m = -0.93\frac{KN}{m}$$

A continuación se introducen la geometría y las cargas que se acaban de calcular en el software comercial de CYPE y se obtienen los siguientes resultados:

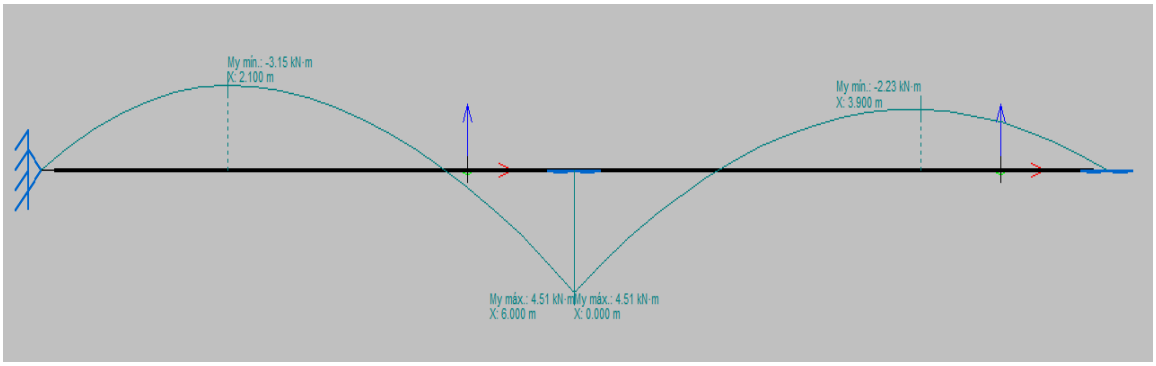


Figura 33 Diagrama de momentos en el plano X-Z de la última correa

A continuación, gracias a la información de CYPE proporcionada en la Figura 33, se obtienen los momentos de las secciones 1 y 2 siendo estas el vano central y el centro del primer vano respectivamente, como se puede apreciar en la siguiente imagen:

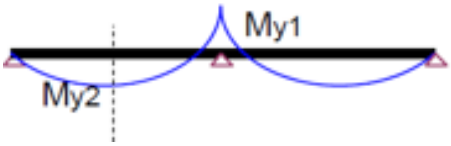


Figura 34 Secciones de cálculo

$$M_{y\,1} = 4.51\ KN * m$$

$$M_{y\,2} = -3.03\ KN * m$$

Plano X-Y (Mz):

En este caso, además del peso de la propia correa y del cerramiento, también actúa la carga de la última tirantilla $R_{y\,u}$ en el centro de cada vano.

Como ya se ha mencionado anteriormente, el valor de esta carga $R_{y\,u}$ es igual a 4 veces el valor de R_y.

Además ahora la correa se considera únicamente apoyada sobre 3 puntos, que corresponden a los 3 pilares.

Nuevamente se introducen la geometría y las cargas que se acaban de calcular en el software comercial de CYPE y se obtienen los siguientes resultados:

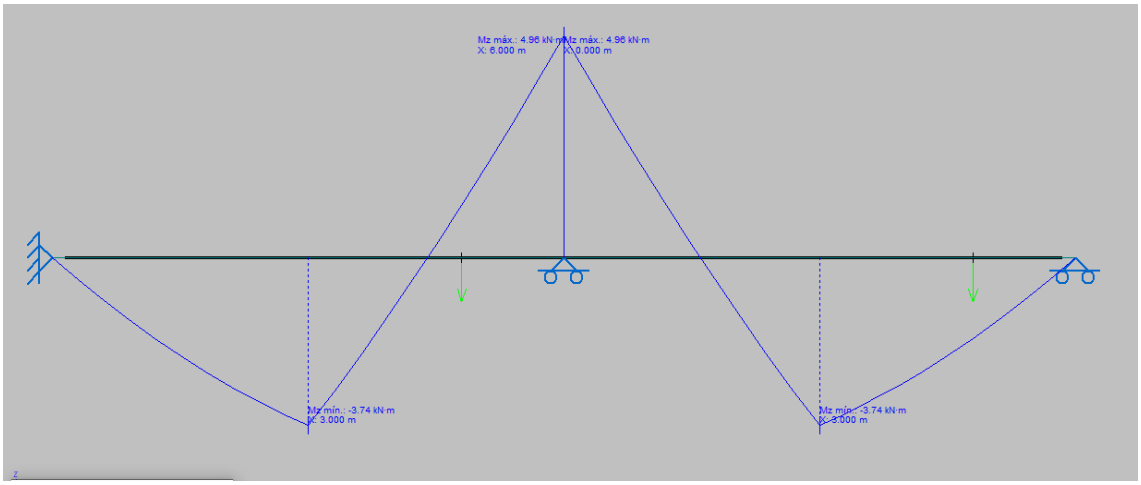


Figura 35 Diagrama de momento en el plano X-Y de la última correa

A continuación, gracias a la información de CYPE proporcionada en la Figura 33, se obtienen los momentos de las secciones 1 y 2 siendo estas el vano central y el centro del primer vano respectivamente.

$$M_{z\,1} = 4.96\ KN * m$$

$$M_{z\,2} = -3.74\ KN * m$$

Una vez que ya se conocen los momentos flectores de ambos planos, se establece la combinación de esfuerzos más desfavorable para obtener los esfuerzos en valor de cálculo:

1.35 CP + 1.5 V2 (90º)

Ya se puede realizar la comprobación a flexión compuesta sin axil que fue mencionada al inicio del apartado 3.

Se comienza calculando los esfuerzos en valor de cálculo para la sección 1 que corresponde al apoyo central:

$$M_{y1\,Ed} = 1.5 * 4.51 = 6.77\ KN * m$$

$$M_{z1\,Ed} = 1.35 * 4.96 = 6.7\ KN * m$$

A continuación se calculan los esfuerzos en valor de cálculo para la sección 2 que corresponde al centro del primer vano:

$$M_{y2\,Ed} = 1.5 * -3.03 = 4.54\ KN * m$$

$$M_{z2\,Ed} = 1.35 * -3.74 = 5.05\ KN * m$$

Se va a escoger un perfil de acero conformado en frío CF 225x2.5 que cuenta con las siguientes características mecánicas:

I_y = 8.05 E6 mm^4; W_y = 71.7 E3 mm^4

I_z = 0.9 E6 mm^4; W_z = 16.2 E3 mm^4

Con estas propiedades se obtienen los siguientes momentos resistentes:

$$M_{y\,Rd} = W_y * f_{yd} = 71.7\ E3 * \frac{275}{1.05} = 18.78\ KN * m$$

$$M_{z\,Rd} = W_z * f_{yd} = 16.2\ E3 * \frac{275}{1.05} = 4.24\ KN * m$$

Por último, se realiza la comprobación de las secciones:

Sección 1:

$$\frac{M_{y\,Ed}}{M_{y\,Rd}} + \frac{M_{z\,Ed}}{M_{z\,Rd}} = \frac{6.77}{18.78} + \frac{6.7}{4.24} = 0.36 + 1.58 = 1.94 < 1\ (NO\ Cumple)$$

Sección 2:

$$\frac{M_{y\,Ed}}{M_{y\,Rd}} + \frac{M_{z\,Ed}}{M_{z\,Rd}} = \frac{4.54}{18.78} + \frac{5.05}{4.24} = 0.24 + 1.19 = 1.43 < 1\ (NO\ Cumple)$$

Como puede observarse, la combinación de esfuerzos supera la capacidad resistente de la sección, por lo que se debe aumentar el perfil seleccionado. Se va a optar por colocar dos perfiles CF 225x2.5 soldados en cajón ya que de lo contrario habría que aumentar demasiado el perfil.

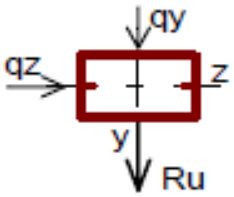


Figura 36 Distribución de cargas en la correa superior

I_y = 16.1 E6 mm^4; W_y = 104.4 E3 mm^4

I_z = 8.42 E6 mm^4; W_z = 70.1 E3 mm^4

Al colocar dos perfiles el peso propio de la correa será el doble, por lo el esquema de cargas quedará de la siguiente forma:

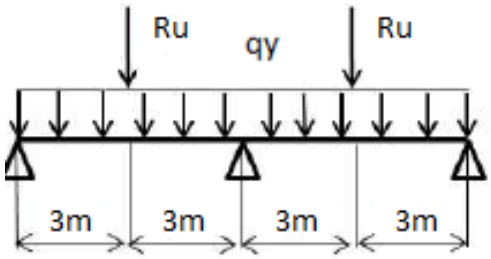


Figura 37 Esquema de carga de la última correa en plano X-Y

$$q_y = 2 * 0.1\frac{KN}{m} + 0.0604\frac{KN}{m^2} * \frac{2.5}{2}\ m = 0.2715\ KN/m$$

$$R_{y\,u} = 4 * R_y = 4 * 0.833 = 3.33\ KN$$

Se vuelven a comprobar las secciones 1 y 2:

Se comienza calculando los esfuerzos en valor de cálculo para la sección 1 que corresponde al apoyo central:

$$M_{y1\,Ed} = 1.5 * 4.51 = 6.77\ KN * m$$

$$M_{z1\,Ed} = 1.35 * 4.96 = 6.7\ KN * m$$

A continuación se calculan los esfuerzos en valor de cálculo para la sección 2 que corresponde al centro del primer vano:

$$M_{y2\,Ed} = 1.5 * -3.03 = 4.54\ KN * m$$

$$M_{z2\,Ed} = 1.35 * -3.74 = 5.05\ KN * m$$

Se obtienen los siguientes momentos resistentes:

$$M_{y\,Rd} = W_y * f_{yd} = 104.4\ E3 * \frac{275}{1.05} = 27.34\ KN * m$$

$$M_{z\,Rd} = W_z * f_{yd} = 70.1\ E3 * \frac{275}{1.05} = 18.36\ KN * m$$

Por último, se realiza la comprobación de las secciones:

Sección 1:

$$\frac{M_{y\,Ed}}{M_{y\,Rd}} + \frac{M_{z\,Ed}}{M_{z\,Rd}} = \frac{6.77}{27.34} + \frac{6.7}{18.36} = 0.24 + 0.36 = 0.6 < 1\ (Cumple)$$

Sección 2:

$$\frac{M_{y\,Ed}}{M_{y\,Rd}} + \frac{M_{z\,Ed}}{M_{z\,Rd}} = \frac{4.54}{27.34} + \frac{5.05}{18.36} = 0.16 + 0.28 = 0.44 < 1\ (Cumple)$$

Como se puede observar la sección con perfil doble cumple la comprobación de resistencia para el caso más desfavorable de todos rindiendo a un 75% de su capacidad resistente ante flexión compuesta.

Seguidamente se comprueba la flecha máxima y nuevamente se obtiene gracias a la ayuda del software comercial CYPE 3D. Se realiza la comprobación de Estado Límite Siguiente (ELS) para combinación frecuente (Deformación) con las cargas permanentes (Peso propio) y las de viento.

La flecha máxima se obtendrá en el plano X-Y debido a las cargas de peso propio, además se puede intuir que en la mitad del primer vano es donde va a existir mayor deformación por poseer unos valores de carga mayores que en el resto de la correa (Ya que ahí se encuentran los efectos de la tirantilla).

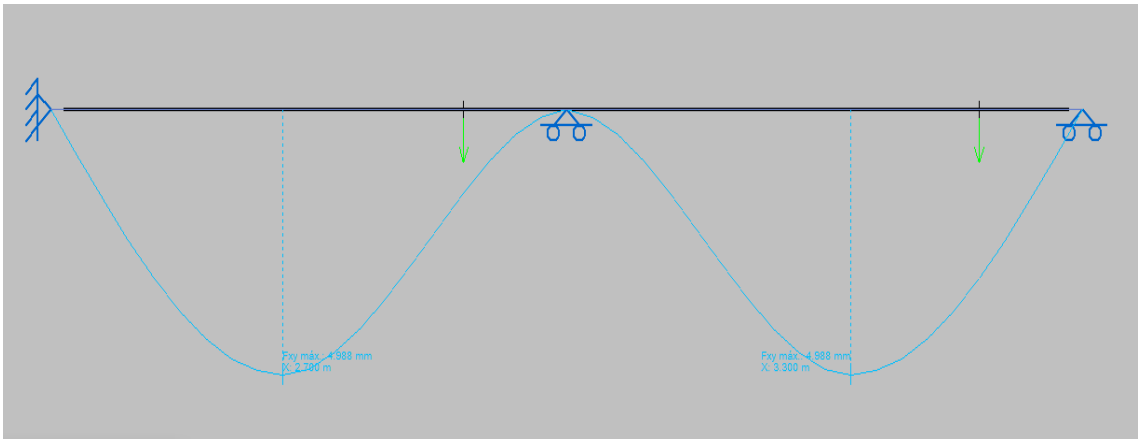


Figura 38 Flecha máxima de la última correa en el plano X-Y

Como puede observarse en la Figura 38, se obtiene un desplazamiento máximo de 4.98 mm a una distancia de 2.7 m del comienzo de la correa.

Tal y como indica el CTE en el DB SE apartado 4.3.1 ,al encontrarse en una combinación frecuente donde solo está produciendo desplazamiento la hipótesis de peso propio, se debe adoptar un valor de flecha igual al valor característico, es decir, la flecha es igual a 4.98 mm.

La flecha máxima será L/300, es decir, 20 mm. Como 4.98 mm < 20 mm se puede concluir que el perfil seleccionado cumple la condición de flecha máxima.

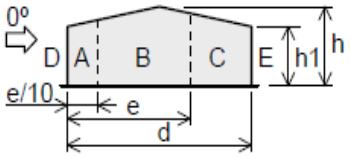
Como conclusión se puede obtener que el perfil doble CF 225x2.5 cumple todas las condiciones establecidas.

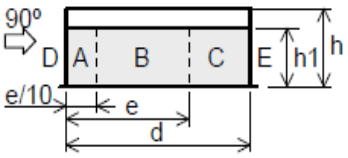
3.3. Correas frontales

Se comienza determinando los esfuerzos que actúan sobre los paramentos verticales de las fachadas frontales. Como se ha mencionado anteriormente, para dimensionar las correas se va a tener en cuenta aquella que se encuentre en la situación más desfavorable, es decir, la que posea mayores esfuerzos.

Carga de viento [KN/m2]

A (0º)	-1.089
B (0º)	-0.724
C (0º)	-0.45
D (90º)	0.65
E (90º)	-0.27





e = 30.5 m

Figura 39 Valores de carga de viento para fachada frontal por hipótesis

En esta instalación la altura de paño frontal es de 15.25 metros, sin embargo hay que descontar los 4 metros de altura que tendrá de fábrica el muro perimetral que va a colocarse, por lo que queda una altura restante de 11.25 metros de paño de chapa.

Las correas van a distribuirse de forma homogénea, por lo que se colocarán 5 correas, quedando una distancia entre correas de 2.25 metros. Estas mismas tendrán una longitud de 12.5 metros por lo que irán dispuestas cada 2 vanos e irán apoyadas en 3 pórticos.

Como se puede observar, la zona con mayor carga es la zona A para la hipótesis V1 (0º) y después la zona B para la hipótesis V1 (0º). Sin embargo la zona A tiene una longitud de e/10, es decir, de 3.05 metros por lo que parte de la correa se encontrará en la zona A y la otra parte en la zona B.

Por lo tanto para dimensionar las correas laterales se tendrán en cuenta unos valores de -1.089 KN/m^2 (Succión) y -0.724 KN/m^2 (Succión) correspondientes a la zona A y B respectivamente y de la hipótesis V2 (90º).

Como se ha mencionado anteriormente, se estudiarán los dos planos de carga; el plano horizontal (X-Z) donde sólo actúan las acciones de viento y el plano vertical (X-Y) donde actúan las cargas del peso propio de las correas y del cerramiento del apartado 3.1.

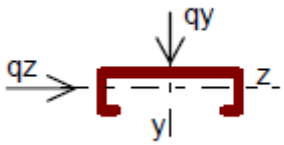


Figura 40 Acciones sobre la correa lateral

Plano X-Z (My):

Como ya se ha dicho, la zona A posee una longitud de 3.05 metros por lo que la carga de viento de la hipótesis V1 (0º) actuará a lo largo de esta distancia.

El resto de la correa, es decir los 9.45 metros restantes, se verá afectada por la carga de viento que existe en la zona B de la hipótesis V1 (0º).

Todo esto queda reflejado en la siguiente figura donde además se puede observar como la correa va quedar apoyada en tres puntos que corresponden a los tres pórticos nombrados anteriormente y que son los que componen los dos vanos.

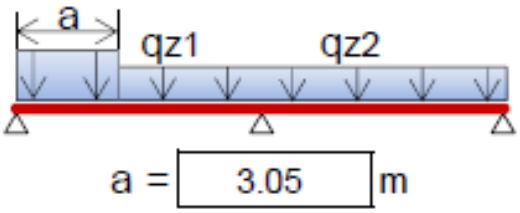


Figura 41 Esquema de carga de la correa frontal del plano X-Z

$$q_{z1} = -\frac{1.089\ KN}{m^2} * 2.25\ m = -2.45\frac{KN}{m}$$

$$q_{z2} = -\frac{0.724\ KN}{m^2} * 2.25\ m = -1.629\frac{KN}{m}$$

A continuación se introducen la geometría y las cargas que se acaban de calcular en el software comercial de CYPE y se obtienen los siguientes resultados:

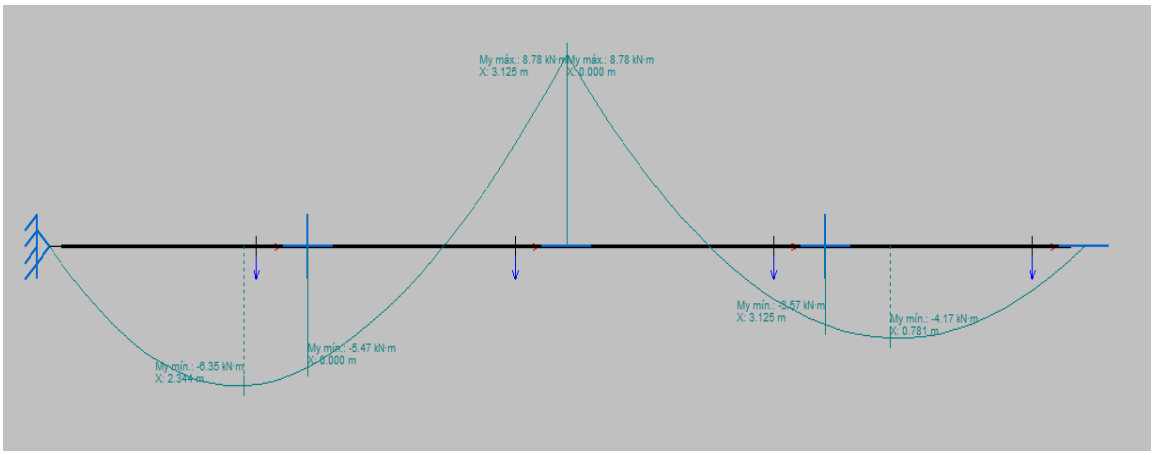


Figura 42 Diagrama de momentos correa frontal en plano X-Z

A continuación, gracias a la información de CYPE proporcionada en la Figura 42, se obtienen los momentos de las secciones 1 y 2 siendo estas el vano central y el centro del primer vano respectivamente, como se puede apreciar en la siguiente imagen:

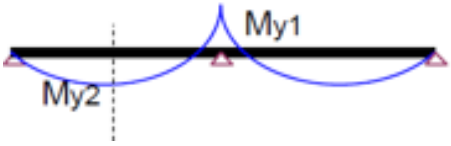


Figura 43 Secciones de cálculo

$$M_{y\,1} = 8.78\ KN * m$$

$$M_{y\,2} = -5.47\ KN * m$$

Plano X-Y (Mz):

En este plano sólo actúan el peso propio de las correas y el cerramiento. Como aún no se conoce el perfil que se va a necesitar se va a realizar una aproximación del peso propio de la correa a 0.1 KN/m. Además y como se ha mencionado en el apartado 3.1, el peso del cerramiento es de 0.0604 KN/m^2, por lo que se tiene que multiplicar por la distancia entre correas para obtener la carga por metro lineal.

Por lo tanto y a modo de conclusión; el valor de carga permanente por metro lineal que tendrán que soportar las correas en el plano X-Y será:

$$q_y = 0.1\frac{KN}{m} + 0.0604\frac{KN}{m^2} * 2.25\ m = 0.229\ KN/m$$

Además cabe volver a mencionar que la correa se considera apoyada en 5 puntos; tres de los cuales corresponden a los pórticos y los otros dos a las tirantillas que se situarán en el centro de cada vano. De esta forma se reparten mejor los esfuerzos producidos por el peso propio que están actuando en el "eje débil" de las correas.

Nuevamente se introducen la geometría y las cargas que se acaban de calcular en el software comercial de CYPE y se obtienen los siguientes resultados:

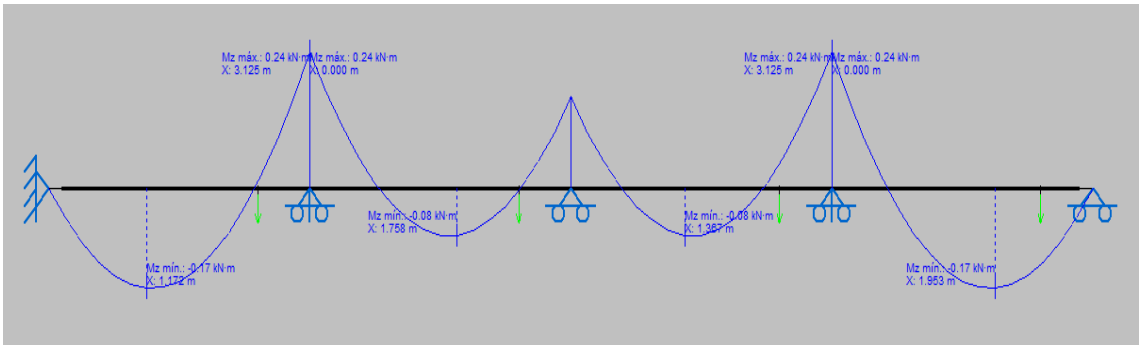


Figura 44 Diagrama de momentos correa de fachada en plano X-Y

A continuación y como se ha mencionado anteriormente, gracias a la información de CYPE, se obtienen los momentos de las secciones 1 y 2 siendo estas el vano central y el centro del primer vano respectivamente. Además también se obtendrá el esfuerzo axil que soporta cada tirantillas para dimensionarla posteriormente. Como se puede apreciar en la siguiente imagen:



Figura 45 Secciones de cálculo

$$M_{z\,1} = 0.16\ KN * m$$
$$M_{z\,2} = 0.24\ KN * m$$
$$R_y = 0.817\ KN$$

Una vez que ya se conocen los momentos flectores de ambos planos, se establece la combinación de esfuerzos más desfavorable para obtener los esfuerzos en valor de cálculo y, que en este caso, al tener en cuenta el peso propio y la hipótesis de viento V1 (0º) resulta ser:

1.35 CP + 1.5 V2 (90º)

Ya se puede realizar la comprobación a flexión compuesta sin axil que fue mencionada al inicio del apartado 3.

Se comienza calculando los esfuerzos en valor de cálculo para la sección 1 que corresponde al apoyo central:

$$M_{y1\,Ed} = 1.5 * 8.78 = 13.17\ KN * m$$
$$M_{z1\,Ed} = 1.35 * 0.16 = 0.216\ KN * m$$

A continuación se calculan los esfuerzos en valor de cálculo para la sección 2 que corresponde al centro del primer vano:

$$M_{y2\,Ed} = 1.5 * -5.47 = -8.205\ KN * m$$
$$M_{z2\,Ed} = 1.35 * 0.24 = 0.324\ KN * m$$

Se va a escoger un perfil de acero conformado en frío CF 225x2.5 que cuenta con las siguientes características mecánicas:

I_y = 8.05 E6 mm^4; W_y = 71.7 E3 mm^4

I_z = 0.9 E6 mm^4; W_z = 16.2 E3 mm^4

Con estas propiedades se obtienen los siguientes momentos resistentes:

$$M_{y\,Rd} = W_y * f_{yd} = 71.7\ E3 * \frac{275}{1.05} = 18.78\ KN * m$$
$$M_{z\,Rd} = W_z * f_{yd} = 16.2\ E3 * \frac{275}{1.05} = 4.24\ KN * m$$

Por último, se realiza la comprobación de las secciones:

Sección 1:

$$\frac{M_{y\,Ed}}{M_{y\,Rd}} + \frac{M_{z\,Ed}}{M_{z\,Rd}} = \frac{13.17}{18.78} + \frac{0.216}{4.24} = 0.7 + 0.05 = 0.75 < 1\ (Cumple)$$

Sección 2:

$$\frac{M_{y\,Ed}}{M_{y\,Rd}} + \frac{M_{z\,Ed}}{M_{z\,Rd}} = \frac{8.205}{18.78} + \frac{0.324}{4.24} = 0.44 + 0.07 = 0.51 < 1\ (Cumple)$$

Como se puede observar, la sección más desfavorable del perfil seleccionado está trabajando a un 75% de su capacidad.

Seguidamente se comprueba la flecha máxima y nuevamente se obtiene gracias a la ayuda del software comercial CYPE 3D. Se realiza la comprobación de Estado Límite Siguiente (ELS) para combinación frecuente (Deformación) con las cargas permanentes (Peso propio) y las de viento.

La flecha máxima se obtendrá en el plano X-Z debido a las cargas de viento, además se puede intuir que en la mitad del primer vano es donde va a existir mayor deformación por poseer unos valores de carga mayores que en el resto de la correa (Ya que pertenece a la zona de influencia A, que era la más desfavorable).

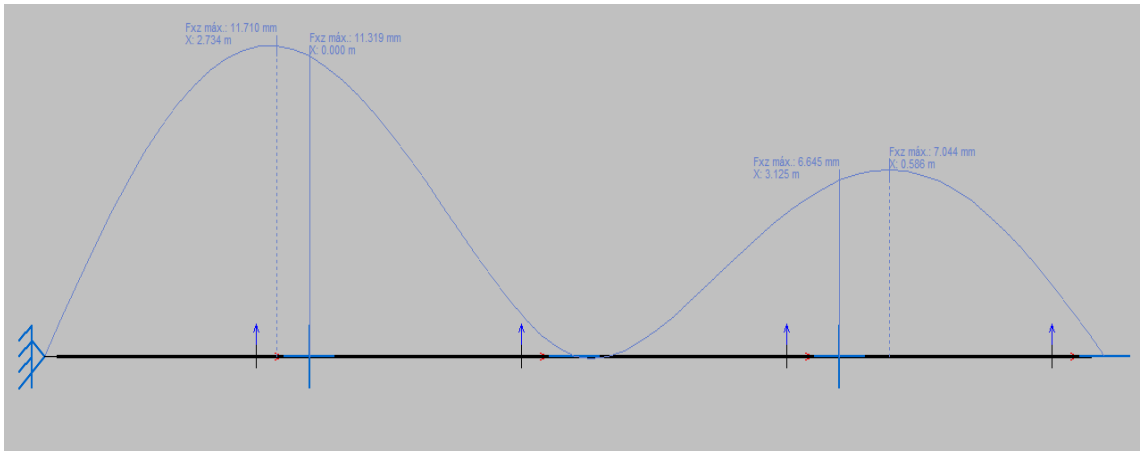


Figura 46 Flecha máxima de la correa frontal en el plano X-Z

Como puede observarse en la Figura 46, se obtiene un desplazamiento máximo de 11.70 mm a una distancia de 2.7 m del comienzo de la correa.

Tal y como indica el CTE en el DB SE apartado 4.3.2 ,al encontrarse en una combinación frecuente donde solo está produciendo desplazamiento la hipótesis de viento, se debe multiplicar el valor obtenido con CYPE por un coeficiente $\Psi_{1,1}$ que para el viento adopta un valor de 0.5. Por lo tanto el valor de la flecha en combinación frecuente obtiene un valor de: 0.5*11.7=5.85 mm.

La flecha máxima será L/300, es decir, 20 mm. Como 5.85 mm < 20 mm se puede concluir que el perfil seleccionado cumple la condición de flecha máxima.

Como conclusión se puede obtener que el perfil CF 225x2.5 cumple todas las condiciones establecidas.

Una vez dimensionadas y comprobadas las correas de la fachada lateral, se puede pasar a dimensionar las tirantillas que unirán dichas correas como se ha mencionado con anterioridad.

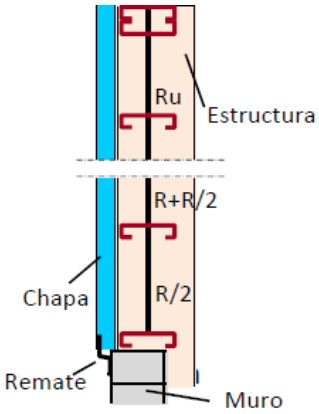


Figura 47 Esquema de las correas de fachada

Como se puede observar en la Figura 47, la correa situada en la parte inferior tendrá la mitad de área tributaria que el resto ya que va apoyada en el muro de hormigón por lo que se debería de tener en cuenta una R_y igual a la mitad que se ha obtenido en el plano X-Y. Sin embargo ya que su efecto no es muy significativo en este tipo de correas y que se estará por el lado de la seguridad al considerar la reacción igual al total del valor obtenido para el caso de esa correa, se va a considerar que todas las reacciones son iguales desde la primera correa hasta la última.

Como se ha mencionado anteriormente, se tiene un total de 5 correas por paño, lo que da lugar a 5 tirantillas, ya que esta vez no se tiene una doble correa superior si no que la última tirantilla superior irá unida al dintel del pórtico hastial. Por lo que el esfuerzo total que deberá soportar la última tirantilla, y para el que se van a dimensionar el resto de ellas es de 5*R_y.

El valor de R_y se ha obtenido anteriormente en el diagrama de esfuerzos del plano X-Y pero se encuentra en valor característico por lo que se tendrá que mayorar de acuerdo a la combinación de esfuerzos más desfavorable. Se conoce que este esfuerzo es causado por la hipótesis de carga permanente por lo que:

$$R_{Ed} = 1.35 * R_y = 1.35 * 0.827 = 1.11\ KN$$

Por lo tanto el valor que soportará la última tirantilla:

$$R_{u\,Ed} = 5 * R_{Ed} = 5 * 1.11 = 5.55\ KN$$

Tal y como se indica en el C.T.E. DB SE-A apartado 6.2.3; como resistencia de las secciones a tracción puede emplearse:

$$N_{t,Rd} = A_{min} * f_{yd}$$

En este caso $N_{t,Rd}$= $R_{u\,Ed}$, por lo tanto ya se puede obtener el área mínima que necesitará la tirantilla para soportar dicha carga:

$$A_{min} = \frac{R_{u\,Ed}}{f_{yd}} = \frac{5.55 * 10^3}{\frac{275}{1.05}} = 21.1\ mm^2$$

Con esta área mínima se calcula el diámetro mínimo necesario:

$$\emptyset_{min} = \sqrt{\frac{4 * A_{min}}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 * 21.1}{\pi}} = 5.17\ mm$$

Se instalarán tirantillas de diámetro 10 mm ya que no es producente utilizar redondos de menor diámetro que este.

Se puede obtener como conclusión que en todas las fachadas de la nave, tanto laterales como frontales, se colocará un perfil de correa CF 225x2.5 y unidas entre ellas con tirantillas de 10 mm de diámetro. En las fachadas laterales estarán separadas una longitud de 2.5 m y en las frontales 2.25 m.

3.4. Correas de cubierta

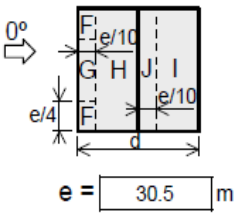
Para las correas de cubierta se sigue un estudio similar al que se ha desarrollado en el resto de correas, pero esta vez hay que tener en cuenta la inclinación de las correas de cubierta por lo que las acciones de peso propio y de nieve (Que actúan en el plano vertical) habrá que descomponerlas en dos ejes perpendiculares a las correas.

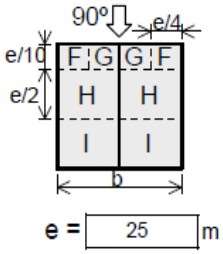
Como se ha hecho antes, se comienza calculando las cargas que actúan sobre los paramentos de cubierta.

Para dimensionar las correas se va a tener en cuenta aquella que cuente con mayores cargas por ser la más desfavorable.

Sobrecarga de viento [KN/m2]

	V1a	V1b
F (0º)	-1.53	0.009
G (0º)	-1.09	0.009
H (0º)	-0.531	0.009
I (0º)	-0.54	-0.513
J (0º)	0.1	-0.513





	V2
F (90º)	-1.467
G (90º)	-1.215
H (90º)	-0.643
I (90º)	-0.549

Figura 48 Valores de carga de viento en la cubierta

Las correas se dividirán en dos paños que corresponden a cada faldón de cubierta. Cada faldón cuenta con 12.5 metros en proyección horizontal (La mitad de lo que mide cada pórtico) que corresponden a 12.56 metros.

Por lo tanto, se colocarán 6 correas separadas entre sí 2.5 metros en proyección horizontal, es decir, 2.51 metros reales e irán dispuestas en la dirección longitudinal de la instalación apoyadas sobre los dinteles cada 3 pórticos.

Cabe mencionar que, únicamente observando las cargas de viento en cada zona de la cubierta, no se puede deducir cual es la hipótesis que va a resultar más desfavorable o la que más va a influir sobre el resto, ya que tienen valores de carga similares algunas de ellas.

Por ello habrá que realizar varias combinaciones en las que sólo puede intuirse que la acción dominante será el viento ya que sus valores de carga son muy superiores a los de la nieve (0.5 KN/m^2) que actuará como acción concomitante.

Tal y como se ha hecho anteriormente se estudiarán dos planos de carga:

-El plano perpendicular a la cubierta (X-Z), donde actuarán las cargas de viento y la componente vertical de las cargas de peso propio y nieve.

-El plano de la cubierta (X-Y), donde actuará la componente horizontal de las cargas de peso propio y nieve.

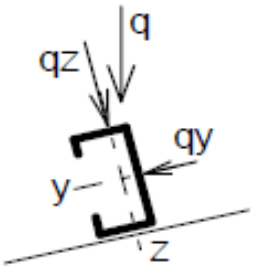


Figura 49 Esquema de carga de las correas de cubierta

Plano X-Z (My):

Con respecto al viento, a la hora de analizar las posibles combinaciones, hay que tener en cuenta que cuando las hipótesis V1a (0º) o V1b (0º) actúen como dominante (la que tenga mayores efectos de las dos), la correa más cargada será la más desfavorable y la zona de influencia con mayores valores de carga será la F, pero al medir las correas 12 metros, abarcarán la zona F y parte de la zona G.

Sin embargo, cuando sea la hipótesis V2 (90º) la que actúe como dominante la correa más cargada se encontrará en la zona F también, debido a sus valores de carga, pero a diferencia del caso anterior, además de la zona F abarcarán también la zona H ya que tienen una longitud de 12 metros y eso es superior a la longitud de la zona F (Ver Figura 48).

Para calcular el área tributaria de cada zona que actuará sobre la correa más cargada en cada una de las hipótesis se necesita el valor de "e" para cada hipótesis, calculado en el apartado 2.1 y que se encuentra en la Figura 48.

Dicho valor es necesario para calcular la distancia "a" de la Figura 48 que será distinta en función de la hipótesis de viento que se estudie.

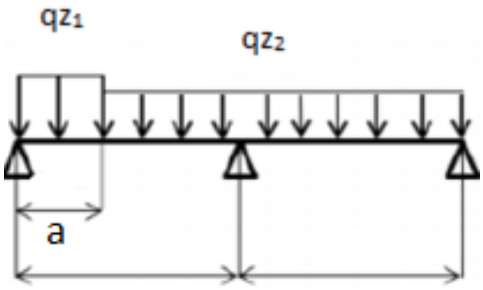


Figura 50 Esquema de carga de la correa de cubierta en el plano X-Z

Para las hipótesis V1a y V1b (0º):

$$a = \frac{e}{4} = \frac{30.5}{4} = 7.625\ m$$

Para la hipótesis V2 (90º):

$$a = \frac{e}{10} = \frac{25}{10} = 2.5\ m$$

Una vez que ya se cuenta con los parámetros geométricos necesarios ya se puede pasar a obtener las cargas de cada hipótesis que actúan sobre la correa más cargada de la cubierta. Nuevamente hay que tener en cuenta que en este plano solo actuarán las cargas de viento y la componente perpendicular a la cubierta de las cargas de peso propio y nieve.

-Peso Propio (CP):

Como se ha hecho anteriormente, se va a estimar un peso propio de 0.1 KN/m por correa ya que todavía no se cuenta con el perfil definitivo.

Además a esto hay que sumarle el peso propio del cerramiento de cubierta de 0.0604 KN/m^2 que hay que multiplicarlo por la distancia entre correas en proyección horizontal para obtener la distribución de carga lineal.

$$q_{cp} = 0.1 + 0.0604\frac{KN}{m^2} * 2.51\ m = 0.251\ KN/m$$

Por último, hay que obtener la componente que actúa en el plano perpendicular a la cubierta:

$$q_{cp\,z} = q_{cp} * \cos 5.71º = 0.251 * \cos 5.71º = 0.249\frac{KN}{m}$$

-Nieve (N):

Como se ha obtenido en el apartado 2.2 del presente anexo, la carga superficial de nieve tiene un valor de 0.5 KN/m^2 y se debe obtener en valor por metro lineal por lo que hay que multiplicar por la distancia horizontal entre correas.

$$q_n = 0.5 * 2.5 = 1.25\ KN/m$$

Por último, hay que obtener la componente que actúa en el plano perpendicular a la cubierta:

$$q_{n\,z} = q_n * \cos 5.71º = 1.25 * \cos 5.71º = 1.243\frac{KN}{m}$$

-Viento (V1a (0º)):

Para obtener el valor de carga por metro lineal hay que multiplicar el valor de la carga de viento de esta hipótesis en las zonas más desfavorables por la distancia entre correas que le corresponda a cada zona. Las zonas vienen delimitadas según la Figura 48.

Para la segunda correa de cubierta (ya que la primera cuenta con la mitad de área tributaria) las cargas en el tramo 1 y 2 serían de la siguiente forma:

$$q_{z1\,V1a}[F,H] = q_{F\,V1a} * \left(\frac{e}{10} - \frac{d_{\ correas}}{2}\right) + q_{H\,V1a} * \left(d_{correas} - \left(\frac{e}{10} - \frac{d_{correas}}{2}\right)\right)$$

$$q_{z2\,V1a}[G,H] = q_{G\,V1a} * \left(\frac{e}{10} - \frac{d_{\ correas}}{2}\right) + q_{H\,V1a} * \left(d_{correas} - \left(\frac{e}{10} - \frac{d_{correas}}{2}\right)\right)$$

Esto es así ya que la primera sección de la correa abarca las zonas F y H mientras que la segunda sección abarca las zonas G y H y la distancia por la que se multiplica es la cantidad de área que abarca en dichas zonas.

Si sustituimos en las anteriores fórmulas obtenemos lo siguiente:

$$q_{z1\,V1a}[F,H] = -1.53 * \left(\frac{30.5}{10} - \frac{2.51}{2}\right) - 0.531 * \left(2.51 - \left(\frac{30.5}{10} - \frac{2.51}{2}\right)\right) = -3.12\ KN/m$$

$$q_{z2\,V1a}[F,H] = -1.09 * \left(\frac{30.5}{10} - \frac{2.51}{2}\right) - 0.531 * \left(2.51 - \left(\frac{30.5}{10} - \frac{2.51}{2}\right)\right) = -2.33\ KN/m$$

-Viento (V1b (0º))

Para la segunda correa de cubierta (ya que la primera cuenta con la mitad de área tributaria) las cargas en el tramo 1 y 2 serían de la siguiente forma:

$$q_{z1\,V1b}[F,H] = q_{F\,V1b} * \left(\frac{e}{10} - \frac{d_{\,correas}}{2}\right) + q_{H\,V1b} * (d_{correas} - \left(\frac{e}{10} - \frac{d_{correas}}{2}\right))$$

$$q_{z2\,V1b}[G,H] = q_{G\,V1b} * \left(\frac{e}{10} - \frac{d_{\,correas}}{2}\right) + q_{H\,V1b} * (d_{correas} - \left(\frac{e}{10} - \frac{d_{correas}}{2}\right))$$

Esto es así ya que la primera sección de la correa abarca las zonas F y H mientras que la segunda sección abarca las zonas G y H y la distancia por la que se multiplica es la cantidad de área que abarca en dichas zonas.

Si sustituimos en las anteriores fórmulas obtenemos lo siguiente:

$$q_{z1\,V1b}[F,H] = 0.009 * \left(\frac{30.5}{10} - \frac{2.51}{2}\right) - 0.009 * \left(2.51 - \left(\frac{30.5}{10} - \frac{2.51}{2}\right)\right) = 0.0225\ KN/m$$

$$q_{z2\,V1b}[G,H] = 0.009 * \left(\frac{30.5}{10} - \frac{2.51}{2}\right) - 0.009 * \left(2.51 - \left(\frac{30.5}{10} - \frac{2.51}{2}\right)\right) = 0.0225\ KN/m$$

-Viento (V2 (90º))

Para la segunda correa de cubierta (ya que la primera cuenta con la mitad de área tributaria) las cargas en el tramo 1 y 2 serían de la siguiente forma:

$$q_{z1\,V2}[F] = q_{F\,V2} * (d_{\,correas})$$

$$q_{z2\,V2}[H] = q_{H\,V2} * (d_{\,correas})$$

Esto es así ya que la primera sección de la correa abarca las zonas F y H mientras que la segunda sección abarca las zonas G y H y la distancia por la que se multiplica es la cantidad de área que abarca en dichas zonas.

Si sustituimos en las anteriores fórmulas obtenemos lo siguiente:

$$q_{z1\,V2}[F] = -1.467 * (2.51) = -3.6675\ KN/m$$

$$q_{z2\,V2}[H] = -0.643 * (2.51) = -1.6075\ KN/m$$

Nuevamente se introducen la geometría y las cargas que se acaban de calcular en el software comercial de CYPE y se obtienen los siguientes resultados:

-Peso Propio (CP):

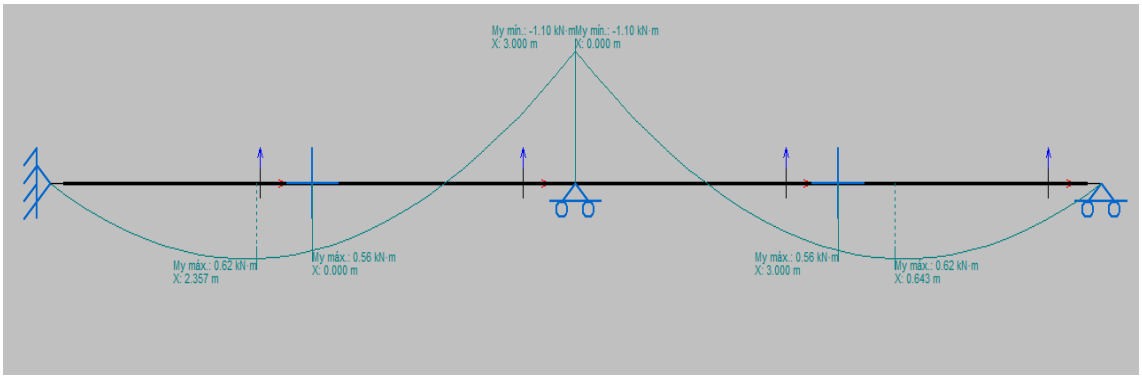


Figura 51 Diagrama de momentos CP

De la Figura 51 se pueden obtener los siguientes momentos:

$$M_{y1\,CP} = -1.1\ KN * m$$

$$M_{y2\,CP} = 0.56\ KN * m$$

-Nieve (N)

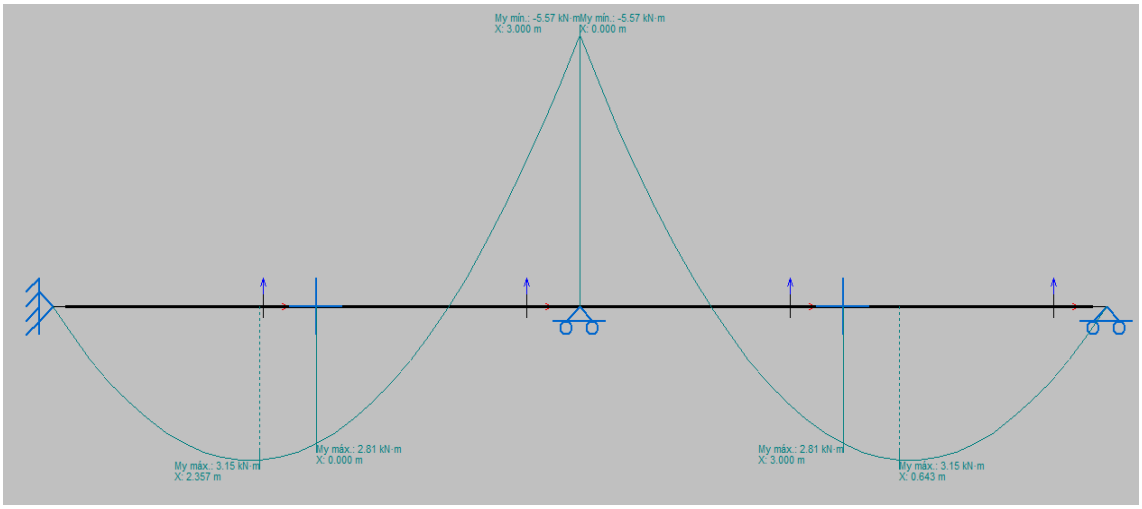


Figura 52 Diagrama de momentos N

De la Figura 52 se pueden obtener los siguientes momentos:

$$M_{y1\,N} = -5.57\ KN * m$$

$$M_{y2\,N} = 2.8\ KN * m$$

-Viento (V1a (0º)):

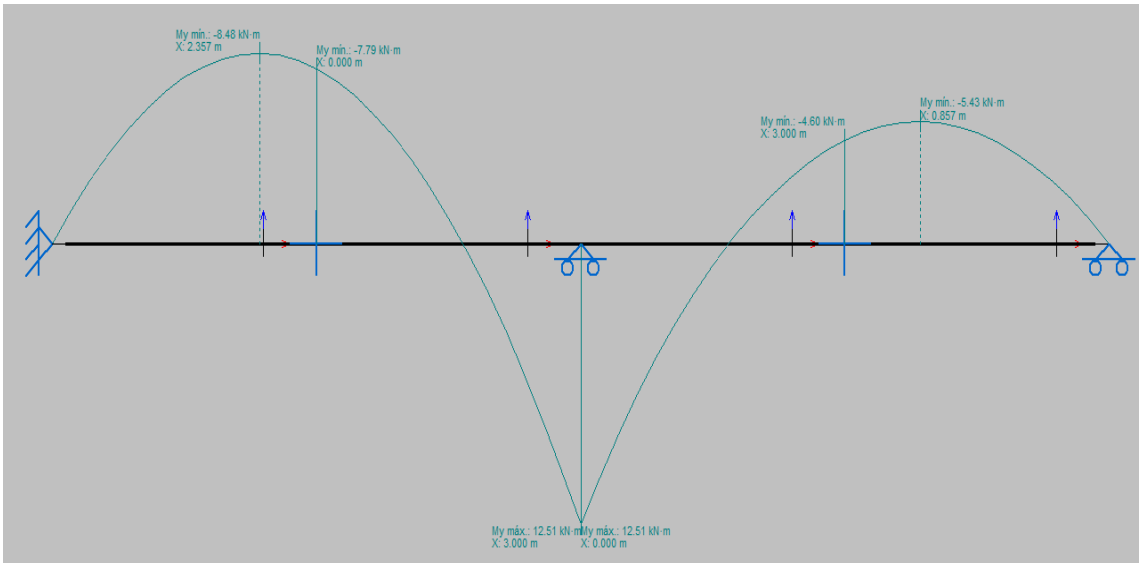


Figura 53 Diagrama de momentos V1a

De la Figura 53 se pueden obtener los siguientes momentos:

$$M_{y1\,V1a} = 12.51\ KN * m$$

$$M_{y2\,V1a} = -7.79\ KN * m$$

-Viento (V1b (0º)):

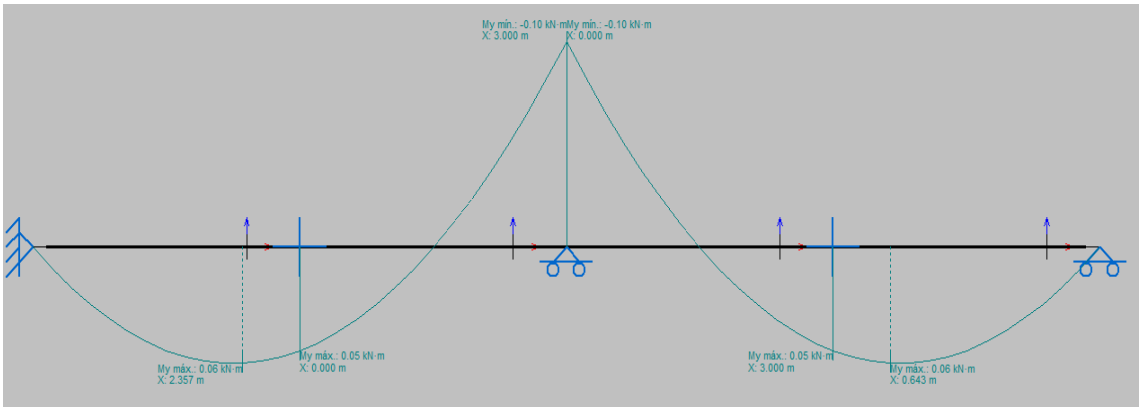


Figura 54 Diagrama de momentos V1b

De la Figura 54 se pueden obtener los siguientes momentos:

$$M_{y1\,V1b} = -0.1\ KN * m$$

$$M_{y2\,V1b} = 0.05\ KN * m$$

-Viento (V2 (90º)):

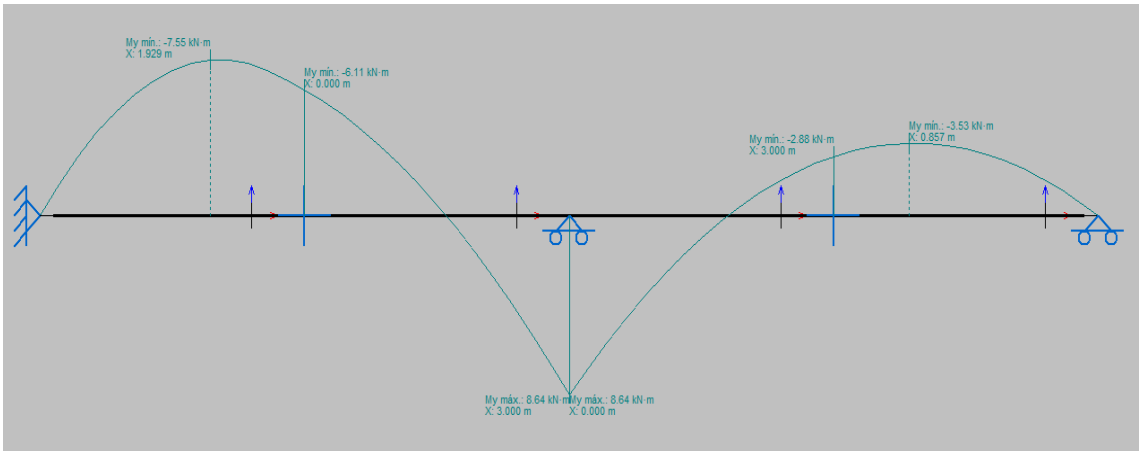


Figura 55 Diagrama de momentos V2

De la Figura 55 se pueden obtener los siguientes momentos:

$$M_{y1\,V2} = 8.64\ KN * m$$

$$M_{y2\,V2} = -6.11\ KN * m$$

Plano X-Y (Mz):

Como ya se ha explicado anteriormente, en este plano actuarán las componentes de peso propio y nieve que pertenezcan al plano de la cubierta.

Además cabe volver a mencionar que la correa se considera apoyada en 5 puntos; tres de los cuales corresponden a los pórticos y los otros dos a las tirantillas que se situarán en el centro de cada vano. De esta forma se reparten mejor los esfuerzos producidos por el peso propio que están actuando en el "eje débil" de las correas.

En primer lugar se necesita conocer las cargas que actúan en este plano por hipótesis por lo que estudiaremos la correa en la situación más desfavorable y la tomaremos como ejemplo para el resto de correas.

-Peso propio (CP):

Se va a utilizar el valor de carga calculado para el plano perpendicular a la cubierta (X-Z):

$$q_{cp} = 0.1 + 0.0604\frac{KN}{m^2} * 2.51\ m = 0.251\ KN/m$$

Por último, hay que obtener la componente que actúa en el plano de la cubierta:

$$q_{cp\,z} = q_{cp} * \text{sen}\,5.71º = 0.251 * \text{sen}\,5.71º = 0.0249\frac{KN}{m}$$

-Nieve (N):

Se va a utilizar el valor de carga calculado para el plano perpendicular a la cubierta (X-Z):

$$q_n = 0.5 * 2.5 = 1.25\ KN/m$$

Por último, hay que obtener la componente que actúa en el plano de la cubierta:

$$q_{n\,z} = q_n * \text{sen}\,5.71º = 1.25 * \text{sen}\,5.71º = 0.124\,\frac{KN}{m}$$

Nuevamente se introducen la geometría y las cargas que se acaban de calcular en el software comercial de CYPE y se obtienen los siguientes resultados:

-Peso propio (CP):

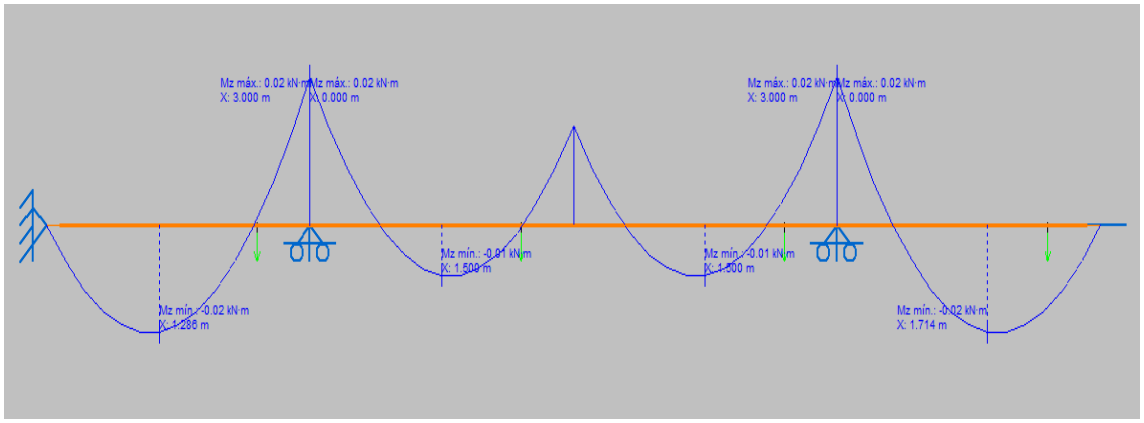


Figura 56 Diagrama de momentos CP

De la Figura 56 se pueden obtener los siguientes momentos:

$$M_{z1\,CP} = -0.02\ KN * m$$
$$M_{z2\,CP} = -0.02\ KN * m$$
$$R_{y2\,CP} = 0.085\ KN$$

-Nieve (N):

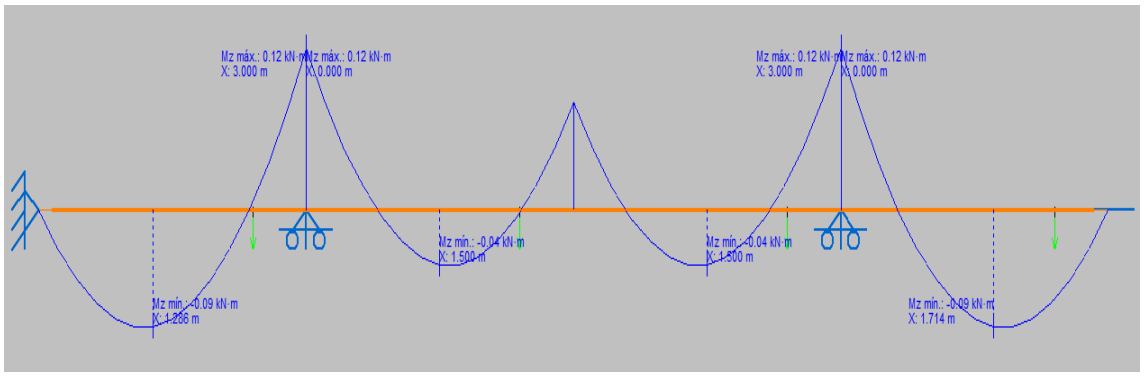


Figura 57 Diagrama de momentos N

De la Figura 57 se pueden obtener los siguientes momentos:

$$M_{z1\,N} = -0.08\ KN * m$$
$$M_{z2\,N} = -0.12\ KN * m$$
$$R_{y2\,N} = 0.425\ KN$$

Una vez que ya se conocen los momentos flectores de ambos planos, se establece la combinación de esfuerzos más desfavorable para obtener los esfuerzos en valor de cálculo, en este caso resulta:

0.8 CP + 1.5 V1a (0º)

Ya se puede realizar la comprobación a flexión compuesta sin axil que fue mencionada al inicio del apartado 3.

Se comienza calculando los esfuerzos en valor de cálculo para la sección 1 que corresponde al apoyo central:

$$M_{y1\,Ed} = 0.8 * -1.1 + 1.5 * 12.51 = 17.89\,KN * m$$

$$M_{z1\,Ed} = 0.8 * 0.02 = 0.01\,KN * m$$

A continuación se calculan los esfuerzos en valor de cálculo para la sección 2 que corresponde al centro del primer vano:

$$M_{y2\,Ed} = 0.8 * 0.56 + 1.5 * -7.79 = -11.237\,KN * m$$

$$M_{z2\,Ed} = 0.8 * 0.02 = 0.01\,KN * m$$

Se va a escoger un perfil de acero conformado en frío CF 250x2.5 que cuenta con las siguientes características mecánicas:

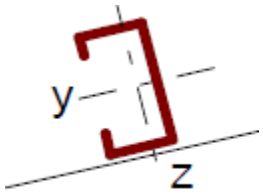


Figura 58 Sección y geometría de la correa

I_y = 10.83 E6 mm^4; W_y = 82.7 E3 mm^4

I_z = 0.93 E6 mm^4; W_z = 16.3 E3 mm^4

Con estas propiedades se obtienen los siguientes momentos resistentes:

$$M_{y\,Rd} = W_y * f_{yd} = 82.7\,E3 * \frac{275}{1.05} = 21.65\,KN * m$$

$$M_{z\,Rd} = W_z * f_{yd} = 16.3\,E3 * \frac{275}{1.05} = 4.26\,KN * m$$

Por último, se realiza la comprobación de las secciones:

Sección 1:

$$\frac{M_{y\,Ed}}{M_{y\,Rd}} + \frac{M_{z\,Ed}}{M_{z\,Rd}} = \frac{17.89}{21.65} + \frac{0.01}{4.26} = 0.82 + 0.002 = 0.82 < 1\,(Cumple)$$

Sección 2:

$$\frac{M_{y\,Ed}}{M_{y\,Rd}} + \frac{M_{z\,Ed}}{M_{z\,Rd}} = \frac{11.23}{21.65} + \frac{0.01}{4.26} = 0.52 + 0.002 = 0.52 < 1\,(Cumple)$$

Como se puede observar, la sección más desfavorable del perfil seleccionado está trabajando a un 82% de su capacidad.

Jorge Alonso Sanz

Seguidamente se comprueba la flecha máxima y nuevamente se obtiene gracias a la ayuda del software comercial CYPE 3D. Se realiza la comprobación de Estado Límite Siguiente (ELS) para combinación frecuente (Deformación) con las cargas permanentes (Peso propio), viento y nieve.

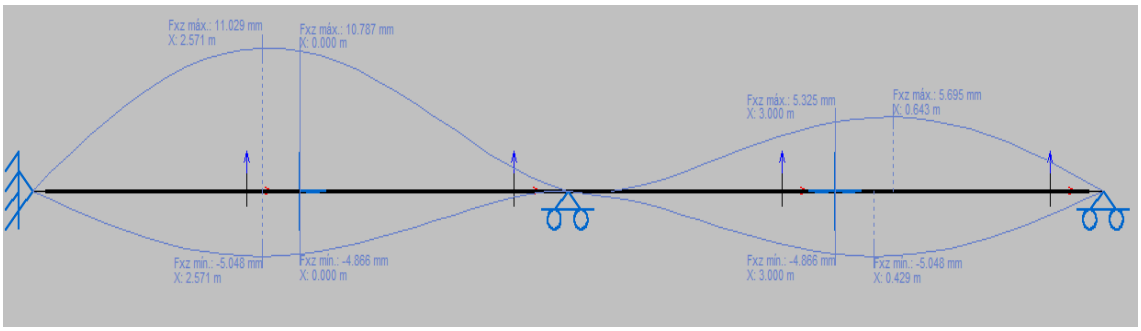


Figura 59 Flecha máxima en plano X-Z

Como puede observarse en la Figura 59, se obtiene un desplazamiento máximo de 11.90 mm a una distancia de 2.5 m del comienzo de la correa. Sin embargo este valor hay que descomponerlo por hipótesis para poder realizar una combinación frecuente según cita C.T.E.

Tal y como indica el CTE en el DB SE apartado 4.3.1, al encontrarse en una combinación frecuente se calculará el valor de la flecha como el valor de flecha característico debido al peso propio más la suma de las fechas producidas por el resto de hipótesis, la más influyente en valor dominante y el resto en valor concomitante.

En este caso el viento (Concretamente la V1a (0º)) es la hipótesis dominante al ser la que produce mayores desplazamientos y se debe multiplicar el mayor valor de flecha de la hipótesis de viento obtenido con CYPE por un coeficiente $\Psi_{1,1}$ que adopta un valor de 0.5.

El resto de valores, es decir el de la nieve, irán multiplicados por un coeficiente $\Psi_{2,1}$ que adopta un valor de 0.

Por lo que la flecha adoptará un valor de:

$$f(z) = -0.887 + 12.8 * 05 - 4.48 * 0 = 5.51\ mm$$

La flecha máxima será L/300, es decir, 20 mm. Como 5.51 mm < 20 mm se puede concluir que el perfil seleccionado cumple la condición de flecha máxima.

Como conclusión se puede obtener que el perfil CF 250x2.5 cumple todas las condiciones establecidas.

Una vez dimensionadas y comprobadas las correas de la fachada lateral, se puede pasar a dimensionar las tirantillas que unirán dichas correas como se ha mencionado con anterioridad.

Para ello, se necesita conocer el esfuerzo que recibe cada una fruto de las acciones que afectan a las correas.

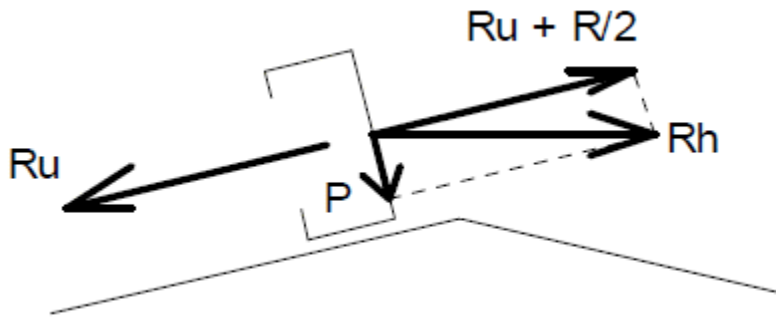


Figura 60 Acciones sobre la correa superior de cubierta

Como se puede deducir de la Figura 60, las acciones que determinarán el cálculo de la tirantilla serán el peso propio y la nieve en su componente del plano de cubierta.

Para ello se necesitarán las reacciones que se han expuesto con anterioridad que generaban el peso propio y la nieve en el apoyo del centro del vano:

$$R_{y2\ CP} = 0.085\ KN$$

$$R_{y2\ N} = 0.425\ KN$$

Estos esfuerzos se encuentran en valor característico por lo que para obtenerlos en valor de cálculo se necesita calcular la combinación más desfavorable:

1.35 CP + 1.5 N

Por lo que la reacción en valor de cálculo será:

$$R_{Ed} = 1.35 * 0.085 + 1.5 * 0.425 = 0.75\ KN$$

La correa situada en el extremo tendrá la mitad de área tributaria que el resto por lo que se tendrá en cuenta una R_y igual a la mitad que se ha obtenido.

Como se ha mencionado anteriormente, se tiene un total de 6 correas por paño, lo que da lugar a 5 tirantillas. Por lo que el esfuerzo total que deberá soportar la última tirantilla, y para el que se van a dimensionar el resto de ellas es de 4.5*R_y.

Por lo tanto el valor que soportará la última tirantilla:

$$R_{u\ Ed} = 4.5 * R_{Ed} = 4.5 * 0.75 = 3\ KN$$

Además cabe mencionar que las correas superiores de cada faldón se unirán entre sí con una tirantilla para equilibrar las cargas de un faldón con las del otro. Por lo tanto esta tirantilla será la responsable de cargar con los esfuerzos de todas las correas del faldón y con los de la correa de cumbrera, que serán la mitad que los de una correa convencional ya que su área tributaria será la mitad que el resto. Por lo que el esfuerzo que soportará esa última tirantilla será:

$$R_{H\ Ed} = \frac{R_{u\ Ed} + \frac{R_{Ed}}{2}}{\cos 5.71º} = \frac{3 + \frac{0.75}{2}}{\cos 5.71} = 3.78\ KN$$

Tal y como se indica en el C.T.E. DB SE-A apartado 6.2.3; como resistencia de las secciones a tracción puede emplearse:

$$N_{t,Rd} = A_{min} * f_{yd}$$

En este caso $N_{t,Rd}$= $R_{H\,Ed}$, por lo tanto ya se puede obtener el área mínima que necesitará la tirantilla para soportar dicha carga:

$$A_{min} = \frac{R_{H\,Ed}}{f_{yd}} = \frac{3.78 * 10^3}{\frac{275}{1.05}} = 14.43\ mm^2$$

Con esta área mínima se calcula el diámetro mínimo necesario:

$$\emptyset_{min} = \sqrt{\frac{4 * A_{min}}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 * 14.43}{\pi}} = 4.28\ mm$$

Se instalarán tirantillas de diámetro 10 mm ya que no es producente utilizar redondos de menor diámetro que este.

CORREA SUPERIOR

Tal y como se ha hecho en las correas de fachada lateral, se realiza la comprobación de la última correa en el extremo superior del faldón de cubierta.

Se va a comprobar la resistencia de la sección y la flecha máxima para aquellas cargas que actúen en el plano de cubierta (X-Y), donde actuarán las componentes horizontales de las cargas de peso propio y de nieve de todas las correas y las del cerramiento, y para el perpendicular a la cubierta (X-Z), donde actuará la carga de viento y las componentes verticales de las cargas de peso propio y nieve.

Plano X-Z (My):

En este plano la correa se encuentra apoyada en 3 puntos que corresponden a los dinteles de los pórticos. Además, gracias a la tirantilla que se ha instalado uniendo las correas de cumbrera, en el centro de cada vano aparece una carga P de acuerdo con la Figura 60.

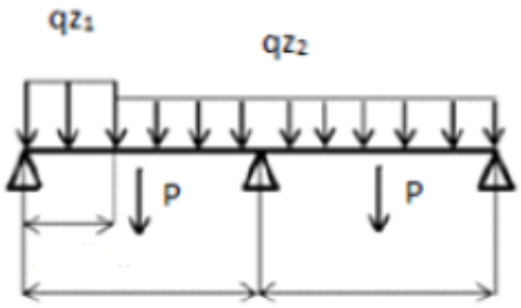


Figura 61 Esquema de carga de la última correa en el plano X-Z

Para este caso las cargas q_{z1} y q_{z2} son distintas ya que ha de asignarse la mitad de área tributaria que en el caso anterior.

Pero además con respecto a las cargas de viento, cabe mencionar que ahora la correa irá ubicada en otra zona de la que estábamos considerando con anterioridad por lo que habrá que modificar las cargas con las que contaba y poner las de las nuevas zonas de influencia

Por último, se tendrá en cuenta que, tal y como muestra la figura 60, existirá una componente P generada por el peso propio y la nieve en el plano perpendicular a la correa, debido a la descomposición de fuerzas de la tirantilla

Por lo que se comenzará modificando las cargas que actúen en ese plano:

-Peso propio:

Se asigna la misma carga que para el caso anterior pero con la mitad de área tributaria

$$q_{cp} = 0.1 + 0.0604\frac{KN}{m^2} * \frac{2.51}{2}\ m = 0.175\ KN/m$$

Por último, hay que obtener la componente que actúa en el plano perpendicular a la cubierta:

$$q_{cp\,z} = q_{cp} * \cos 5.71º = 0.175 * \cos 5.71 = 0.174\ KN/m$$

Además, tal y como se muestra en la Figura 60, existe una componente P provocada por el peso propio que se puede calcular como:

$$P_{CP} = 5 *\ R_{y2\,CP} * \tan 5.71 = 0.212\ KN$$

-Nieve (N):

Se asigna la misma carga que para el caso anterior pero con la mitad de área tributaria

$$q_n = 0.5 * \frac{2.51}{2} = 0.6275\ KN/m$$

Por último, hay que obtener la componente que actúa en el plano perpendicular a la cubierta:

$$q_{n\,z} = q_n * \cos 5.71º = 0.6275 * \cos 5.71 = 0.625\ KN/m$$

Además, tal y como se muestra en la Figura 60, existe una componente P provocada por la nieve que se puede calcular como:

$$P_N = 5 *\ R_{y2\,N} * \tan 5.71 = 0.0424\ KN$$

-Viento (V1a (0º)):

Para obtener el valor de carga por metro lineal hay que multiplicar el valor de la carga de viento de esta hipótesis en las zonas más desfavorables que están próximas a la cumbrera por la distancia entre correas que le corresponda a cada zona. Las zonas vienen delimitadas según la Figura 48.

Para la correa de cubierta (Que cuenta con la mitad de área tributaria) las cargas en el tramo 1 y 2 serían de la siguiente forma:

$$q_{z1\,V1a}[H] = q_{z2\,V1a}[H] = q_{H\,V1a} * \left(\frac{d_{\ correas}}{2}\right)$$

Esto es así ya que toda la longitud de la correa se encuentra en la zona H. Se podía haber situado la correa en la zona J (Que también estaba próxima a cumbrera) pero tenía menores valores de carga que la zona H y por tanto sería más favorable.

La distancia por la que se multiplica es la cantidad de área que abarca en dicha zona.

Si sustituimos en las anteriores fórmulas obtenemos lo siguiente:

$$q_{z1\,V1a}[H] = q_{z2\,V1a}[H] = q_{H\,V1a} * \left(\frac{d\ correas}{2}\right) = -0.531 * \frac{2.51}{2} = -0.666\ KN/m$$

-Viento (V1b (0º)):

Este caso es igual que el de la hipótesis V1a (0º). Para la correa de cubierta (Que cuenta con la mitad de área tributaria) las cargas en el tramo 1 y 2 serían de la siguiente forma:

$$q_{z1\,V1b}[H] = q_{z2\,V1b}[H] = q_{H\,V1b} * \left(\frac{d\ correas}{2}\right)$$

Esto es así ya que toda la longitud de la correa se encuentra en la zona H.

La distancia por la que se multiplica es la cantidad de área que abarca en dicha zona.

Si sustituimos en las anteriores fórmulas obtenemos lo siguiente:

$$q_{z1\,b}[H] = q_{z2\,V1b}[H] = q_{H\,V1b} * \left(\frac{d\ correas}{2}\right) = 0.009 * \frac{2.51}{2} = 0.011\ KN/m$$

-Viento (V2 (90º)):

Para la correa de cubierta (Que cuenta con la mitad de área tributaria) las cargas en el tramo 1 y 2 serían de la siguiente forma:

$$q_{z1\,V2}[G] = q_{G\,V2} * \left(\frac{d\ correas}{2}\right)$$

$$q_{z2\,V1b}[H] = q_{H\,V2} * \left(\frac{d\ correas}{2}\right)$$

Esto es así ya que parte de la longitud de la correa se encuentra en la zona G, y parte en la zona H. Se podía haber situado la correa en la zona I (Que también estaba próxima a cumbrera) pero tenía menores valores de carga y por tanto sería más favorable.

La distancia por la que se multiplica es la cantidad de área que abarca en dicha zona.

Si sustituimos en las anteriores fórmulas obtenemos lo siguiente:

$$q_{z1\,V2}[G] = q_{G\,V2} * \left(\frac{d\ correas}{2}\right) = -1.215 * \frac{2.51}{2} = -1.52\ KN/m$$

$$q_{z2\,V1b}[H] = q_{H\,V2} * \left(\frac{d\ correas}{2}\right) = -0.643 * \frac{2.51}{2} = -0.8\ KN/m$$

Nuevamente se introducen la geometría y las cargas que se acaban de calcular en el software comercial de CYPE y se obtienen los siguientes resultados:

Peso propio (CP):

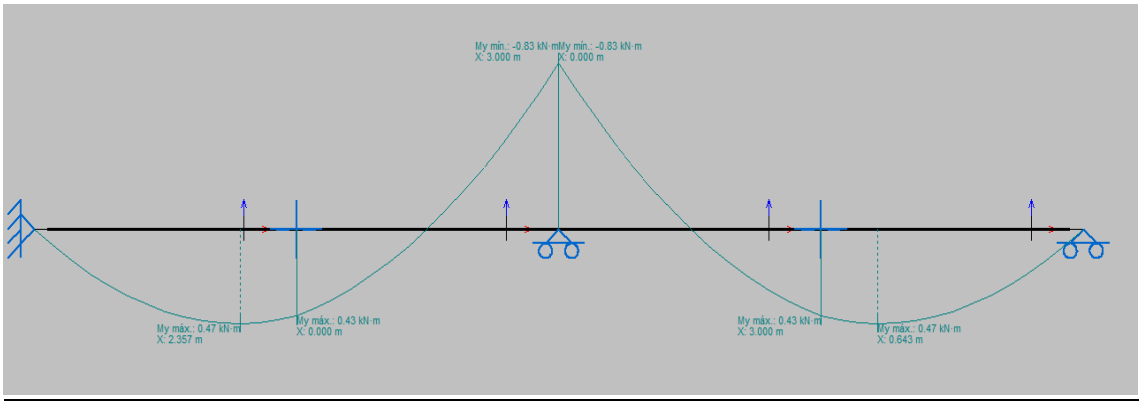


Figura 62 Diagrama de momentos CP

De la Figura 62 se pueden obtener los siguientes momentos:

$$M_{y1\ CP} = -0.83\ KN * m$$

$$M_{y2\ CP} = 0.44 KN * m$$

Nieve (N):

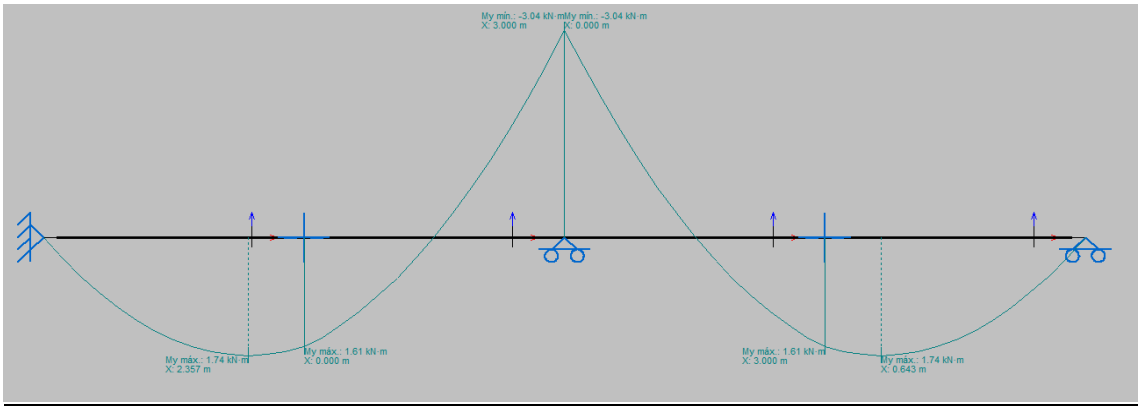


Figura 63 Diagrama de momentos N

De la Figura 63 se pueden obtener los siguientes momentos:

$$M_{y1\ N} = -3.04\ KN * m$$

$$M_{y2\ N} = 1.61 KN * m$$

Viento V1a (0º):

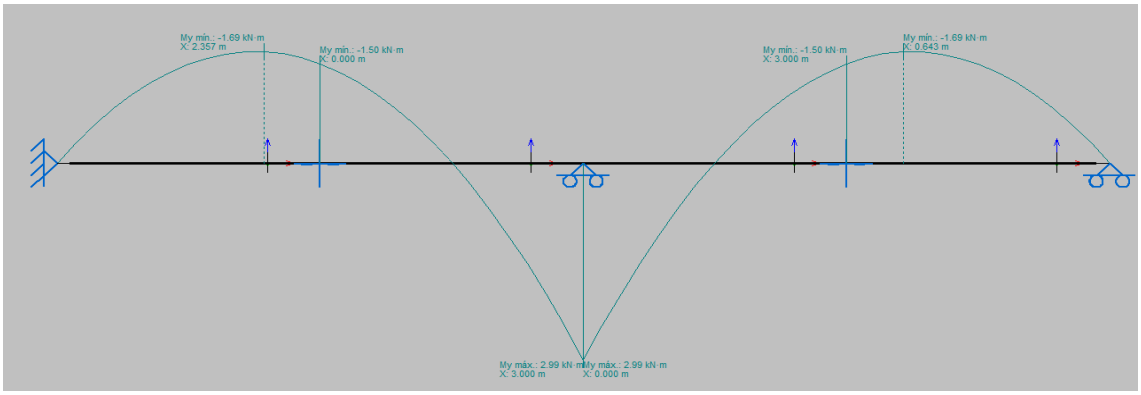


Figura 64 Diagrama de momentos V1a

De la Figura 64 se pueden obtener los siguientes momentos:

$$M_{y1\,V1a} = 2.99\,KN * m$$

$$M_{y2\,V1a} = -1.5KN * m$$

Viento V1b (0º):

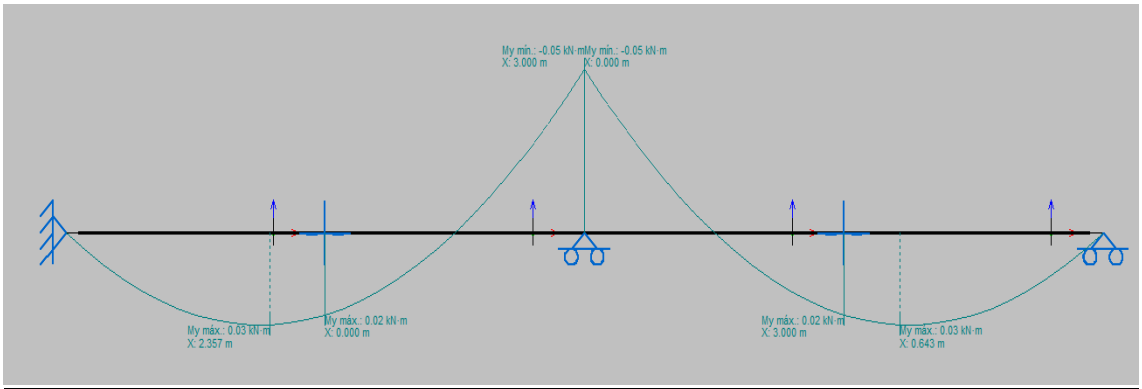


Figura 65 Diagrama de momentos V1b

De la Figura 65 se pueden obtener los siguientes momentos:

$$M_{y1\,V1b} = -0.05\,KN * m$$

$$M_{y2\,V1b} = 0.02\,KN * m$$

Viento V2 (90º):

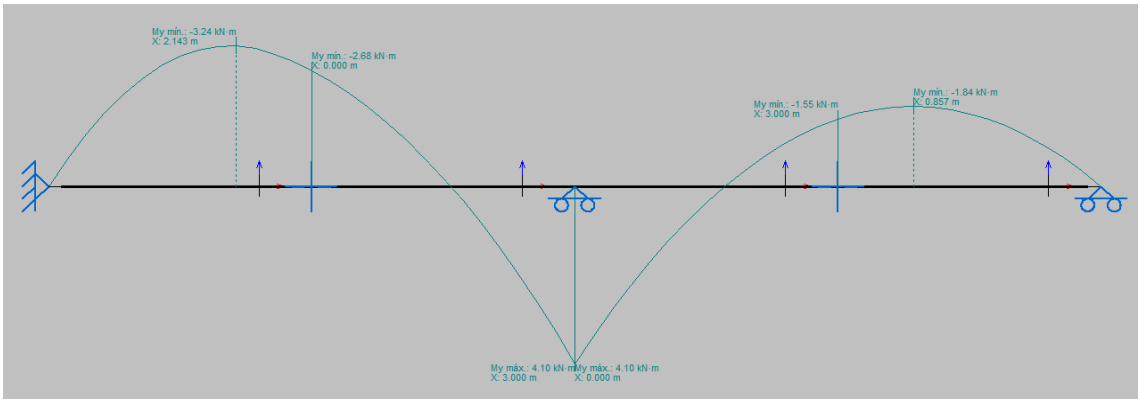


Figura 66 Diagrama de momentos V2

De la Figura 66 se pueden obtener los siguientes momentos:

$$M_{y1\,V2} = 4.1\ KN * m$$

$$M_{y2\,V2} = -2.68\ KN * m$$

Plano X-Y (Mz)

Como ya se ha explicado anteriormente, en este plano actuarán las componentes de peso propio y nieve que pertenezcan al plano de la cubierta.

Además cabe volver a mencionar que la correa se considera apoyada en 5 puntos; tres de los cuales corresponden a los pórticos y los otros dos a las tirantillas que se situarán en el centro de cada vano.

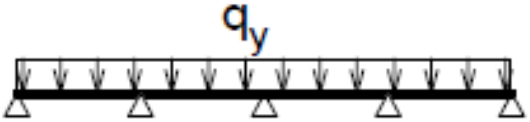


Figura 67 Esquema de carga en plano X-Y

Para este caso las cargas son distintas ya que ha de asignarse la mitad de área tributaria que en el resto de correas.

Por lo que se comenzará modificando las cargas que actúen en ese plano:

-Peso propio (CP):

Se asigna la misma carga que para el caso anterior pero con la mitad de área tributaria

$$q_{cp} = 0.1 + 0.0604\frac{KN}{m^2} * \frac{2.51}{2}\ m = 0.175\ KN/m$$

Por último, hay que obtener la componente que actúa en el plano de la cubierta:

$$q_{cp\,z} = q_{cp} * \text{sen}\,5.71º = 0.175 * \text{sen}\,5.71 = 0.0174\ KN/m$$

-Nieve (N):

Se asigna la misma carga que para el caso anterior pero con la mitad de área tributaria

$$q_n = 0.5 * \frac{2.51}{2} = 0.6275\ KN/m$$

Por último, hay que obtener la componente que actúa en el plano de la cubierta:

$$q_{n\,z} = q_n * \text{sen}\,5.71º = 0.6275 * \text{sen}\,5.71 = 0.062\ KN/m$$

Nuevamente se introducen la geometría y las cargas que se acaban de calcular en el software comercial de CYPE y se obtienen los siguientes resultados:

Peso propio (CP):

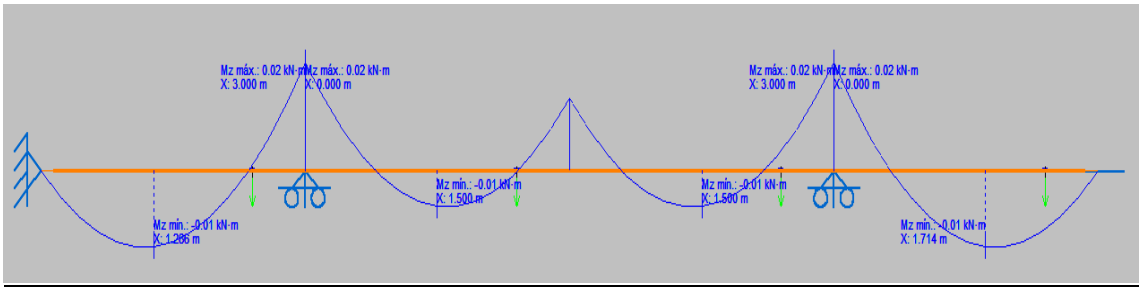


Figura 68 Diagrama de momentos CP

De la Figura 68 se pueden obtener los siguientes momentos:

$$M_{z1\,CP} = 0.01\ KN * m$$

$$M_{z2\,CP} = 0..02\ KN * m$$

Nieve (N):

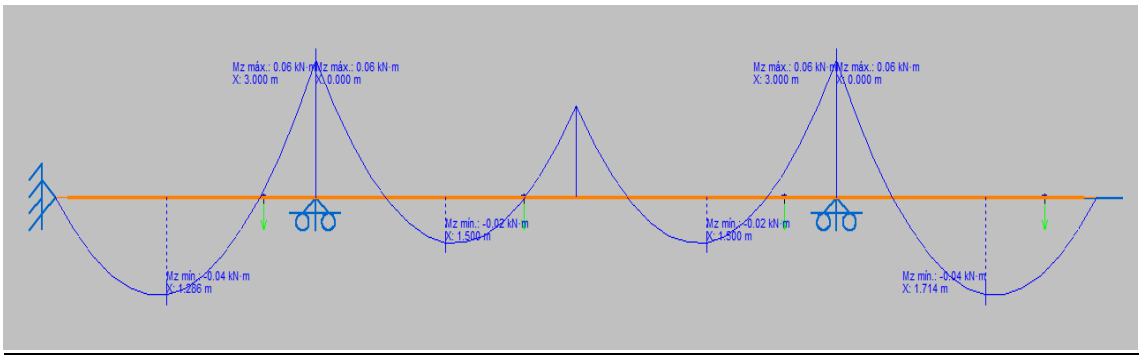


Figura 69 Diagrama de momentos N

De la Figura 69 se pueden obtener los siguientes momentos:

$$M_{z1\,N} = 0.02\ KN * m$$

$$M_{z2\,N} = 0.06\ KN * m$$

Una vez que ya se conocen los momentos flectores de ambos planos, se establece la combinación de esfuerzos más desfavorable para obtener los esfuerzos en valor de cálculo, en este caso resulta:

1.35 CP + 1.5 N + 1.5 *0.6 V1b (0º)

Ya se puede realizar la comprobación a flexión compuesta sin axil que fue mencionada al inicio del apartado 3.

Se comienza calculando los esfuerzos en valor de cálculo para la sección 1 que corresponde al apoyo central:

$$M_{y1\,Ed} = 1.35 * -0.84 + 1.5 * -3.04 + 1.5 * 0.6 * -0.05 = -5.73\ KN * m$$

$$M_{z1\,Ed} = 1.35 * 0.01 + 1.5 * 0.02 = 0.04\ KN * m$$

A continuación se calculan los esfuerzos en valor de cálculo para la sección 2 que corresponde al centro del primer vano:

$$M_{y2\,Ed} = 1.35 * 0.44 + 1.5 * 1.61 + 1.5 * 0.6 * 0.02 = 3.027\ KN * m$$

$$M_{z2\,Ed} = 1.35 * 0.02 + 1.5 * 0.06 = 0.12\ KN * m$$

Se va a escoger un perfil de acero conformado en frío CF 250x2.5 que cuenta con las siguientes características mecánicas:

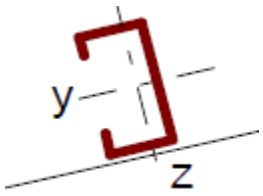


Figura 70 Sección y geometría de la correa

I_y = 10.83 E6 mm^4; W_y = 82.7 E3 mm^4

I_z = 0.93 E6 mm^4; W_z = 16.3 E3 mm^4

Con estas propiedades se obtienen los siguientes momentos resistentes:

$$M_{y\,Rd} = W_y * f_{yd} = 82.7\ E3 * \frac{275}{1.05} = 21.65\ KN * m$$

$$M_{z\,Rd} = W_z * f_{yd} = 16.3\ E3 * \frac{275}{1.05} = 4.26\ KN * m$$

Por último, se realiza la comprobación de las secciones:

<u>Sección 1:</u>

$$\frac{M_{y\,Ed}}{M_{y\,Rd}} + \frac{M_{z\,Ed}}{M_{z\,Rd}} = \frac{5.73}{21.65} + \frac{0.04}{4.26} = 0.264 + 0.009 = 0.27 < 1\ (Cumple)$$

<u>Sección 2:</u>

$$\frac{M_{y\,Ed}}{M_{y\,Rd}} + \frac{M_{z\,Ed}}{M_{z\,Rd}} = \frac{3.027}{21.65} + \frac{0.12}{4.26} = 0.14 + 0.02 = 0.16 < 1\ (Cumple)$$

Como se puede observar, la sección más desfavorable del perfil seleccionado está trabajando a un 27% de su capacidad.

No es necesaria la comprobación de flecha ya que los esfuerzos sobre esta correa son menores que los que solicitan a una correa con el doble de área tributaria por lo que seguro que cumplirá la condición de flecha máxima si las anteriores la cumplían.

4. Viga carril

A continuación se procederá a dimensionar y comprobar la viga carril que servirá como guía de desplazamiento del puente grúa birrail con carro giratorio de la marca JASO.

Como características principales están los 25 metros de luz del puente grúa y una capacidad máxima de 20 Toneladas, lo que permitirá levantar bobinas de gran tamaño.

Para todo ello, se consultará la norma UNE 76-201-88: Construcciones metálicas. Caminos de rodadura de puentes grúa. Bases de cálculo.

La viga carril estará compuesta de dos tipos de perfiles; una UPN sobre la que deslizarán las ruedas del puente grúa, y una IPE sobre la que descansará la anterior UPN.

Cabe mencionar que se van a dividir en 3 ejes (X, Y, Z) las cargas que generará sobre la viga carril el puente grúa.

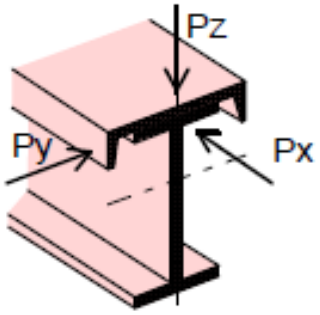


Figura 71 Distribución de cargas en viga carril

El valor de estas cargas se puede consultar en el catálogo de la empresa de puente grúa junto con otros muchos más parámetros geométricos que se necesitarán más adelante.

El significado de cada carga en su eje (Los cuales se pueden encontrar en la Figura 71) es el que se explica a continuación:

-P_z: corresponde a la reacción vertical generada por el apoyo del puente grúa en la viga carril y se transmite a través de cada rueda.

-P_y: corresponde a la reacción horizontal generada en la viga carril cuando el carro del puente grúa realiza una frenada transversal. El valor de esta carga es igual a un décimo de la reacción vertical P_z tal y como dicta la norma que se ha nombrado anteriormente.

-P_x: corresponde a la reacción longitudinal generada en la viga carril cuando el carro del puente grúa realiza una frenada longitudinal. El valor de esta carga es igual a un séptimo de la reacción vertical P_z tal y como dicta la norma que se ha nombrado anteriormente.

Cada una de las fuerzas que se han explicado anteriormente tendrán un valor máximo y un valor mínimo. El valor máximo se dará en la viga carril en la que se encuentre situado el carro del puente grúa, por lo que la reacción vertical será la máxima. Por el contrario, en la viga carril del extremo opuesto se estará obteniendo la reacción vertical mínima.

Como se ha mencionado anteriormente, del catálogo de la empresa de puentes grúa se obtienen los siguientes valores de cargas en ejes:

Pz (KN)		Py (KN)		Px(KN)	
Pmax	Pmin	Pmax	Pmin	Pmax	Pmin
139,45	41,11	13,94	4,11	19,92	5,87

Tabla 8 Valores de carga en ejes de la viga carril

Además, la norma establece que es necesario mayorar las cargas con un coeficiente de impacto de 1.25 ya que se trata de cargas dinámicas y se están considerando como si fueran estáticas.

Pz (KN)		Py (KN)		Px(KN)	
Pmax	Pmin	Pmax	Pmin	Pmax	Pmin
174,31	51,39	17,43	5,13	24,9	7,339

Tabla 9 Valores de carga mayorados en ejes de la viga carril

Una vez que ya se cuenta con las cargas que actúan sobre la viga carril, se continúa calculando los esfuerzos.

Primero, se van a calcular los esfuerzos que genera en la viga carril el peso propio de la viga, pero al no conocer todavía los perfiles de la viga carril se hace una aproximación de peso propio de 1 KN/m.

El caso de carga es considerado como una viga de 12 metros apoyada en 3 puntos que corresponden a las ménsulas de los pilares principales, es decir, dos vanos.

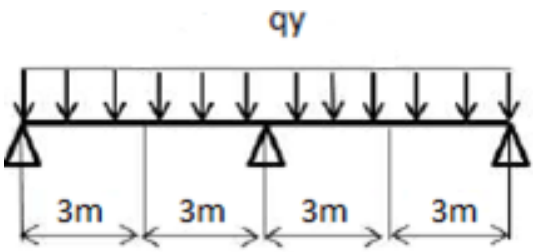


Figura 72 Esquema de cargas viga carril en X-Z

Nuevamente, se introducen la geometría y las cargas en el software comercial CYPE y se obtienen los siguientes resultados.

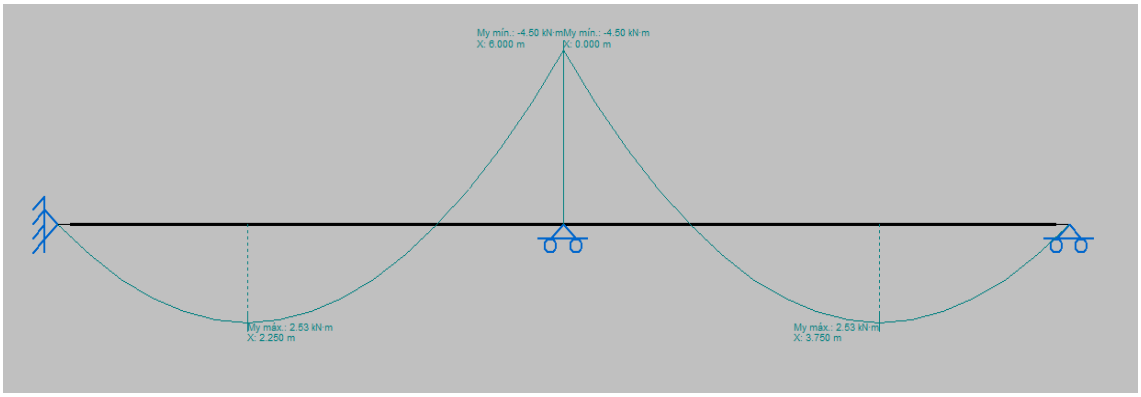


Figura 73 Diagrama de momentos en X-Z

Como se puede observar se obtiene el momento flector máximo en el centro de la viga y tiene un valor de -4.5 KN*m. Por otro lado el momento flector máximo de valor positivo se obtiene a 2.25 m y 9.75 m del comienzo de la viga y tiene un valor de 2.53 KN*m.

La reacción máxima se da en el centro de la viga justo debajo del apoyo central y tiene un valor de 7.5 KN.

Una vez que ya se han calculado los esfuerzos generados por el peso propio de la viga, se procede a calcular los esfuerzos generados en la viga carril por las cargas que transmiten las ruedas del puente grúa.

Nuevamente se vuelve a plantear una viga de 12 metros de longitud apoyada en 3 puntos que serán las ménsulas de los pilares principales.

Sin embargo este caso es un poco más complejo que el anterior ya que el puente grúa se va desplazando a lo largo de la viga carril y por lo tanto, las cargas que genera también.

Por lo que se estudiarán 3 posiciones del puente grúa sobre la viga carril:

1. Cuando solo está una rueda del carro actuando en un vano
2. Cuando las dos ruedas se encuentran en un vano
3. Cuando se encuentra cada rueda en un vano distinto

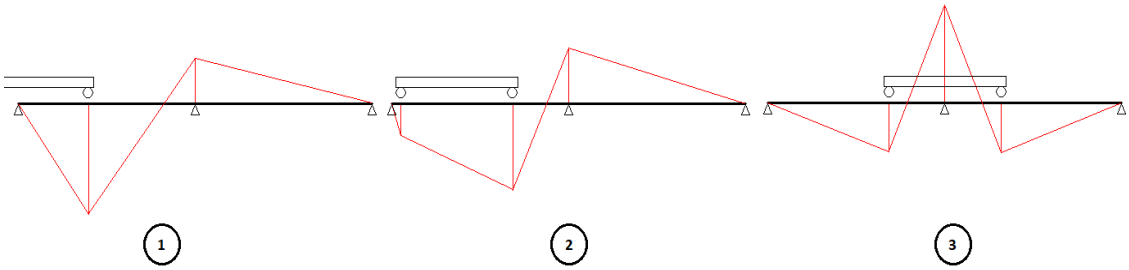


Figura 74 Posiciones del puente grúa en la viga carril

La distancia entre las ruedas del carro es un parámetro geométrico que, como se ha dicho anteriormente, se obtiene del catálogo de la empresa de puentes grúa y que en este caso son 4 metros.

Para la obtención de los esfuerzos máximos esta vez se va a emplear un software informático llamado Línea de Fluencia.

Como se ve en la siguiente figura, se introduce la separación de ruedas del carro, el valor mayorado de la reacción P_z en kilogramos y la longitud del vano.

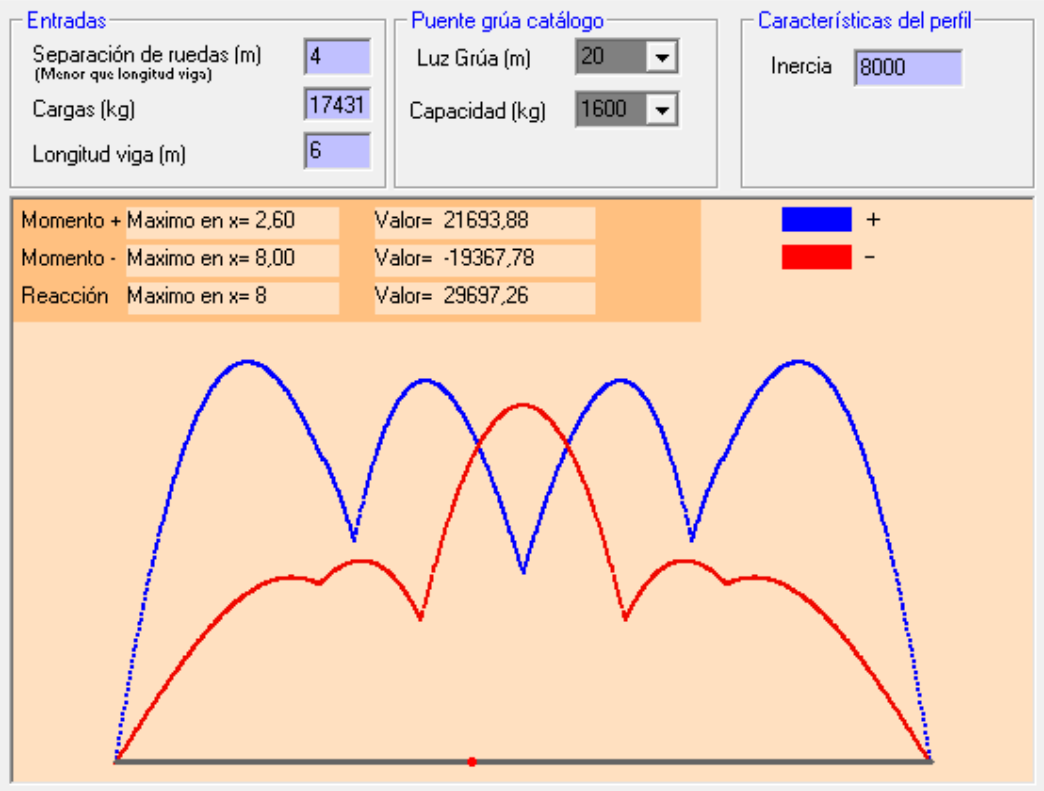


Figura 75 Líneas de fluencia sobre la viga carril

Como se puede observar en la Figura 75, el momento flector máximo positivo adopta un valor de 216.9 KN*m y se produce cuando la primera rueda del puente grúa se encuentra a 2.60 metros del comienzo de la viga.

Por otro lado el momento flector máximo negativo adopta un valor de 193.6 KN*m y se produce cuando la primera rueda del puente grúa se encuentra a 8 metros del comienzo de la viga.

Las líneas de fluencia de la Figura 75 muestran como varía el momento flector en el punto donde se produce su máximo a lo largo que avanza el puente grúa por la viga carril.

Además se obtiene la reacción máxima que se da cuando el puente grúa se encuentra justo en el centro de la viga carril y adopta un valor de 296.9 KN.

A continuación, para obtener los esfuerzos en valor de cálculo se necesita obtener la combinación de esfuerzos más desfavorable:

$$1.35\ CP + 1.5\ SCU_{PG}$$

$$M(+)_{Ed} = 1.35 * 2.53 + 1.5 * 216.9 = 328.76\ KN * m$$

$$M(-)_{Ed} = 1.35 * 4.5 + 1.5 * 193.6 = 296.47\ KN * m$$

$$M(+)_{Ed} = 1.35 * 7.5 + 1.5 * 216.9 = 455.4\ KN$$

Ahora que ya se conocen los esfuerzos en valor de cálculo de la viga carril, se puede dimensionar y comprobar el perfil compuesto de la viga descrito anteriormente.

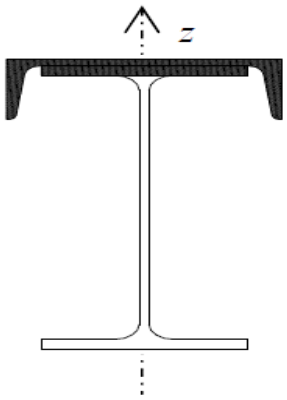


Figura 76 Perfil de la viga carril

Como predimensión se va a proponer un perfil IPE 450 soldado en el borde del ala superior a un perfil UPN 280. Las características de ambos perfiles son las siguientes:

	IPE 450	UPN 280
A [mm2]	9880	5330
B [mm]	190	95
H [mm]	450	280
d [mm]	379	216
c [mm]	0	25,3
tf [mm]	14,6	15
tw [mm]	9,4	10
Iy [mm4]	3,37E+08	3,99E+06
Iz [mm4]	1,68E+07	6,28E+07

Tabla 10 Propiedades del perfil compuesto viga carril

Además, será necesario calcular una serie de parámetros geométricos para las comprobaciones del perfil que se realizarán posteriormente.

Parámetros del conjunto:

Zg [mm]	A [mm2]	Iy [mm4]	Wy,i [mm3]	Wy,s [mm3]
298,5	15210	4,94E+08	1,65E+06	3,06E+06

Tabla 11 Parámetros del conjunto del perfil compuesto viga carril

Siendo:

- Zg: Centro de gravedad de la sección del conjunto.
- A: Área total de la sección del conjunto.
- Iy: Momento de inercia de la sección del conjunto respecto al eje y.
- Wy,i: Módulo resistente de la sección inferior del conjunto respecto al eje y.
- Wy,s: Módulo resistente de la sección superior del conjunto respecto al eje y.

Parámetros de la cabeza de la sección:

Af [mm2]	If,z [mm4]	Wf,z [mm3]	if,z [mm]	Sf,y [mm3]
8104	7,11E+07	5,08E+05	9,37E+01	1,13E+06

Tabla 12 Parámetros de la cabeza del conjunto del perfil compuesto viga carril

Siendo:

- Af: Área de la sección de la cabeza.
- If,z: Momento de inercia de la sección de la cabeza respecto al eje y.
- Wf,z: Módulo resistente de la sección de la cabeza respecto al eje z.
- If,z: Radio de giro de la sección de la cabeza respecto al eje z.
- Sf,y: Momento estático de la sección de la cabeza respecto al eje y.

Ahora que ya se tienen los parámetros geométricos tanto del conjunto, como de la cabeza de la sección del perfil, se procede a realizar las comprobaciones de resistencia y estabilidad de la sección.

Además también se instalarán unos rigidizadores en la viga carril a la altura de cada uno de los apoyos que se dimensionarán y calcularán.

COMPROBACIÓN DE RESISTENCIA

Se realizará la comprobación de resistencia para los puntos más solicitados que son el de la esquina superior derecha (1) y el de la zona central inferior de la sección del perfil (2).

Cabe destacar que la sección se verá sometida a un momento flector My, fruto de la carga Pz, un momento flector Mz, producido por la carga Py y un esfuerzo axil Nx provocado por la carga Px.

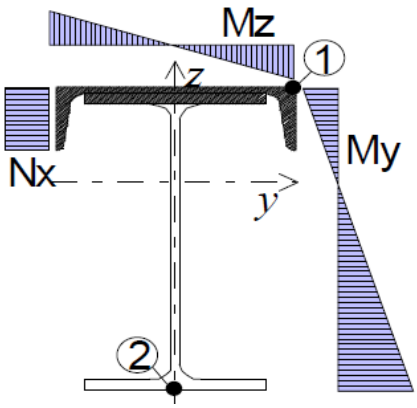


Figura 77 Esfuerzos y puntos más desfavorables sobre la sección de la viga carril

Por lo tanto, la sección hay que comprobarla a flexión compuesta sin cortante, aplicando la fórmula del apartado 6.2.8 del DB SE-A del C.T.E.

$$\left[\frac{N_{Ed}}{N_{pl\,Rd}}\right]_{Cabeza} + \left[\frac{M_{y\,Ed}}{M_{c\,Rd\,y}}\right]_{sección} + \left[\frac{M_{z\,Ed}}{M_{c\,Rd\,z}}\right]_{cabeza} \leq 1$$

Comprobación del punto 1:

Se comienza calculando los esfuerzos en valor de cálculo que solicitan la sección.

Para el caso del axil, en la sección donde se produzca la frenada, este será el máximo y adoptará un valor de:

$$N_{Ed} = 1.5 * (2 * P_x) = 1.5 * 2 * 24.9 = 74.7\ KN$$

Por otro lado, gracias al programa "Línea de Fluencia" que se ha mencionado anteriormente se obtiene que el momento flector máximo se da cuando la primera rueda del puente grúa se encuentra a 2.6 metros del comienzo de la viga, por lo que se estudiará esa sección.

Además se debe sumar el flector provocado por el puente grúa al provocado por el peso propio de la viga a 2.6 metros del comienzo de la viga, el cual adopta un valor de 2.47 KN*m.

Por lo tanto el momento flector adoptará un valor de:

$$M_{y\,Ed} = 1.35 * 2.47 + 1.5 * 216.9 = 328.68\ KN * m$$

Por último, el valor del momento flector en el eje z adopta un valor igual a la décima parte del flector máximo en el eje y, tal y como sucedía con las cargas que generaba el puente grúa en la viga carril.

Por lo que se obtiene un momento en valor de cálculo de:

$$M_{z\,Ed} = 1.5 * 21.69 = 32.5\ KN * m$$

Una vez que ya se tienen los esfuerzos en valor de cálculo, se procede a calcular los valores resistentes de la sección.

$$N_{pl,Rd} = A_f * f_{yd} = 8104 * \frac{275}{1.05} = 2122.5\ KN$$

$$M_{c,Rd,y} = W_{y,s} * f_{yd} = 3056 * 10^3 * \frac{275}{1.05} = 800.36\ KN * m$$

$$M_{c,Rd,z} = W_{f,z} * f_{yd} = 508.2 * 10^3 * \frac{275}{1.05} = 133.1\ KN * m$$

Ya se puede realizar la comprobación de la sección tal y como dicta el C.T.E.:

$$\left[\frac{N_{Ed}}{N_{pl\,Rd}}\right]_{Cabeza} + \left[\frac{M_{y\,Ed}}{M_{c\,Rd\,y}}\right]_{sección} + \left[\frac{M_{z\,Ed}}{M_{c\,Rd\,z}}\right]_{cabeza} =$$

$$\frac{74.7}{2122.5} + \frac{328.68}{800.36} + \frac{32.5}{133.1} = 0.69 < 1\ (CUMPLE)$$

Comprobación del punto 2:

Nuevamente, se comienza calculando los esfuerzos en valor de cálculo que solicitan la sección. Esta vez solo será necesario calcular el momento flector en valor de cálculo del eje y ya que en el punto 2 no hay más esfuerzos.

$$M_{y\,Ed} = 1.35 * 2.47 + 1.5 * 216.9 = 328.68\ KN * m$$

Una vez que ya se tiene el esfuerzo en valor de cálculo, se procede a calcular el valor resistente de la sección.

$$M_{c,Rd,y} = W_{y,i} * f_{yd} = 1653 * 10^3 * \frac{275}{1.05} = 432.9\ KN * m$$

Ya se puede realizar la comprobación de la sección tal y como dicta el C.T.E.:

$$\left[\frac{M_{y\,Ed}}{M_{c\,Rd\,y}}\right]_{sección} = \frac{328.68}{432.9} = 0.76 < 1\ (CUMPLE)$$

Se puede concluir que el perfil compuesto seleccionado cumple con la comprobación de resistencia siendo el punto 2 el más desfavorable de la sección trabajando a un 76% de su capacidad.

A continuación se va a comprobar la estabilidad del perfil compuesto y se comenzará comprobando el pandeo lateral.

COMPROBACIÓN DE PANDEO LATERAL

Como se ha mencionado, se va a realizar la comprobación de estabilidad frente a pandeo lateral y para ello se va a seguir un método aproximado al método de comprobación que dicta el C.T.E. en el DB SE-A.

Este método aproximado considera la sección de la cabeza del conjunto como la sección resistente a una carga P_f, que es la resultante de las tensiones de compresión producidas por el momento flector actuante sobre la sección de la cabeza del conjunto del perfil.

Por lo tanto se considera a la cabeza de la viga sometida a la compresión de esta carga P_f más la del axil provocado por la frenada longitudinal.

Primero, se comienza calculando el valor de dicha carga P_f.

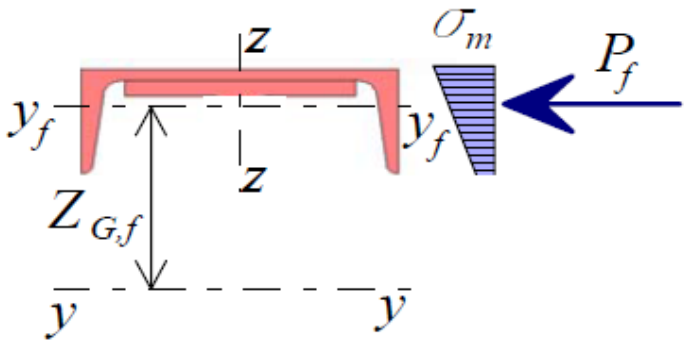


Figura 78 Tensiones de compresión sobre la sección de la cabeza por la carga P_f

$$P_f = \frac{M_{y,Ed} * S_{f,y}}{I_y} = \frac{328.68 * 10^3}{493.6 * 10^6} = 749.7\ KN$$

A continuación, se comprueba la estabilidad de la cabeza a flexo compresión en el eje z como pieza no susceptible de pandeo por torsión, tal y como se dice en el apartado 6.3.4.2 del DB SE-A del C.T.E., ya que la cabeza de la viga carril se encuentra unida al ala del pilar principal y con la introducción de la carga P_f se puede despreciar la componente de torsión.

La fórmula que propone el C.T.E. es la siguiente:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z * A_f * f_{yd}} + \alpha_y * \kappa_y * \frac{c_{m,y} * M_{Ed,y} + e_{N,y} * N_{Ed}}{W_{f,y} * f_{yd}} + \kappa_z * \frac{c_{m,z} * M_{Ed,z} + e_{N,z} * N_{Ed}}{W_{f,z} * f_{yd}} \leq 1$$

Sin embargo, se pueden realizar algunas simplificaciones a la anterior fórmula:

- El valor de los coeficientes $e_{N,y}$ y $e_{N,z}$ para secciones de clase 1, 2 y 3 (Que es el caso de la sección que se trata en este caso) es cero.
- El momento flector en el eje y en este caso es cero ya que se ha introducido como carga P_f.

Por lo tanto la anterior ecuación queda de la siguiente forma:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z * A_f * f_{yd}} + \kappa_z * \frac{c_{m,z} * M_{Ed,z}}{W_{f,z} * f_{yd}} \leq 1$$

A continuación, hay que calcular los esfuerzos en valor de cálculo, y como se ha dicho anteriormente, el valor del axil es la suma de la carga P_f (ya calculada y en valor de cálculo) y el axil generado por la carga longitudinal P_x del puente grúa.

$$N_{Ed} = 2 * 1.5 * P_x + P_f = 2 * 1.5 * 24.9 + 749.7 = 824.48\ KN$$

Para realizar la comprobación, es necesario calcular una serie de valores como el coeficiente de reducción por pandeo en el eje z, X_z.

Para la obtención de este coeficiente de reducción se sigue el apartado 6.3 del DB SE-A del C.T.E. fijándose en la Figura 6.3 que muestra las curvas de pandeo en función de la esbeltez reducida.

Para la obtención de esa esbeltez reducida, se necesitan la esbeltez de Euler y la esbeltez mecánica.

Para esta última se necesita conocer la longitud de pandeo de la viga carril y el radio de giro de la cabeza. Este último ya se calculó con anterioridad y la longitud de pandeo será la distancia entre puntos de arriostramiento de la viga, que en este caso, coincidirá con la modulación entre pórticos.

$$L_k = 6000\ mm$$

Por lo tanto ya se puede calcular todo lo dicho anteriormente:

$$Esbeltez\ de\ Euler \rightarrow \lambda_E = \pi * \sqrt{\frac{E}{f_y}} = \pi * \sqrt{\frac{2.1 * 10^5}{275}} = 86.8$$

$$Esbeltez\ mecánica \rightarrow \lambda_z = \frac{L_k}{i_{f,z}} = \frac{6000}{93.7} = 64.03$$

Ya se puede calcular la esbeltez reducida:

$$Esbeltez\ reducida \rightarrow \bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_E} = \frac{64.03}{86.8} = 0.73$$

Una vez obtenida la esbeltez reducida ya se puede obtener el coeficiente de reducción acudiendo a las cuervas de pandeo. Este caso corresponde a la curva c ya que se trata de una agrupación de perfiles laminados soldados.

$$\chi_z = 0.7$$

A continuación, otro de los parámetros necesarios para realizar la comprobación sería el coeficiente de interacción k_z, el cual se determina a través de la tabla 6.9 del DB SE-A del C.T.E.

Clase	Tipo de sección	k_y	k_z	k_{yLT}
1 y 2	I, H, abiertas	$1+(\bar{\lambda}_y-0{,}2)\cdot\frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{C,Rd}}$	$1+(2\cdot\bar{\lambda}_z-0{,}6)\cdot\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{C,Rd}}$	el menor de $1-\frac{0{,}1\cdot\bar{\lambda}_z}{(c_{mLT}-0{,}25)}\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{C,Rd}}$
	Hueca delgada		$1+(\bar{\lambda}_z-0{,}2)\cdot\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{C,Rd}}$	$0{,}6+\bar{\lambda}_z$
3 y 4	Todas	$1+0{,}6\cdot\bar{\lambda}_y\cdot\frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{C,Rd}}$	$1+0{,}6\cdot\bar{\lambda}_z\cdot\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{C,Rd}}$	$1-\frac{0{,}05\cdot\bar{\lambda}_z}{(c_{mLT}-0{,}25)}\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{C,Rd}}$

Figura 79 Coeficiente de interacción k_z

Como se ve en la Figura 79, para obtenerlo se aplica la siguiente fórmula:

$$\kappa_z = 1 + 0.6 * \bar{\lambda}_z * \frac{N_{Ed}}{\chi_z * A_f * f_{yd}} = 1 + 0.6 * 0.73 * \frac{824.48}{0.7 * 8104 * \frac{275}{1.05}} = 1.24$$

Por último, es necesario calcular el coeficiente del momento equivalente respecto al eje z, $c_{m,z}$, el cual se determina a través de la tabla 6.10 del DB SE-A del C.T.E.

Para ello hay que tener en cuenta el tipo de acción solicitante, que en este caso son momentos debidos a cargas laterales coplanarias, y el diagrama de momentos flectores.

En este caso el diagrama de momentos flectores tendrá una forma triangular aproximada como el de la siguiente figura:

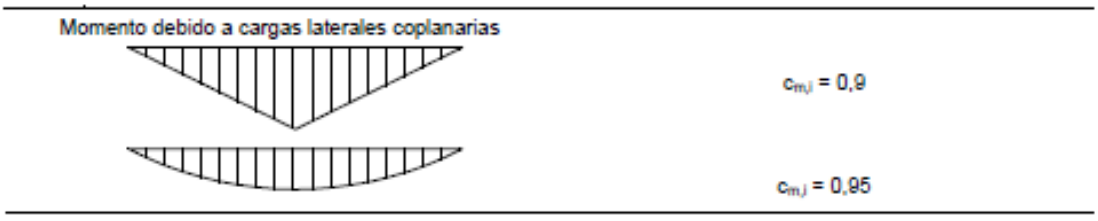


Figura 80 Coeficientes del momento equivalente

Por lo que el coeficiente del momento equivalente en este caso adopta un valor de 0.9.

Ahora que ya se tienen todos los parámetros, ya se puede realizar la comprobación:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z * A_f * f_{yd}} + \kappa_z * \frac{c_{m,z} * M_{Ed,z}}{W_{f,z} * f_{yd}} =$$

$$\frac{824.48 * 10^3}{0.7 * 8104 * \frac{275}{1.05}} + 1.24 * \frac{0.9 * 32.5 * 10^6}{508.2 * 10^3 * \frac{275}{1.05}} = 0.55 + 0.27 = 0.82 < 1\ (CUMPLE)$$

Jorge Alonso Sanz

Por lo tanto el perfil propuesto de viga carril cumple las condiciones de estabilidad de pandeo lateral según manda la norma del C.T.E. a un 82% de su capacidad.

COMPROBACIÓN ABOLLADURA DEL ALMA POR CORTANTE

La comprobación de abolladura, nuevamente se hará según dicta el DB SE-A del C.T.E. en el apartado 6.3.3.4. En dicho apartado, se especifica en el primer punto de todos, que no es necesario realizar dicha comprobación en aquellas barras que cumplan con la siguiente condición:

$$\frac{d}{t_w} < 70 * \varepsilon$$

Siendo:

- d: Altura del alma.
- t_w: Espesor del alma.

Se sustituye en la anterior fórmula y se obtiene:

$$\frac{379}{9.4} < 70 * \sqrt{\frac{235}{275}} \rightarrow 40.31 < 64.7 \ (CUMPLE)$$

Por lo tanto no es necesario realizar la comprobación de resistencia a abolladura.

COMPROBACIÓN DE LOS RIGIDIZADORES

Allí donde existan importantes cargas concentradas, se podría instalar unos rigidizadores para garantizar que el alma de la viga carril no pandeara, pero ya que esas cargas concentradas están en movimiento al ser generadas por un puente grúa que se desplaza, se instalarán unos rigidizadores en el alma de la viga en cada apoyo de la viga carril con el objeto de reforzar y asegurar el perfil.

Para dimensionar y comprobar dichos rigidizadores se van a seguir los pasos que indica el DB SE-A del C.T.E. en el apartado 6.3.3.4.

Como se ha hecho hasta ahora, se comienza realizando una predimensión de los rigidizadores:

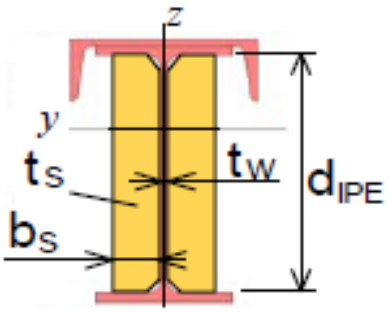


Figura 81 Esquema de los rigidizadores de alma

$$b_s = 90\ mm \left(< \frac{b_{IPE}}{2} \right) ;\ t_s = 10\ mm$$

Según la norma, los rigidizadores deben de cumplir una comprobación geométrica dependiendo de si a/d es mayor o menor que la raíz cuadrada de 2, siendo "a" la distancia entre rigidizadores (Que ya se ha dicho anteriormente que es igual a la modulación entre pórticos) y "d" la longitud del alma de la viga.

2 La inercia I_s de la sección formada por el rigidizador más una anchura de alma a cada lado del rigidizador igual a 15 $t_w\varepsilon$, con relación a su fibra neutra, paralela al plano del alma, ha de ser:

$$I_s \geq 1{,}5 \cdot \frac{d^3 t^3}{a^2} \quad \text{si} \quad \frac{a}{d} < \sqrt{2} \qquad (6.38)$$

$$I_s \geq 0{,}75 \cdot d \cdot t^3 \quad \text{si} \quad \frac{a}{d} \geq \sqrt{2} \qquad (6.39)$$

Figura 82 Condición geométrica según C.T.E.

En este caso:

$$\frac{6000}{379} = 15.83 > \sqrt{2}$$

Por lo tanto y según C.T.E. hay que cumplir la siguiente condición geométrica:

$$I_s \geq 0.75 * d * {t_w}^3$$

Siendo:

- I_s: Inercia del rigidizador.
- d: longitud del alma de la viga.
- t_w: espesor del alma de la viga.

Para la geometría con la que se cuenta en este caso, la inercia del rigidizador debe ser mayor de:

$$I_s \geq 0.75 * d * {t_w}^3 = 0.75 * 379 * 9.4^3 = 0.23 * 10^6\ mm^4$$

Y la inercia del rigidizador con la predimensión que se ha realizado resulta:

$$I_s = \frac{t_s(2 * b_s + t_w)^3}{12} = \frac{10 * (2 * 90 + 9.4)^3}{12} = 5.6 * 10^6\ mm^4 > 0.23 * 10^6 mm^4 (CUMPLE)$$

Una vez que se cumplen las condiciones geométricas impuestas por el C.T.E. se continúa con las comprobaciones de resistencia y estabilidad y en el apartado 6.3.3.4 del DB SE-A se especifica que se llevará a cabo según en el apartado 6.3.2.

$$N_{b,Rd} > N_{Ed}$$

$$N_{b,Rd} = \chi * A * f_{yd} > N_{Ed}$$

Siendo:

- χ: Coeficiente de reducción por pandeo.
- A: Área de la sección que soporta el axil.

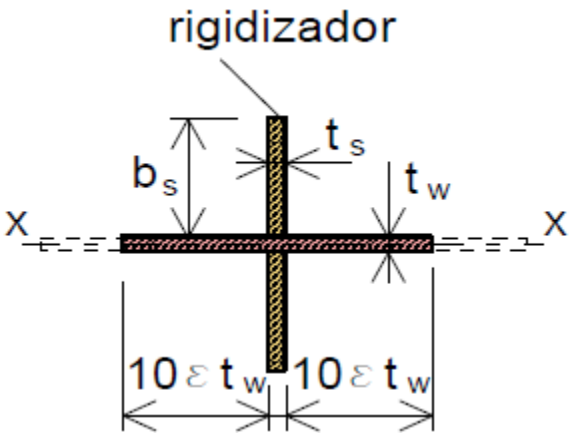


Figura 83 Esquema y geometría del rigidizador

Se comienza calculando el coeficiente de reducción por pandeo pero para ello será necesario nuevamente la esbeltez de Euler y la esbeltez mecánica para calcular la esbeltez reducida.

Para la esbeltez mecánica se calculará la longitud eficaz de pandeo y el radio de giro del rigidizador en el eje x.

En el apartado 6.3.3.4 se especifica que la longitud eficaz de pandeo será igual a 0.8 veces la longitud total del rigidizador. Por lo tanto:

$$L_k = 0.8 * d = 0.8 * 379 = 303.2\ mm$$

El radio de giro del rigidizador en el eje x, al igual que antes, se obtiene de la siguiente manera:

$$i_x = \sqrt{\frac{A}{I_s}}$$

Siendo:

- I_s: Inercia del rigidizador en el eje x.
- A: Área de la sección resistente.

El área de la sección resistente según C.T.E se obtiene teniendo en cuenta la sección resistente del rigidizador más una anchura de alma a cada lado del rigidizador igual a $10*t_w*\varepsilon$.

Por lo tanto queda un área resistente de valor:

$$A = (2 * t_s * b_s) + (20 * \varepsilon * t_w + t_s) * t_w = 3527.6\ mm^2$$

Sustituimos en la fórmula del radio de giro:

$$i_x = \sqrt{\frac{I_s}{A}} = \sqrt{\frac{5.6 * 10^6}{3527.6}} = 39.84\ mm$$

Ya se puede obtener el valor de la esbeltez de Euler y el de la esbeltez mecánica:

$$Esbeltez\ de\ Euler \rightarrow \lambda_E = \pi * \sqrt{\frac{E}{f_y}} = \pi * \sqrt{\frac{2.1 * 10^5}{275}} = 86.8$$

$$Esbeltez\ mecánica \rightarrow \lambda_x = \frac{L_k}{i_{x,z}} = \frac{303.2}{39.84} = 7.6$$

Ya se puede calcular la esbeltez reducida:

$$Esbeltez\ reducida \rightarrow \bar{\lambda}_x = \frac{\lambda_x}{\lambda_E} = \frac{7.6}{86.8} = 0.08$$

Ahora que ya se cuenta con la esbeltez reducida, la norma establece que se debe acudir con este valor a las curvas de pandeo c. Por lo tanto se obtiene un coeficiente de reducción por pandeo:

$$\chi = 1$$

Ya se puede realizar la comprobación. Hay que tener en cuenta que el esfuerzo axil que actúa sobre el rigidizador corresponde a la reacción vertical en el apoyo mayorada, es decir:

$$N_{Ed} = 455.4\ KN$$

Por lo tanto la comprobación queda de la siguiente manera:

$$N_{b,Rd} = \chi * A * f_{yd} = 1 * 3527.6 * \frac{275}{1.05} = 923.8\ KN > N_{Ed} = 455.4\ KN$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{455.4}{923.8} = 0.49$$

Se puede concluir que cumple con los requisitos de resistencia y estabilidad que dicta la norma trabajando a un 49% de su capacidad.

COMPROBACIÓN DE RESISTENCIA A CARGAS CONCENTRADAS

Se va a comprobar la resistencia de la viga carril ante las cargas concentradas que transmiten las ruedas cuando el puente grúa se encuentra detenido. Este efecto puede hacer que pandee el alma de la viga por lo que se van a tratar por seguridad los dos posibles casos que se tienen:

- Cuando solo se encuentra una rueda en el vano.
- Cuando ambas ruedas se encuentran en el mismo vano.

Para realizar estas comprobaciones se seguirán las indicaciones del apartado 6.3.3.5 del DB SE-A del C.T.E.

<u>Caso 1</u>

La resistencia de cálculo del alma frente a cargas concentradas viene dada por:

$$F_{b\,Rd} = \frac{f_y * t_w * L_{ef}}{\gamma_{M1}}$$

Siendo:

$$L_{ef} = \chi_f * l_y$$

$$\chi_f = \frac{0.5}{\bar{\lambda}_f} \leq 1$$

$$\bar{\lambda}_f = \sqrt{\frac{l_y * t_w * f_y}{F_{cr}}}$$

$$F_{cr} = 0.9 * k_f * E * \frac{t_w^3}{d}$$

Para la obtención de los valores de l_y y de k_f se ha de tener en cuenta, tal y como dice la norma, que dependen del caso que se esté considerando de entre los que se muestra en la Figura 6.6 de dicha norma.

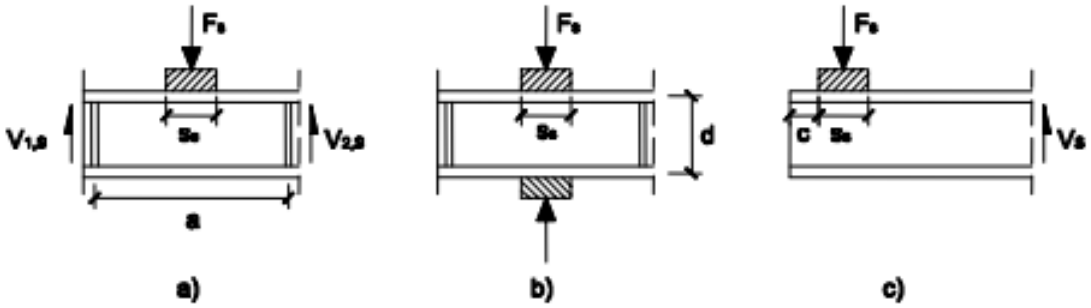


Figura 84 Modo de transferencia de cargas

Como se puede observar en la Figura 84, se proponen 3 casos distintos de carga, de los cuales se estudiará el caso a. Se podría estudiar también el caso b pero no siempre existirá una ménsula debajo de la viga carril, por lo tanto el caso a será lo más desfavorable.

Dicho caso establece que la carga es transferida de un ala a otra a través del alma, y en caso de haber cortantes, se considera la fuerza concentrada de mayor valor de las dos.

Por lo tanto se usan las siguientes fórmulas:

$$k_f = 6 + 2 * \left(\frac{d}{a}\right)^2$$

$$l_y = s_s + 2 * t_f * (1 + \sqrt{m_1 + m_2}) \leq a$$

Donde:

$$t_f = t_{f\,IPE} + t_{w\,UPN}$$

$$m_1 = \frac{f_{yf} * b_f}{f_{yw} * t_w}$$

$$m_2 = 0.02 * \left(\frac{d}{t_f}\right) si\ \bar{\lambda}_f > 0.5 \quad \text{ó} \quad m_2 = 0\ si\ \bar{\lambda}_f \leq 0.5$$

Se comienza calculando los coeficientes m_1 y m_2.

$$m_1 = \frac{f_{yf} * b_f}{f_{yw} * t_w} = \frac{275 * 280}{275 * 9.4} = 29.78$$

Para el cálculo de m_2, se realizará una aproximación de m_2=0 para ver que $\bar{\lambda}_f$ se obtiene.

Para el coeficiente s_s se tendrá que tener en cuenta que corresponde a la longitud de entrega, y al estar solo una rueda dentro del vano por ser el caso 1, le corresponde un valor de cero.

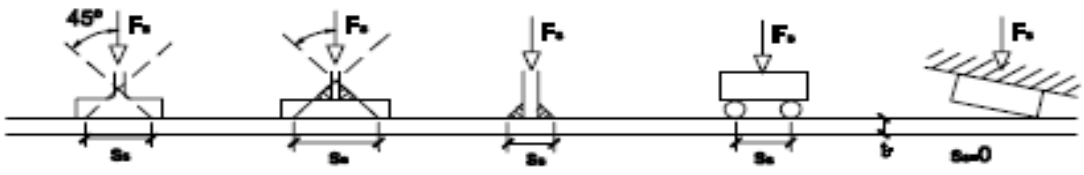


Figura 85 Ancho de la entrega rígida de una carga sobre un ala

Por lo tanto ya se puede calcular $\bar{\lambda}_f$:

$$l_y = s_s + 2 * t_f * \left(1 + \sqrt{m_1 + m_2}\right) =$$

$$0 + 2 * 24.6 * \left(1 + \sqrt{29.78}\right) = 317.7\ mm \leq a = 6000\ mm\ (CUMPLE)$$

$$k_f = 6 + 2 * \left(\frac{d}{a}\right)^2 = 6 + 2 * \left(\frac{379}{6000}\right) = 6.01$$

$$F_{cr} = 0.9 * k_f * E * \frac{t_w^3}{d} = 0.9 * 6.01 * 2.1 * 10^5 * \frac{9.4^3}{379} = 2485\ KN$$

$$\bar{\lambda}_f = \sqrt{\frac{l_y * t_w * f_y}{F_{cr}}} = \sqrt{\frac{317.7 * 9.4 * 275}{2485 * 10^3}} = 0.57 \nless 0.5\ (NO\ CUMPLE)$$

Ya que el coeficiente $\bar{\lambda}_f$ es mayor que 0.5 la aproximación de m_2=0 es errónea y se deberán repetir los cálculos tomando el valor de m_2 como se ha explicado anteriormente para $\bar{\lambda}_f$>0.5.

$$m_2 = 0.02 * \left(\frac{d}{t_f}\right) = 0.02 * \left(\frac{379}{14.6}\right) = 0.52$$

$$l_y = s_s + 2 * t_f * \left(1 + \sqrt{m_1 + m_2}\right) =$$

$$0 + 2 * 24.6 * \left(1 + \sqrt{29.78 + 0.52}\right) = 320\ mm \leq a = 6000\ mm\ (CUMPLE)$$

$$\bar{\lambda}_f = \sqrt{\frac{l_y * t_w * f_y}{F_{cr}}} = \sqrt{\frac{320 * 9.4 * 275}{2485 * 10^3}} = 0.57 > 0.5\ (CUMPLE)$$

$$\chi_f = \frac{0.5}{\bar{\lambda}_f} = \frac{0.5}{0.57} = 0.87 \leq 1\ (CUMPLE)$$

$$L_{ef} = \chi_f * l_y = 0.87 * 320 = 278.4\ mm$$

Ahora que se cuentan con todos los datos necesarios, ya se puede realizar la comprobación:

$$F_{b\,Rd} = \frac{f_y * t_w * L_{ef}}{\gamma_{M1}} = \frac{275 * 9.4 * 278.4}{1.05} = 685.39\ KN$$

La carga correspondiente al valor F_{Ed} corresponde a aquella que ejerce la rueda sobre la viga, mayorada con la combinación de esfuerzos más desfavorable, que en este caso queda de la siguiente manera:

$$1.5\ SCU_{PG}$$

Por lo tanto:

$$F_{Ed} = 1.5 * 174.3 = 261.45\ KN$$

Ya se puede realizar la comparación entre los esfuerzos que se tienen y los resistentes:

$$\frac{F_{Ed}}{F_{b\,Rd}} = \frac{261.45}{685.39} = 0.38 < 1\ (CUMPLE)$$

El perfil de la viga carril seleccionado cumple con la comprobación de resistencia a cargas concentradas con un aprovechamiento del 38% de su capacidad para el caso 1.

Por último, para concluir con el caso 1, aunque se sepa que esa alma no va a pandear, se necesita realizar la comprobación de que esa ala no plastifica.

Tal y como recoge el último punto del apartado 6.3.3.5 del DB SE-A; si la carga concentrada actúa en el eje de una sección sometida a esfuerzos axiles y de flexión que produzcan una tensión $\sigma_{x,Ed}$ en el punto del ala situado bajo la carga, debe verificarse que:

$$\frac{F_{Ed}}{F_{b\,Rd}} + 0.8 * \frac{\sigma_{x,ed}}{\frac{f_{yf}}{\gamma_{M0}}} \leq 1.4$$

Por lo tanto ha de calcularse cuánto vale el término $\sigma_{x,Ed}$ sabiendo que será la suma de las contribuciones del axil generado por la carga longitudinal Px, y el axil generado por los momentos My y Mz.

Ya que se han calculado anteriormente los esfuerzos junto con sus capacidades resistentes queda de la siguiente forma:

$$\sigma_{x,ed} = \sigma_{x,ed,axil} + \sigma_{x,ed,My} + \sigma_{x,ed,Mz} = \frac{N_{Ed}}{A_f} + \frac{M_{y,Ed}}{W_{y,s}} + \frac{M_{z,Ed}}{W_{f,z}}$$

$$= \frac{74.7\ KN}{8104\ mm^2} + \frac{328.68\ KN * m}{3056 * 10^3 mm^3} + \frac{32.5\ KN * m}{508.2 * 10^3 mm^3} = 180.71\ MPa$$

Ya se puede realizar la comprobación:

$$\frac{F_{Ed}}{F_{b\,Rd}} + 0.8 * \frac{\sigma_{x,ed}}{\frac{f_{yf}}{\gamma_{M0}}} = 0.38 + 0.8 * \frac{180.71}{\frac{275}{1.05}} = 0.932 \leq 1.4 (CUMPLE)$$

Se cumple la comprobación por lo que se concluye que el ala de la viga no plastificará.

Caso 2

El caso 2 es idéntico al caso 1 pero teniendo en cuenta que el ancho de entrega rígida de una carga sobre el ala, s_s, ya es distinto de cero y es igual al valor de la distancia entre ruedas.

Se comienza nuevamente calculando los coeficientes m_1 y m_2.

$$m_1 = \frac{f_{yf} * b_f}{f_{yw} * t_w} = \frac{275 * 280}{275 * 9.4} = 29.78$$

$$m_2 = 0.02 * \left(\frac{d}{t_f}\right) = 0.02 * \left(\frac{379}{14.6}\right) = 0.52$$

$$s_s = 4000\ mm$$

$$l_y = s_s + 2 * t_f * \left(1 + \sqrt{m_1 + m_2}\right) =$$

$$4000 + 2 * 24.6 * \left(1 + \sqrt{29.78 + 0.52}\right) = 4320\ mm \leq a = 6000\ mm\ (CUMPLE)$$

$$\bar{\lambda}_f = \sqrt{\frac{l_y * t_w * f_y}{F_{cr}}} = \sqrt{\frac{4320 * 9.4 * 275}{2485 * 10^3}} = 2.12 > 0.5\ (CUMPLE)$$

$$\chi_f = \frac{0.5}{\bar{\lambda}_f} = \frac{0.5}{2.12} = 0.236 \leq 1\ (CUMPLE)$$

$$L_{ef} = \chi_f * l_y = 0.236 * 4320 = 1018.86\ mm$$

Ahora que se cuentan con todos los datos necesarios, ya se puede realizar la comprobación:

$$F_{b\,Rd} = \frac{f_y * t_w * L_{ef}}{\gamma_{M1}} = \frac{275 * 9.4 * 1018.86}{1.05} = 2508.35\ KN$$

La carga correspondiente al valor F_{Ed} corresponde a aquella que ejercen las dos ruedas sobre la viga, mayorada con la combinación de esfuerzos más desfavorable, que en este caso queda de la siguiente manera:

$$1.5\ SCU_{PG}$$

Por lo tanto:

$$F_{Ed} = 1.5 * 2 * 174.3 = 522.9\ KN$$

Ya se puede realizar la comparación entre los esfuerzos que se tienen y los resistentes:

$$\frac{F_{Ed}}{F_{b\,Rd}} = \frac{522.9}{2508} = 0.2 < 1\ (CUMPLE)$$

El perfil de la viga carril seleccionado cumple con la comprobación de resistencia a cargas concentradas con un aprovechamiento del 20% de su capacidad para el caso 1.

Nuevamente, para concluir con el caso 2, se realizará la comprobación de que esa ala no plastifica.

Tal y como recoge el último punto del apartado 6.3.3.5 del DB SE-A; si la carga concentrada actúa en el eje de una sección sometida a esfuerzos axiles y de flexión que produzcan una tensión $\sigma_{x,Ed}$ en el punto del ala situado bajo la carga, debe verificarse que:

$$\frac{F_{Ed}}{F_{b\,Rd}} + 0.8 * \frac{\sigma_{x,ed}}{\frac{f_{yf}}{\gamma_{M0}}} \leq 1.4$$

Lo único que cambia con respecto al caso 1 es el primer término de la ecuación.

Por lo tanto de la comprobación se obtiene:

$$\frac{F_{Ed}}{F_{b\,Rd}} + 0.8 * \frac{\sigma_{x,ed}}{\frac{f_{yf}}{\gamma_{M0}}} = 0.2 + 0.8 * \frac{180.71}{\frac{275}{1.05}} = 0.89 \leq 1.4(CUMPLE)$$

Se cumple la comprobación por lo que se concluye que el ala de la viga no plastificará.

Se puede concluir que el perfil seleccionado cumple con todas las comprobaciones de resistencia y estabilidad necesarias según dicta la norma del C.T.E.

5. Ménsula

Se va a dimensionar y comprobar la ménsula de cada pilar principal sobre la que apoya la viga carril del puente grúa.

Esta soportará su carga de peso propio, la reacción vertical del puente grúa y la reacción longitudinal provocada por la frenada longitudinal del puente grúa.

Como se ha hecho anteriormente, se comienza por una predimensión de la ménsula, y se escoge un perfil IPE 360 que cuenta con las siguientes propiedades:

	IPE 360
A [mm2]	7270
b [mm]	170
h [mm]	360
d [mm]	299
tf [mm]	12,7
tw [mm]	8
Iy [mm4]	1,63E+08
Iz [mm4]	1,04E+07

Tabla 13 Propiedades del perfil IPE 360

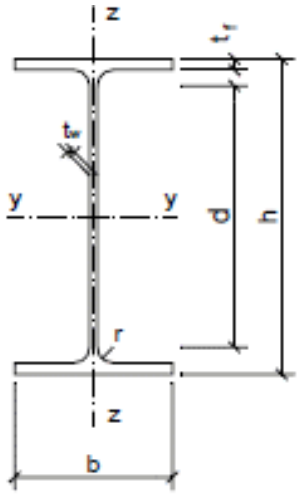


Figura 86 Esquema geométrico de la ménsula

Las cargas en valor de cálculo del puente grúa que actúan sobre la ménsula se consiguen en el apartado 4 del presente anexo empleando la combinación más desfavorable de esfuerzos.

Esto da como resultado:

$$N_{Ed} = 1.5 * R_{y,máx,SCU} = 1.5 * 29.69 = 44.53\ KN$$

$$V_{Ed} = 1.35 * R_{máx,CP} + 1.5 * R_{máx,SCU} = 1.35 * 7.5 + 1.5 * 296.9 = 455.57\ KN$$

Para el caso del momento flector en el eje y, será necesario multiplicar el cortante V_{Ed} por la mínima distancia de aplicación de la carga entre la viga carril y el pilar principal. Dicha distancia, es un parámetro geométrico que nuevamente se encuentra en el catálogo del fabricante de puentes grúa, para el caso del puente grúa de este proyecto adopta un valor de 0.25 metros.

Por lo tanto el momento flector queda de la siguiente forma:

$$M_{y,Ed} = V_{Ed} * 0.25 = 455.47 * 0.25 = 113.86\ KN$$

Así como en comprobaciones anteriores se ha despreciado el cortante por no ser significativo, en este caso sí va a tenerse en cuenta. El C.T.E. establece en el apartado 6.2.8 del DB SE-A que para casos de interacción de esfuerzos de flexión, axil y cortante se sigue el siguiente procedimiento:

a) Siempre que el cortante de cálculo no supere la mitad de la resistencia de cálculo de la sección (Calculada en ausencia de otros esfuerzos), se emplearán las fórmulas de interacción dadas (Véanse ecuaciones 6.11).
b) Cuando el cortante de cálculo supere la mitad de la resistencia de cálculo de la sección (calculada en ausencia de otros esfuerzos), la resistencia de ésta para el conjunto de esfuerzos se determinará utilizando para el área de cortante un valor reducido del límite elástico (o alternativamente del espesor) conforme al factor (1-p), viniendo p dado por la ecuación 6.13.

Por lo tanto, y siguiendo las instrucciones que manda la norma, se comienza calculando la capacidad resistente a cortante de la sección según el apartado 6.2.4 del DB SE-A:

$$V_{pl,Rd} = A_v * \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

Donde el término de A_v hace referencia al área a cortante y adopta los siguientes valores para perfiles en I o H cargados paralelamente al alma:

$$A_v = A - 2 * b * t_f + (t_w + 2 * r) * t_f$$

$$A_v = 7270 - 2 * 170 * 12.7 + (8 + 2 * 18) * 12.7 = 3510.8\ mm^2$$

Por lo que la resistencia de la sección a cortante queda de la siguiente forma:

$$V_{pl,Rd} = A_v * \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}} = 3510.8 * \frac{\frac{275}{1.05}}{\sqrt{3}} = 530.8\ KN$$

La comprobación resulta:

$$\frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} = \frac{455.47}{530.8} = 0.85 < 1$$

La sección del perfil resiste los esfuerzos cortantes con un aprovechamiento del 95.6%.

Para comprobar la sección ante la interacción de esfuerzos, es necesario comprobar que el cortante de cálculo no supere la mitad de la resistencia de cálculo de la sección tal y como dice el C.T.E.

La mitad de la resistencia a cortante será:

$$\frac{V_{pl,Rd}}{2} = \frac{530.8}{2} = 265.4\ KN < 455.47\ KN$$

Como el esfuerzo cortante en valor de cálculo, V_{Ed}, es superior al 50% del esfuerzo resistente,$V_{pl,Rd}$, es necesario reducir la resistencia de cálculo a axil y a flexión.

El axil resistente de cálculo reducido $N_{v,Rd}$ viene dado por la siguiente fórmula:

$$N_{v,Rd} = A_v * (1 - \rho) * f_{yd}$$

Donde el coeficiente de reducción ponderado, p, por la interacción de esfuerzos resulta:

$$\rho = \left(2 * \frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} - 1\right)^2 = \left(2 * \frac{455.47}{530.8} - 1\right)^2 = 0.51$$

Por lo que el esfuerzo axil queda de la siguiente forma:

$$N_{v,Rd} = A_v * (1 - \rho) * f_{yd} = 3510.8 * (1 - 0.51) * \frac{275}{1.05} = 448.15\ KN$$

A continuación se calcula el momento flector resistente de cálculo reducido $M_{v,Rd}$ viene dado por:

$$M_{v,y,Rd} = \left(W_{y,pl} - \frac{\rho * A_v^2}{4 * t_w}\right) * f_{yd} = \left(1020 * 10^3 - \frac{0.51 * 3510.8^2}{4 * 8}\right) * \frac{275}{1.05} = 215.2\ KN * m$$

Ya se puede realizar la comprobación de la interacción de esfuerzos con los esfuerzos resistentes reducidos:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{v,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{v,y,Rd}} = \frac{44.53}{448.15} + \frac{113.86}{215.2} = 0.099 + 0.529 = 0.63 < 1\ (CUMPLE)$$

La sección resiste la interacción de esfuerzos con un aprovechamiento del 63% de su capacidad.

También se comprobará la abolladura por cortante tal y como se hizo en el apartado 4 del presente anexo.

$$\frac{d}{t_w} < 70 * \varepsilon$$

Siendo:

- d: Altura del alma.
- t_w: Espesor del alma.

Se sustituye en la anterior fórmula y se obtiene:

$$\frac{299}{8} < 70 * \sqrt{\frac{235}{275}} \rightarrow 37.37 < 64.7\ (CUMPLE)$$

Por lo tanto no es necesario realizar la comprobación de resistencia a abolladura.

Además se colocarán unos rigidizadores debajo de la viga carril que se predimensionarán y calcularán como se ha hecho anteriormente.

Para dimensionar y comprobar dichos rigidizadores se van a seguir los pasos que indica el DB SE-A del C.T.E. en el apartado 6.3.3.4.

Como se ha hecho hasta ahora, se comienza realizando una predimensión de los rigidizadores:

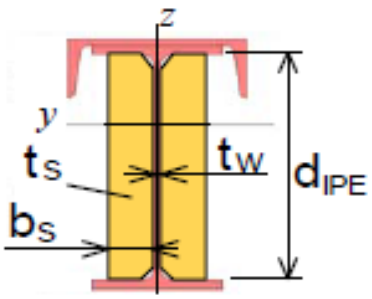


Figura 87 Esquema de los rigidizadores de alma

$$b_s = 80\ mm \left(< \frac{b_{IPE}}{2} \right)\ ;\ t_s = 10\ mm$$

Según la norma, los rigidizadores deben de cumplir una comprobación geométrica dependiendo de si a/d es mayor o menor que la raíz cuadrada de 2, siendo "a" la distancia entre rigidizadores (Que ya se ha dicho anteriormente que es igual a la modulación entre pórticos) y "d" la longitud del alma de la viga.

2 La inercia I_s de la sección formada por el rigidizador más una anchura de alma a cada lado del rigidizador igual a 15 $t_w\varepsilon$, con relación a su fibra neutra, paralela al plano del alma, ha de ser:

$$I_s \geq 1{,}5 \cdot \frac{d^3 t^3}{a^2} \quad \text{si} \quad \frac{a}{d} < \sqrt{2} \qquad (6.38)$$

$$I_s \geq 0{,}75 \cdot d \cdot t^3 \quad \text{si} \quad \frac{a}{d} \geq \sqrt{2} \qquad (6.39)$$

Figura 88 Condición geométrica según C.T.E.

En este caso:

$$\frac{250}{299} = 0.83 < \sqrt{2}$$

Por lo tanto y según C.T.E. hay que cumplir la siguiente condición geométrica:

$$I_s \geq 1.5 * \frac{d^3 * t_w^3}{a^2}$$

Siendo:

- I_s: Inercia del rigidizador.
- d: Longitud del alma de la viga.
- t_w: Espesor del alma de la viga.
- A: Distancia entre rigidizadores.

Para la geometría con la que se cuenta en este caso, la inercia del rigidizador debe ser mayor de:

$$I_s \geq 1.5 * \frac{d^3 * t_w^3}{a^2} = 1.5 * \frac{299^3 * 8^3}{250^2} = 0.32 * 10^6\ mm^4$$

Y la inercia del rigidizador con la predimensión que se ha realizado resulta:

$$I_s = \frac{t_s(2 * b_s + t_w)^3}{12} = \frac{10 * (2 * 80 + 8)^3}{12} = 3.95 * 10^6\ mm^4 > 0.32 * 10^6 mm^4 (CUMPLE)$$

Una vez que se cumplen las condiciones geométricas impuestas por el C.T.E. se continúa con las comprobaciones de resistencia y estabilidad y en el apartado 6.3.3.4 del DB SE-A se especifica que se llevará a cabo según en el apartado 6.3.2.

$$N_{b,Rd} > N_{Ed}$$

$$N_{b,Rd} = \chi * A * f_{yd} > N_{Ed}$$

Siendo:

- χ: Coeficiente de reducción por pandeo.
- A: Área de la sección que soporta el axil.

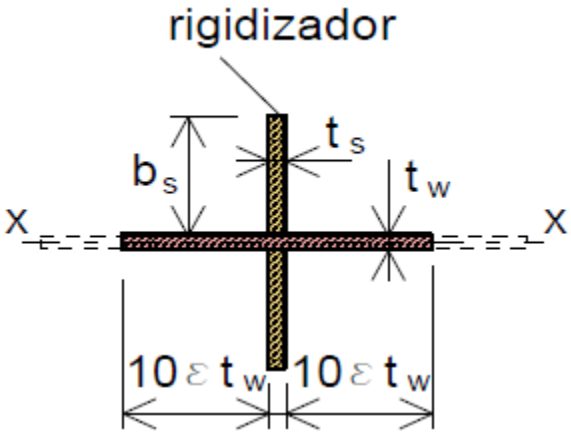


Figura 89 Esquema y geometría del rigidizador

Se comienza calculando el coeficiente de reducción por pandeo pero para ello será necesario nuevamente la esbeltez de Euler y la esbeltez mecánica para calcular la esbeltez reducida.

Para la esbeltez mecánica se calculará la longitud eficaz de pandeo y el radio de giro del rigidizador en el eje x.

En el apartado 6.3.3.4 se especifica que la longitud eficaz de pandeo será igual a 0.8 veces la longitud total del rigidizador. Por lo tanto:

$$L_k = 0.8 * d = 0.8 * 299 = 239.2\ mm$$

El radio de giro del rigidizador en el eje x, al igual que antes, se obtiene de la siguiente manera:

$$i_x = \sqrt{\frac{A}{I_s}}$$

Siendo:

- I_s: Inercia del rigidizador en el eje x.
- A: Área de la sección resistente.

El área de la sección resistente según C.T.E se obtiene teniendo en cuenta la sección resistente del rigidizador más una anchura de alma a cada lado del rigidizador igual a $10*t_w*Є$.

Por lo tanto queda un área resistente de valor:

$$A = (2 * t_s * b_s) + (20 * \varepsilon * t_w + t_s) * t_w = 2863.23\ mm^2$$

Sustituimos en la fórmula del radio de giro:

$$i_x = \sqrt{\frac{I_s}{A}} = \sqrt{\frac{3.95 * 10^6}{2863.23}} = 37.14\ mm$$

Ya se puede obtener el valor de la esbeltez de Euler y el de la esbeltez mecánica:

$$Esbeltez\ de\ Euler \rightarrow \lambda_E = \pi * \sqrt{\frac{E}{f_y}} = \pi * \sqrt{\frac{2.1 * 10^5}{275}} = 86.8$$

$$Esbeltez\ mecánica \rightarrow \lambda_x = \frac{L_k}{i_{x,z}} = \frac{239.2}{37.14} = 6.43$$

Ya se puede calcular la esbeltez reducida:

$$Esbeltez\ reducida \rightarrow \bar{\lambda}_x = \frac{\lambda_x}{\lambda_E} = \frac{6.43}{86.8} = 0.07$$

Ahora que ya se cuenta con la esbeltez reducida, la norma establece que se debe acudir con este valor a las curvas de pandeo c. Por lo tanto se obtiene un coeficiente de reducción por pandeo:

$$\chi = 1$$

Ya se puede realizar la comprobación. Hay que tener en cuenta que el esfuerzo axil que actúa sobre el rigidizador corresponde a la reacción vertical en el apoyo mayorada, es decir:

$$N_{Ed} = 455.4\ KN$$

Por lo tanto la comprobación queda de la siguiente manera:

$$N_{b,Rd} = \chi * A * f_{yd} = 1 * 2863.23 * \frac{275}{1.05} = 749.88\ KN > N_{Ed} = 455.4\ KN$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{455.4}{749.88} = 0.6 < 1\ (CUMPLE)$$

Se puede concluir que cumple con los requisitos de resistencia y estabilidad que dicta la norma trabajando a un 60% de su capacidad.

6. Pórtico principal

Una vez que ya están calculadas las correas de todas las fachadas y se sabe el efecto que provoca la ménsula, se procede a diseñar el pórtico principal.

Debido a la tensión máxima resistente del suelo en el que se ubica la parcela, se ha decidido resolver el pórtico principal con un pórtico articulado en la base y en la cumbrera y con uniones rígidas entre el pilar y el dintel.

Sin embargo, esto ocasionaría mayores desplazamientos horizontales de los que permite la norma (L/250) en la cabeza de los pilares, por lo que se ha visto necesario la instalación de un conjunto de sistemas de arriostramiento longitudinales y en las fachadas frontales para paliar estos efectos y transmitirlos hacia la cimentación. Por ello no va a estar igual de solicitado un pórtico principal que otro, así que habrá que distinguir dentro de los pórticos principales cuál es el más solicitado de ellos.

Aparte de esto, cabe mencionar que dependiendo del pórtico principal que se estudie, predominarán unos esfuerzos u otros; ya que en el pórtico principal central predominarán los esfuerzos de flexión mientras que en el pórtico principal próximo al hastial existirán mayores axiles (debido al efecto de los arriostramientos) y menores flectores.

Además se ha diseñado con unos perfiles de chapa armada de inercia variable para optimizar el material, sin embargo va a significar contar con algunas secciones de clase 4 que habrá que tratar de forma especial más adelante tal y como indica C.T.E.

Dicho pórtico tiene una luz de 25 metros y una pendiente del 10% (5.71º). La altura del pilar es de 14 metros y la de cumbrera es de 15.25 metros

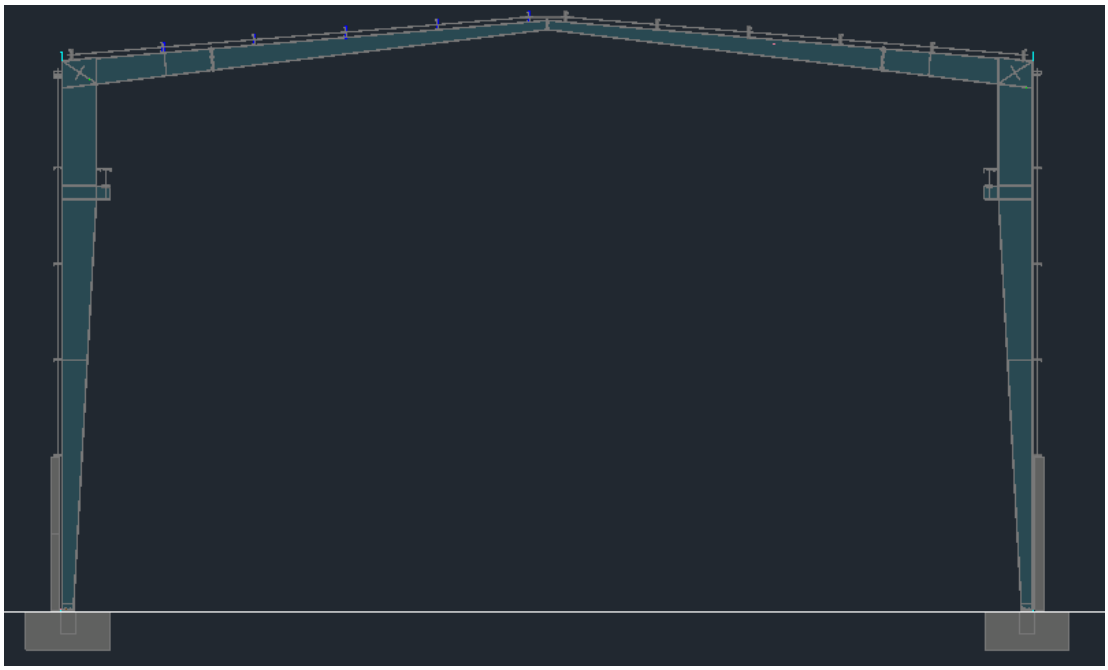


Figura 90 Pórtico principal

Para el caso del dintel, el perfil variará proporcionalmente desde la base hasta el final en la cumbrera, sin embargo, para el caso del pilar, variará proporcionalmente desde la base hasta la altura de la ménsula como puede apreciarse en la Figura 90. A partir de ahí, tendrá una inercia constante hasta la cabeza del pilar.

Para facilitar el transporte del mismo y no incurrir en transportes especiales, se ha decidido cortar el dintel a una distancia de 3 metros desde la cabeza del pilar y hacer una unión rígida con tornillos y chapas de testa.

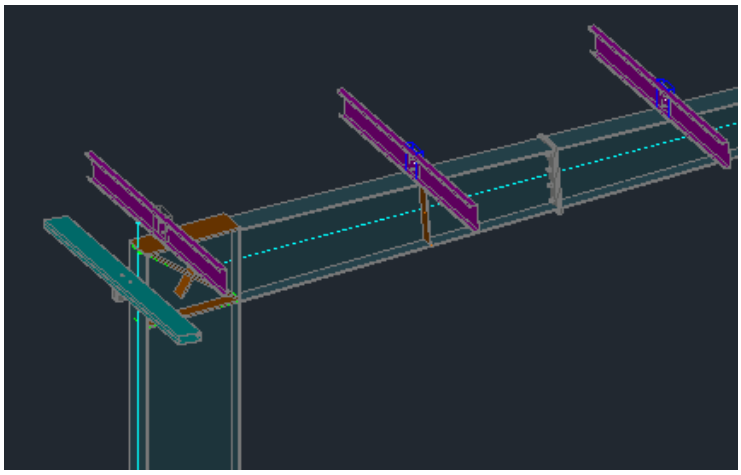


Figura 91 Corte del dintel principal

Para el cálculo primero si dimensionará y se comprobará el dintel principal y luego el pilar, ayudándose, como se viene haciendo hasta ahora, del software comercial CYPE para la obtención de los esfuerzos.

Para ver con detalle el diseño del pórtico y sus uniones se debe acudir al Documento nº2 Planos.

6.1. Cálculo del dintel del pórtico principal

Después de revisar los esfuerzos que afectan a cada pórtico con la ayuda del software CYPE, se concluye que el pórtico principal más solicitado es el pórtico nº6 que coincide con el central de la instalación.

Se procede a realizar una predimensión del dintel principal. Como se ha dicho anteriormente, el perfil es de chapa armada de inercia variable, por lo que el canto del perfil irá decreciendo a medida que se acerque a cumbrera, tal y como se observa en la Figura 90.

Las propiedades del perfil propuesto son las siguientes:

	IPE
h [mm]	700;250
b [mm]	300
tw [mm]	5
tf [mm]	15

Tabla 14 Propiedades del dintel principal

Como se observa en la Tabla 14, se ha optado por un perfil de chapa armada IPE de acero S-275 con un canto inicial de 700 mm y final de 250 mm. Una anchura de alas, b, de 300 mm, un espesor de alas, t_f, de 15 mm y un espesor de alma, t_w, de 5 mm.

A la hora de realizar las comprobaciones de resistencia, se estudiarán dos secciones:

- Sección A: Principio del dintel cuando el canto es igual a 700 mm.
- Sección C: Punto del dintel que pasa de clase 3 a clase 4.

El estudio de la sección C se da ya que al pasar de clase 3 a clase 4 se cuenta con los mismos esfuerzos pero con una reducción del área efectiva, por lo que se realizarán las comprobaciones de resistencia.

Primero va a comprobarse siguiendo el apartado 5.2.4 del DB SE-A del C.T.E. qué clase de secciones tenemos al comienzo y al final del dintel.

Se comienza por estudiar las alas, que son iguales en todo el dintel. Para ello se acude a la Tabla 5.4 del DB SE-A :

Tabla 5.4 Límites de esbeltez para elementos planos, apoyados en un borde y libre el otro, total o parcialmente comprimidos.

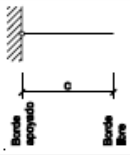
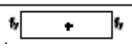
Geometría			
Solicitación	Elemento plano	Límite de esbeltez: c/t máximo	
Compresión + Tracción -		Clase 1	Clase 2	Clase 3
Compresión		9ε	10 ε	14 ε

Figura 92 Límites de esbeltez para elementos apoyados en un borde y libres en el otro

Por lo tanto aplicando dicho procedimiento:

$$ALA \rightarrow \frac{c}{t_f} = \frac{\frac{b}{2}}{t_f} = \frac{150}{15} = 10 < 14 * \varepsilon = 14 * \sqrt{\frac{235}{275}} = 12.94 \rightarrow CLASE\ 3$$

A continuación se comprueban las secciones del alma, ahora habrá que distinguir entre la inicial con canto 700 y la final con canto 250.

Para ello se acude a la tabla 5.3 del DB SE-A a la fila de flexión simple, ya que el alma adopta una distribución de esfuerzos lineal al contrario que el ala que adopta una distribución constante.

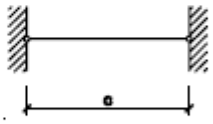
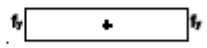
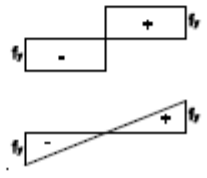
Geometría			
Solicitación	Elemento plano	Límite de esbeltez: c/t máximo	
Compresión + Tracción -		Clase 1	Clase 2	Clase 3
Compresión		33ε	38 ε	42 ε
Flexión simple		72 ε	83 ε	124 ε

Figura 93 Límites de esbeltez para elementos planos, apoyados en dos bordes.

$ALMA$:

$$CASO\ A: \frac{h-2*t_f}{t_w} = \frac{700-2*15}{5} = 134 > 124*\varepsilon = 124*0.9244 = 114.62 \rightarrow CLASE\ 4$$

$$CASO\ C: \frac{h-2*t_f}{t_w} = \frac{250-2*15}{5} = 44 > 124*\varepsilon = 124*0.9244 = 114.62 \rightarrow CLASE\ 3$$

Ahora que ya se sabe qué tipo de secciones se tienen, se procede a calcular en qué punto del dintel se pasa de clase 3 a clase 4, ya que será un punto desfavorable por todo lo explicado anteriormente.

El límite de clase 3 se da cuando:

$$\frac{h-2*t_f}{t_w} = \frac{h-2*15}{5} = 124*0.9244 \rightarrow h = 603.128\ mm$$

Cuando el canto del dintel tenga sea de h=603.128 mm la sección pasa de clase 3 a clase 4. Ahora hace falta calcular en qué longitud del dintel se da ese canto.

El canto sufre una variación de 450 mm (700-250) a lo largo de una distancia de 12.55 m, por lo tanto, hay que buscar el punto donde la variación sea de 353.128 mm (603.128-250):

$$450 \rightarrow 12550$$

$$353.128 \rightarrow X = 9950\ mm\ desde\ la\ cumbrera$$

Por lo tanto a 2.7 metros de la cabeza del pilar se encuentra esa sección que se denominará sección C.

A continuación se va a proceder a la comprobación de resistencia y estabilidad de las secciones A y C.

COMPROBACIÓN DE RESISTENCIA

Sección A:

Se comienza elaborando una tabla con los esfuerzos que actúan en cada una de las hipótesis en esta sección. Dichos esfuerzos se obtienen del software comercial CYPE y adoptan los siguientes valores:

Sección A [KN, m]	CP	N	V1a	V1b	V2	SCUpg(frena+)	SCUpg(frena-)
Nx	-10,5	-19,83	-7,77	-18,3	33,41	-35,65	-12
Vz	-19	-36,76	48,82	11,35	38,24	2	2,8
My	-114,25	-225,13	240,1	145,96	214,7	25,92	35,79

Tabla 15 Acciones por hipótesis de la sección A

Tal y como dicta el apartado 6.2.8 del DB SE-A del C.T.E., para realizar la comprobación de interacción de esfuerzos despreciando el cortante, es necesario comprobar que el cortante en valor de cálculo es inferior a la mitad de la capacidad resistente a cortante de la sección.

Por lo tanto se calcula el cortante en valor de cálculo y la combinación más desfavorable de esfuerzos es:

1.35 CP +1.5 N

Se obtiene un cortante de:

$$V_{Ed} = 1.35 * (-19) + 1.5 * (-36.76) = -83.4\ KN$$

A continuación, se calcula la capacidad resistente a cortante de la sección según el apartado 6.2.4 del DB SE-A:

$$V_{pl,Rd} = A_v * \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

Donde el término de A_v hace referencia al área a cortante y adopta los siguientes valores para secciones armadas cargadas paralelamente al alma:

$$A_v = \sum d * t_w$$

$$A_v = (700 - 2 * 15) * 5 = 3350\ mm^2$$

Por lo que la resistencia de la sección a cortante queda de la siguiente forma:

$$V_{pl,Rd} = A_v * \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}} = 3350 * \frac{\frac{275}{1.05}}{\sqrt{3}} = 506.54\ KN$$

La mitad de la resistencia a cortante será:

$$\frac{V_{pl,Rd}}{2} = \frac{530.8}{2} = 265.4\ KN > 83.4\ KN$$

Como el esfuerzo cortante en valor de cálculo, V_{Ed}, es inferior al 50% del esfuerzo resistente,$V_{pl,Rd}$, se puede despreciar el cortante en la interacción de esfuerzos.

1 Flexión compuesta sin cortante:

c) en general se utilizarán las fórmulas de interacción, de carácter prudente, indicadas a continuación:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,Rdy}} + \frac{M_{zEd}}{M_{pl,Rdz}} \le 1 \qquad \text{Para secciones de clase 1 y 2}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{el,Rdy}} + \frac{M_{zEd}}{M_{el,Rdz}} \le 1 \qquad \text{Para secciones de clase 3} \qquad (6.11)$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{u,Rd}} + \frac{M_{y,Ed} + N_{Ed} \cdot e_{Ny}}{M_{0,R_{dy}}} + \frac{M_{zEd} + N_{SEd} \cdot e_{Ny}}{M_{0,Rdz}} \le 1 \qquad \text{Para secciones de clase 4}$$

Figura 94 Ecuaciones 6.11 del DB SE-A

Por lo tanto, tal y como indica C.T.E., se aplican las fórmulas 6.11 (Flexión compuesta sin cortante).

Como se ha demostrado anteriormente, la sección A es de clase 4 por lo que se tiene que aplicar la última de las fórmulas de la Figura 94, teniendo en cuenta además que no existe momento en z, por lo que la ecuación se simplifica y queda de la siguiente forma:

$$\frac{N_{Ed}}{A_{eff} * f_{yd}} + \frac{M_{y,Ed} + N_{Ed} * e_{N,y}}{W_{eff,y} * f_{yd}} \le 1$$

Para poder realizar la comprobación es necesario reducir la sección tal y como dicta el apartado 5.2.5 del DB SE-A ya que se trata de una sección de clase 4. Una vez reducida la sección ya se podrá obtener todos los parámetros resistentes efectivos.

Para obtener la sección eficaz se necesita el ancho eficaz del elemento plano comprimido de ancho b_c, y podrá obtenerse según la siguiente relación:

$$b_{ef} = \rho * b_c$$

Siendo:

- b_c: el ancho de la zona comprimida. Se obtiene de la tabla 5.6 del DB SE-A.
- ρ: factor de reducción.

Por lo tanto se comienza calculando el factor de reducción que podrá determinarse de la siguiente forma:

$$\rho = \frac{1}{\bar{\lambda}_p}\left[1 - \frac{0.055 * (3 + \Psi)}{\bar{\lambda}_p^2}\right] \leq 1$$

Siendo:

- $\bar{\lambda}_p$= esbeltez relativa del elemento comprimido.
- Ψ= relación de tensiones en los bordes del elemento según la tabla 5.6 del DB SE-A.

La esbeltez relativa se puede determinar según:

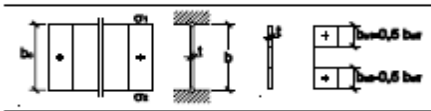
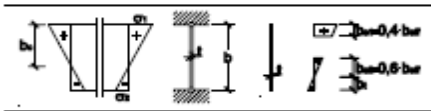
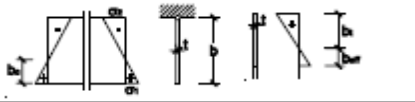
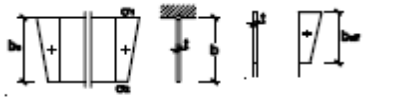
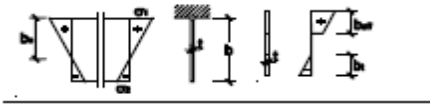
$$\bar{\lambda}_p = \frac{b/t}{28.4 * \varepsilon * \sqrt{k_\sigma}}$$

Siendo:

- B: ancho del elemento total o parcialmente comprimido.
- T: espesor del elemento plano.
- k_σ: coeficiente de abolladura según tabla 5.6 del DB SE-A.

Por lo tanto, hay que acudir a la tabla 5.6 del DB SE-A y buscar la condición de apoyo y solicitación que se tiene en este caso.

Tabla 5.6 Ancho eficaz de elementos planos total o parcialmente comprimidos.

Condiciones de apoyo y solicitación Compresión + Tracción -	Sección eficaz del elemento plano	Relación de tensiones ψ	Ancho comprimido b_c	Coeficiente de abolladura k_σ
		1	b	4
		1>ψ≥0	b	$\frac{8,2}{1,05+\psi}$
		0>ψ>-1 -1≥ ψ>-3	$\frac{b}{1-\psi}$	7,81-6,29 ψ +9,78 ψ^2 5,98(1- ψ)^2
		1≥ ψ ≥0	b	0,57-0,21 ψ +0,07 ψ^2
		0> ψ ≥-3	$\frac{b}{1-\psi}$	0,57-0,21 ψ +0,07 ψ^2
		1≥ ψ ≥0	b	$\frac{0,578}{\psi+0,34}$
		0> ψ ≥-1	$\frac{b}{1-\psi}$	1,7-5 ψ +17,1 ψ^2

$\psi = \frac{\sigma_1}{\sigma_2}$ relación de las tensiones en los bordes del elemento plano (compresión positiva).

b_c ancho comprimido.

b_t ancho traccionado.

Figura 95 Ancho eficaz de elementos planos o parcialmente comprimidos

Como se puede observar en la Figura 95, el caso que encaja con el que se tiene sería el tercero.

Además, se sabe que la relación de tensiones,Ψ, es igual a -1 ya que el axil de compresión es igual al de tracción.

Por lo tanto ya se puede conocer cuál es el ancho comprimido y el coeficiente de abolladura, k_σ:

$$b_c = \frac{b}{1-\Psi} = \frac{670}{2} = 335\ mm$$

$$k_\sigma = 5.98 * (1-\Psi)^2 = 23.92$$

Ya se puede calcular la esbeltez relativa sustituyendo parámetros en la fórmula:

$$\bar{\lambda}_p = \frac{b/t}{28.4 * \varepsilon * \sqrt{k_\sigma}} = \frac{670/5}{28.4 * 0.9244 * \sqrt{23.92}} = 1.04$$

Como resultado, se determina el factor de reducción:

$$\rho = \frac{1}{\bar{\lambda}_p}\left[1 - \frac{0.055 * (3 + \Psi)}{\bar{\lambda}_p^2}\right] = \frac{1}{1.04}\left[1 - \frac{0.055 * (3 + (-1))}{1.04^2}\right] = 0.863 \leq 1 \ (CUMPLE)$$

Debido a la "eliminación" de una parte de la zona comprimida, existirá una excentricidad en los esfuerzos, ya que la línea neutra no se encontrará en el centro del perfil, y entonces el coeficiente b_c y Ψ variarían y habría que repetir este proceso infinitas veces.

Para no tener que hacer lo descrito anteriormente, una vez conocido el factor de reducción igual a 0.86, se toma un valor de reducción igual a 0.7 para estar por el lado de la seguridad y poder continuar para obtener la forma final de la sección.

Ya se puede conocer el ancho efectivo de la zona comprimida:

$$b_{ef} = \rho * b_c = 0.7 * 335 = 234.5 \ mm$$

Tal y como indica la Figura 95, el primer tramo del ancho comprimido efectivo es:

$$0.4 * b_{ef} = 93.8 \ mm$$

Por lo tanto, se cuenta con una sección eficaz:

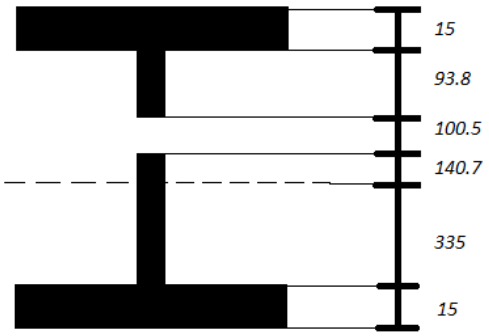


Figura 96 Sección eficaz A

Una vez que ya se tiene la sección eficaz se calcula la distancia del nuevo centro de gravedad ya que parte del área de la sección no se tiene en cuenta.

El nuevo centro de gravedad se sitúa a 341.9 mm de la base del ala inferior de la IPE, por lo tanto se puede determinar la diferencia entre centros de gravedad, lo cual es el parámetro $e_{n,y}$ necesario para realizar la comprobación de resistencia de la sección.

Sabiendo que el centro de gravedad se encontraba en mitad de la sección, es decir, a 350 mm de la base del ala inferior, la diferencia entre centros adopta un valor de:

$$e_{N,y} = 350 - 341.9 = 8.1 \ mm = 0.0081 \ m$$

A continuación se calcula el área eficaz y la inercia eficaz en el eje y:

$$A_{eff} = 11847.5 \ mm^2$$

$$I_{eff,y} = 1161.71 * 10^6 \ mm^4$$

Todo esto es necesario para poder calcular el modulo elástico eficaz, $W_{eff,y}$, correspondiente a la fibra con mayor tensión.

$$W_{eff,y} = \frac{I_{eff,y}}{\frac{h_{máx}}{2}} = \frac{1161.71 * 10^6}{700 - 341.9} = 3244 * 10^3\ mm^3$$

Por último se calcularán los esfuerzos en valor de cálculo y para ello es preciso determinar la combinación más desfavorable de esfuerzos que en este caso es:

1.35 CP + 1.5 N

Se continúa obteniendo el axil y el momento flector en y, para ello se lleva a cabo la combinación que se acaba de obtener junto a los esfuerzos de la Tabla 15:

$$N_{Ed} = 1.35 * (-10.5) + 1.5 * (-19.83) = -51.35\ KN$$
$$M_{y,Ed} = 1.35 * (-114.25) + 1.5 * (-225.13) = -491.93\ KN * m$$

A continuación ya se puede realizar la comprobación de resistencia:

$$\frac{N_{Ed}}{A_{eff} * f_{yd}} + \frac{M_{y,Ed} + N_{Ed} * e_{N,y}}{W_{eff,y} * f_{yd}} =$$
$$\frac{51.35 * 10^3}{11847.5 * \frac{275}{1.05}} + \frac{491.93 * 10^6 + 51.35 * 10^3 * 0.0081}{3244 * 10^3 * \frac{275}{1.05}} =$$
$$0.026 + 0.60 = 0.63 \leq 1(CUMPLE)$$

Se puede concluir que la sección A cumple con la comprobación de resistencia con un aprovechamiento del 63% de su capacidad resistente.

Sección C:

Nuevamente, se comienza elaborando una tabla con los esfuerzos que actúan en cada una de las hipótesis en esta sección. Dichos esfuerzos se obtienen del software comercial CYPE y adoptan los siguientes valores:

Sección C [KN,m]	CP	N	V1a	V1b	V2	SCUpg(frena+)	SCUpg(frena-)
Nx	-10	-19	-7,7	-18,3	33,4	-35,65	-12
Vz	-15	-29	32	11,3	30	2	2,8
My	-70	-140,8	137,6	117,9	129,6	20,7	28,56

Tabla 16 Acciones por hipótesis sección C

Tal y como dicta el apartado 6.2.8 del DB SE-A del C.T.E., para realizar la comprobación de interacción de esfuerzos despreciando el cortante, es necesario comprobar que el cortante en valor de cálculo es inferior a la mitad de la capacidad resistente a cortante de la sección.

Por lo tanto se calcula el cortante en valor de cálculo y la combinación más desfavorable de esfuerzos es:

1.35 CP +1.5 N

Se obtiene un cortante de:

$$V_{Ed} = 1.35 * (-15) + 1.5 * (-29) = -63.4\ KN$$

A continuación, se calcula la capacidad resistente a cortante de la sección según el apartado 6.2.4 del DB SE-A:

$$V_{pl,Rd} = A_v * \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

Donde el término de A_v hace referencia al área a cortante y adopta los siguientes valores para secciones armadas cargadas paralelamente al alma:

$$A_v = \sum d * t_w$$

$$A_v = (603.128 - 2 * 15) * 5 = 2865.6\ mm^2$$

Por lo que la resistencia de la sección a cortante queda de la siguiente forma:

$$V_{pl,Rd} = A_v * \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}} = 2865.6 * \frac{\frac{275}{1.05}}{\sqrt{3}} = 433.3\ KN$$

La mitad de la resistencia a cortante será:

$$\frac{V_{pl,Rd}}{2} = \frac{433.3}{2} = 216.6\ KN > 63.4\ KN$$

Como el esfuerzo cortante en valor de cálculo, V_{Ed}, es inferior al 50% del esfuerzo resistente,$V_{pl,Rd}$, se puede despreciar el cortante en la interacción de esfuerzos.

Por lo tanto, tal y como indica C.T.E., se aplican las fórmulas 6.11 (Flexión compuesta sin cortante).

Como se ha demostrado anteriormente, la sección C es de clase 4 por lo que se tiene que aplicar la última de las fórmulas de la Figura 94, teniendo en cuenta además que no existe momento en z, por lo que la ecuación se simplifica y queda de la siguiente forma:

$$\frac{N_{Ed}}{A_{eff} * f_{yd}} + \frac{M_{y,Ed} + N_{Ed} * e_{N,y}}{W_{eff,y} * f_{yd}} \leq 1$$

Nuevamente, para poder realizar la comprobación es necesario reducir la sección tal y como dicta el apartado 5.2.5 del DB SE-A ya que se trata de una sección de clase 4. Una vez reducida la sección ya se podrá obtener todos los parámetros resistentes efectivos.

Para obtener la sección eficaz se necesita el ancho eficaz del elemento plano comprimido de ancho b_c, y podrá obtenerse según la siguiente relación:

$$b_{ef} = \rho * b_c$$

Siendo:

- b_c: el ancho de la zona comprimida. Se obtiene de la tabla 5.6 del DB SE-A.
- ρ: factor de reducción.

Por lo tanto se comienza calculando el factor de reducción que podrá determinarse de la siguiente forma:

$$\rho = \frac{1}{\bar{\lambda}_p}\left[1 - \frac{0.055 * (3 + \Psi)}{\bar{\lambda}_p^2}\right] \leq 1$$

Siendo:

- $\bar{\lambda}_p$= esbeltez relativa del elemento comprimido.
- Ψ= relación de tensiones en los bordes del elemento según la tabla 5.6 del DB SE-A.

La esbeltez relativa se puede determinar según:

$$\bar{\lambda}_p = \frac{b/t}{28.4 * \varepsilon * \sqrt{k_\sigma}}$$

Siendo:

- b: ancho del elemento total o parcialmente comprimido.
- T: espesor del elemento plano.
- k_σ: coeficiente de abolladura según tabla 5.6 del DB SE-A.

Por lo tanto, hay que acudir a la tabla 5.6 del DB SE-A y buscar la condición de apoyo y solicitación que se tiene en este caso.

De nuevo, como se puede observar en la Figura 95, el caso que encaja con el que se tiene sería el tercero.

Además, se sabe que la relación de tensiones,Ψ, es igual a -1 ya que el axil de compresión es igual al de tracción.

Por lo tanto ya se puede conocer cuál es el ancho comprimido y el coeficiente de abolladura, k_σ:

$$b_c = \frac{b}{1-\Psi} = \frac{603.128 - 2 * 15}{2} = 286.56\ mm$$

$$k_\sigma = 5.98 * (1-\Psi)^2 = 23.92$$

Ya se puede calcular la esbeltez relativa sustituyendo parámetros en la fórmula:

$$\bar{\lambda}_p = \frac{b/t}{28.4 * \varepsilon * \sqrt{k_\sigma}} = \frac{(603.128 - 2 * 15)/5}{28.4 * 0.9244 * \sqrt{23.92}} = 0.89$$

Como resultado, se determina el factor de reducción:

$$\rho = \frac{1}{\bar{\lambda}_p}\left[1 - \frac{0.055 * (3+\Psi)}{\bar{\lambda}_p^2}\right] = \frac{1}{0.89}\left[1 - \frac{0.055 * (3+(-1))}{0.89^2}\right] = 0.886 \leq 1\ (CUMPLE)$$

Como ya se explicó anteriormente, debido a la "eliminación" de una parte de la zona comprimida, existirá una excentricidad en los esfuerzos, ya que la línea neutra no se encontrará en el centro del perfil, y entonces el coeficiente b_c y Ψ variarían y habría que repetir este proceso infinitas veces.

Para no tener que hacer lo descrito anteriormente, una vez conocido el factor de reducción igual a 0.886, se toma un valor de reducción igual a 0.7 para estar por el lado de la seguridad y poder continuar para obtener la forma final de la sección.

Ya se puede conocer el ancho efectivo de la zona comprimida:

$$b_{ef} = \rho * b_c = 0.7 * 286.56 = 200.6\, mm$$

Tal y como indica la Figura 95, el primer tramo del ancho comprimido efectivo es:

$$0.4 * b_{ef} = 80.24\ mm$$

Por lo tanto, se cuenta con una sección eficaz:

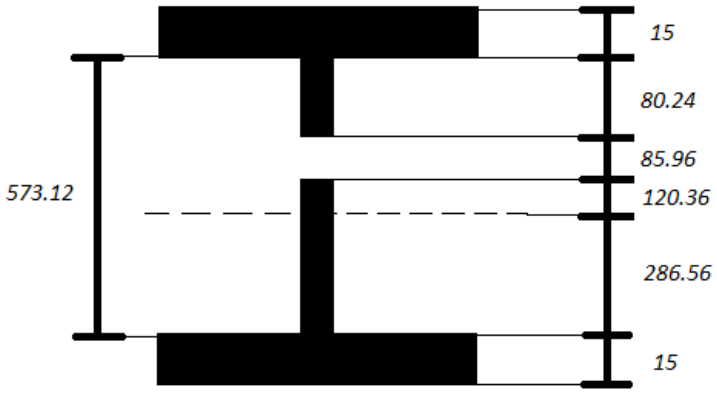


Figura 97 Sección eficaz C

Una vez que ya se tiene la sección eficaz se calcula la distancia del nuevo centro de gravedad ya que parte del área de la sección no se tiene en cuenta.

El nuevo centro de gravedad se sitúa a 295.4 mm de la base del ala inferior de la IPE, por lo tanto se puede determinar la diferencia entre centros de gravedad, lo cual es el parámetro $e_{n,y}$ necesario para realizar la comprobación de resistencia de la sección.

Sabiendo que el centro de gravedad se encontraba en mitad de la sección, es decir, a 301.56 mm de la base del ala inferior, la diferencia entre centros adopta un valor de:

$$e_{N,y} = 301.56 - 295.4 = 6.16\, mm = 0.00616\, m$$

A continuación se calcula el área eficaz y la inercia eficaz en el eje y:

$$A_{eff} = 11435\, mm^2$$

$$I_{eff,y} = 833.6 * 10^6\ mm^4$$

Todo esto es necesario para poder calcular el modulo elástico eficaz, $W_{eff,y}$, correspondiente a la fibra con mayor tensión.

$$W_{eff,y} = \frac{I_{eff,y}}{\frac{h_{máx}}{2}} = \frac{833.6 * 10^6}{603.12 - 295.4} = 2708.95 * 10^3\ mm^3$$

Por último se calcularán los esfuerzos en valor de cálculo y para ello es preciso determinar la combinación más desfavorable de esfuerzos que en este caso es:

1.35 CP + 1.5 N

Se continúa obteniendo el axil y el momento flector en y, para ello se lleva a cabo la combinación que se acaba de obtener junto a los esfuerzos de la Tabla 15:

$$N_{Ed} = 1.35 * (-10) + 1.5 * (-19) = -42.13\ KN$$

$$M_{y,Ed} = 1.35 * (-70) + 1.5 * (-140.8) = -295.8\, KN * m$$

A continuación ya se puede realizar la comprobación de resistencia:

$$\frac{N_{Ed}}{A_{eff} * f_{yd}} + \frac{M_{y,Ed} + N_{Ed} * e_{N,y}}{W_{eff,y} * f_{yd}} =$$

$$\frac{42.13 * 10^3}{11435 * \frac{275}{1.05}} + \frac{295.8 * 10^6 + 42.13 * 10^3 * 0.0061}{2708.95 * 10^3 * \frac{275}{1.05}} =$$

$$0.015 + 0.45 = 0.47 \leq 1(CUMPLE)$$

Se puede concluir que la sección A cumple con la comprobación de resistencia con un aprovechamiento del 47% de su capacidad resistente.

Por lo tanto, una vez verificado que el perfil cumple con las comprobaciones de resistencia que manda la norma, se procede a realizar la comprobación de estabilidad.

COMPROBACIÓN DE ESTABILIDAD

Para realizar la comprobación de estabilidad se tendrá en cuenta la interacción de esfuerzos según dicta el C.T.E en el apartado 6.3.4.2 del DB SE-A (Elementos comprimidos y flectados). Además, al ser el perfil del dintel una IPE, se tendrá en cuenta como susceptible de pandeo por torsión.

6.3.4.2 Elementos comprimidos y flectados

1 A menos que se lleve a cabo un estudio más preciso mediante el procedimiento general descrito en 5.4, las comprobaciones de estabilidad de pieza se realizarán aplicando las fórmulas que se indican a continuación, distinguiendo entre las que sean sensibles o no a la torsión (por ejemplo secciones abiertas o cerradas respectivamente).

La comprobación se llevará a cabo con las fórmulas siguientes:

Para toda pieza:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot A^* \cdot f_{yd}} + k_y \cdot \frac{c_{m,y} \cdot M_{y,Ed} + e_{N,y} \cdot N_{Ed}}{\chi_{LT} W_y \cdot f_{yd}} + \alpha_z \cdot k_z \cdot \frac{c_{m,z} \cdot M_{z,Ed} + e_{N,z} \cdot N_{Ed}}{W_z \cdot f_{yd}} \leq 1 \qquad (6.51)$$

Además, sólo en piezas no susceptibles de pandeo por torsión

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot A^* \cdot f_{yd}} + \alpha_y \cdot k_y \cdot \frac{c_{m,y} \cdot M_{y,Ed} + e_{N,y} \cdot N_{Ed}}{W_y \cdot f_{yd}} + k_z \cdot \frac{c_{m,z} \cdot M_{z,Ed} + e_{N,z} \cdot N_{Ed}}{W_z \cdot f_{yd}} \leq 1 \qquad (6.52)$$

Además, sólo en piezas susceptibles de pandeo por torsión

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot A^* \cdot f_{yd}} + k_{yLT} \cdot \frac{M_{y,Ed} + e_{N,y} \cdot N_{Ed}}{\chi_{LT} W_y \cdot f_{yd}} + k_z \cdot \frac{c_{m,z} \cdot M_{z,Ed} + e_{N,z} \cdot N_{Ed}}{W_z \cdot f_{yd}} \leq 1 \qquad (6.53)$$

Figura 98 Comprobación de estabilidad de elementos comprimidos y flectados

Además la comprobación de estabilidad se realizará en 2 tramos, ya que se va a colocar un tornapunta a unos 2.7 metros de la cabeza del pilar, que como ya se sabe del apartado 3, coincidirá con la segunda correa de cubierta. Dicho tornapunta se coloca para arriostrar el ala inferior del dintel y que el coeficiente de reducción por pandeo lateral no sea tan restrictivo.

Por lo tanto el primer tramo irá desde la cabeza del pilar hasta los 2.7 m en proyección horizontal, y el segundo desde ese punto hasta el final del dintel en la unión de cumbrera.

Las ecuaciones para comprobar la estabilidad de la Figura 98 se pueden simplificar ya que no existe momento flector en el eje z, y el desplazamiento del centro de gravedad en el eje z es cero, por lo que las fórmulas quedan de la siguiente forma:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y * A_{eff} * f_{yd}} + k_y \frac{c_{m,y} * M_{y,Ed} + e_{N,y} * N_{Ed}}{\chi_{LT} * W_{eff,y} * f_{yd}} \leq 1$$

Además, en las piezas susceptibles de pandeo por torsión deberá comprobarse:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z * A_{eff} * f_{yd}} + k_{y,LT} \frac{M_{y,Ed} + e_{N,y} * N_{Ed}}{\chi_{LT} * W_{eff,y} * f_{yd}} \leq 1$$

Como valores de cálculo de axil y momento flector en el eje y se tomarán los que fueron tomados para la sección A por ser los más desfavorables al ser los mayores. Es decir:

$$N_{Ed} = -51.35\ KN$$

$$M_{y,Ed} = -491.93\ KN * m$$

Para poder realizar la comprobación se necesitan una serie de parámetros que hay que obtener. El primero de todos ellos será el coeficiente de reducción por pandeo del eje y, χ_y.

Para la obtención de este coeficiente de reducción se sigue el apartado 6.3 del DB SE-A del C.T.E. fijándose en la Figura 6.3 que muestra las curvas de pandeo en función de la esbeltez reducida.

Para la obtención de esa esbeltez reducida, se necesitan la esbeltez de Euler y la esbeltez mecánica.

Para esta última hay que tener en cuenta que se tiene un perfil de inercia variable, por lo tanto hay que acudir al apartado 6.6.2.3 del DB SE-A. Como resultado, la esbeltez mecánica se obtiene con la siguiente fórmula:

$$\lambda_k = L_k * \sqrt{\frac{A_{med}}{I_k}}$$

Siendo:

- L_k: la longitud de pandeo.
- A_{med}: el área media de la barra.
- I_k: momento de inercia medio ponderado.

La longitud de pandeo se obtiene de la siguiente manera:

$$L_k = \beta * L$$

Siendo:

- B: coeficiente de longitud de pandeo
- L: longitud de la barra

Se conoce que la longitud del dintel son 12.55 m y el coeficiente de longitud de pandeo se obtiene con ayuda del programa informático CYPE y adopta un valor de 2.31.

Por lo tanto la longitud de pandeo es igual a:

$$L_k = \beta * L = 2.31 * 12.55m * 1000 = 29000\ mm$$

Para la obtención del área media de la barra, A_{med}, se hace una media entre las secciones brutas A y B:

$$A_{med} = \frac{A_A + A_B}{2} = \frac{12350 + 10100}{2} = 11225\ mm^2$$

Para el momento de inercia medio ponderado se siguen las indicaciones del DB SE-A:

$$I_k = c * I_{máx}$$

Para determinar el valor de c se acude a la tabla 6.4 del DB SE-A y se busca la variación de la sección que coincida con este caso, que como se puede observar es la primera fila de tabla.

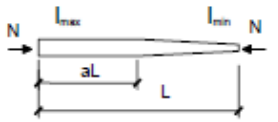
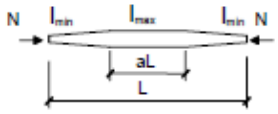
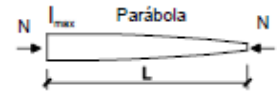
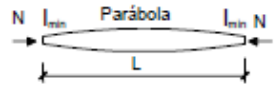
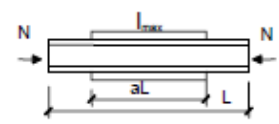
Variación de la sección	v / a	Coeficiente c siendo $v = \sqrt{I_{min}/I_{max}}$									
		0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
	0,0	0,121	0,220	0,316	0,412	0,509	0,606	0,703	0,801	0,900	1,000
	0,1	0,140	0,247	0,348	0,447	0,542	0,636	0,729	0,820	0,911	1,000
	0,2	0,166	0,284	0,391	0,490	0,585	0,675	0,761	0,844	0,923	1,000
	0,3	0,203	0,333	0,446	0,547	0,639	0,722	0,800	0,871	0,938	1,000
	0,4	0,257	0,403	0,521	0,620	0,705	0,779	0,844	0,902	0,953	1,000
	0,5	0,340	0,502	0,620	0,771	0,784	0,843	0,892	0,933	0,969	1,000
	0,6	0,477	0,641	0,745	0,815	0,867	0,906	0,936	0,961	0,982	1,000
	0,7	0,697	0,814	0,875	0,913	0,938	0,957	0,971	0,983	0,992	1,000
	0,8	0,922	0,951	0,966	0,976	0,983	0,988	0,992	0,995	0,998	1,000
	≥0,9	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
	0,0	0,259	0,389	0,493	0,583	0,665	0,740	0,810	0,877	0,940	1,000
	0,1	0,308	0,448	0,555	0,643	0,719	0,786	0,846	0,902	0,953	1,000
	0,2	0,371	0,520	0,625	0,707	0,775	0,832	0,881	0,925	0,965	1,000
	0,3	0,453	0,605	0,703	0,775	0,930	0,867	0,914	0,947	0,975	1,000
	0,4	0,558	0,702	0,784	0,841	0,883	0,915	0,942	0,965	0,984	1,000
	0,5	0,686	0,801	0,861	0,900	0,927	0,948	0,965	0,979	0,990	1,000
	0,6	0,819	0,890	0,925	0,946	0,962	0,973	0,982	0,989	0,995	1,000
	0,7	0,925	0,954	0,968	0,978	0,984	0,989	0,992	0,996	0,998	1,000
	0,8	0,982	0,988	0,992	0,994	0,996	0,997	0,998	0,999	0,999	1,000
	≥0,9	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
	-	0,273	0,402	0,506	0,595	0,676	0,749	0,817	0,882	0,942	1,000
	-	0,536	0,652	0,728	0,786	0,834	0,875	0,911	0,943	0,973	1,000
	0,9	0,221	0,626	0,846	0,924	0,958	0,976	0,986	0,993	0,997	1,000
	0,8	0,060	0,220	0,421	0,605	0,743	0,837	0,902	0,946	0,977	1,000
	0,7	0,027	0,105	0,221	0,395	0,502	0,635	0,753	0,852	0,933	1,000
	0,6	0,016	0,061	0,134	0,231	0,345	0,472	0,606	0,741	0,873	1,000
	0,5	0,010	0,040	0,090	0,160	0,250	0,360	0,490	0,640	0,810	1,000

Figura 99 Coeficiente c en piezas de sección variable

Una vez que ya se sabe que el dintel pertenece a la primera variación de la sección que se expone en la tabla, se necesitan conocer los valores de a, que en este caso es cero ya que el perfil varía en toda la longitud del dintel, y de v.

Siendo v:

$$v = \sqrt{\frac{I_{min}}{I_{max}}}$$

Donde:

- I_{min}: inercia mínima de la sección (h=250 mm)
- $I_{máx}$: inercia máxima de la sección (h=700 mm)

Si se calculan las inercias de ambas secciones se obtienen los siguientes resultados:

$$I_{min} = 128.7 * 10^6\ mm^4$$
$$I_{max} = 1181.07 * 10^6\ mm^4$$

Por lo tanto:

$$v = \sqrt{\frac{I_{min}}{I_{max}}} = \sqrt{\frac{128.7 * 10^6}{1181.07 * 10^6}} = 0.33$$

Ya se puede obtener de la tabla 6.4 el valor de c sabiendo que a=0 y v=0.33.

$$c = 0.316$$

Con lo que el momento medio ponderado adopta un valor de:

$$I_k = c * I_{máx} = 0.316 * 1181.07 * 10^6 = 373.21 * 10^6\ mm^4$$

Ya se puede obtener el valor de la esbeltez mecánica:

$$\lambda_k = L_k * \sqrt{\frac{A_{med}}{I_k}} = 29000 * \sqrt{\frac{11225}{373.21 * 10^6}} = 159.04$$

La esbeltez de Euler sigue valiendo lo mismo que en apartados anteriores:

$$\lambda_E = 86.8$$

Por lo que la esbeltez reducida adopta el siguiente valor:

$$\bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_E} = \frac{159.04}{86.8} = 1.83$$

Por último, se acude a las curvas de pandeo. Para saber en qué curva hay que fijarse se acude a la tabla 6.2 de DB SE-A y ahí se explica que para perfiles armados en I, como es el caso, con espesores menores de 40 mm y pandeo en el eje y, hay que acudir a la curva b.

$$\chi_y = 0.247$$

Como se puede observar, el coeficiente de reducción por pandeo es bastante restrictivo, sin embargo, en la fórmula de interacción de esfuerzos, afecta directamente sobre la capacidad resistente a axil, y esfuerzo axil no existe prácticamente en este dintel por lo que no será muy significativo.

A continuación se procederá a obtener el valor del coeficiente de interacción k_y. Para ello se sigue el mismo apartado y se acude a la tabla 6.9 del DB SE-A.

Clase	Tipo de sección	k_y	k_z	k_{yLT}
1 y 2	I, H, abiertas	$1+(\bar{\lambda}_y-0{,}2)\cdot\frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{C,Rd}}$	$1+(2\cdot\bar{\lambda}_z-0{,}6)\cdot\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{C,Rd}}$	el menor de $1-\frac{0{,}1\cdot\bar{\lambda}_z}{(c_{mLT}-0{,}25)}\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{C,Rd}}$
	Hueca delgada		$1+(\bar{\lambda}_z-0{,}2)\cdot\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{C,Rd}}$	$0{,}6+\bar{\lambda}_z$
3 y 4	Todas	$1+0{,}6\cdot\bar{\lambda}_y\cdot\frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{C,Rd}}$	$1+0{,}6\cdot\bar{\lambda}_z\cdot\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{C,Rd}}$	$1-\frac{0{,}05\cdot\bar{\lambda}_z}{(c_{mLT}-0{,}25)}\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{C,Rd}}$

siendo

$\bar{\lambda}_y$ y $\bar{\lambda}_z$ valores de las esbelteces reducidas para los ejes y – y y z – z, no mayores que 1,00.

$N_{C,Rd} = A^{*}\cdot\frac{f_y}{\gamma_{M1}}$

Figura 100 Coeficientes de interacción

Ya que se cuenta con sección de clase 4, la fórmula será la que aparece en la Figura 100:

$$k_y = 1 + 0.6 * \bar{\lambda}_y * \frac{N_{Ed}}{\chi_y * N_{c,rd}}$$

Sin embargo, se puede observar en la Tabla 6.9 el comentario que aparece en la parte inferior acerca de que el valor de las esbelteces reducidas tomará un valor no mayor que uno. Al tener una esbeltez reducida de 1.83, en la fórmula del coeficiente de interacción, k_y, se sustituirá la esbeltez reducida por el valor de la unidad.

$$k_y = 1 + 0.6 * \bar{\lambda}_y * \frac{N_{Ed}}{\chi_y * N_{c,rd}} = 1 + 0.6 * 1 * \frac{51.35}{0.247 * 3102.8} = 1.03$$

Se continúa obteniendo el factor de momento flector uniforme equivalente, $c_{m,y}$, para ello, se especifica en el apartado 6.3.4.2 del DB SE-A que para barras de pórticos de estructuras sin arriostrar con longitudes de pandeo superiores a las propias barras debe tomarse:

$$c_m = 0.9$$

Para poder realizar la comprobación, solo queda determinar el coeficiente de reducción por pandeo lateral, χ_{LT}. Para calcularlo habrá que seguir las indicaciones del DB SE-A del C.T.E en el apartado 6.3.3.2. En él se especifica, que para obtener dicho coeficiente de reducción, es necesario obtener la esbeltez relativa frente al pandeo lateral, $\bar{\lambda}_{LT}$, que se determina según la relación:

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{eff,y} * f_y}{M_{cr}}}$$

Donde:

- M_{cr}: momento crítico elástico de pandeo lateral. Se determinará según la teoría de la elasticidad de acuerdo al apartado 6.3.3.3 del DB SE-A.
- Wy: módulo resistente elástico que en este caso corresponde al de la sección eficaz.

Por lo tanto, se va a determinar el momento crítico elástico del pandeo lateral. Siguiendo las indicaciones de la norma se calcula con la siguiente ecuación:

$$M_{cr} = \sqrt{M_{LT\,v}^2 + M_{LT\,W}^2}$$

Siendo:

- $M_{LT\,v}$= componente del momento crítico que representa la resistencia por torsión uniforme de la barra
- $M_{LT\,w}$= componente del momento crítico que representa la resistencia por torsión no uniforme de la barra

En el mismo apartado, se especifica que para secciones de clase 4 (Esbeltas) se adoptará $M_{LT\,v}$ igual a cero. Así que solo queda determinar la componente $M_{LT\,w}$ que tal y como indica la norma se calcula de la siguiente forma:

$$M_{LT\,w} = W_{eff,y} * \frac{\pi^2 * E}{L_c^2} * C_1 * i_{f,z}^2$$

Siendo:

- $W_{eff,y}$: módulo resistente elástico de la sección eficaz, correspondiente a la fibra más comprimida.
- $i_{f,z}$: radio de giro, con respecto al eje de menor inercia de la sección, del soporte formado por el ala comprimida y la tercera parte de la zona comprimida del alma eficaz, adyacente al ala comprimida
- C_1: este factor tiene en cuenta las condiciones de apoyo y la ley de momentos flectores que solicitan la viga. Su valor se obtiene de la Tabla 6.7 del DB SE-A.

Primero se va a determinar el factor C_1 acudiendo a la Tabla 6.7.

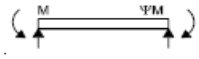
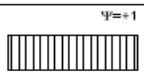
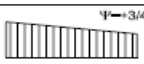
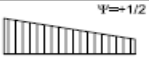
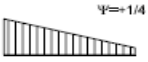
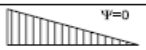
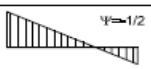
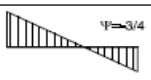
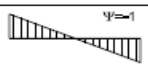
Condiciones de apoyo y tipo de solicitación	Diagrama de momentos flectores	C_1
		1
		1,14
		1,32
		1,56
		1,88
		2,28
		2,7
		2,93
		2,75

Figura 101 Valor del factor C_1

Gracias al software comercial CYPE, se puede consultar la distribución de momentos que se tiene en esa zona del dintel.

Jorge Alonso Sanz

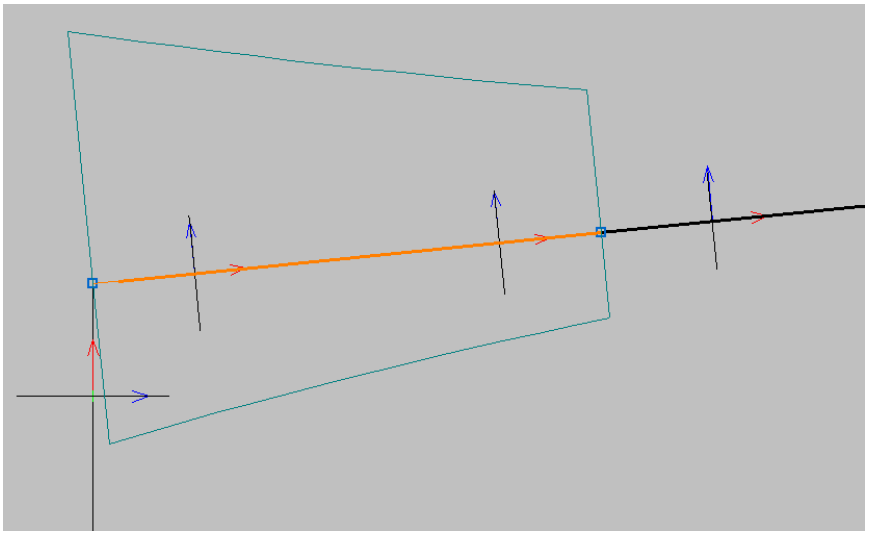


Figura 102 Distribución de momentos entre 0 m y 2.7 m del dintel

Se puede comparar el momento de la Figura 102 y sacarle algún parecido con los de la Figura 101 para averiguar el factor C_1, pero para estar por el lado de la seguridad se va a tomar el caso más desfavorable y el factor C_1 adoptará el valor de la unidad.

A continuación se determinará el valor de L_c. Como se ha dicho anteriormente, el primer tramo de estudio comprende desde los 0 metros hasta los 2.7 metros en proyección horizontal. Por tanto:

$$L_c = \frac{2700}{\cos(5.71º)} = 2710\ mm$$

Por último, para poder calcular la componente del momento crítico que representa la resistencia por torsión no uniforme de la barra, $M_{LT\,w}$, es necesario calcular el radio de giro de la cabeza de la sección en el eje de menor inercia, es decir respecto al eje z.

Tal y como indica C.T.E.:

$$i_{f,z}{}^2 = \frac{I_{f,z}}{A_f}$$

La inercia de la cabeza de la sección respecto al eje z se determina a partir de:

$$I_{f,z} = \frac{b^3 * t_f}{12} = \frac{300^3 * 15}{12} = 33.75 * 10^6\ mm^4$$

Para el área de la cabeza, como se ha dicho anteriormente, se escogerá la parte del ala comprimida y la tercera parte de la zona comprimida. Además, se tendrá en cuenta la zona del alma de la sección eficaz. Por lo tanto:

$$A_f = 15 * 300 + 93.8 * 5 = 4970\ mm^2$$

Ya se puede calcular el cuadrado del radio de giro de la cabeza de la sección en el eje z:

$$i_{f,z}{}^2 = \frac{I_{f,z}}{A_f} = \frac{33.75 * 10^6}{4970} = 6643.7\ mm^2$$

Y por tanto, ya se puede calcular la componente del momento crítico que representa la resistencia por torsión no uniforme de la barra, $M_{LT\,w}$, y el momento crítico elástico del pandeo lateral, M_{cr}.

$$M_{LT\,w} = W_{eff,y} * \frac{\pi^2 * E}{L_c^2} * C_1 * i_{f,z}^2 =$$

$$3319 * 10^3 * \frac{\pi^2 * 2.1 * 10^5}{2710^2} * 1 * 6643.7 = 7312.34\ KN * m$$

$$M_{cr} = \sqrt{M_{LT\,v}^2 + M_{LT\,W}^2} = \sqrt{0 + 7312.34^2} = 7312.34\ KN * m$$

Una vez que ya se cuenta con el momento crítico, la esbeltez relativa frente al pandeo lateral queda de la siguiente forma:

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{eff,y} * f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{3319 * 10^3 * 275}{7312.34 * 10^6}} = 0.35$$

Para determinar el coeficiente de reducción, se necesita saber a qué curva de pandeo pertenece este caso, para ello se acude a la Tabla 6.6 del DB SE-A.

Elemento	Límites	Curva de pandeo
Perfil laminado con sección en doble T	h/b ≤ 2	a
	h/b > 2	b
Elemento armado con sección en doble T	h/b ≤ 2	c
	h/b > 2	d
Elementos con otras secciones	-	d

Figura 103 Curvas de pandeo según el elemento

Como puede observarse en la Figura 103, este caso pertenece a "Elemento armado con sección en doble T". Falta determinar la relación h/b:

$$\frac{h}{b} = \frac{700}{300} = 2.33 > 2$$

Por lo tanto le corresponde la curva de pandeo d.

Se acude a las curvas y se obtiene que el coeficiente de reducción por pandeo lateral:

$$\chi_{LT} = 0.879$$

Ya se cuenta con todos los parámetros para poder realizar la comprobación de estabilidad bajo la interacción de esfuerzos:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y * A_{eff} * f_{yd}} + k_y \frac{c_{m,y} * M_{y,Ed} + e_{N,y} * N_{Ed}}{\chi_{LT} * W_{eff,y} * f_{yd}} =$$

$$\frac{43.92 * 10^3}{0.238 * 11847.5 * \frac{275}{1.05}} + 1.03 \frac{0.9 * 491.93 * 10^6 + 0.0081 * 51.35 * 10^3}{0.879 * 3319 * 10^3 * \frac{275}{1.05}} =$$

$$0.06 + 0.66 = 0.72 \leq 1 \ (CUMPLE)$$

Además, como se ha dicho anteriormente, en las piezas susceptibles de pandeo por torsión deberá comprobarse:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z * A_{eff} * f_{yd}} + k_{y,LT} \frac{M_{y,Ed} + e_{N,y} * N_{Ed}}{\chi_{LT} * W_{eff,y} * f_{yd}} \leq 1$$

Para ello es necesario obtener el coeficiente de reducción por pandeo en el eje z, χ_z.

Para la obtención de este coeficiente de reducción se sigue el apartado 6.3 del DB SE-A del C.T.E. fijándose en la Figura 6.3 que muestra las curvas de pandeo en función de la esbeltez reducida.

Para la obtención de esa esbeltez reducida, se necesitan la esbeltez de Euler y la esbeltez mecánica.

Para esta última hay que tener en cuenta que se tiene un perfil de inercia variable, por lo tanto hay que acudir al apartado 6.6.2.3 del DB SE-A. Como resultado, la esbeltez mecánica se obtiene con la siguiente fórmula:

$$\lambda_k = L_k * \sqrt{\frac{A_{med}}{I_k}}$$

Siendo:

- L_k: la longitud de pandeo.
- A_{med}: el área media de la barra.
- I_k: momento de inercia medio ponderado.

La longitud de pandeo se obtiene de la siguiente manera:

$$L_k = \beta * L$$

Siendo:

- B: coeficiente de longitud de pandeo
- L: longitud de la barra

Se conoce que la longitud de pandeo en el eje z (Plano X-Y de la barra) son 2.51 metros, ya que se encuentra arriostrado en ese plano por las correas de cubierta y el coeficiente de longitud de pandeo, β, es igual a 1 ya que se considera articulado en ambos extremos de ese plano.

Por lo tanto la longitud de pandeo es igual a:

$$L_k = \beta * L = 1 * 2.51m * 1000 = 2510 \ mm$$

El valor del área media, es el mismo que se calculó para la obtención del coeficiente de reducción por pandeo del eje y.

$$A_{med} = 11225 \ mm^2$$

Para el momento de inercia medio ponderado se siguen las indicaciones del DB SE-A:

$$I_k = c * I_{máx}$$

Para determinar el valor de c se acude a la tabla 6.4 del DB SE-A y se busca la variación de la sección que coincida con este caso.

Sin embargo, se puede intuir que, ya que el perfil solo varía en la distancia del alma a lo largo de su longitud, la inercia en el eje z se mantendrá constante de principio a fin del dintel, por lo que el valor de c, que ya se explicó anteriormente como se calculaba, adoptará un valor de 1 ya que la inercia máxima y mínima son iguales, y por tanto la inercia equivalente (I_k).

Por lo tanto solo es necesario calcular la inercia de una sección, y se ha elegido la de la sección B:

$$I_z = \frac{300^3 * 15}{12} * 2 + \frac{5^3 * (250 - 30)}{12} = 67.5 * 10^6\ mm^4$$

Lo que da como resultado una esbeltez mecánica de valor:

$$\lambda_k = L_k * \sqrt{\frac{A_{med}}{I_k}} = 2510 * \sqrt{\frac{11225}{67.5 * 10^6}} = 32.36$$

La esbeltez de Euler sigue valiendo lo mismo que en apartados anteriores:

$$\lambda_E = 86.8$$

Por lo que la esbeltez reducida adopta el siguiente valor:

$$\bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_k}{\lambda_E} = \frac{32.36}{86.8} = 0.37$$

Por último, se acude a las curvas de pandeo. Para saber en qué curva hay que fijarse se acude a la tabla 6.2 de DB SE-A y ahí se explica que para perfiles armados en I, como es el caso, con espesores menores de 40 mm y pandeo en el eje z, hay que acudir a la curva c.

$$\chi_z = 0.918$$

Seguidamente se calcula el coeficiente de interacción $k_{y,LT}$. Para ello, tal y como se hizo antes se acude a la tabla 6.9 del DB SE-A.

Clase	Tipo de sección	k_y	k_z	k_{yLT}
1 y 2	I, H, abiertas	$1+(\bar{\lambda}_y-0{,}2)\cdot\frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{C,Rd}}$	$1+(2\cdot\bar{\lambda}_z-0{,}6)\cdot\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{C,Rd}}$	el menor de $1-\frac{0{,}1\cdot\bar{\lambda}_z}{(c_{mLT}-0{,}25)}\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{C,Rd}}$
	Hueca delgada		$1+(\bar{\lambda}_z-0{,}2)\cdot\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{C,Rd}}$	$0{,}6+\bar{\lambda}_z$
3 y 4	Todas	$1+0{,}6\cdot\bar{\lambda}_y\cdot\frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{C,Rd}}$	$1+0{,}6\cdot\bar{\lambda}_z\cdot\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{C,Rd}}$	$1-\frac{0{,}05\cdot\bar{\lambda}_z}{(c_{mLT}-0{,}25)}\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{C,Rd}}$

siendo

$\bar{\lambda}_y$ y $\bar{\lambda}_z$ valores de las esbelteces reducidas para los ejes y – y y z – z, no mayores que 1,00.

Figura 104 Coeficientes de interacción

Ya que se cuenta con sección de clase 4, la fórmula será la que aparece en la Figura 104:

$$k_{y,LT} = 1 - \frac{0.05 * \bar{\lambda}_z}{(c_{m,LT} - 0.25)} * \frac{N_{Ed}}{\chi_z * N_{c,rd}}$$

Se continúa obteniendo el factor de momento flector uniforme equivalente, $c_{m,LT}$, para ello, se especifica en el apartado 6.3.4.2 del DB SE-A que para barras de pórticos de estructuras sin arriostrar con longitudes de pandeo superiores a las propias barras debe tomarse:

$$c_{m,LT} = 0.9$$

$$k_{y,LT} = 1 - \frac{0.05 * \bar{\lambda}_z}{(c_{m,LT} - 0.25)} * \frac{N_{Ed}}{\chi_z * N_{c,rd}} = 1 - \frac{0.05 * 0.37}{0.9 - 0.25} * \frac{51.35}{0.918 * 3102.8} = 1$$

Ya se puede realizar la comprobación al ser pieza susceptible de pandeo por torsión:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z * A_{eff} * f_{yd}} + k_{y,LT} \frac{M_{y,Ed} + e_{N,y} * N_{Ed}}{\chi_{LT} * W_{eff,y} * f_{yd}} =$$

$$\frac{51.35 * 10^3}{0.918 * 11847.5 * \frac{275}{1.05}} + 1 * \frac{491.93 * 10^6 + 0.0081 * 51.35 * 10^3}{0.879 * 3319 * 10^3 * \frac{275}{1.05}} =$$

$$0.01 + 0.72 = 0.73 \leq 1\ (CUMPLE)$$

Como se ha visto, el tramo del dintel que va desde los 0 metros a los 2.5 metros en proyección horizontal, cumple con las comprobaciones de estabilidad con un aprovechamiento máximo del 73% de su capacidad.

A continuación, como se mencionó al principio de la comprobación de estabilidad, es preciso comprobar si el tramo restante del dintel también cumplirá con dichas comprobaciones o será necesario instalar otro tornapunta más para reducir la distancia de pandeo lateral.

Por lo tanto, se seguirán los mismos pasos que antes y se comprobará la estabilidad con interacción de esfuerzos en elementos comprimidos y flectados pero variando las distancias de pandeo.

Las ecuaciones a utilizar serán las mismas que antes con las mismas simplificaciones:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y * A_{eff} * f_{yd}} + k_y \frac{c_{m,y} * M_{y,Ed} + e_{N,y} * N_{Ed}}{\chi_{LT} * W_{eff,y} * f_{yd}} \leq 1$$

Además, en las piezas susceptibles de pandeo por torsión deberá comprobarse:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z * A_{eff} * f_{yd}} + k_{y,LT} \frac{M_{y,Ed} + e_{N,y} * N_{Ed}}{\chi_{LT} * W_{eff,y} * f_{yd}} \leq 1$$

Como valores de cálculo de axil y momento flector en el eje y se tomarán los que fueron tomados para la sección C por ser los más desfavorables del tramo al ser los mayores. Es decir:

$$N_{Ed} = -42.13\ KN$$

$$M_{y,Ed} = -295.8\ KN * m$$

Para poder realizar la comprobación se necesitan una serie de parámetros que hay que obtener. Gracias a la comprobación del otro tramo, se cuenta con todos ellos a excepción del coeficiente de reducción por pandeo lateral, χ_{LT}.

Para calcularlo habrá que seguir las indicaciones del DB SE-A del C.T.E en el apartado 6.3.3.2. En él se especifica, que para obtener dicho coeficiente de reducción, es necesario obtener la esbeltez relativa frente al pandeo lateral, $\bar{\lambda}_{LT}$, que se determina según la relación:

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{eff,y} * f_y}{M_{cr}}}$$

Donde:

- M_{cr}: momento crítico elástico de pandeo lateral. Se determinará según la teoría de la elasticidad de acuerdo al apartado 6.3.3.3 del DB SE-A.
- Wy: módulo resistente elástico que en este caso corresponde al de la sección eficaz.

Por lo tanto, se va a determinar el momento crítico elástico del pandeo lateral. Siguiendo las indicaciones de la norma se calcula con la siguiente ecuación:

$$M_{cr} = \sqrt{M_{LT\,v}^2 + M_{LT\,W}^2}$$

Siendo:

- $M_{LT\,v}$= componente del momento crítico que representa la resistencia por torsión uniforme de la barra
- $M_{LT\,w}$= componente del momento crítico que representa la resistencia por torsión no uniforme de la barra

En el mismo apartado, se especifica que para secciones de clase 4 (Esbeltas) se adoptará $M_{LT\,v}$ igual a cero. Así que solo queda determinar la componente $M_{LT\,w}$ que tal y como indica la norma se calcula de la siguiente forma:

$$M_{LT\,w} = W_{eff,y} * \frac{\pi^2 * E}{L_c^2} * C_1 * i_{f,z}^2$$

Siendo:

- $W_{ef,y}$: módulo resistente elástico de la sección eficaz, correspondiente a la fibra más comprimida.
- $i_{f,z}$: radio de giro, con respecto al eje de menor inercia de la sección, del soporte formado por el ala comprimida y la tercera parte de la zona comprimida del alma eficaz, adyacente al ala comprimida
- C_1: este factor tiene en cuenta las condiciones de apoyo y la ley de momentos flectores que solicitan la viga. Su valor se obtiene de la Tabla 6.7 del DB SE-A.

Primero se va a determinar el factor C_1 acudiendo a la Tabla 6.7.

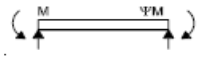
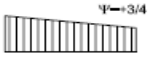
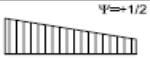
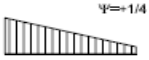
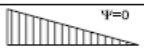
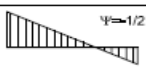
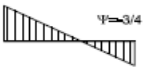
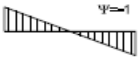
Condiciones de apoyo y tipo de solicitación	Diagrama de momentos flectores	C_1
	Ψ=+1 	1
	Ψ=+3/4 	1,14
	Ψ=+1/2 	1,32
	Ψ=+1/4 	1,56
	Ψ=0 	1,88
	Ψ=-1/4 	2,28
	Ψ=-1/2 	2,7
	Ψ=-3/4 	2,93
	Ψ=-1 	2,75

Figura 105 Valor del factor C1

Gracias al software comercial CYPE, se puede consultar la distribución de momentos que se tiene en esa zona del dintel.

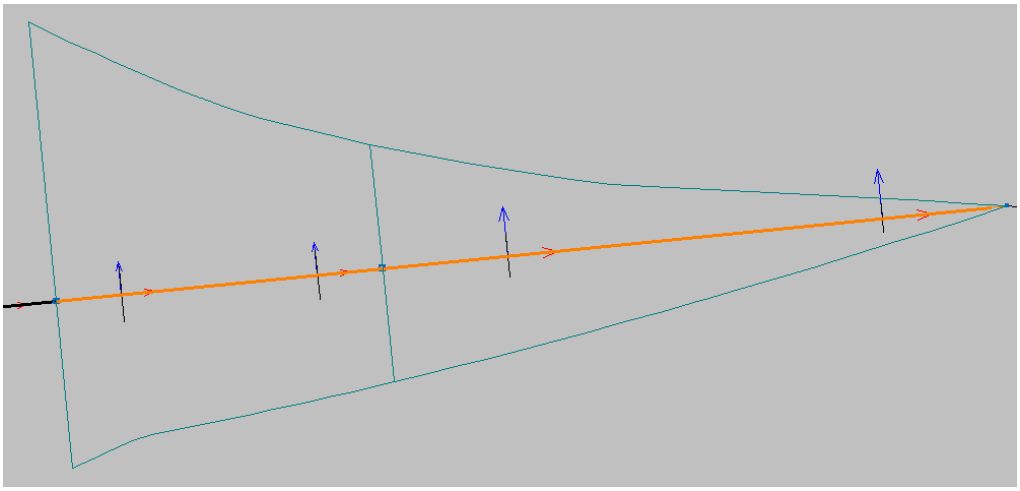


Figura 106 Distribución de momentos entre 2.7 m y 12.5 m del dintel

Se llega a la conclusión, tras comparar la Figura 106 con los modelos de diagramas de momentos de la Figura 105, que el valor del factor C_1 que más se aproxima a este caso es 1.88.

A continuación se determinará el valor de L_c. Como se ha dicho anteriormente, el segundo tramo de estudio comprende desde los 2.7 metros hasta los 12.5 metros en proyección horizontal. Por tanto:

$$L_c = \frac{9.8}{\cos(5.71º)} = 98400\ mm$$

Por último, para poder calcular la componente del momento crítico que representa la resistencia por torsión no uniforme de la barra, $M_{LT\,w}$, es necesario calcular el radio de giro de la cabeza de la sección en el eje de menor inercia, es decir respecto al eje z.

Tal y como indica C.T.E.:

$$i_{f,z}{}^2 = \frac{I_{f,z}}{A_f}$$

La inercia de la cabeza de la sección respecto al eje z se determina a partir de:

$$I_{f,z} = \frac{b^3 * t_f}{12} = \frac{300^3 * 15}{12} = 33.75 * 10^6\ mm^4$$

Para el área de la cabeza, como se ha dicho anteriormente, se escogerá la parte del ala comprimida y la tercera parte de la zona comprimida. Además, se tendrá en cuenta la zona del alma de la sección eficaz. Por lo tanto:

$$A_f = 15 * 300 + 80.24 * 5 = 4901.2\ mm^2$$

Ya se puede calcular el cuadrado del radio de giro de la cabeza de la sección en el eje z:

$$i_{f,z}{}^2 = \frac{I_{f,z}}{A_f} = \frac{33.75 * 10^6}{4901.2} = 6186.98\ mm^2$$

Y por tanto, ya se puede calcular la componente del momento crítico que representa la resistencia por torsión no uniforme de la barra, $M_{LT\,w}$, y el momento crítico elástico del pandeo lateral, M_{cr}.

$$M_{LT\,w} = W_{eff,y} * \frac{\pi^2 * E}{L_c^2} * C_1 * i_{f,z}^2 =$$

$$2708.95 * 10^3 * \frac{\pi^2 * 2.1 * 10^5}{98400^2} * 1.88 * 6186.98 = 681.33\ KN * m$$

$$M_{cr} = \sqrt{M_{LT\,v}^2 + M_{LT\,W}^2} = \sqrt{0 + 7312.34^2} = 681.33\ KN * m$$

Una vez que ya se cuenta con el momento crítico, la esbeltez relativa frente al pandeo lateral queda de la siguiente forma:

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{eff,y} * f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{2708.95 * 10^3 * 275}{681.33 * 10^6}} = 1.06$$

Para determinar el coeficiente de reducción, se necesita saber a qué curva de pandeo pertenece este caso, para ello se acude a la Tabla 6.6 del DB SE-A.

Elemento	Límites	Curva de pandeo
Perfil laminado con sección en doble T	h/b ≤ 2	a
	h/b > 2	b
Elemento armado con sección en doble T	h/b ≤ 2	c
	h/b > 2	d
Elementos con otras secciones	-	d

Figura 107 Curvas de pandeo según el elemento

Como puede observarse en la Figura 107, este caso pertenece a "Elemento armado con sección en doble T". Falta determinar la relación h/b, sabiendo que b=300 mm y que a 2.7 metros se tenía un canto de 603.128 mm, h/b será mayor que 2. Por lo tanto le corresponde la curva de pandeo d.

Se acude a las curvas y se obtiene que el coeficiente de reducción por pandeo lateral:

$$\chi_{LT} = 0.438$$

Ya se cuenta con todos los parámetros para poder realizar la comprobación de estabilidad bajo la interacción de esfuerzos:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y * A_{eff} * f_{yd}} + k_y \frac{c_{m,y} * M_{y,Ed} + e_{N,y} * N_{Ed}}{\chi_{LT} * W_{eff,y} * f_{yd}} =$$

$$\frac{42.13 * 10^3}{0.238 * 11435 * \frac{275}{1.05}} + 1.03 \frac{0.9 * 295.8 * 10^6 + 0.0061 * 42.13 * 10^3}{0.438 * 2708.95 * 10^3 * \frac{275}{1.05}} =$$

$$0.05 + 0.84 = 0.89 \leq 1 \ (CUMPLE)$$

Además, como se ha dicho anteriormente, en las piezas susceptibles de pandeo por torsión deberá comprobarse:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z * A_{eff} * f_{yd}} + k_{y,LT} \frac{M_{y,Ed} + e_{N,y} * N_{Ed}}{\chi_{LT} * W_{eff,y} * f_{yd}} \leq 1$$

Se cuenta con todos los parámetros ya que han sido calculados para el otro tramo del dintel anteriormente, sin embargo el coeficiente de interacción $k_{y,LT}$, hay que recalcularlo ya que existe una variación de los esfuerzos en ese tramo con respecto al otro, y precisamente este coeficiente depende de ellos directamente.

Para ello, tal y como se hizo antes se acude a la tabla 6.9 del DB SE-A.

Clase	Tipo de sección	k_y	k_z	k_{yLT}
1 y 2	I, H, abiertas	$1+(\bar{\lambda}_y-0{,}2)\cdot\frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{C,Rd}}$	$1+(2\cdot\bar{\lambda}_z-0{,}6)\cdot\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{C,Rd}}$	el menor de $1-\frac{0{,}1\cdot\bar{\lambda}_z}{(c_{mLT}-0{,}25)}\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{C,Rd}}$
	Hueca delgada		$1+(\bar{\lambda}_z-0{,}2)\cdot\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{C,Rd}}$	$0{,}6+\bar{\lambda}_z$
3 y 4	Todas	$1+0{,}6\cdot\bar{\lambda}_y\cdot\frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{C,Rd}}$	$1+0{,}6\cdot\bar{\lambda}_z\cdot\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{C,Rd}}$	$1-\frac{0{,}05\cdot\bar{\lambda}_z}{(c_{mLT}-0{,}25)}\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{C,Rd}}$

siendo

$\bar{\lambda}_y$ y $\bar{\lambda}_z$ valores de las esbelteces reducidas para los ejes y – y y z – z, no mayores que 1,00.

Figura 108 Coeficientes de interacción

Ya que se cuenta con sección de clase 4, la fórmula será la que aparece en la Figura 104:

$$k_{y,LT} = 1 - \frac{0.05 * \bar{\lambda}_z}{(c_{m,LT} - 0.25)} * \frac{N_{Ed}}{\chi_z * N_{c,rd}}$$

Sabiendo que, como ocurría para el otro tramo del dintel el factor de momento flector uniforme equivalente, $c_{m,LT}$, es igual a 0.9 según se especifica en el apartado 6.3.4.2 del DB SE-A para barras de pórticos de estructuras sin arriostrar con longitudes de pandeo superiores a las propias barras.

$$k_{y,LT} = 1 - \frac{0.05 * \bar{\lambda}_z}{(c_{m,LT} - 0.25)} * \frac{N_{Ed}}{\chi_z * N_{c,rd}} = 1 - \frac{0.05 * 0.37}{0.9 - 0.25} * \frac{42.13}{0.918 * 3066} = 1$$

Ya se puede realizar la comprobación al ser pieza susceptible de pandeo por torsión:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z * A_{eff} * f_{yd}} + k_{y,LT}\frac{M_{y,Ed} + e_{N,y} * N_{Ed}}{\chi_{LT} * W_{eff,y} * f_{yd}} =$$

$$\frac{42.13 * 10^3}{0.918 * 11435 * \frac{275}{1.05}} + 1 * \frac{295.8 * 10^6 + 0.0061 * 42.13 * 10^3}{0.438 * 2708.95 * 10^3 * \frac{275}{1.05}} =$$

$$0.01 + 0.91 = 0.92 \leq 1\ (CUMPLE)$$

Como se ha visto, el tramo del dintel que va desde los 2.7 metros a los 12.5 metros en proyección horizontal, cumple con las comprobaciones de estabilidad con un aprovechamiento máximo del 92% de su capacidad.

Cabe mencionar, que la comprobación de estabilidad se realizó con los mayores esfuerzos en valor de cálculo por ser los más desfavorables. Los momentos más desfavorables fueron negativos en los dos tramos del dintel, por lo que era el ala inferior la que se comprimía.

No obstante, habría que realizar la comprobación si el momento en valor de cálculo fuera el máximo positivo y comprimiera la fibra superior del perfil, ya que puede que no cumpliera con la comprobación de pandeo lateral a pesar de ser menor en valor absoluto que el momento que comprime la fibra negativa.

Sin embargo, el DB SE-A del C.T.E. cita en el apartado 6.3.3.1 que no será necesaria la comprobación a pandeo lateral cuando el ala comprimida se arriostra de forma continua o bien de forma puntual a distancias menores de 40 veces el radio de giro mínimo.

El radio de giro de la cabeza ya ha sido calculado con anterioridad. Por lo tanto:

$$40 * i_{f,z} = 40 * 81.5 = 3260.3\, mm$$

Y la distancia a la que se encuentran arriostradas las alas superiores es igual a la distancia entre correas, es decir, 2510 mm. Al ser 2510 menor que 3260.3, no es necesaria la comprobación de pandeo lateral.

Se podía intuir que no iba a existir problema, ya que el momento máximo negativo es mayor en valor absoluto que el máximo positivo y las distancias entre puntos de arriostramiento son mucho mayores en las fibras negativas que en las positivas, por lo que es un caso mucho más desfavorable el de la fibra inferior comprimida.

Por lo tanto, el perfil IPE de chapa armada de inercia variable que ha sido propuesto, cumple con todas las comprobaciones de resistencia y estabilidad que dicta el C.T.E.

6.2. Cálculo del pilar del pórtico principal

Después de revisar los esfuerzos que afectan a cada pórtico con la ayuda del software CYPE, se concluye que el pórtico principal más solicitado es el pórtico nº6 que coincide con el central de la instalación.

Se procede a realizar una predimensión del pilar principal. Como se ha dicho anteriormente, el perfil es de chapa armada de inercia variable, por lo que el canto del perfil irá decreciendo a medida que se acerque a la base del pilar.

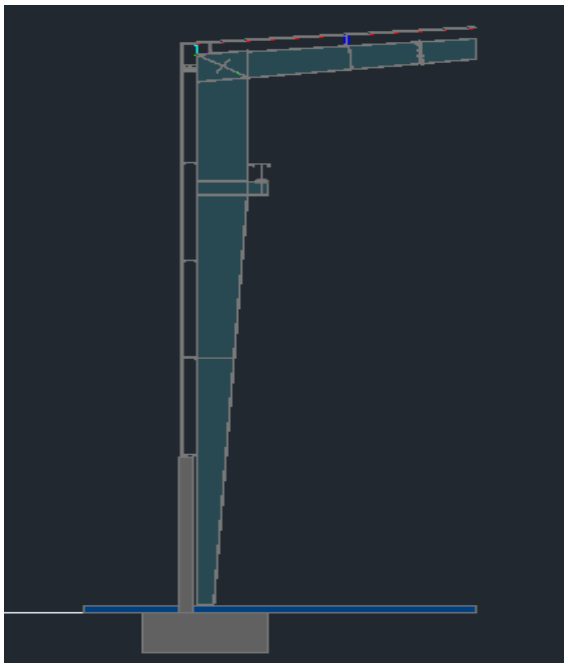


Figura 109 Pilar principal

Las propiedades del perfil propuesto son las siguientes:

	IPE
h [mm]	900;300
b [mm]	350
tw [mm]	8
tf [mm]	15

Tabla 17 Propiedades del pilar principal

Como se observa en la Tabla 17, se ha optado por un perfil de chapa armada IPE de acero S-275 con un canto inicial de 900 mm y final de 300 mm. Una anchura de alas, b, de 350 mm, un espesor de alas, t_f, de 15 mm y un espesor de alma, t_w, de 8 mm.

A la hora de realizar las comprobaciones de resistencia, se estudiarán dos tramos:

- Tramo 1: Comprende desde la ménsula situada a 10.7 metros hasta la cabeza del pilar a 14 metros. Como puede observarse en la figura 109, este tramo está formado de un perfil constante con las mismas especificaciones que el final del tramo 2.

- Tramo 2: Comprende desde la base del pilar hasta la altura de la ménsula. Como puede observarse en la figura 109, este tramo está formado de un perfil variable con las propiedades descritas en la Tabla 17.

Primero va a comprobarse siguiendo el apartado 5.2.4 del DB SE-A del C.T.E. qué clase de secciones se tienen al comienzo y al final del pilar.

Se comienza por estudiar las alas, que son iguales en todo el dintel. Para ello se acude a la Tabla 5.4 del DB SE-A a la fila de compresión ya que las alas siguen prácticamente una distribución contante:

Tabla 5.4 Límites de esbeltez para elementos planos, apoyados en un borde y libre el otro, total o parcialmente comprimidos.

Geometría			
Solicitación	Elemento plano	Límite de esbeltez: c/t máximo	
Compresión + Tracción -	c, Borde apoyado, Borde libre	Clase 1	Clase 2	Clase 3
Compresión		9ε	10 ε	14 ε

Figura 110 Límites de esbeltez para elementos apoyados en un borde y libres en el otro

Por lo tanto aplicando dicho procedimiento:

$$ALA \rightarrow \frac{c}{t_f} = \frac{\frac{b}{2}}{t_f} = \frac{175}{15} = 11.66 < 14 * \varepsilon = 14 * \sqrt{\frac{235}{275}} = 12.94 \rightarrow CLASE\ 3$$

A continuación se comprueban las secciones del alma, ahora habrá que distinguir entre la inicial con canto 300 y la final con canto 900.

Para la sección inicial, donde solo hay esfuerzo axil, (Ya que al estar articulado en la base el momento es cero) se acude a la tabla 5.3 del DB SE-A a la fila de compresión.

$$Alma\ h = 300: \frac{h - 2 * t_f}{t_w} = \frac{300 - 2 * 15}{8} = 33.75 < 42 * \varepsilon = 38.82 \rightarrow CLASE\ 3$$

Para la sección final, donde el canto es igual a 900 mm, se acude a la tabla 5.3 del DB SE-A. Esta vez el alma del perfil, además de estar solicitada a un esfuerzo de flexión simple, también está solicitada a compresión, en su mayoría gracias las cargas transmitidas por el puente grúa, por lo que habrá que acudir a la fila de flexo compresión. Para determinar qué tipo de sección se tiene, se procede igual que antes:

$$Alma\ h = 900: \frac{h - 2 * t_f}{t_w} = \frac{900 - 2 * 15}{8} = 108.75$$

Ahora, el valor de comparación se obtiene de distinta forma, tal y como se observa en la Figura 111 el valor de comparación:

$$\frac{42 * \varepsilon}{0.67 + 0.33 * \Psi}$$

Siendo Ψ la relación entre las tensiones de tracción y compresión.

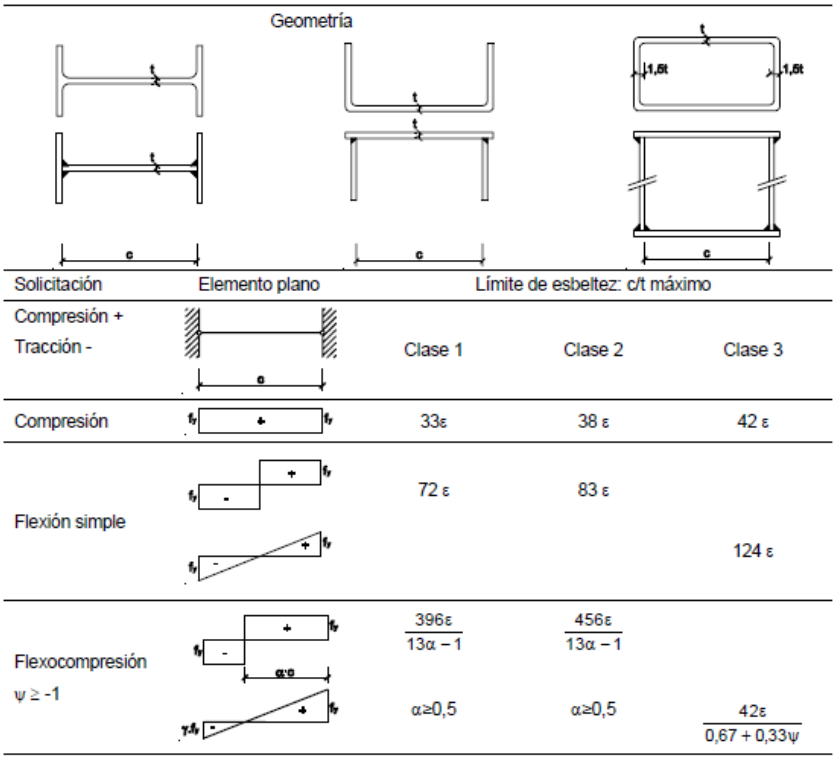


Figura 111 Límites de esbeltez para elementos apoyados en dos bordes

Por lo tanto, es preciso conocer el axil y el flector en valor de cálculo que actúa en esa sección inmediatamente inferior a la ménsula. Para ello, se elabora una tabla de tensiones por hipótesis y así poder deducir cual es la combinación más desfavorable de esfuerzos.

H=900 mm [KN,m]	CP	N	V1a	V1b	V2	SCUpg(frena+)	SCUpg(frena-)
Nx	-35	-38,5	47,05	8,3	42,05	-294,6	-296,04
Vz	-8,5	-16	0,8	-6,06	26	-6	-21,7
My	91,47	172,05	-251,9	-182,7	-114,2	64,04	232.8

Tabla 18 Tensiones por hipótesis de la sección bajo la ménsula

Se puede deducir que la combinación más desfavorable de esfuerzos será:

$$1.35\ CP + 1.5\ SCU_{PG(frena-)} + 1.5*0.5\ N$$

Lo que dará lugar a unos axiles y unos flectores de valor:

$$N_{Ed} = 1.35 * (-35) + 1.5 * (-296.04) + 1.5 * 0.5 * (-38.5) = 520.18\ KN$$

$$M_{y,Ed} = 1.35 * (91.47) + 1.5 * (232.8) + 1.5 * 0.5 * (172.05) = 601.72\ KN * m$$

A continuación, se calculan las propiedades de la sección bruta.

$$A_1 = 17460\ mm^2$$

$$W_1 = \frac{I_1}{\frac{h_{máx}}{2}} = \frac{2500 * 10^6}{\frac{900}{2}} = 5555.5 * 10^3 mm^3$$

Ya se puede determinar cuánto valdrán los esfuerzos.

$$\sigma_{x,Ned} = \frac{N_{Ed}}{A_1} = 29.79\ MPa$$

$$\sigma_{x,My} = \frac{M_{y,Ed}}{W_1} = 108.31\ MPa$$

Por lo tanto, la distribución de esfuerzos de la sección bruta queda de la siguiente forma:

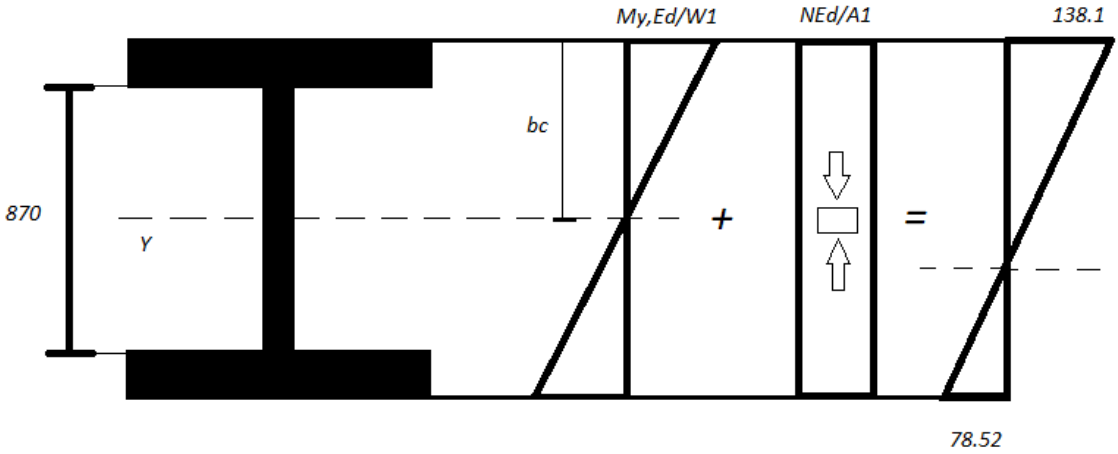


Figura 112 Distribución de esfuerzos sección bruta

Ya se puede obtener la relación entre los esfuerzos de tracción y compresión, siendo los valores de tracción tomados como negativos.

$$\Psi = \frac{-78.52}{138.1} = -0.56$$

Por lo tanto el valor de comparación adopta el siguiente valor:

$$\frac{42 * \varepsilon}{0.67 + 0.33 * \Psi} = \frac{42 * 0.9244}{0.67 + 0.33 * (-0.56)} = 80.48$$

Como se puede observar, el valor obtenido anteriormente para comprobar que tipo de sección se tiene, es de 108.75, mientras que el valor de comparación que indica el valor máximo para que la sección sea de clase 3, es de 80.48, por lo que se tiene una sección de clase 4 y es necesario obtener la sección eficaz del perfil para poder obtener los parámetros resistentes efectivos a la hora de realizar las comprobaciones de resistencia y estabilidad.

Por lo tanto, se acude nuevamente al apartado 5.2.5 del DB SE-A.

Para obtener la sección eficaz se necesita el ancho eficaz del elemento plano comprimido de ancho b_c, y podrá obtenerse según la siguiente relación:

$$b_{ef} = \rho * b_c$$

Siendo:

- b_c: el ancho de la zona comprimida. Se obtiene de la tabla 5.6 del DB SE-A.
- ρ: factor de reducción.

Por lo tanto se comienza calculando el factor de reducción que podrá determinarse de la siguiente forma:

$$\rho = \frac{1}{\bar{\lambda}_p}\left[1 - \frac{0.055 * (3 + \Psi)}{\bar{\lambda}_p^2}\right] \leq 1$$

Siendo:

- $\bar{\lambda}_p$= esbeltez relativa del elemento comprimido.
- Ψ= relación de tensiones en los bordes del elemento según la tabla 5.6 del DB SE-A.

La esbeltez relativa se puede determinar según:

$$\bar{\lambda}_p = \frac{b/t}{28.4 * \varepsilon * \sqrt{k_\sigma}}$$

Siendo:

- b: ancho del elemento total o parcialmente comprimido.
- T: espesor del elemento plano.
- k_σ: coeficiente de abolladura según tabla 5.6 del DB SE-A.

Por lo tanto, hay que acudir a la tabla 5.6 del DB SE-A y buscar la condición de apoyo y solicitación que se tiene en este caso.

De nuevo, el caso que encaja con el que se tiene sería el tercero.

Además, se sabe que la relación de tensiones,Ψ, es igual a -0.56 ya que ha sido calculada con anterioridad.

Por lo tanto ya se puede conocer cuál es el ancho comprimido y el coeficiente de abolladura, k_σ:

$$b_c = \frac{b}{1 - \Psi} = \frac{900 - 2 * 15}{1 - (-0.56)} = 557.7\ mm$$

$$k_\sigma = 5.98 * (1 - \Psi)^2 = 14.4$$

Ya se puede calcular la esbeltez relativa sustituyendo parámetros en la fórmula:

$$\bar{\lambda}_p = \frac{b/t}{28.4 * \varepsilon * \sqrt{k_\sigma}} = \frac{(900 - 2 * 15)/8}{28.4 * 0.9244 * \sqrt{14.4}} = 1.09$$

Como resultado, se determina el factor de reducción:

$$\rho = \frac{1}{\bar{\lambda}_p}\left[1 - \frac{0.055 * (3 + \Psi)}{\bar{\lambda}_p^2}\right] = \frac{1}{1.09}\left[1 - \frac{0.055 * (3 + (-0.56))}{1.09^2}\right] = 0.81 \leq 1\ (CUMPLE)$$

Ya se puede conocer el ancho efectivo de la zona comprimida:

$$b_{ef} = \rho * b_c = 0.81 * 557.7 = 451.7\ mm$$

Tal y como indica la Figura 113, el primer tramo del ancho comprimido efectivo es:

$$0.4 * b_{ef} = 180.7\ \ mm$$

Por lo tanto, se cuenta con una sección eficaz:

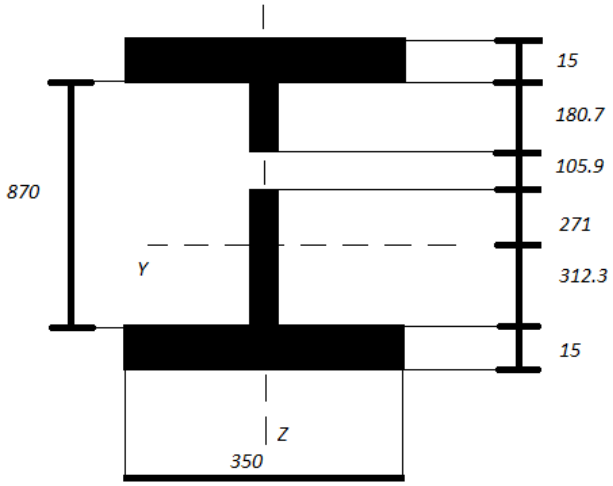


Figura 113 Sección Eficaz 1ª iteración

Debido a la "eliminación" de una parte de la zona comprimida, existirá una excentricidad en los esfuerzos, ya que la línea neutra no se encontrará en el centro del perfil, y entonces los coeficientes b_c y Ψ variarán, por lo que se realizará una segunda iteración.

Para realizar la segunda iteración es necesario obtener los parámetros de la sección después de realizar la primera iteración. Dichos parámetros son los siguientes:

$$Centro\ de\ gravedad: 439.72\ mm\ desde\ la\ base\ del\ perfil$$

$$A_{eff} = 16612\ mm^2$$

$$I_{eff,y} = 2458.2 * 10^6\ mm^4$$

$$W_{eff,y,sup} = \frac{I_{eff,y}}{h_{sup}} = \frac{2458.2 * 10^6}{900 - 439.72} = 5338.11 * 10^3\ mm^3$$

$$W_{eff,y,inf} = \frac{I_{eff,y}}{h_{inf}} = \frac{2458.2 * 10^6}{439.72} = 5593.17 * 10^3\ mm^3$$

Una vez ya se conocen las propiedades de la sección reducida, se recalculan los esfuerzos:

$$\sigma_{x,Ned} = \frac{N_{Ed}}{A_{eff}} = 31.31\ MPa$$

$$\sigma_{x,My,sup} = \frac{M_{y,Ed}}{W_{eff,y,sup}} = 112.7\ MPa$$

$$\sigma_{x,My,inf} = \frac{M_{y,Ed}}{W_{eff,y,inf}} = 107.58\ MPa$$

Por lo tanto, la distribución de esfuerzos de la sección eficaz queda de la siguiente forma:

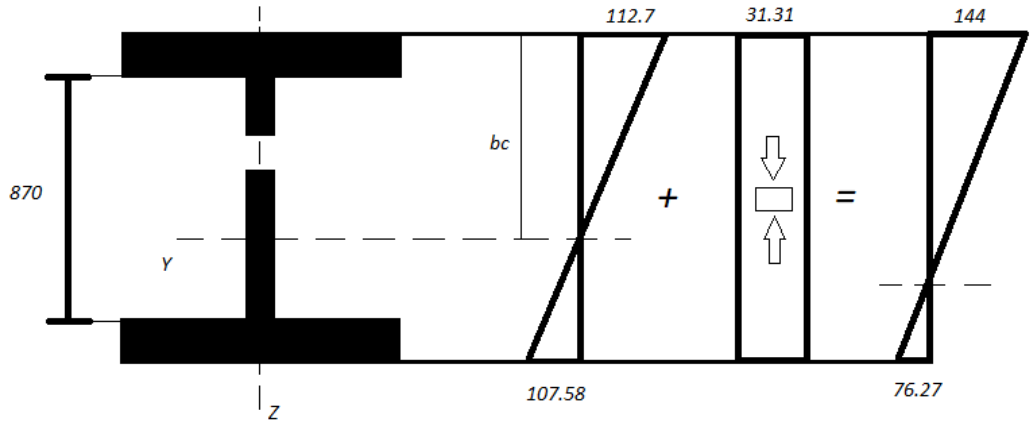


Figura 114 Distribución de esfuerzos en la sección eficaz

Ya se puede obtener la relación entre los esfuerzos de tracción y compresión, siendo los valores de tracción tomados como negativos.

$$\Psi = \frac{-76.27}{144} = -0.53$$

Por lo tanto, se acude nuevamente al apartado 5.2.5 del DB SE-A para recalcular la sección eficaz.

Para obtener la nueva sección eficaz se necesita el ancho eficaz del elemento plano comprimido de ancho b_c, y podrá obtenerse según la siguiente relación:

$$b_{ef} = \rho * b_c$$

Siendo:

- b_c: el ancho de la zona comprimida. Se obtiene de la tabla 5.6 del DB SE-A.
- ρ: factor de reducción.

Se comienza calculando el factor de reducción que podrá determinarse de la siguiente forma:

$$\rho = \frac{1}{\bar{\lambda}_p}\left[1 - \frac{0.055 * (3 + \Psi)}{\bar{\lambda}_p^2}\right] \leq 1$$

Siendo:

- $\bar{\lambda}_p$= esbeltez relativa del elemento comprimido.
- Ψ= relación de tensiones en los bordes del elemento según la tabla 5.6 del DB SE-A.

La esbeltez relativa se puede determinar según:

$$\bar{\lambda}_p = \frac{b/t}{28.4 * \varepsilon * \sqrt{k_\sigma}}$$

Siendo:

- b: ancho del elemento total o parcialmente comprimido.
- T: espesor del elemento plano.
- k_σ: coeficiente de abolladura según tabla 5.6 del DB SE-A.

Por lo tanto, hay que acudir a la tabla 5.6 del DB SE-A y buscar la condición de apoyo y solicitación que se tiene en este caso.

De nuevo, el caso que encaja con el que se tiene sería el tercero.

Además, se sabe que la relación de tensiones,Ψ, es igual a -0.53 ya que ha sido calculada con anterioridad.

Por lo tanto ya se puede conocer cuál es el ancho comprimido y el coeficiente de abolladura, k_σ:

$$b_c = \frac{b}{1-\Psi} = \frac{900 - 2*15}{1-(-0.53)} = 568.2\ mm$$

$$k_\sigma = 5.98 * (1-\Psi)^2 = 13.9$$

Ya se puede calcular la esbeltez relativa sustituyendo parámetros en la fórmula:

$$\bar{\lambda}_p = \frac{b/t}{28.4 * \varepsilon * \sqrt{k_\sigma}} = \frac{(900 - 2*15)/8}{28.4 * 0.9244 * \sqrt{13.9}} = 1.11$$

Como resultado, se determina el factor de reducción:

$$\rho = \frac{1}{\bar{\lambda}_p}\left[1 - \frac{0.055*(3+\Psi)}{\bar{\lambda}_p^2}\right] = \frac{1}{1.11}\left[1 - \frac{0.055*(3+(-0.53))}{1.11^2}\right] = 0.8 \leq 1\ (CUMPLE)$$

Ya se puede conocer el ancho efectivo de la zona comprimida:

$$b_{ef} = \rho * b_c = 0.8 * 568.2 = 454.56\ mm$$

Tal y como indica la Figura 113, el primer tramo del ancho comprimido efectivo es:

$$0.4 * b_{ef} = 181.82\ \ mm$$

Por lo tanto, se cuenta con una sección eficaz:

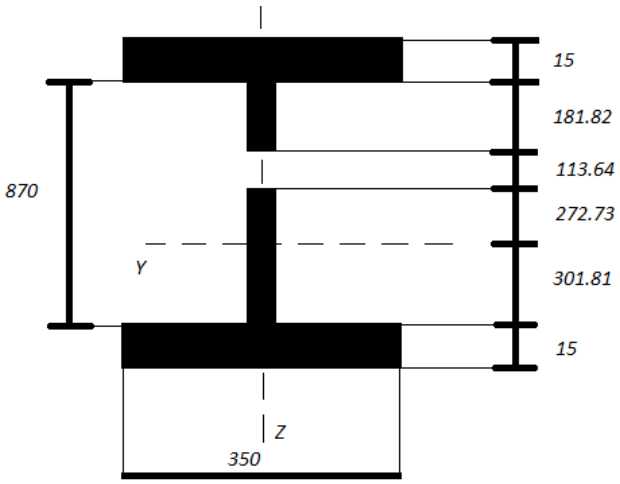


Figura 115 Sección eficaz tras la 2ª iteración

Ahora que ya se tiene la sección eficaz, se recalculan los esfuerzos y para ello se vuelven a recalcular las propiedades de la sección.

$$Centro\ de\ gravedad: 439.2\ mm\ desde\ la\ base\ del\ perfil \rightarrow\ e_{n,y} = 0.01\ m$$

$$A_{eff} = 16550.8\ mm^2$$

$$I_{eff,y} = 2456.89 * 10^6\ mm^4$$

$$W_{eff,y,sup} = \frac{I_{eff,y}}{h_{sup}} = \frac{2456.89 * 10^6}{900 - 439.2} = 5331.8 * 10^3\ mm^3$$

$$W_{eff,y,inf} = \frac{I_{eff,y}}{h_{inf}} = \frac{2456.89 * 10^6}{439.2} = 5594.01 * 10^3\ mm^3$$

Una vez ya se conocen las propiedades de la sección reducida, se recalculan los esfuerzos:

$$\sigma_{x,Ned} = \frac{N_{Ed}}{A_{eff}} = 31.42\ MPa$$

$$\sigma_{x,My,sup} = \frac{M_{y,Ed}}{W_{eff,y,sup}} = 112.85\ MPa$$

$$\sigma_{x,My,inf} = \frac{M_{y,Ed}}{W_{eff,y,inf}} = 107.56\ MPa$$

Como se puede observar, de la primera iteración a la segunda apenas hay variación en los esfuerzos de la sección, por lo que se deja de iterar y se da por válida la sección eficaz obtenida tras la segunda iteración.

A continuación se va a realizar la comprobación de resistencia del tramo 2 en la sección justo debajo de la ménsula por ser la que cuenta con mayores esfuerzos de todo el pilar, y de la sección de la base del pilar, por ser la que menos área posee y contar con axiles tan significativos.

COMPROBACIÓN DE RESISTENCIA

<u>Sección h=900 mm bajo la ménsula:</u>

Las acciones por hipótesis que afectan a esta sección ya han sido expuestas con anterioridad en la Tabla 18, así como la combinación más desfavorable de las mismas y sus esfuerzos en valor de cálculo.

Tal y como dicta el apartado 6.2.8 del DB SE-A del C.T.E., para realizar la comprobación de resistencia bajo interacción de esfuerzos despreciando el cortante, es necesario comprobar que el cortante en valor de cálculo es inferior a la mitad de la capacidad resistente a cortante de la sección.

Por lo tanto se calcula el cortante en valor de cálculo y la combinación más desfavorable de esfuerzos es:

1.35 CP + 1.5 N + 1.5*0.7 $SCU_{PG(frena-)}$ +1.5*0.6 V1b

Se obtiene un cortante de:

$$V_{Ed} = 1.35 * (-8.5) + 1.5 * (-16) + 1.5 * 0.7 * (-21.7) + 1.5 * 0.6 * (-6.06) = -63.71\ KN$$

A continuación, se calcula la capacidad resistente a cortante de la sección según el apartado 6.2.4 del DB SE-A:

$$V_{pl,Rd} = A_v * \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

Donde el término de A_v hace referencia al área a cortante y adopta los siguientes valores para secciones armadas cargadas paralelamente al alma:

$$A_v = \sum d * t_w$$

$$A_v = (900 - 2 * 15) * 8 = 6960\ mm^2$$

Por lo que la resistencia de la sección a cortante queda de la siguiente forma:

$$V_{pl,Rd} = A_v * \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}} = 6960 * \frac{\frac{275}{1.05}}{\sqrt{3}} = 1052.4\ KN$$

La mitad de la resistencia a cortante será:

$$\frac{V_{pl,Rd}}{2} = \frac{1052.4}{2} = 526.2\ KN > 63.4\ KN$$

Como el esfuerzo cortante en valor de cálculo, V_{Ed}, es inferior al 50% del esfuerzo resistente,$V_{pl,Rd}$, se puede despreciar el cortante en la interacción de esfuerzos.

Por lo tanto, tal y como indica C.T.E., se aplican las fórmulas 6.11 (Flexión compuesta sin cortante).

1 Flexión compuesta sin cortante:

c) en general se utilizarán las fórmulas de interacción, de carácter prudente, indicadas a continuación:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,Rdy}} + \frac{M_{zEd}}{M_{pl,Rdz}} \le 1 \qquad \text{Para secciones de clase 1 y 2}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{el,Rdy}} + \frac{M_{zEd}}{M_{el,Rdz}} \le 1 \qquad \text{Para secciones de clase 3} \qquad (6.11)$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{u,Rd}} + \frac{M_{y,Ed} + N_{Ed} \cdot e_{Ny}}{M_{0,R_{dy}}} + \frac{M_{zEd} + N_{SEd} \cdot e_{Ny}}{M_{0,Rdz}} \le 1 \qquad \text{Para secciones de clase 4}$$

siendo

$$f_{yd} = \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

Figura 116 Interacción de esfuerzos en secciones

Como se ha demostrado anteriormente, la sección de estudio es de clase 4 por lo que se tiene que aplicar la última de las fórmulas de la Figura 116, teniendo en cuenta además que no existe momento en z, por lo que la ecuación se simplifica y queda de la siguiente forma:

$$\frac{N_{Ed}}{A_{eff} * f_{yd}} + \frac{M_{y,Ed} + N_{Ed} * e_{N,y}}{W_{eff,y} * f_{yd}} \le 1$$

Como ya se han obtenido las propiedades de la sección eficaz con anterioridad, ya se puede realizar la comprobación de resistencia:

$$\frac{N_{Ed}}{A_{eff} * f_{yd}} + \frac{M_{y,Ed} + N_{Ed} * e_{N,y}}{W_{eff,y} * f_{yd}} =$$

$$\frac{520.18 * 10^3}{16550.8 * \frac{275}{1.05}} + \frac{601.72 * 10^6 + 520.18 * 10^3 * 0.01}{5331.8 * 10^3 * \frac{275}{1.05}} =$$

$$0.15 + 0.45 = 0.6 \leq 1 (CUMPLE)$$

Se puede concluir que la sección del pilar justo por debajo de la ménsula cumple con la comprobación de resistencia con un aprovechamiento del 60% de su capacidad resistente.

Sección h=300 mm en la base del pilar:

En esta sección todavía no se conocen los esfuerzos en valor de cálculo pero sí se sabe que no existen momentos por estar articulada la base del pilar.

Para poder conocer los esfuerzos en valor de cálculo se obtienen las acciones que actúan por cada hipótesis en la base del pilar gracias al software comercial del CYPE.

BASE PILAR [KN,m]	CP	N	V1a	V1b	V2	SCUpg(frena+)	SCUpg(frena-)
Nx	-51,2	-38,36	47,8	9,23	41,9	-298,4	-293
Vz	-8,3	-16	46,9	40,1	-4,7	-6	-19,2
My	0	0	0	0	0	0	0

Tabla 19 Acciones por hipótesis en la base del pilar

Ahora que ya se conocen los esfuerzos por hipótesis, es necesario conocer la combinación más desfavorable de estos ante una comprobación a compresión.

$$1.35\ CP + 1.5\ SCU_{PG(frena+)} + 1.5*0.5\ N$$

Por lo tanto, el esfuerzo axil en valor de cálculo:

$$N_{Ed} = 1.35 * (-51.2) + 1.5 * (-298.4) + 1.5 * 0.5 * (-38.36) = -585.49\ KN$$

A continuación se calculará la resistencia a axil de la sección y tal y como dicta el apartado 6.2.5 del DB SE-A del C.T.E., para realizar la comprobación de resistencia de una sección de clase 3 a compresión se comprobará que el axil de compresión en valor de cálculo no supere la siguiente expresión:

$$N_{c,Rd} = A * f_{yd} = (350 * 15 * 2 + (250 - 2 * 15) * 8) * \frac{275}{1.05} = 3190.4\ KN$$

Por lo que ya se puede realizar la comprobación:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{585.49}{3190.4} = 0.18 < 1\ (CUMPLE)$$

Se concluye que la sección cumple con la comprobación de resistencia con un aprovechamiento del 18% de su capacidad.

COMPROBACIÓN DE ESTABILIDAD

Para realizar la comprobación de estabilidad se tendrá en cuenta la interacción de esfuerzos según dicta el C.T.E en el apartado 6.3.4.2 del DB SE-A (Elementos comprimidos y flectados). Además, al ser el perfil del pilar una IPE, se tendrá en cuenta como susceptible de pandeo por torsión.

6.3.4.2 Elementos comprimidos y flectados

1 A menos que se lleve a cabo un estudio más preciso mediante el procedimiento general descrito en 5.4, las comprobaciones de estabilidad de pieza se realizarán aplicando las fórmulas que se indican a continuación, distinguiendo entre las que sean sensibles o no a la torsión (por ejemplo secciones abiertas o cerradas respectivamente).

La comprobación se llevará a cabo con las fórmulas siguientes:

Para toda pieza:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot A^* \cdot f_{yd}} + k_y \cdot \frac{c_{m,y} \cdot M_{y,Ed} + e_{N,y} \cdot N_{Ed}}{\chi_{LT} W_y \cdot f_{yd}} + \alpha_z \cdot k_z \cdot \frac{c_{m,z} \cdot M_{z,Ed} + e_{N,z} \cdot N_{Ed}}{W_z \cdot f_{yd}} \leq 1 \qquad (6.51)$$

Además, sólo en piezas no susceptibles de pandeo por torsión

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot A^* \cdot f_{yd}} + \alpha_y \cdot k_y \cdot \frac{c_{m,y} \cdot M_{y,Ed} + e_{N,y} \cdot N_{Ed}}{W_y \cdot f_{yd}} + k_z \cdot \frac{c_{m,z} \cdot M_{z,Ed} + e_{N,z} \cdot N_{Ed}}{W_z \cdot f_{yd}} \leq 1 \qquad (6.52)$$

Además, sólo en piezas susceptibles de pandeo por torsión

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot A^* \cdot f_{yd}} + k_{yLT} \cdot \frac{M_{y,Ed} + e_{N,y} \cdot N_{Ed}}{\chi_{LT} W_y \cdot f_{yd}} + k_z \cdot \frac{c_{m,z} \cdot M_{z,Ed} + e_{N,z} \cdot N_{Ed}}{W_z \cdot f_{yd}} \leq 1 \qquad (6.53)$$

Figura 117 Comprobación de estabilidad de elementos comprimidos y flectados

Así como el dintel se dividió en tramos para comprobar su estabilidad, en el pilar se procederá de la misma manera.

Se instalará un tornapunta para arriostrar el ala interior del pilar a la altura de 6.5 metros desde la base del pilar, haciendo que coincida con la altura a la que se encuentra la segunda correa de la fachada lateral. De esta forma se conseguirá reducir la distancia entre puntos de arriostramiento de las alas interiores y el coeficiente de reducción por pandeo lateral será menos restrictivo.

Además, esta vez se cuenta con ménsula en la que apoya la viga carril como punto de arriostramiento del ala interior del pilar.

Las alas exteriores se encuentran arriostradas cada 2.5 metros que es la distancia entre las correas de fachada lateral.

Por lo tanto se tienen tres tramos:

- Tramo 1: comprende desde los 0 m en la base del pilar hasta los 6.5 m en los que se sitúa el tornapunta.
- Tramo 2: comprende desde los 6.5 m hasta la altura de la ménsula a 10.7 m.
- Tramo 3: comprende desde los 10.7 m en lo que termina el tramo 2 hasta el final del pilar en los 14 m de su longitud total.

Se comenzará estudiando el tramo 2 ya que, como se ha visto anteriormente, es el que cuenta con los mayores esfuerzos.

Tramo 2:

Las ecuaciones para comprobar la estabilidad de la Figura 117 se pueden simplificar ya que no existe momento flector en el eje z, y el desplazamiento del centro de gravedad en el eje z es cero, por lo que las fórmulas quedan de la siguiente forma:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y * A_{eff} * f_{yd}} + k_y \frac{c_{m,y} * M_{y,Ed} + e_{N,y} * N_{Ed}}{\chi_{LT} * W_{eff,y} * f_{yd}} \leq 1$$

Además, en las piezas susceptibles de pandeo por torsión deberá comprobarse:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z * A_{eff} * f_{yd}} + k_{y,LT} \frac{M_{y,Ed} + e_{N,y} * N_{Ed}}{\chi_{LT} * W_{eff,y} * f_{yd}} \leq 1$$

Como valores de cálculo de axil y momento flector en el eje y se tomarán los que ya fueron calculados para obtener la sección eficaz cuando el perfil tenía un canto de 900 mm, por ser los más desfavorables al ser los mayores. Es decir:

$$N_{Ed} = -520.18\ KN$$

$$M_{y,Ed} = 601.72\ KN * m$$

Para poder realizar la comprobación se necesitan una serie de parámetros que hay que obtener. El primero de todos ellos será el coeficiente de reducción por pandeo del eje y, χ_y.

Para la obtención de este coeficiente de reducción se sigue el apartado 6.3 del DB SE-A del C.T.E. fijándose en la Figura 6.3 que muestra las curvas de pandeo en función de la esbeltez reducida.

Para la obtención de esa esbeltez reducida, se necesitan la esbeltez de Euler y la esbeltez mecánica.

Para esta última hay que tener en cuenta que se tiene un perfil de inercia variable, por lo tanto hay que acudir al apartado 6.6.2.3 del DB SE-A. Como resultado, la esbeltez mecánica se obtiene con la siguiente fórmula:

$$\lambda_k = L_k * \sqrt{\frac{A_{med}}{I_k}}$$

Siendo:

- L_k: la longitud de pandeo.
- A_{med}: el área media de la barra.
- I_k: momento de inercia medio ponderado.

La longitud de pandeo se obtiene de la siguiente manera:

$$L_k = \beta * L$$

Siendo:

- B: coeficiente de longitud de pandeo
- L: longitud de la barra

Se conoce que la longitud del pilar son 14 m y el coeficiente de longitud de pandeo se obtiene con ayuda del programa informático CYPE y adopta un valor de 2.44.

Por lo tanto la longitud de pandeo es igual a:

$$L_k = \beta * L = 2.44 * 14\ m * 1000 = 34160\ mm$$

Para la obtención del área media de la barra, A_{med}, se hace una media ponderada entre las secciones del pilar:

$$A_{med} = \left(\left(\frac{A_{min} + A_{máx}}{2}\right) * 10.7 + A_{máx} * 3.3\right)/14 = 15625\ mm^2$$

Para el momento de inercia medio ponderado se siguen las indicaciones del DB SE-A:

$$I_k = c * I_{máx}$$

Para determinar el valor de c se acude a la tabla 6.4 del DB SE-A y se busca la variación de la sección que coincida con este caso, que como se puede observar es la primera fila de tabla.

Una vez que ya se sabe que el dintel pertenece a la primera variación de la sección que se expone en la tabla, se necesitan conocer los valores de a y de v.

Siendo v:

$$v = \sqrt{\frac{I_{min}}{I_{max}}}$$

Donde:

- I_{min}: inercia mínima de la sección (h=300 mm)
- $I_{máx}$: inercia máxima de la sección (h=900 mm)

Si se calculan las inercias de ambas secciones se obtienen los siguientes resultados:

$$I_{min} = 226.33 * 10^6\ mm^4$$
$$I_{max} = 2494.96 * 10^6\ mm^4$$

Por lo tanto:

$$v = \sqrt{\frac{I_{min}}{I_{max}}} = \sqrt{\frac{226.33 * 10^6}{2494.96 * 10^6}} = 0.3$$

El valor de a, es una relación entre la longitud de la sección constante y la longitud total del perfil que adopta el siguiente valor:

$$a = \frac{3.3}{14} = 0.23$$

Ya se puede obtener de la tabla 6.4 el valor de c sabiendo que a=0.23 y v=0.3.

$$c = 0.391$$

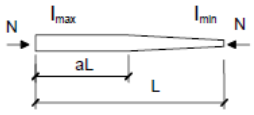
Variación de la sección	v / a	Coeficiente c siendo $v = \sqrt{I_{min}/I_{max}}$									
		0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
	0,0	0,121	0,220	0,316	0,412	0,509	0,606	0,703	0,801	0,900	1,000
	0,1	0,140	0,247	0,348	0,447	0,542	0,636	0,729	0,820	0,911	1,000
	0,2	0,166	0,284	0,391	0,490	0,585	0,675	0,761	0,844	0,923	1,000
	0,3	0,203	0,333	0,446	0,547	0,639	0,722	0,800	0,871	0,938	1,000
	0,4	0,257	0,403	0,521	0,620	0,705	0,779	0,844	0,902	0,953	1,000
	0,5	0,340	0,502	0,620	0,771	0,784	0,843	0,892	0,933	0,969	1,000
	0,6	0,477	0,641	0,745	0,815	0,867	0,906	0,936	0,961	0,982	1,000
	0,7	0,697	0,814	0,875	0,913	0,938	0,957	0,971	0,983	0,992	1,000
	0,8	0,922	0,951	0,966	0,976	0,983	0,988	0,992	0,995	0,998	1,000
	≥0,9	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000

Figura 118 Coeficiente C en piezas de sección variable

Con lo que el momento medio ponderado adopta un valor de:

$$I_k = c * I_{máx} = 0.3 * 2494.96 * 10^6 = 975 * 10^6\ mm^4$$

Ya se puede obtener el valor de la esbeltez mecánica:

$$\lambda_k = L_k * \sqrt{\frac{A_{med}}{I_k}} = 34160 * \sqrt{\frac{15625}{975 * 10^6}} = 135.06$$

La esbeltez de Euler sigue valiendo lo mismo que en apartados anteriores:

$$\lambda_E = \pi * \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 86.8$$

Por lo que la esbeltez reducida adopta el siguiente valor:

$$\bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_E} = \frac{135.06}{86.8} = 1.55$$

Por último, se acude a las curvas de pandeo. Para saber en qué curva hay que fijarse se acude a la tabla 6.2 de DB SE-A y ahí se explica que para perfiles armados en I, como es el caso, con espesores menores de 40 mm y pandeo en el eje y, hay que acudir a la curva b.

$$\chi_y = 0.321$$

A continuación se procederá a obtener el valor del coeficiente de interacción k_y. Para ello se sigue el mismo apartado y se acude a la tabla 6.9 del DB SE-A.

Clase	Tipo de sección	k_y	k_z	k_{yLT}
1 y 2	I, H, abiertas	$1+(\bar{\lambda}_y-0{,}2)\cdot\frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{C,Rd}}$	$1+(2\cdot\bar{\lambda}_z-0{,}6)\cdot\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{C,Rd}}$	el menor de $1-\frac{0{,}1\cdot\bar{\lambda}_z}{(c_{mLT}-0{,}25)}\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{C,Rd}}$
	Hueca delgada		$1+(\bar{\lambda}_z-0{,}2)\cdot\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{C,Rd}}$	$0{,}6+\bar{\lambda}_z$
3 y 4	Todas	$1+0{,}6\cdot\bar{\lambda}_y\cdot\frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{C,Rd}}$	$1+0{,}6\cdot\bar{\lambda}_z\cdot\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{C,Rd}}$	$1-\frac{0{,}05\cdot\bar{\lambda}_z}{(c_{mLT}-0{,}25)}\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{C,Rd}}$

siendo

$\bar{\lambda}_y$ y $\bar{\lambda}_z$ valores de las esbelteces reducidas para los ejes y – y y z – z, no mayores que 1,00.

$N_{C,Rd} = A^{*}\cdot\frac{f_y}{\gamma_{M1}}$

Figura 119 Coeficientes de interacción

Ya que se cuenta con sección de clase 4, la fórmula será la que aparece en la Figura 100:

$$k_y = 1 + 0.6 * \bar{\lambda}_y * \frac{N_{Ed}}{\chi_y * N_{c,rd}}$$

Sin embargo, se puede observar en la Tabla 6.9 el comentario que aparece en la parte inferior acerca de que el valor de las esbelteces reducidas tomará un valor no mayor que uno. Al tener una esbeltez reducida de 1.83, en la fórmula del coeficiente de interacción, k_y, se sustituirá la esbeltez reducida por el valor de la unidad.

$$k_y = 1 + 0.6 * \bar{\lambda}_y * \frac{N_{Ed}}{\chi_y * N_{c,rd}} = 1 + 0.6 * 1 * \frac{520.18}{0.321 * 4334.6} = 1.21$$

Se continúa obteniendo el factor de momento flector uniforme equivalente, $c_{m,y}$, para ello, se especifica en el apartado 6.3.4.2 del DB SE-A que para barras de pórticos de estructuras sin arriostrar con longitudes de pandeo superiores a las propias barras debe tomarse:

$$c_m = 0.9$$

Para poder realizar la comprobación, solo queda determinar el coeficiente de reducción por pandeo lateral, χ_{LT}. Para calcularlo habrá que seguir las indicaciones del DB SE-A del C.T.E en el apartado 6.3.3.2. En él se especifica, que para obtener dicho coeficiente de reducción, es necesario obtener la esbeltez relativa frente al pandeo lateral, $\bar{\lambda}_{LT}$, que se determina según la relación:

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{eff,y} * f_y}{M_{cr}}}$$

Donde:

- M_{cr}: momento crítico elástico de pandeo lateral. Se determinará según la teoría de la elasticidad de acuerdo al apartado 6.3.3.3 del DB SE-A.
- Wy: módulo resistente elástico que en este caso corresponde al de la sección eficaz.

Por lo tanto, se va a determinar el momento crítico elástico del pandeo lateral. Siguiendo las indicaciones de la norma se calcula con la siguiente ecuación:

$$M_{cr} = \sqrt{M_{LT\,v}^2 + M_{LT\,W}^2}$$

Siendo:

- $M_{LT\,v}$= componente del momento crítico que representa la resistencia por torsión uniforme de la barra
- $M_{LT\,w}$= componente del momento crítico que representa la resistencia por torsión no uniforme de la barra

En el mismo apartado, se especifica que para secciones de clase 4 (Esbeltas) se adoptará $M_{LT\,v}$ igual a cero. Así que solo queda determinar la componente $M_{LT\,w}$ que tal y como indica la norma se calcula de la siguiente forma:

$$M_{LT\,w} = W_{eff,y} * \frac{\pi^2 * E}{L_c^2} * C_1 * i_{f,z}^2$$

Siendo:

- $W_{eff,y}$: módulo resistente elástico de la sección eficaz, correspondiente a la fibra más comprimida.
- $i_{f,z}$: radio de giro, con respecto al eje de menor inercia de la sección, del soporte formado por el ala comprimida y la tercera parte de la zona comprimida del alma eficaz, adyacente al ala comprimida
- C_1: este factor tiene en cuenta las condiciones de apoyo y la ley de momentos flectores que solicitan la viga. Su valor se obtiene de la Tabla 6.7 del DB SE-A.

Primero se va a determinar el factor C_1 acudiendo a la Tabla 6.7.

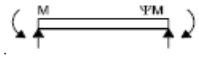
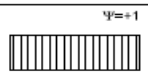
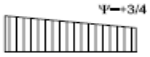
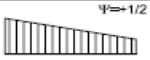
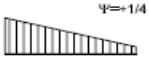
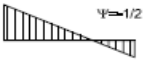
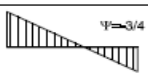
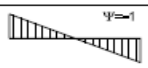
Condiciones de apoyo y tipo de solicitación	Diagrama de momentos flectores	C_1
		1
		1,14
		1,32
		1,56
		1,88
		2,28
		2,7
		2,93
		2,75

Figura 120 Valor del factor C_1

Gracias al software comercial CYPE, se puede consultar la distribución de momentos que se tiene en esa zona del pilar.

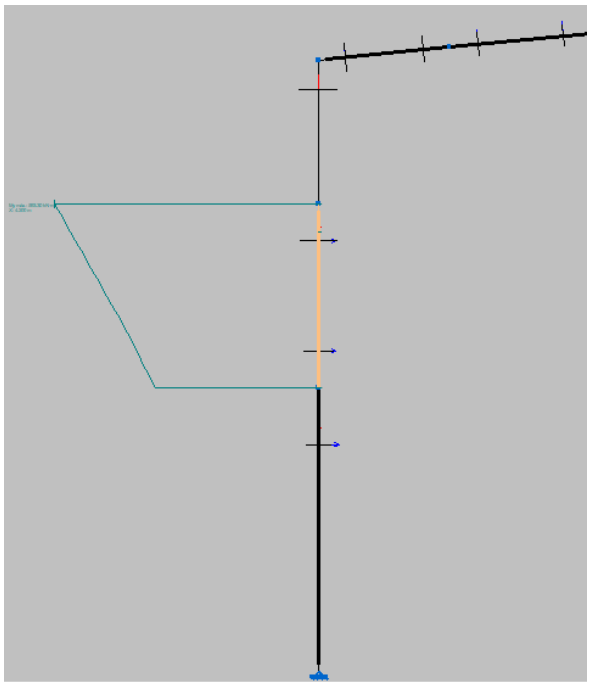


Figura 121Distribución de momentos entre 6.5 m y 10.7 m del pilar.

Se procede a comparar el momento de la Figura 121 con los de la Figura 120 para averiguar el factor C_1. Para ello es necesario el momento en valor de cálculo en la sección a 6.5 m. Por lo tanto, se obtienen las acciones por hipótesis que actúan en esa sección, gracias al software comercial CYPE, y se les aplica la misma combinación de esfuerzos que fue aplicada para los esfuerzos a 10.7.

Con ello se obtiene un momento máximo de:

$$M_{y,Ed}(6.5\ metros) = 366.5\ KN * m$$

Por lo tanto la relación de momentos a un lado y otro del tramo es:

$$\frac{M_{y,Ed}(6.5\ metros)}{M_{y,Ed}(10.7\ metros)} = \frac{366.5}{601.72} = 0.62$$

Por lo tanto se puede atribuir un factor C_1 de 1.14 al ser aproximadamente el momento en 6.5 metros ¾ del momento en 10.7 metros, tal y como indica la Figura 120.

A continuación se determinará el valor de L_c. Como se ha dicho anteriormente, el tramo 2 de estudio comprende desde los 6.5 metros hasta los 10.7 metros. Por tanto:

$$L_c = 4200\ mm$$

Por último, para poder calcular la componente del momento crítico que representa la resistencia por torsión no uniforme de la barra, $M_{LT\,w}$, es necesario calcular el radio de giro de la cabeza de la sección en el eje de menor inercia, es decir respecto al eje z.

Tal y como indica C.T.E.:

$$i_{f,z}{}^2 = \frac{I_{f,z}}{A_f}$$

La inercia de la cabeza de la sección respecto al eje z se determina a partir de:

$$I_{f,z} = \frac{b^3 * t_f}{12} = \frac{350^3 * 15}{12} = 53.6 * 10^6\ mm^4$$

Para el área de la cabeza, como se ha dicho anteriormente, se escogerá la parte del ala comprimida y la tercera parte de la zona comprimida. Además, se tendrá en cuenta la zona del alma de la sección eficaz (Ver Figura 115). Por lo tanto:

$$A_f = 15 * 350 + 181.82 * 8 = 6704.56\ mm^2$$

Ya se puede calcular el cuadrado del radio de giro de la cabeza de la sección en el eje z:

$${i_{f,z}}^2 = \frac{I_{f,z}}{A_f} = \frac{53.6 * 10^6}{6704.56} = 7994.5\ mm^2$$

Y por tanto, ya se puede calcular la componente del momento crítico que representa la resistencia por torsión no uniforme de la barra, $M_{LT\,w}$, y el momento crítico elástico del pandeo lateral, M_{cr}.

$$M_{LT\,w} = W_{eff,y,sup} * \frac{\pi^2 * E}{L_c^2} * C_1 * i_{f,z}^2 =$$

$$5331.8 * 10^3 * \frac{\pi^2 * 2.1 * 10^5}{4200^2} * 1.14 * 7994.5 = 5709.4\ KN * m$$

$$M_{cr} = \sqrt{M_{LT\,v}^2 + M_{LT\,W}^2} = \sqrt{0 + 5709.4^2} = 5709.4\ KN * m$$

Una vez que ya se cuenta con el momento crítico, la esbeltez relativa frente al pandeo lateral queda de la siguiente forma:

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{eff,y} * f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{5555.5 * 10^3 * 275}{5709.4 * 10^6}} = 0.5$$

Para determinar el coeficiente de reducción, se necesita saber a qué curva de pandeo pertenece este caso, para ello se acude a la Tabla 6.6 del DB SE-A.

Elemento	Límites	Curva de pandeo
Perfil laminado con sección en doble T	h/b ≤ 2	a
	h/b > 2	b
Elemento armado con sección en doble T	h/b ≤ 2	c
	h/b > 2	d
Elementos con otras secciones	-	d

Figura 122 Curvas de pandeo según el elemento

Como puede observarse en la Figura 103, este caso pertenece a "Elemento armado con sección en doble T". Falta determinar la relación h/b:

$$\frac{h}{b} = \frac{900}{350} = 2.57 > 2$$

Por lo tanto le corresponde la curva de pandeo d.

Jorge Alonso Sanz

Se acude a las curvas y se obtiene que el coeficiente de reducción por pandeo lateral:

$$\chi_{LT} = 0.779$$

Ya se cuenta con todos los parámetros para poder realizar la comprobación de estabilidad bajo la interacción de esfuerzos:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y * A_{eff} * f_{yd}} + k_y \frac{c_{m,y} * M_{y,Ed} + e_{N,y} * N_{Ed}}{\chi_{LT} * W_{eff,y} * f_{yd}} =$$

$$\frac{520.18 * 10^3}{0.321 * 16550.8 * \frac{275}{1.05}} + 1.21 \frac{0.9 * 601.72 * 10^6 + 0.01 * 520.18 * 10^3}{0.779 * 5331.8 * 10^3 * \frac{275}{1.05}} =$$

$$0.35 + 0.60 = 0.95 \leq 1 \ (CUMPLE)$$

Además, como se ha dicho anteriormente, en las piezas susceptibles de pandeo por torsión deberá comprobarse:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z * A_{eff} * f_{yd}} + k_{y,LT} \frac{M_{y,Ed} + e_{N,y} * N_{Ed}}{\chi_{LT} * W_{eff,y} * f_{yd}} \leq 1$$

Para ello es necesario obtener el coeficiente de reducción por pandeo en el eje z, χ_z.

Para la obtención de este coeficiente de reducción se sigue el apartado 6.3 del DB SE-A del C.T.E. fijándose en la Figura 6.3 que muestra las curvas de pandeo en función de la esbeltez reducida.

Para la obtención de esa esbeltez reducida, se necesitan la esbeltez de Euler y la esbeltez mecánica.

Para esta última hay que tener en cuenta que se tiene un perfil de inercia variable, por lo tanto hay que acudir al apartado 6.6.2.3 del DB SE-A. Como resultado, la esbeltez mecánica se obtiene con la siguiente fórmula:

$$\lambda_k = L_k * \sqrt{\frac{A_{med}}{I_k}}$$

Siendo:

- L_k: la longitud de pandeo.
- A_{med}: el área media de la barra.
- I_k: momento de inercia medio ponderado.

La longitud de pandeo se obtiene de la siguiente manera:

$$L_k = \beta * L$$

Siendo:

- B: coeficiente de longitud de pandeo
- L: longitud de la barra

Se conoce que la longitud de pandeo en el eje z (Plano X-Y de la barra) son 2.5 metros, ya que se encuentra arriostrado en ese plano por las correas de fachada lateral y el coeficiente de longitud de pandeo, β, es igual a 1 ya que se considera articulado en ambos extremos de ese plano.

Por lo tanto la longitud de pandeo es igual a:

$$L_k = \beta * L = 1 * 2.5m * 1000 = 2500\ mm$$

El valor del área media, es el mismo que se calculó para la obtención del coeficiente de reducción por pandeo del eje y.

$$A_{med} = 15625\ mm^2$$

Para el momento de inercia medio ponderado se siguen las indicaciones del DB SE-A:

$$I_k = c * I_{máx}$$

Para determinar el valor de c se acude a la tabla 6.4 del DB SE-A y se busca la variación de la sección que coincida con este caso.

Sin embargo, se puede intuir que, ya que el perfil solo varía en la distancia del alma a lo largo de su longitud, la inercia en el eje z se mantendrá constante de principio a fin del pilar, por lo que el valor de c, que ya se explicó anteriormente como se calculaba, adoptará un valor de 1 ya que la inercia máxima y mínima son iguales, y por tanto la inercia equivalente (I_k).

Por lo tanto solo es necesario calcular la inercia de una sección, y se ha elegido la de la sección de canto h=300 mm:

$$I_z = \frac{350^3 * 15}{12} * 2 + \frac{5^3 * (300 - 30)}{12} = 107.2 * 10^6\ mm^4$$

Lo que da como resultado una esbeltez mecánica de valor:

$$\lambda_k = L_k * \sqrt{\frac{A_{med}}{I_k}} = 2500 * \sqrt{\frac{15625}{107.2 * 10^6}} = 30.17$$

La esbeltez de Euler sigue valiendo lo mismo que en apartados anteriores:

$$\lambda_E = 86.8$$

Por lo que la esbeltez reducida adopta el siguiente valor:

$$\bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_k}{\lambda_E} = \frac{30.17}{86.8} = 0.34$$

Por último, se acude a las curvas de pandeo. Para saber en qué curva hay que fijarse se acude a la tabla 6.2 de DB SE-A y ahí se explica que para perfiles armados en I, como es el caso, con espesores menores de 40 mm y pandeo en el eje z, hay que acudir a la curva c.

$$\chi_z = 0.929$$

Seguidamente se calcula el coeficiente de interacción $k_{y,LT}$. Para ello, tal y como se hizo antes se acude a la tabla 6.9 del DB SE-A.

Clase	Tipo de sección	k_y	k_z	k_{yLT}
1 y 2	I, H, abiertas	$1+(\bar{\lambda}_y-0{,}2)\cdot\frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{C,Rd}}$	$1+(2\cdot\bar{\lambda}_z-0{,}6)\cdot\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{C,Rd}}$	el menor de $1-\frac{0{,}1\cdot\bar{\lambda}_z}{(c_{mLT}-0{,}25)}\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{C,Rd}}$
	Hueca delgada		$1+(\bar{\lambda}_z-0{,}2)\cdot\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{C,Rd}}$	$0{,}6+\bar{\lambda}_z$
3 y 4	Todas	$1+0{,}6\cdot\bar{\lambda}_y\cdot\frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{C,Rd}}$	$1+0{,}6\cdot\bar{\lambda}_z\cdot\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{C,Rd}}$	$1-\frac{0{,}05\cdot\bar{\lambda}_z}{(c_{mLT}-0{,}25)}\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{C,Rd}}$

siendo

$\bar{\lambda}_y$ y $\bar{\lambda}_z$ valores de las esbelteces reducidas para los ejes y – y y z – z, no mayores que 1,00.

Figura 123 Coeficientes de interacción

Ya que se cuenta con sección de clase 4, la fórmula será la que aparece en la Figura 104:

$$k_{y,LT} = 1 - \frac{0.05 * \bar{\lambda}_z}{(c_{m,LT} - 0.25)} * \frac{N_{Ed}}{\chi_z * N_{c,rd}}$$

Se continúa obteniendo el factor de momento flector uniforme equivalente, $c_{m,LT}$, para ello, se especifica en el apartado 6.3.4.2 del DB SE-A que para barras de pórticos de estructuras sin arriostrar con longitudes de pandeo superiores a las propias barras debe tomarse:

$$c_{m,LT} = 0.9$$

$$k_{y,LT} = 1 - \frac{0.05 * \bar{\lambda}_z}{(c_{m,LT} - 0.25)} * \frac{N_{Ed}}{\chi_z * N_{c,rd}} = 1 - \frac{0.05 * 0.34}{0.9 - 0.25} * \frac{520.18}{0.918 * 4334.65} = 1$$

Ya se puede realizar la comprobación al ser pieza susceptible de pandeo por torsión:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z * A_{eff} * f_{yd}} + k_{y,LT}\frac{M_{y,Ed} + e_{N,y} * N_{Ed}}{\chi_{LT} * W_{eff,y} * f_{yd}} =$$

$$\frac{520.18 * 10^3}{0.929 * 16550.8 * \frac{275}{1.05}} + 1 * \frac{601.72 * 10^6 + 0.01 * 520.18 * 10^3}{0.779 * 5331.8 * 10^3 * \frac{275}{1.05}} =$$

$$0.13 + 0.56 = 0.69 \leq 1\ (CUMPLE)$$

Como se ha visto, el tramo del pilar que va desde los 6.5 metros a los 10.7 metros, cumple con las comprobaciones de estabilidad con un aprovechamiento máximo del 95% de su capacidad.

<u>Tramo 1:</u>

Como se ha dicho anteriormente, el tramo 1 es el que comprende desde la base del pilar hasta 6.5 metros de altura.

Los esfuerzos máximos en este tramo son menores que en el tramo 2, sin embargo la mayor sección del tramo 1 también es más reducida que la mayor del tramo 2. Además las longitudes entre puntos de arriostramiento del ala interior del pilar son mayores en el tramo 1.

Por lo que se considera una sección significativa y para comprobar su estabilidad primero ha de comprobarse que tipo de secciones se tiene en ese tramo.

La clase de sección va a comprobarse igual que se ha hecho con anterioridad, siguiendo el apartado 5.2.4 del DB SE-A del C.T.E.

Se comienza por estudiar las alas, que son iguales en todo el pilar. Para ello se acude a la Tabla 5.4 del DB SE-A a la fila de compresión ya que las alas siguen prácticamente una distribución de esfuerzos contante:

Tabla 5.4 Límites de esbeltez para elementos planos, apoyados en un borde y libre el otro, total o parcialmente comprimidos.

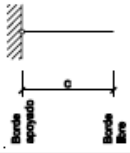
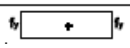
Solicitación	Geometría y Elemento plano	Límite de esbeltez: c/t máximo		
		Clase 1	Clase 2	Clase 3
Compresión + Tracción -				
Compresión		9ε	10 ε	14 ε

Figura 124 Límites de esbeltez para elementos apoyados en un borde y libres en el otro

Por lo tanto aplicando dicho procedimiento:

$$ALA \rightarrow \frac{c}{t_f} = \frac{\frac{b}{2}}{t_f} = \frac{175}{15} = 11.66 < 14 * \varepsilon = 14 * \sqrt{\frac{235}{275}} = 12.94 \rightarrow CLASE\ 3$$

La sección inicial de canto 300 mm ya se comprobó en el tramo 2 y se obtuvo como resultado que era de clase 3.

Para la sección final del tramo 1, es necesario saber qué canto tiene el perfil a la altura de 6.5 m. Se procede de la misma forma que se hizo con el dintel y se obtiene que a 6.5 m de altura el canto del perfil es de 639.8 mm.

A continuación se acude a la tabla 5.3 del DB SE-A. Esta vez el alma del perfil, además de estar solicitada a un esfuerzo de flexión simple, también está solicitada a compresión, en su mayoría gracias las cargas transmitidas por el puente grúa, por lo que habrá que acudir a la fila de flexo compresión. Para determinar qué tipo de sección se tiene, se procede igual que antes:

$$Alma\ h = 639.8\ mm: \frac{h - 2 * t_f}{t_w} = \frac{639.8 - 2 * 15}{8} = 76.25$$

Ahora, el valor de comparación se obtiene de distinta forma, tal y como se observa en la Figura 125 el valor de comparación:

$$\frac{42 * \varepsilon}{0.67 + 0.33 * \Psi}$$

Siendo Ψ la relación entre las tensiones de tracción y compresión.

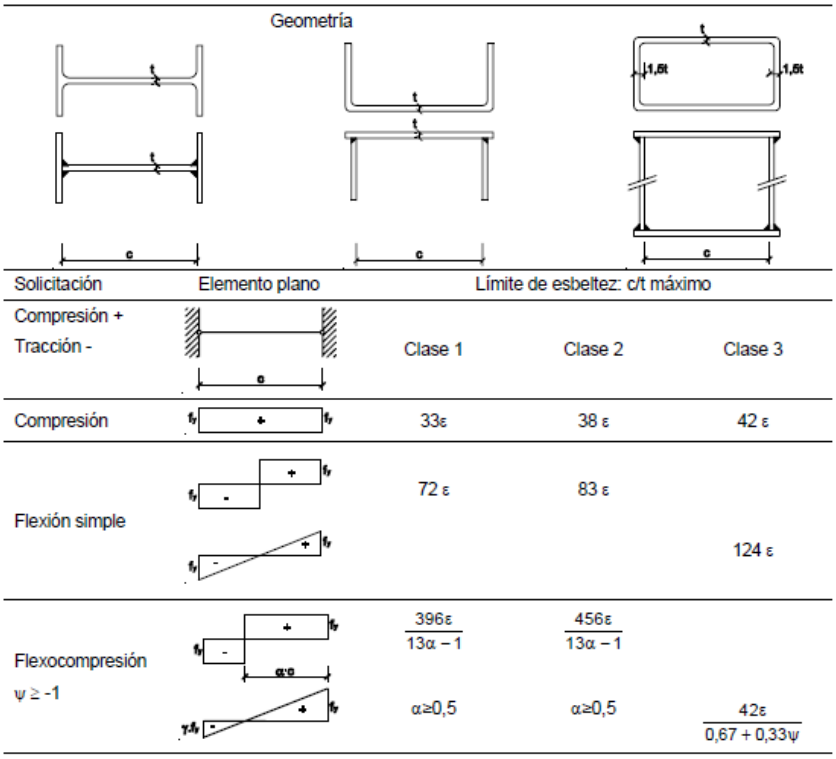


Figura 125 Límites de esbeltez para elementos apoyados en dos bordes

Por lo tanto, es preciso conocer el axil y el flector en valor de cálculo que actúa en esa sección a 6.5 metros de la base del pilar. Para ello, se elabora una tabla de tensiones por hipótesis y así poder deducir cual es la combinación más desfavorable de esfuerzos.

6,5 metros [KN,m]	CP	N	V1a	V1b	V2	SCUpg(frena+)	SCUpg(frena-)
Nx	-43,31	-38,5	47,2	8,4	42	-294,6	-296,16
Vz	-8,5	-16	18,78	111,82	13,9	-2,8	-21,85
My	55,52	104,68	-211,6	-166,8	-30,44	18,8	142,05

Tabla 20 Acciones por hipótesis a 6.5 metros de la base del pilar

Se puede deducir que la combinación más desfavorable de esfuerzos será:

$$1.35\ CP + 1.5\ SCU_{PG(frena-)} + 1.5*0.5\ N$$

Lo que dará lugar a unos axiles y unos flectores de valor:

$$N_{Ed} = 1.35 * (-43.31) + 1.5 * (-296.16) + 1.5 * 0.5 * (-38.5) = -531.5\ KN$$

$$M_{y,Ed} = 1.35 * (55.52) + 1.5 * (142.05) + 1.5 * 0.5 * (104.68) = 366.5\ KN * m$$

A continuación, se calculan las propiedades de la sección bruta.

$$A_1 = 14884\ mm^2$$

$$W_1 = \frac{I_1}{\frac{h_{máx}}{2}} = \frac{941.7 * 10^6}{\frac{639.8}{2}} = 3258.4 * 10^3 mm^3$$

Ya se puede determinar cuánto valdrá el esfuerzo provocado por el axil y por el flector.

$$\sigma_{x,Ned} = \frac{N_{Ed}}{A_1} = 35.7\ MPa$$

$$\sigma_{x,My} = \frac{M_{y,Ed}}{W_1} = 112.5\ MPa$$

Por lo tanto, la distribución de esfuerzos de la sección bruta queda de la siguiente forma:

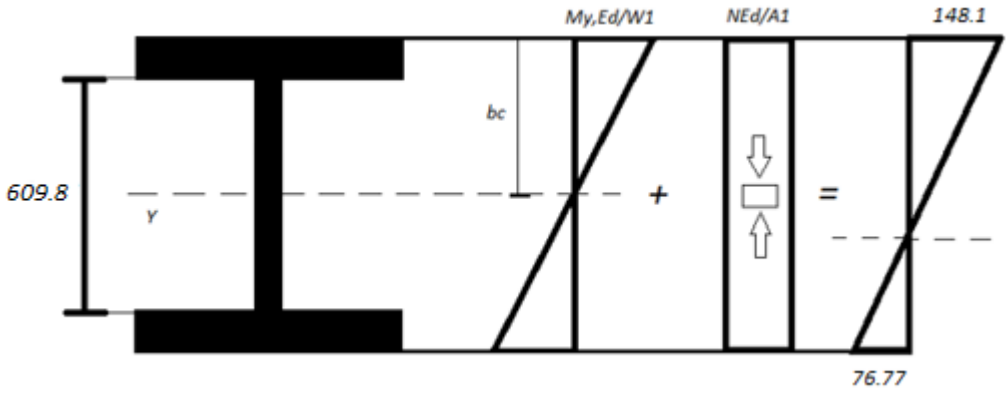


Figura 126 Distribución de esfuerzos sección bruta

Ya se puede obtener la relación entre los esfuerzos de tracción y compresión, siendo los valores de tracción tomados como negativos.

$$\Psi = \frac{-76.77}{148.1} = -0.51$$

Por lo tanto el valor de comparación adopta el siguiente valor:

$$\frac{42 * \varepsilon}{0.67 + 0.33 * \Psi} = \frac{42 * 0.9244}{0.67 + 0.33 * (-0.51)} = 77.38$$

Como se puede observar, el valor obtenido anteriormente para comprobar que tipo de sección se tiene, es de 76.25, mientras que el valor de comparación que indica el valor máximo para que la sección sea de clase 3, es de 77.38, por lo que se tiene una sección de clase 3 y se procede a realizar la comprobación de estabilidad.

Para realizar la comprobación de estabilidad se tendrá en cuenta la interacción de esfuerzos según dicta el C.T.E en el apartado 6.3.4.2 del DB SE-A (Elementos comprimidos y flectados). Además, al ser el perfil del pilar una IPE, se tendrá en cuenta como susceptible de pandeo por torsión.

6.3.4.2 Elementos comprimidos y flectados

1 A menos que se lleve a cabo un estudio más preciso mediante el procedimiento general descrito en 5.4, las comprobaciones de estabilidad de pieza se realizarán aplicando las fórmulas que se indican a continuación, distinguiendo entre las que sean sensibles o no a la torsión (por ejemplo secciones abiertas o cerradas respectivamente).

La comprobación se llevará a cabo con las fórmulas siguientes:

Para toda pieza:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot A^* \cdot f_{yd}} + k_y \cdot \frac{c_{m,y} \cdot M_{y,Ed} + e_{N,y} \cdot N_{Ed}}{\chi_{LT} W_y \cdot f_{yd}} + \alpha_z \cdot k_z \cdot \frac{c_{m,z} \cdot M_{z,Ed} + e_{N,z} \cdot N_{Ed}}{W_z \cdot f_{yd}} \leq 1 \quad (6.51)$$

Además, sólo en piezas no susceptibles de pandeo por torsión

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot A^* \cdot f_{yd}} + \alpha_y \cdot k_y \cdot \frac{c_{m,y} \cdot M_{y,Ed} + e_{N,y} \cdot N_{Ed}}{W_y \cdot f_{yd}} + k_z \cdot \frac{c_{m,z} \cdot M_{z,Ed} + e_{N,z} \cdot N_{Ed}}{W_z \cdot f_{yd}} \leq 1 \quad (6.52)$$

Además, sólo en piezas susceptibles de pandeo por torsión

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot A^* \cdot f_{yd}} + k_{yLT} \cdot \frac{M_{y,Ed} + e_{N,y} \cdot N_{Ed}}{\chi_{LT} W_y \cdot f_{yd}} + k_z \cdot \frac{c_{m,z} \cdot M_{z,Ed} + e_{N,z} \cdot N_{Ed}}{W_z \cdot f_{yd}} \leq 1 \quad (6.53)$$

Figura 127 Comprobación de estabilidad de elementos comprimidos y flectados

Las ecuaciones para comprobar la estabilidad de la Figura 127 se pueden simplificar ya que no existe momento flector en el eje z, y el desplazamiento del centro de gravedad en el eje "Y" y "Z" es cero, por lo que las fórmulas quedan de la siguiente forma:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y * A_1 * f_{yd}} + k_y \frac{c_{m,y} * M_{y,Ed}}{\chi_{LT} * W_{y,1} * f_{yd}} \leq 1$$

Además, en las piezas susceptibles de pandeo por torsión deberá comprobarse:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z * A_1 * f_{yd}} + k_{y,LT} \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} * W_{y,1} * f_{yd}} \leq 1$$

Como valores de cálculo de axil y momento flector en el eje y se tomarán los que ya fueron calculados para obtener la clase de la sección. Es decir:

$$N_{Ed} = -531.5\ KN$$

$$M_{y,Ed} = 366.5\ KN * m$$

A continuación se procederá a obtener el valor del coeficiente de interacción k_y. Para ello se sigue el mismo apartado y se acude a la tabla 6.9 del DB SE-A.

Clase	Tipo de sección	k_y	k_z	k_{yLT}
1 y 2	I, H, abiertas	$1+(\bar{\lambda}_y-0{,}2)\cdot\frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{C,Rd}}$	$1+(2\cdot\bar{\lambda}_z-0{,}6)\cdot\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{C,Rd}}$	el menor de $1-\frac{0{,}1\cdot\bar{\lambda}_z}{(c_{mLT}-0{,}25)}\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{C,Rd}}$
	Hueca delgada		$1+(\bar{\lambda}_z-0{,}2)\cdot\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{C,Rd}}$	$0{,}6+\bar{\lambda}_z$
3 y 4	Todas	$1+0{,}6\cdot\bar{\lambda}_y\cdot\frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{C,Rd}}$	$1+0{,}6\cdot\bar{\lambda}_z\cdot\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{C,Rd}}$	$1-\frac{0{,}05\cdot\bar{\lambda}_z}{(c_{mLT}-0{,}25)}\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{C,Rd}}$

siendo

$\bar{\lambda}_y$ y $\bar{\lambda}_z$ valores de las esbelteces reducidas para los ejes y – y y z – z, no mayores que 1,00.

$N_{C,Rd} = A^{*}\cdot\frac{f_y}{\gamma_{M1}}$

Figura 128 Coeficientes de interacción

Ya que se cuenta con sección de clase 3, la fórmula será la que aparece en la Figura 128:

$$k_y = 1 + 0.6 * \bar{\lambda}_y * \frac{N_{Ed}}{\chi_y * N_{c,rd}}$$

Sin embargo, se puede observar en la Tabla 6.9 el comentario que aparece en la parte inferior acerca de que el valor de las esbelteces reducidas tomará un valor no mayor que uno. Al tener una esbeltez reducida de 1.55, en la fórmula del coeficiente de interacción, k_y, se sustituirá la esbeltez reducida por el valor de la unidad.

$$k_y = 1 + 0.6 * \bar{\lambda}_y * \frac{N_{Ed}}{\chi_y * N_{c,rd}} = 1 + 0.6 * 1 * \frac{531.5}{0.321 * 3898.11} = 1.23$$

Se continúa obteniendo el factor de momento flector uniforme equivalente, $c_{m,y}$, para ello, se especifica en el apartado 6.3.4.2 del DB SE-A que para barras de pórticos de estructuras sin arriostrar con longitudes de pandeo superiores a las propias barras debe tomarse:

$$c_m = 0.9$$

Para poder realizar la comprobación, solo queda determinar el coeficiente de reducción por pandeo lateral, χ_{LT}. Para calcularlo habrá que seguir las indicaciones del DB SE-A del C.T.E en el apartado 6.3.3.2. En él se especifica, que para obtener dicho coeficiente de reducción, es necesario obtener la esbeltez relativa frente al pandeo lateral, $\bar{\lambda}_{LT}$, que se determina según la relación:

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_y * f_y}{M_{cr}}}$$

Donde:

- M_{cr}: momento crítico elástico de pandeo lateral. Se determinará según la teoría de la elasticidad de acuerdo al apartado 6.3.3.3 del DB SE-A.
- Wy: módulo resistente elástico que en este caso corresponde al de la sección eficaz.

Por lo tanto, se va a determinar el momento crítico elástico del pandeo lateral. Siguiendo las indicaciones de la norma se calcula con la siguiente ecuación:

$$M_{cr} = \sqrt{M_{LT\,v}^2 + M_{LT\,W}^2}$$

Siendo:

- $M_{LT\,v}$= componente del momento crítico que representa la resistencia por torsión uniforme de la barra
- $M_{LT\,w}$= componente del momento crítico que representa la resistencia por torsión no uniforme de la barra

Para calcular la componente del momento crítico que representa la resistencia por torsión uniforme de la barra, $M_{LT\,v}$, se siguen las indicaciones de la norma y se aplica la siguiente fórmula:

$$M_{LT\,v} = C_1 * \frac{\pi}{L_c} * \sqrt{G * I_t * E * I_z}$$

Siendo:

- C_1: este factor tiene en cuenta las condiciones de apoyo y la ley de momentos flectores que solicitan la viga. Su valor se obtiene de la Tabla 6.7 del DB SE-A.
- L_c: longitud de pandeo lateral (Distancia entre apoyos laterales que impidan el pandeo lateral)
- G: módulo de elasticidad transversal
- E: módulo de elasticidad
- I_t: constante de torsión uniforme

Al ser el material acero S-275, se conocen las propiedades G y E.

A continuación se va a determinar el factor C_1 acudiendo a la Tabla 6.7.

Condiciones de apoyo y tipo de solicitación	Diagrama de momentos flectores	C_1
	Ψ=+1	1
	Ψ=+3/4	1,14
	Ψ=+1/2	1,32
	Ψ=+1/4	1,56
M ΨM	Ψ=0	1,88
	Ψ=-1/4	2,28
	Ψ=-1/2	2,7
	Ψ=-3/4	2,93
	Ψ=-1	2,75

Figura 129 Valor del factor C_1

Gracias al software comercial CYPE, se puede consultar la distribución de momentos que se tiene en esa zona del pilar.

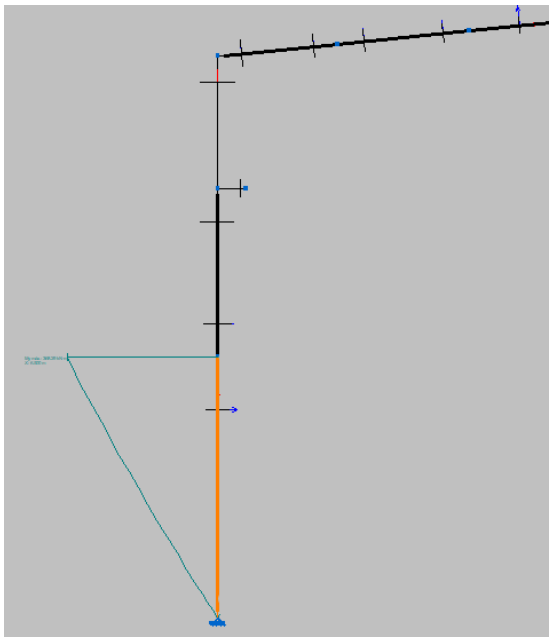


Figura 130 Distribución de momentos entre 0 m y 6.5 m del pilar.

Se procede a comparar el momento de la Figura 130 con los de la Figura 129 para averiguar el factor C_1. Por lo tanto, se puede atribuir un factor C_1 de 1.88.

A continuación se determinará el valor de L_c. Como se ha dicho anteriormente, el tramo 1 de estudio comprende desde los 0 metros hasta los 6.5 metros. Por tanto:

$$L_c = 6500\ mm$$

Por lo tanto, solo queda determinar la constante de torsión uniforme, I_t.

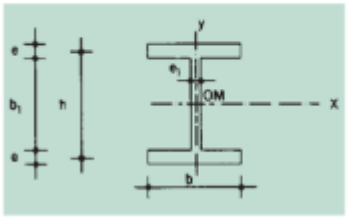
Sección	Coordenadas del centro de esfuerzos cortantes M	Módulo de torsión I_t cm^4
	$x_0 = 0$ $y_0 = 0$	$\frac{2be^3 + b_1e_1^3}{3}$

Figura 131 Características de torsión en perfiles IPE

Siguiendo la fórmula de la Figura 131 al ser un perfil IPE:

$$I_t = \frac{2 * b * e^3 + b_1 * e_1^3}{3} = \frac{2 * 350 * 15^3 + 609.8 * 8^3}{3} = 0.89 * 10^6\ mm^4$$

Ya se puede obtener la componente del momento crítico que representa la resistencia por torsión uniforme de la barra, $M_{LT\,v}$:

$$M_{LT\,v} = C_1 * \frac{\pi}{L_c} * \sqrt{G * I_t * E * I_z} =$$

$$= 1.88 * \frac{\pi}{6500} * \sqrt{8.1 * 10^4 * 0.89 * 10^6 * 2.1 * 10^5 * 107.2 * 10^6} = 1151\ KN * m$$

Así que solo queda determinar la componente $M_{LT\,w}$ que tal y como indica la norma se calcula de la siguiente forma:

$$M_{LT\,w} = W_y * \frac{\pi^2 * E}{L_c^2} * C_1 * i_{f,z}^2$$

Siendo:

- W_y: módulo resistente elástico de la sección, correspondiente a la fibra más comprimida.
- $i_{f,z}$: radio de giro, con respecto al eje de menor inercia de la sección, del soporte formado por el ala comprimida y la tercera parte de la zona comprimida del alma eficaz, adyacente al ala comprimida

Para poder calcular la componente del momento crítico que representa la resistencia por torsión no uniforme de la barra, $M_{LT\,w}$, es necesario calcular el radio de giro de la cabeza de la sección en el eje de menor inercia, es decir respecto al eje z.

Tal y como indica C.T.E.:

$$i_{f,z}{}^2 = \frac{I_{f,z}}{A_f}$$

La inercia de la cabeza de la sección respecto al eje z se determina a partir de:

$$I_{f,z} = \frac{b^3 * t_f}{12} = \frac{350^3 * 15}{12} = 53.6 * 10^6\ mm^4$$

Para el área de la cabeza, como se ha dicho anteriormente, se escogerá la parte del ala comprimida y la tercera parte de la zona comprimida (Ver Figura 126). Por lo tanto:

$$A_f = 15 * 350 + 130 * 8 = 6293.56\ mm^2$$

Ya se puede calcular el cuadrado del radio de giro de la cabeza de la sección en el eje z:

$$i_{f,z}{}^2 = \frac{I_{f,z}}{A_f} = \frac{53.6 * 10^6}{6293.56} = 8516.64\ mm^2$$

Y por tanto, ya se puede calcular la componente del momento crítico que representa la resistencia por torsión no uniforme de la barra, $M_{LT\,w}$, y el momento crítico elástico del pandeo lateral, M_{cr}.

$$M_{LT\,w} = W_y * \frac{\pi^2 * E}{L_c^2} * C_1 * i_{f,z}^2 =$$

$$3258.4 * 10^3 * \frac{\pi^2 * 2.1 * 10^5}{6500^2} * 1.88 * 8516.64 = 2559.3\ KN * m$$

$$M_{cr} = \sqrt{M_{LT\,v}^2 + M_{LT\,W}^2} = \sqrt{1151^2 + 2559.3^2} = 2806.2\ KN * m$$

Una vez que ya se cuenta con el momento crítico, la esbeltez relativa frente al pandeo lateral queda de la siguiente forma:

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_y * f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{3258.4 * 10^3 * 275}{2806.2 * 10^6}} = 0.56$$

Para determinar el coeficiente de reducción, se necesita saber a qué curva de pandeo pertenece este caso, para ello se acude a la Tabla 6.6 del DB SE-A.

Elemento	Límites	Curva de pandeo
Perfil laminado con sección en doble T	h/b ≤ 2	a
	h/b > 2	b
Elemento armado con sección en doble T	h/b ≤ 2	c
	h/b > 2	d
Elementos con otras secciones	-	d

Figura 132 Curvas de pandeo según el elemento

Como puede observarse en la Figura 132, este caso pertenece a "Elemento armado con sección en doble T". Falta determinar la relación h/b:

$$\frac{h}{b} = \frac{639.8}{350} = 1.82 < 2$$

Por lo tanto le corresponde la curva de pandeo c.

Se acude a las curvas y se obtiene que el coeficiente de reducción por pandeo lateral:

$$\chi_{LT} = 0.809$$

Ya se cuenta con todos los parámetros para poder realizar la comprobación de estabilidad bajo la interacción de esfuerzos:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y * A * f_{yd}} + k_y \frac{c_{m,y} * M_{y,Ed}}{\chi_{LT} * W_y * f_{yd}} =$$

$$\frac{531.5 * 10^3}{0.321 * 14884 * \frac{275}{1.05}} + 1.23 \frac{0.9 * 366.5 * 10^6}{0.809 * 3258.4 * 10^3 * \frac{275}{1.05}} =$$

$$0.41 + 0.57 = 0.98 \leq 1 \ (CUMPLE)$$

Además, como se ha dicho anteriormente, en las piezas susceptibles de pandeo por torsión deberá comprobarse:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z * A * f_{yd}} + k_{y,LT} \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} * W_y * f_{yd}} \leq 1$$

Hay que tener en cuenta que el coeficiente de reducción por pandeo en el eje z, χ_{LT}, es distinto al del tramo 2 ya que, en este tramo la primera correa se encuentra a 4 metros de altura, por lo tanto:

$$L_k = \beta * L = 1 * 4m * 1000 = 4000\ mm$$

Lo que da como resultado una esbeltez mecánica de valor:

$$\lambda_k = L_k * \sqrt{\frac{A_{med}}{I_k}} = 4000 * \sqrt{\frac{15625}{107.2 * 10^6}} = 48.27$$

Por lo que la esbeltez reducida adopta el siguiente valor:

$$\bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_k}{\lambda_E} = \frac{48.27}{86.8} = 0.54$$

Por último, se acude a las curvas de pandeo. Para saber en qué curva hay que fijarse se acude a la tabla 6.2 de DB SE-A y ahí se explica que para perfiles armados en I, como es el caso, con espesores menores de 40 mm y pandeo en el eje z, hay que acudir a la curva c.

$$\chi_z = 0.82$$

Se calcula el coeficiente de interacción $k_{y,LT}$. Para ello, tal y como se hizo con anterioridad, se acude a la tabla 6.9 del DB SE-A.

Clase	Tipo de sección	k_y	k_z	k_{yLT}
1 y 2	I, H, abiertas	$1+(\bar{\lambda}_y-0{,}2)\cdot\frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{C,Rd}}$	$1+(2\cdot\bar{\lambda}_z-0{,}6)\cdot\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{C,Rd}}$	el menor de $1-\frac{0{,}1\cdot\bar{\lambda}_z}{(c_{mLT}-0{,}25)}\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{C,Rd}}$
	Hueca delgada		$1+(\bar{\lambda}_z-0{,}2)\cdot\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{C,Rd}}$	$0{,}6+\bar{\lambda}_z$
3 y 4	Todas	$1+0{,}6\cdot\bar{\lambda}_y\cdot\frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{C,Rd}}$	$1+0{,}6\cdot\bar{\lambda}_z\cdot\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{C,Rd}}$	$1-\frac{0{,}05\cdot\bar{\lambda}_z}{(c_{mLT}-0{,}25)}\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{C,Rd}}$

siendo

$\bar{\lambda}_y$ y $\bar{\lambda}_z$ valores de las esbelteces reducidas para los ejes y – y y z – z, no mayores que 1,00.

Figura 133 Coeficientes de interacción

Ya que se cuenta con sección de clase 3, la fórmula será la que aparece en la Figura 133:

$$k_{y,LT} = 1 - \frac{0.05 * \bar{\lambda}_z}{(c_{m,LT} - 0.25)} * \frac{N_{Ed}}{\chi_z * N_{c,rd}}$$

Se continúa obteniendo el factor de momento flector uniforme equivalente, $c_{m,LT}$, para ello, se especifica en el apartado 6.3.4.2 del DB SE-A que para barras de pórticos de estructuras sin arriostrar con longitudes de pandeo superiores a las propias barras debe tomarse:

$$c_{m,LT} = 0.9$$

$$k_{y,LT} = 1 - \frac{0.05 * \bar{\lambda}_z}{(c_{m,LT} - 0.25)} * \frac{N_{Ed}}{\chi_z * N_{c,rd}} = 1 - \frac{0.05 * 0.34}{0.9 - 0.25} * \frac{531.5}{0.82 * 3898.11} = 1$$

Al contar con el resto de parámetros, que fueron calculados para el tramo 2, ya se puede realizar la comprobación. Al ser pieza susceptible de pandeo por torsión:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z * A * f_{yd}} + k_{y,LT}\frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} * W_y * f_{yd}} =$$

$$\frac{531.5 * 10^3}{0.82 * 14884 * \frac{275}{1.05}} + 1 * \frac{366.5 * 10^6}{0.809 * 3258.4 * 10^3 * \frac{275}{1.05}} =$$

$$0.15 + 0.53 = 0.68 \leq 1\ (CUMPLE)$$

Como se ha visto, el tramo del pilar que va desde los 0 metros a los 6.5 metros, cumple con las comprobaciones de estabilidad con un aprovechamiento máximo del 98% de su capacidad.

El tramo 3 no se va a comprobar ya que, gracias al programa informático CYPE, se obtiene que posee esfuerzos en valor de cálculo menores que el tramo 2 y además las longitudes entre arriostramientos son menores en este tramo que en el tramo 2, por lo que resulta un caso más favorable y si el otro cumplía, este tramo se asume que cumplirá.

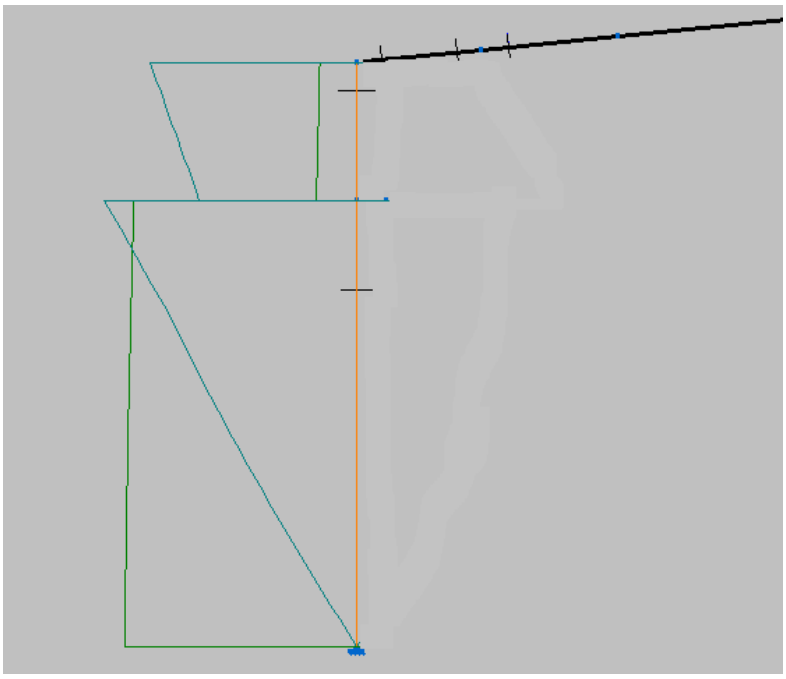


Figura 134 Distribución de esfuerzo axil y flector en el pilar principal

Cabe mencionar además, que la comprobación de estabilidad se realizó con los mayores esfuerzos en valor de cálculo por ser los más desfavorables. Los momentos más desfavorables fueron positivos en los dos tramos del pilar, por lo que era el ala interior a la nave la que se comprimía.

No obstante, habría que realizar la comprobación en la que el momento en valor de cálculo fuera el máximo negativo y comprimiera la fibra exterior a la nave del perfila pesar de ser menor en valor absoluto que el momento que comprime la fibra interior, ya que puede que no cumpliera con la comprobación de estabilidad bajo la interacción de esfuerzos por resultar el coeficiente de reducción de pandeo lateral demasiado restrictivo.

Sin embargo, el DB SE-A del C.T.E. cita en el apartado 6.3.3.1 que no será necesaria la comprobación a pandeo lateral cuando el ala comprimida se arriostra de forma continua o bien de forma puntual a distancias menores de 40 veces el radio de giro mínimo.

El radio de giro de la cabeza ya ha sido calculado con anterioridad. Por lo tanto:

$$40 * i_{f,z} = 40 * 92.2 = 3691\ mm$$

Y la distancia a la que se encuentran arriostradas las alas exteriores es igual a la distancia entre correas, es decir, 2500 mm. Al ser 2500 menor que 3691, no es necesaria la comprobación de pandeo lateral.

Se podía intuir que no iba a existir problema, ya que el momento máximo positivo es mayor en valor absoluto que el máximo negativo y las distancias entre puntos de arriostramiento son mucho mayores en las interiores que en las exteriores, por lo que es un caso mucho más desfavorable el de la fibra interior comprimida.

Por lo tanto, el perfil IPE de chapa armada de inercia variable que ha sido propuesto para los pilares principales, cumple con todas las comprobaciones de resistencia y estabilidad que dicta el C.T.E.

7. Pórtico de cierre o hastial

Se va a dimensionar y calcular el pórtico de cierre de la instalación.

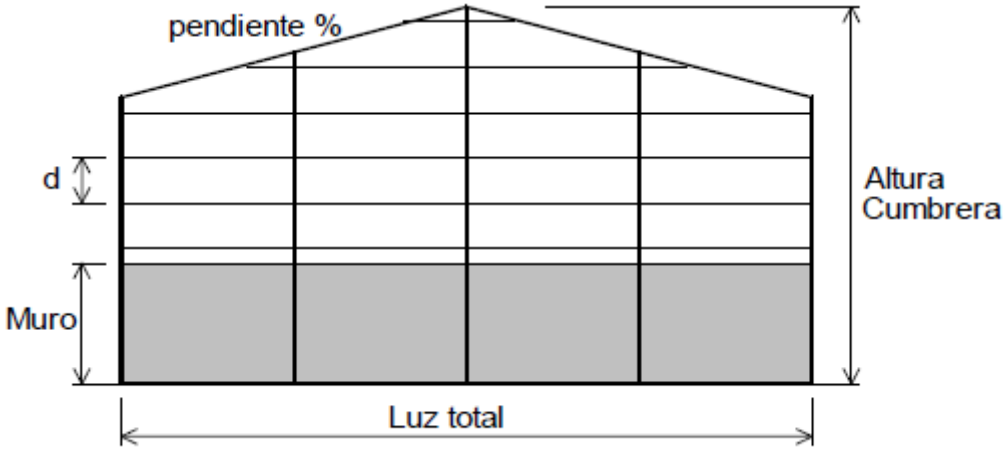


Figura 135 Esquema del pórtico hastial

El cálculo del pórtico de cierre o hastial será el mismo tanto para el que tiene orientación norte como para el que tiene orientación sur, debido a la simetría de la nave.

El pórtico de cierre posee las siguientes propiedades:

- Luz total de 25 metros.
- Altura de cumbrera de 15.25 metros.
- Pendiente de la cubierta de 10%.
- Modulación entre pórticos de 6 metros.

Ambos pórticos de cierre estarán divididos en cuatro vanos con una distancia entre pilares de 6.25 metros.

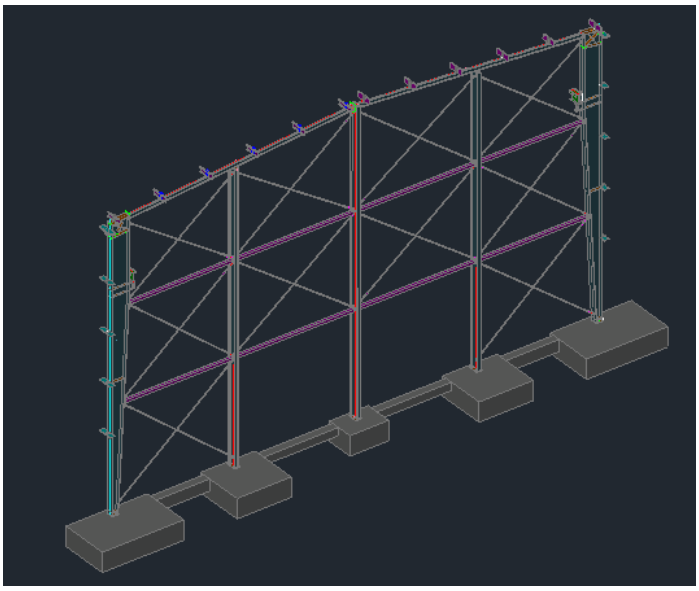


Figura 136 Pórtico hastial

La distancia entre correas se ha establecido en el Apartado 3 del presente anexo y para las correas de fachada central fue asignada una distancia de 2.25 metros, mientras que para las de fachada lateral es de 2.5 metros. El muro de hormigón que rodea la nave tiene una altura de 4 metros.

Cabe mencionar, que tal y como indica la norma UNE 76-201-88 (Caminos de rodadura de puentes grúa), los efectos de las cargas del puente grúa se han tomado como la tercera parte de los efectos que produce en los pórticos principales.

Por tanto, no se van a comprobar los pilares de cierre exteriores ya que, no solo los efectos del puente grúa valen la tercera parte que en el resto de pilares principales, sino que además, abarcan la mitad de área tributaria por encontrarse en el extremo de la nave. Por lo tanto, como ya se comprobaron en el Apartado 6.2 del presente anexo, se asume que cumplirán las comprobaciones de nuevo.

7.1. Dintel de cierre

Se va a dimensionar y comprobar el elemento que une los pilares en su parte superior.

El dintel estará compuesto por dos perfiles IPE de 12.55 metros unidos entre sí en la cumbrera con una pendiente del 10% mediante una unión atornillada. Además de ir apoyado en la cabeza de los pilares hastiales.

Gracias al programa informático CYPE, se puede deducir que, en el caso de esta instalación, el punto más desfavorable del dintel de cierre se encuentra en el centro de este, justo encima de los pilares de cierre.

Por lo tanto, antes de realizar una predimensión, se va a elaborar una tabla de acciones por hipótesis que solicitan al dintel en la sección a 6250 metros del pilar en proyección horizontal.

DINTEL [KN,m]	CP	N	V1a	V1b	V2	SCUpg(frena+)	SCUpg(frena-)
Nx	18,6	35,8	-102,9	-114	-16	-18	10
Vz	-2	-5,8	+6,15	0	14	0	0
My	-2,6	-7,3	5,83	7,37	16	0	0

Tabla 21 Acciones por hipótesis dintel de cierre

Una vez que se observan los valores de las tensiones, se realiza una predimensión del dintel y se selecciona un perfil IPE 200, que cuenta con las siguientes propiedades:

	IPE 200
A [mm2]	2850
Av [mm2]	1402
b [mm]	100
h [mm]	200
d [mm]	159
tf [mm]	8,5
tw [mm]	5,6
Iy [mm4]	1,94E+07
Wy [mm4]	1,94E+05
Iz [mm4]	1,42E+06
Wz [mm4]	2,85E+04

Tabla 22 Propiedades dintel de cierre

A continuación, va a comprobarse siguiendo el apartado 5.2.4 del DB SE-A del C.T.E. qué clase de sección se tiene.

Se comienza por estudiar las alas. Para ello se acude a la Tabla 5.4 del DB SE-A a la fila de compresión ya que las alas siguen prácticamente una distribución contante:

Tabla 5.4 Límites de esbeltez para elementos planos, apoyados en un borde y libre el otro, total o parcialmente comprimidos.

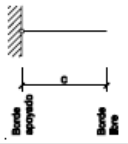
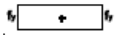
Geometría			
Solicitación	Elemento plano	Límite de esbeltez: c/t máximo	
Compresión + Tracción -		Clase 1	Clase 2	Clase 3
Compresión		9ε	10 ε	14 ε

Figura 137 Límites de esbeltez para elementos apoyados en un borde y libres en el otro

Por lo tanto, aplicando dicho procedimiento:

$$ALA \rightarrow \frac{c}{t_f} = \frac{\frac{b}{2}}{t_f} = \frac{50}{8.5} = 5.88 < 14 * \varepsilon = 14 * \sqrt{\frac{235}{275}} = 12.94 \rightarrow CLASE\ 3$$

A continuación, se comprueba la sección del alma, y para ello se acude a la tabla 5.3 del DB SE-A a la fila de compresión, ya que apenas existe momento flector como se puede observar en la tabla 21.

$$Alma \rightarrow \frac{h - 2 * t_f}{t_w} = \frac{200 - 2 * 8.5}{5.6} = 32.6 < 42 * \varepsilon = 38.82 \rightarrow CLASE\ 3$$

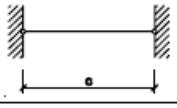
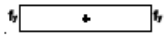
Geometría				
Solicitación	Elemento plano	Límite de esbeltez: c/t máximo		
Compresión + Tracción -		Clase 1	Clase 2	Clase 3
Compresión		33ε	38 ε	42 ε

Figura 138 Límites de esbeltez para elementos apoyados en dos bordes

Como se puede observar, la sección es de clase 3. Se procede a realizar las comprobaciones de resistencia.

COMPROBACIÓN DE RESISTENCIA

Tal y como dicta el apartado 6.2.8 del DB SE-A del C.T.E., para realizar la comprobación de interacción de esfuerzos despreciando el cortante, es necesario comprobar que el cortante en valor de cálculo es inferior a la mitad de la capacidad resistente a cortante de la sección.

Por lo tanto se calcula el cortante en valor de cálculo y la combinación más desfavorable de esfuerzos es:

0.8 CP + +1.5 V2

Se obtiene un cortante de:

$$V_{Ed} = 0.8 * (-2) + 1.5 * (14) = 19.4 \ KN$$

A continuación, se calcula la capacidad resistente a cortante de la sección según el apartado 6.2.4 del DB SE-A:

$$V_{pl,Rd} = A_v * \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

Donde:

- A_v: área a cortante del perfil

$$A_v = 1402 \ mm^2$$

Por lo que la resistencia de la sección a cortante queda de la siguiente forma:

$$V_{pl,Rd} = A_v * \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}} = 1402 * \frac{\frac{275}{1.05}}{\sqrt{3}} = 212 \ KN$$

La mitad de la resistencia a cortante será:

$$\frac{V_{pl,Rd}}{2} = \frac{212}{2} = 106 \ KN > 19.4 \ KN$$

Como el esfuerzo cortante en valor de cálculo, V_{Ed}, es inferior al 50% del esfuerzo resistente,$V_{pl,Rd}$, se puede despreciar el cortante en la interacción de esfuerzos.

Por lo tanto, tal y como indica C.T.E., se aplican las fórmulas 6.11 (Flexión compuesta sin cortante).

1 Flexión compuesta sin cortante:

c) en general se utilizarán las fórmulas de interacción, de carácter prudente, indicadas a continuación:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,Rdy}} + \frac{M_{zEd}}{M_{pl,Rdz}} \le 1 \qquad \text{Para secciones de clase 1 y 2}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{el,Rdy}} + \frac{M_{zEd}}{M_{el,Rdz}} \le 1 \qquad \text{Para secciones de clase 3} \qquad (6.11)$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{u,Rd}} + \frac{M_{y,Ed} + N_{Ed} \cdot e_{Ny}}{M_{0,Rdy}} + \frac{M_{zEd} + N_{SEd} \cdot e_{Ny}}{M_{0,Rdz}} \le 1 \qquad \text{Para secciones de clase 4}$$

siendo

$$f_{yd} = \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

Figura 139 Interacción de esfuerzos en secciones

Como se ha demostrado anteriormente, la sección de estudio es de clase 3 por lo que se tiene que aplicar la segunda de las fórmulas de la Figura 139, teniendo en cuenta además que no existe momento en z, por lo que la ecuación se simplifica y queda de la siguiente forma:

$$\frac{N_{Ed}}{A * f_{yd}} + \frac{M_{y,Ed}}{W_y * f_{yd}} \le 1$$

Para poder realizar las comprobaciones de resistencia, es necesario obtener los esfuerzos en valor de cálculo. Para ello se determina cuál es la combinación más desfavorable de esfuerzos

$$0.8\ CP + 1.5\ V1b + 1.5*0.7\ SCU_{PG(frena\ +)}$$

A continuación se obtienen los esfuerzos en valor de cálculo:

$$N_{Ed} = 0.8 * (18.6) + 1.5 * (-114) + 1.5 * 0.7 * (-18) = -192\ \ KN$$

$$M_{y,Ed} = 0.8 * (-2.6) + 1.5 * (7.37) + 1.5 * 0.7 * (0) = 8.975\ \ KN * m$$

Ya se puede realizar la comprobación de resistencia:

$$\frac{N_{Ed}}{A * f_{yd}} + \frac{M_{y,Ed}}{W_y * f_{yd}} =$$

$$\frac{192 * 10^3}{2850 * \frac{275}{1.05}} + \frac{8.975 * 10^6}{194 * 10^3 * \frac{275}{1.05}} =$$

$$0.26 + 0.18 = 0.44 \le 1(CUMPLE)$$

Se puede concluir que la sección más solicitada del dintel cumple con la comprobación de resistencia con un aprovechamiento del 44% de su capacidad resistente.

A continuación se realizará la comprobación de estabilidad del dintel de cierre.

COMPROBACIÓN DE ESTABILIDAD

Para realizar la comprobación de estabilidad se tendrá en cuenta la interacción de esfuerzos según dicta el C.T.E en el apartado 6.3.4.2 del DB SE-A (Elementos comprimidos y flectados). Además, al ser el perfil del pilar una IPE, se tendrá en cuenta como susceptible de pandeo por torsión.

6.3.4.2 Elementos comprimidos y flectados

1 A menos que se lleve a cabo un estudio más preciso mediante el procedimiento general descrito en 5.4, las comprobaciones de estabilidad de pieza se realizarán aplicando las fórmulas que se indican a continuación, distinguiendo entre las que sean sensibles o no a la torsión (por ejemplo secciones abiertas o cerradas respectivamente).

La comprobación se llevará a cabo con las fórmulas siguientes:

Para toda pieza:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot A^* \cdot f_{yd}} + k_y \cdot \frac{c_{m,y} \cdot M_{y,Ed} + e_{N,y} \cdot N_{Ed}}{\chi_{LT} W_y \cdot f_{yd}} + \alpha_z \cdot k_z \cdot \frac{c_{m,z} \cdot M_{z,Ed} + e_{N,z} \cdot N_{Ed}}{W_z \cdot f_{yd}} \leq 1 \quad (6.51)$$

Además, sólo en piezas no susceptibles de pandeo por torsión

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot A^* \cdot f_{yd}} + \alpha_y \cdot k_y \cdot \frac{c_{m,y} \cdot M_{y,Ed} + e_{N,y} \cdot N_{Ed}}{W_y \cdot f_{yd}} + k_z \cdot \frac{c_{m,z} \cdot M_{z,Ed} + e_{N,z} \cdot N_{Ed}}{W_z \cdot f_{yd}} \leq 1 \quad (6.52)$$

Además, sólo en piezas susceptibles de pandeo por torsión

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot A^* \cdot f_{yd}} + k_{yLT} \cdot \frac{M_{y,Ed} + e_{N,y} \cdot N_{Ed}}{\chi_{LT} W_y \cdot f_{yd}} + k_z \cdot \frac{c_{m,z} \cdot M_{z,Ed} + e_{N,z} \cdot N_{Ed}}{W_z \cdot f_{yd}} \leq 1 \quad (6.53)$$

Figura 140 Comprobación de estabilidad de elementos comprimidos y flectados

Las ecuaciones para comprobar la estabilidad de la Figura 140 se pueden simplificar ya que no existe momento flector en el eje z, y el desplazamiento del centro de gravedad en el eje "Y" y "Z" es cero, por lo que las fórmulas quedan de la siguiente forma:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y * A * f_{yd}} + k_y \frac{c_{m,y} * M_{y,Ed}}{\chi_{LT} * W_y * f_{yd}} \leq 1$$

Además, en las piezas susceptibles de pandeo por torsión deberá comprobarse:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z * A * f_{yd}} + k_{y,LT} \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} * W_y * f_{yd}} \leq 1$$

Como valores de cálculo de axil y momento flector en el eje y se tomarán los han sido calculados. Es decir:

$$N_{Ed} = -192\ KN$$

$$M_{y,Ed} = 8.975\ KN * m$$

Como se puede observar, el momento en valor de cálculo es positivo, lo que significa que comprime la fibra superior del perfil, que se encuentra arriostrada por las correas de cubierta cada 2.51 metros.

El DB SE-A del C.T.E. cita en el apartado 6.3.3.1 que no será necesaria la comprobación a pandeo lateral cuando el ala comprimida se arriostra de forma continua o bien de forma puntual a distancias menores de 40 veces el radio de giro mínimo.

El radio de giro de la cabeza:

$$i_{f,z} = \sqrt{\frac{I_{f,z}}{A_f}} = \sqrt{\frac{\frac{100^3 * 8.5}{12}}{100 * 8.5 + \frac{(200 - 17) * 5.6}{3}}} = 24.38\ mm$$

Por lo tanto:

$$40 * i_{f,z} = 40 * 24.38 = 975.2\ mm$$

Y la distancia a la que se encuentran arriostradas las alas exteriores es igual a la distancia entre correas, es decir, 2510 mm. Al ser 2500 mayor que 975.2, si es necesaria la comprobación de pandeo lateral.

Por lo que se va a empezar obteniendo el coeficiente de reducción por pandeo lateral, χ_{LT}. Para calcularlo habrá que seguir las indicaciones del DB SE-A del C.T.E en el apartado 6.3.3.2. En él se especifica, que para obtener dicho coeficiente de reducción, es necesario obtener la esbeltez relativa frente al pandeo lateral, $\bar{\lambda}_{LT}$, que se determina según la relación:

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_y * f_y}{M_{cr}}}$$

Donde:

- M_{cr}: momento crítico elástico de pandeo lateral. Se determinará según la teoría de la elasticidad de acuerdo al apartado 6.3.3.3 del DB SE-A.
- Wy: módulo resistente elástico.

Por lo tanto, se va a determinar el momento crítico elástico del pandeo lateral. Siguiendo las indicaciones de la norma se calcula con la siguiente ecuación:

$$M_{cr} = \sqrt{M_{LT\,v}^2 + M_{LT\,W}^2}$$

Siendo:

- $M_{LT\,v}$= componente del momento crítico que representa la resistencia por torsión uniforme de la barra
- $M_{LT\,w}$= componente del momento crítico que representa la resistencia por torsión no uniforme de la barra

Para calcular la componente del momento crítico que representa la resistencia por torsión uniforme de la barra, $M_{LT\,v}$, se siguen las indicaciones de la norma y se aplica la siguiente fórmula:

$$M_{LT\,v} = C_1 * \frac{\pi}{L_c} * \sqrt{G * I_t * E * I_z}$$

Siendo:

- C_1: este factor tiene en cuenta las condiciones de apoyo y la ley de momentos flectores que solicitan la viga. Su valor se obtiene de la Tabla 6.7 del DB SE-A.

- L_c: longitud de pandeo lateral (Distancia entre apoyos laterales que impidan el pandeo lateral)
- G: módulo de elasticidad transversal
- E: módulo de elasticidad
- I_t: constante de torsión uniforme

Al ser el material acero S-275, se conocen las propiedades G y E.

A continuación se va a determinar el factor C_1 acudiendo a la Tabla 6.7 del DB SE-A.

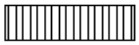
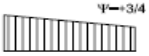
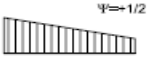
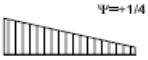
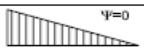
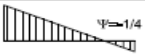
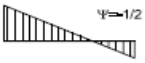
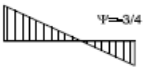
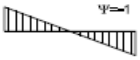
Condiciones de apoyo y tipo de solicitación	Diagrama de momentos flectores	C_1
	Ψ=+1 	1
	Ψ=+3/4 	1,14
	Ψ=+1/2 	1,32
	Ψ=+1/4 	1,56
	Ψ=0 	1,88
	Ψ=-1/4 	2,28
	Ψ=-1/2 	2,7
	Ψ=-3/4 	2,93
	Ψ=-1 	2,75

Figura 141 Valor del factor C_1

Gracias al software comercial CYPE, se puede consultar la distribución de momentos que se tiene en esa zona del dintel.

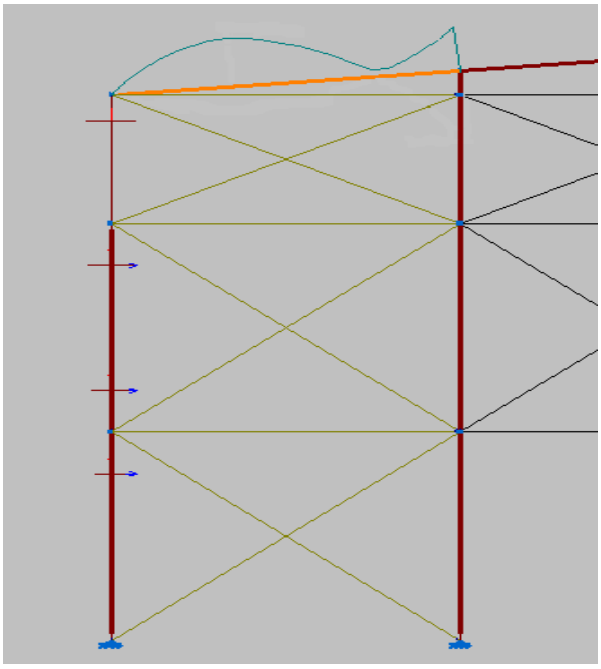


Figura 142 Distribución de momentos en el dintel de cierre

Se procedería a comparar el momento de la Figura 142 con los de la Figura 141 para averiguar el factor C_1. Sin embargo, se puede realizar una aproximación por el lado de la seguridad y asignarle al factor C_1 un valor igual a 1.

A continuación se determinará el valor de L_c. Como se ha dicho anteriormente, la distancia entre puntos de arriostramiento es la distancia entre correas de cubierta. Por tanto:

$$L_c = 2510\ mm$$

Por lo tanto, solo queda determinar la constante de torsión uniforme, I_t.

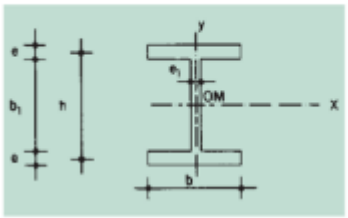
Sección	Coordenadas del centro de esfuerzos cortantes M	Módulo de torsión I_t cm⁴
	$x_0 = 0$ $y_0 = 0$	$\frac{2be^3 + b_1e_1^3}{3}$

Figura 143 Características de torsión en perfiles IPE

Siguiendo la fórmula de la Figura 143 al ser un perfil IPE:

$$I_t = \frac{2 * b * e^3 + b_1 * e_1^3}{3} = \frac{2 * 100 * 8.5^3 + (200 - 17) * 5.6^3}{3} = 51 * 10^3\ mm^4$$

Ya se puede obtener la componente del momento crítico que representa la resistencia por torsión uniforme de la barra, $M_{LT\,v}$:

$$M_{LT\,v} = C_1 * \frac{\pi}{L_c} * \sqrt{G * I_t * E * I_z} =$$

$$= 1 * \frac{\pi}{2510} * \sqrt{8.1 * 10^4 * 51 * 10^3 * 2.1 * 10^5 * 1.42 * 10^6} = 43.92\ KN * m$$

Así que solo queda determinar la componente $M_{LT\,w}$ que tal y como indica la norma se calcula de la siguiente forma:

$$M_{LT\,w} = W_y * \frac{\pi^2 * E}{L_c^2} * C_1 * i_{f,z}^2$$

Siendo:

- W_y: módulo resistente elástico de la sección, correspondiente a la fibra más comprimida.
- $i_{f,z}$: radio de giro, con respecto al eje de menor inercia de la sección, del soporte formado por el ala comprimida y la tercera parte de la zona comprimida del alma eficaz, adyacente al ala comprimida

El valor del radio de giro, con respecto al eje de menor inercia de la sección, $i_{f,z}$, ya ha sido calculado con anterioridad.

Por lo tanto, ya se puede calcular la componente del momento crítico que representa la resistencia por torsión no uniforme de la barra, $M_{LT\,w}$, y el momento crítico elástico del pandeo lateral, M_{cr}.

$$M_{LT\,w} = W_y * \frac{\pi^2 * E}{L_c^2} * C_1 * i_{f,z}^2 =$$

$$194 * 10^3 * \frac{\pi^2 * 2.1 * 10^5}{2510^2} * 1 * 594.38 = 37.81\ KN * m$$

$$M_{cr} = \sqrt{M_{LT\,v}^2 + M_{LT\,W}^2} = \sqrt{43.92^2 + 37.81^2} = 57.95\ KN * m$$

Una vez que ya se cuenta con el momento crítico, la esbeltez relativa frente al pandeo lateral queda de la siguiente forma:

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_y * f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{194 * 10^3 * 275}{57.95 * 10^6}} = 0.95$$

Para determinar el coeficiente de reducción, se necesita saber a qué curva de pandeo pertenece este caso, para ello se acude a la Tabla 6.6 del DB SE-A.

Elemento	Límites	Curva de pandeo
Perfil laminado con sección en doble T	h/b ≤ 2	a
	h/b > 2	b
Elemento armado con sección en doble T	h/b ≤ 2	c
	h/b > 2	d
Elementos con otras secciones	-	d

Figura 144 Curvas de pandeo según el elemento

Como puede observarse en la Figura 144, este caso pertenece a "Perfil laminado con sección en doble T". Falta determinar la relación h/b:

$$\frac{h}{b} = \frac{200}{100} = 2 \leq 2$$

Por lo tanto le corresponde la curva de pandeo a.

Se acude a las curvas y se obtiene que el coeficiente de reducción por pandeo lateral:

$$\chi_{LT} = 0.693$$

A continuación es necesario obtener el coeficiente de reducción por pandeo en el eje y, χ_y.

Para la obtención de este coeficiente de reducción por pandeo se sigue el apartado 6.3 del DB SE-A del C.T.E. fijándose en la Figura 6.3 que muestra las curvas de pandeo en función de la esbeltez reducida.

Para la obtención de esa esbeltez reducida, se necesitan la esbeltez de Euler y la esbeltez mecánica.

Para esta última, hay que tener en cuenta que se necesita la longitud de pandeo y el radio de giro en el eje y.

La longitud de pandeo se obtiene de la siguiente manera:

$$L_k = \beta * L$$

Siendo:

- B: coeficiente de longitud de pandeo
- L: longitud de la barra

Se conoce que la longitud de pandeo en el eje y (Plano X-Z de la barra) son 6.25 metros en proyección horizontal, ya que se encuentra arriostrado en ese plano por los pilares de cierre y el coeficiente de longitud de pandeo, β, es igual a 1 ya que se considera articulado en ambos extremos de ese plano.

Por lo tanto:

$$L_k = \beta * L = 1 * \frac{6250}{\cos 5.71º} = 6280\ mm$$

Por lo tanto ya se puede calcular todo lo dicho anteriormente:

$$Esbeltez\ de\ Euler \rightarrow \lambda_E = \pi * \sqrt{\frac{E}{f_y}} = \pi * \sqrt{\frac{2.1 * 10^5}{275}} = 86.8$$

$$Esbeltez\ mecánica \rightarrow \lambda_y = \frac{L_k}{i_y} = \frac{6280}{82.6} = 76.02$$

Ya se puede calcular la esbeltez reducida:

$$Esbeltez\ reducida \rightarrow \bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_E} = \frac{76.02}{86.8} = 0.87$$

Una vez obtenida la esbeltez reducida ya se puede obtener el coeficiente de reducción acudiendo a las cuervas de pandeo. Este caso corresponde a la curva a ya que se trata de una agrupación de perfiles laminados en I con pandeo en el eje "y", y con una relación h/b mayor que 1.2.

$$\chi_y = 0.747$$

A continuación se procederá a obtener el valor del coeficiente de interacción k_y. Para ello se sigue el mismo apartado y se acude a la tabla 6.9 del DB SE-A.

Clase	Tipo de sección	k_y	k_z	k_{yLT}
1 y 2	I, H, abiertas	$1+(\bar{\lambda}_y-0{,}2)\cdot\frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{C,Rd}}$	$1+(2\cdot\bar{\lambda}_z-0{,}6)\cdot\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{C,Rd}}$	el menor de $1-\frac{0{,}1\cdot\bar{\lambda}_z}{(c_{mLT}-0{,}25)}\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{C,Rd}}$
	Hueca delgada		$1+(\bar{\lambda}_z-0{,}2)\cdot\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{C,Rd}}$	$0{,}6+\bar{\lambda}_z$
3 y 4	Todas	$1+0{,}6\cdot\bar{\lambda}_y\cdot\frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{C,Rd}}$	$1+0{,}6\cdot\bar{\lambda}_z\cdot\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{C,Rd}}$	$1-\frac{0{,}05\cdot\bar{\lambda}_z}{(c_{mLT}-0{,}25)}\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{C,Rd}}$

siendo

$\bar{\lambda}_y$ y $\bar{\lambda}_z$ valores de las esbelteces reducidas para los ejes y – y y z – z, no mayores que 1,00.

$N_{C,Rd} = A^{*}\cdot\frac{f_y}{\gamma_{M1}}$

Figura 145 Coeficientes de interacción

Ya que se cuenta con sección de clase 3, la fórmula será la que aparece en la Figura 145:

$$k_y = 1 + 0.6 * \bar{\lambda}_y * \frac{N_{Ed}}{\chi_y * N_{c,rd}} =$$

$$1 + 0.6 * 0.87 * \frac{192}{0.747 * 746.4} = 1.18$$

Se continúa obteniendo el factor de momento flector uniforme equivalente, $c_{m,y}$, para ello, en el apartado 6.3.4.2 del DB SE-A se acude a la tabla 6.10, y se toma como coeficiente de momento equivalente $C_{m,y}$=1 para estar por el lado de la seguridad.

Ya se cuenta con todos los parámetros para poder realizar la comprobación de estabilidad bajo la interacción de esfuerzos:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y * A * f_{yd}} + k_y \frac{c_{m,y} * M_{y,Ed}}{\chi_{LT} * W_y * f_{yd}} =$$

$$\frac{192 * 10^3}{0.747 * 2850 * \frac{275}{1.05}} + 1.18 \frac{1 * 8.975 * 10^6}{0.693 * 194 * 10^3 * \frac{275}{1.05}} =$$

$$0.35 + 0.3 = 0.65 \leq 1 \ (CUMPLE)$$

Además, como se ha dicho anteriormente, en las piezas susceptibles de pandeo por torsión deberá comprobarse:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z * A * f_{yd}} + k_{y,LT} \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} * W_y * f_{yd}} \leq 1$$

A continuación es necesario obtener el coeficiente de reducción por pandeo en el eje z, χ_z.

Para la obtención de este coeficiente de reducción por pandeo se sigue el apartado 6.3 del DB SE-A del C.T.E. fijándose en la Figura 6.3 que muestra las curvas de pandeo en función de la esbeltez reducida.

Para la obtención de esa esbeltez reducida, se necesitan la esbeltez de Euler y la esbeltez mecánica. Para esta última, hay que tener en cuenta que se necesita la longitud de pandeo y el radio de giro en el eje z.

El radio de giro en el eje z es una propiedad del perfil que se obtiene de catálogo.

La longitud de pandeo se obtiene de la siguiente manera:

$$L_k = \beta * L$$

Siendo:

- B: coeficiente de longitud de pandeo
- L: longitud de la barra

Se conoce que la longitud de pandeo en el eje z (Plano X-Y de la barra) son 2.51 metros ya que se encuentra arriostrado en ese plano por las correas y el coeficiente de longitud de pandeo, β, es igual a 1 ya que se considera articulado en ambos extremos de ese plano.

Por lo tanto:

$$L_k = \beta * L = 1 * 2510 = 2510 \ mm$$

Por lo tanto ya se puede calcular todo lo dicho anteriormente:

$$Esbeltez\ de\ Euler \rightarrow \ \lambda_E = \pi * \sqrt{\frac{E}{f_y}} = \pi * \sqrt{\frac{2.1 * 10^5}{275}} = 86.8$$

$$Esbeltez\ mecánica \rightarrow \ \lambda_z = \frac{L_k}{i_z} = \frac{2510}{22.4} = 112$$

Ya se puede calcular la esbeltez reducida:

$$Esbeltez\ reducida \rightarrow \bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_E} = \frac{112}{86.8} = 1.29$$

Una vez obtenida la esbeltez reducida ya se puede obtener el coeficiente de reducción acudiendo a las cuervas de pandeo. Este caso corresponde a la curva b, ya que se trata de una agrupación de perfiles laminados en I con pandeo en el eje "z", y con una relación h/b mayor que 1.2.

$$\chi_z = 0.427$$

Seguidamente, se calcula el coeficiente de interacción $k_{y,LT}$. Para ello, tal y como se hizo con anterioridad, se acude a la tabla 6.9 del DB SE-A.

Clase	Tipo de sección	k_y	k_z	k_{yLT}
1 y 2	I, H, abiertas	$1+(\bar{\lambda}_y-0{,}2)\cdot\frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{C,Rd}}$	$1+(2\cdot\bar{\lambda}_z-0{,}6)\cdot\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{C,Rd}}$	el menor de $1-\frac{0{,}1\cdot\bar{\lambda}_z}{(c_{mLT}-0{,}25)}\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{C,Rd}}$
	Hueca delgada		$1+(\bar{\lambda}_z-0{,}2)\cdot\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{C,Rd}}$	$0{,}6+\bar{\lambda}_z$
3 y 4	Todas	$1+0{,}6\cdot\bar{\lambda}_y\cdot\frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{C,Rd}}$	$1+0{,}6\cdot\bar{\lambda}_z\cdot\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{C,Rd}}$	$1-\frac{0{,}05\cdot\bar{\lambda}_z}{(c_{mLT}-0{,}25)}\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{C,Rd}}$

siendo

$\bar{\lambda}_y$ y $\bar{\lambda}_z$ valores de las esbelteces reducidas para los ejes y – y y z – z, no mayores que 1,00.

Figura 146 Coeficientes de interacción

Ya que se cuenta con sección de clase 3, la fórmula será la que aparece en la Figura 147:

$$k_{y,LT} = 1 - \frac{0.05 * \bar{\lambda}_z}{(c_{m,LT} - 0.25)} * \frac{N_{Ed}}{\chi_z * N_{c,rd}}$$

Sin embargo, se puede observar en la Tabla 6.9 el comentario que aparece en la parte inferior acerca de que el valor de las esbelteces reducidas tomará un valor no mayor que uno. Al tener una esbeltez reducida de 1.29, en la fórmula del coeficiente de interacción, $k_{y,LT}$, se sustituirá la esbeltez reducida por el valor de la unidad.

Se continúa obteniendo el factor de momento flector uniforme equivalente, $c_{m,LT}$, para ello, se especifica en el apartado 6.3.4.2 del DB SE-A que para barras de pórticos de estructuras sin arriostrar con longitudes de pandeo superiores a las propias barras debe tomarse:

$$c_{m,LT} = 1$$

$$k_{y,LT} = 1 - \frac{0.05 * \bar{\lambda}_z}{(c_{m,LT} - 0.25)} * \frac{N_{Ed}}{\chi_z * N_{c,rd}} = 1 - \frac{0.05 * 1}{1 - 0.25} * \frac{192}{0.427 * 746.4} = 0.96$$

Al contar con el resto de parámetros, que fueron calculados con anterioridad, ya se puede realizar la comprobación. Al ser pieza susceptible de pandeo por torsión:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z * A * f_{yd}} + k_{y,LT}\frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} * W_y * f_{yd}} =$$

$$\frac{192 * 10^3}{0.427 * 2850 * \frac{275}{1.05}} + 0.96 * \frac{9.875 * 10^6}{0.693 * 194 * 10^3 * \frac{275}{1.05}} =$$

$$0.6 + 0.27 = 0.87 \leq 1\ (CUMPLE)$$

Como se ha visto, el dintel de cierre, cumple con las comprobaciones de estabilidad con un aprovechamiento máximo del 87% de su capacidad.

Sin embargo, es necesario comprobar que es lo que ocurre cuando la combinación desfavorable de esfuerzos resulta en un momento en valor de cálculo negativo que comprima la fibra inferior del dintel, ya que esta no se encuentra arriostrada en ningún punto, por lo que pudiera ser que, no cumpliera la comprobación de estabilidad bajo interacción de esfuerzos por un coeficiente de pandeo lateral, χ_{LT}, demasiado restrictivo.

Por lo tanto se comienza determinando cuál es la combinación desfavorable de esfuerzos para obtener el máximo momento negativo.

1.35 CP + 1.5 N

A continuación se obtienen los esfuerzos en valor de cálculo:

$$N_{Ed} = 1.35 * (18.6) + 1.5 * (35.8) = 78.81\ KN$$

$$M_{y,Ed} = 1.35 * (-2.6) + 1.5 * (-7.3) = -14.46\ KN * m$$

Se procede a aplicar las mismas fórmulas que fueron aplicadas cuando el momento en valor de cálculo era positivo:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y * A * f_{yd}} + k_y\frac{c_{m,y} * M_{y,Ed}}{\chi_{LT} * W_y * f_{yd}} \leq 1$$

Además, en las piezas susceptibles de pandeo por torsión deberá comprobarse:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z * A * f_{yd}} + k_{y,LT}\frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} * W_y * f_{yd}} \leq 1$$

Por lo que se va a empezar obteniendo el coeficiente de reducción por pandeo lateral, χ_{LT}. Para calcularlo habrá que seguir las indicaciones del DB SE-A del C.T.E en el apartado 6.3.3.2. En él se especifica, que para obtener dicho coeficiente de reducción, es necesario obtener la esbeltez relativa frente al pandeo lateral, $\bar{\lambda}_{LT}$, que se determina según la relación:

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_y * f_y}{M_{cr}}}$$

Donde:

- M_{cr}: momento crítico elástico de pandeo lateral. Se determinará según la teoría de la elasticidad de acuerdo al apartado 6.3.3.3 del DB SE-A.
- Wy: módulo resistente elástico.

Por lo tanto, se va a determinar el momento crítico elástico del pandeo lateral. Siguiendo las indicaciones de la norma se calcula con la siguiente ecuación:

$$M_{cr} = \sqrt{M_{LT\,v}^2 + M_{LT\,W}^2}$$

Siendo:

- $M_{LT\,v}$= componente del momento crítico que representa la resistencia por torsión uniforme de la barra
- $M_{LT\,w}$= componente del momento crítico que representa la resistencia por torsión no uniforme de la barra

Para calcular la componente del momento crítico que representa la resistencia por torsión uniforme de la barra, $M_{LT\,v}$, se siguen las indicaciones de la norma y se aplica la siguiente fórmula:

$$M_{LT\,v} = C_1 * \frac{\pi}{L_c} * \sqrt{G * I_t * E * I_z}$$

Siendo:

- C_1: este factor tiene en cuenta las condiciones de apoyo y la ley de momentos flectores que solicitan la viga. Su valor se obtiene de la Tabla 6.7 del DB SE-A.
- L_c: longitud de pandeo lateral (Distancia entre apoyos laterales que impidan el pandeo lateral)
- G: módulo de elasticidad transversal
- E: módulo de elasticidad
- I_t: constante de torsión uniforme

Al ser el material acero S-275, se conocen las propiedades G y E. Además la constante de inercia a torsión, I_t, y la inercia de la sección respecto al eje "z", ya se conocen puesto que han sido calculadas previamente.

A continuación se va a determinar el factor C_1 acudiendo a la Tabla 6.7 del DB SE-A.

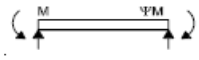
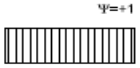
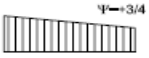
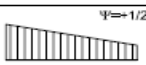
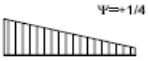
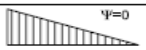
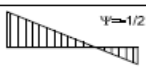
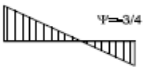
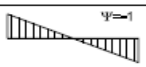
Condiciones de apoyo y tipo de solicitación	Diagrama de momentos flectores	C_1
		1
		1,14
		1,32
		1,56
		1,88
		2,28
		2,7
		2,93
		2,75

Figura 147 Valor del factor C1

Gracias al software comercial CYPE, se puede consultar la distribución de momentos que se tiene en esa zona del dintel. Sin embargo, se puede realizar una aproximación por el lado de la seguridad y asignarle al factor C_1 un valor igual a 1.

A continuación se determinará el valor de L_c. Como se ha dicho anteriormente, la distancia entre puntos de arriostramiento es la distancia total del dintel. Por tanto:

$$L_c = 12550\ mm$$

Ya se puede obtener la componente del momento crítico que representa la resistencia por torsión uniforme de la barra, $M_{LT\,v}$:

$$M_{LT\,v} = C_1 * \frac{\pi}{L_c} * \sqrt{G * I_t * E * I_z} =$$

$$= 1 * \frac{\pi}{12550} * \sqrt{8.1 * 10^4 * 51 * 10^3 * 2.1 * 10^5 * 1.42 * 10^6} = 8.77\ KN * m$$

Así que solo queda determinar la componente $M_{LT\,w}$ que tal y como indica la norma se calcula de la siguiente forma:

$$M_{LT\,w} = W_y * \frac{\pi^2 * E}{L_c^2} * C_1 * i_{f,z}^2$$

Siendo:

- W_y: módulo resistente elástico de la sección, correspondiente a la fibra más comprimida.
- $i_{f,z}$: radio de giro, con respecto al eje de menor inercia de la sección, del soporte formado por el ala comprimida y la tercera parte de la zona comprimida del alma eficaz, adyacente al ala comprimida

El valor del radio de giro, con respecto al eje de menor inercia de la sección, $i_{f,z}$, ya ha sido calculado con anterioridad.

Por lo tanto, ya se puede calcular la componente del momento crítico que representa la resistencia por torsión no uniforme de la barra, $M_{LT\,w}$, y el momento crítico elástico del pandeo lateral, M_{cr}.

$$M_{LT\,w} = W_y * \frac{\pi^2 * E}{L_c^2} * C_1 * i_{f,z}^2 =$$

$$194 * 10^3 * \frac{\pi^2 * 2.1 * 10^5}{12550^2} * 1 * 594.38 = 1.51\ KN * m$$

$$M_{cr} = \sqrt{M_{LT\,v}^2 + M_{LT\,W}^2} = \sqrt{8.77^2 + 1.51^2} = 8.9\ KN * m$$

Una vez que ya se cuenta con el momento crítico, la esbeltez relativa frente al pandeo lateral queda de la siguiente forma:

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_y * f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{194 * 10^3 * 275}{8.9 * 10^6}} = 2.44$$

Para determinar el coeficiente de reducción, se necesita saber a qué curva de pandeo pertenece este caso, para ello se acude a la Tabla 6.6 del DB SE-A.

Elemento	Límites	Curva de pandeo
Perfil laminado con sección en doble T	h/b ≤ 2	a
	h/b > 2	b
Elemento armado con sección en doble T	h/b ≤ 2	c
	h/b > 2	d
Elementos con otras secciones	-	d

Figura 148 Curvas de pandeo según el elemento

Como puede observarse en la Figura 149, este caso pertenece a "Perfil laminado con sección en doble T". Falta determinar la relación h/b:

$$\frac{h}{b} = \frac{200}{100} = 2 \leq 2$$

Por lo tanto le corresponde la curva de pandeo a.

Se acude a las curvas y se obtiene que el coeficiente de reducción por pandeo lateral:

$$\chi_{LT} = 0.154$$

A continuación se procederá a obtener el valor del coeficiente de interacción k_y. Para ello se sigue el mismo apartado y se acude a la tabla 6.9 del DB SE-A.

Clase	Tipo de sección	k_y	k_z	k_{yLT}
1 y 2	I, H, abiertas	$1+(\bar{\lambda}_y-0{,}2)\cdot\frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{C,Rd}}$	$1+(2\cdot\bar{\lambda}_z-0{,}6)\cdot\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{C,Rd}}$	el menor de $1-\frac{0{,}1\cdot\bar{\lambda}_z}{(c_{mLT}-0{,}25)}\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{C,Rd}}$
	Hueca delgada		$1+(\bar{\lambda}_z-0{,}2)\cdot\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{C,Rd}}$	$0{,}6+\bar{\lambda}_z$
3 y 4	Todas	$1+0{,}6\cdot\bar{\lambda}_y\cdot\frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{C,Rd}}$	$1+0{,}6\cdot\bar{\lambda}_z\cdot\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{C,Rd}}$	$1-\frac{0{,}05\cdot\bar{\lambda}_z}{(c_{mLT}-0{,}25)}\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{C,Rd}}$

siendo

$\bar{\lambda}_y$ y $\bar{\lambda}_z$ valores de las esbelteces reducidas para los ejes y – y y z – z, no mayores que 1,00.

$N_{C,Rd} = A^{*}\cdot\frac{f_y}{\gamma_{M1}}$

Figura 149 Coeficientes de interacción

Ya que se cuenta con sección de clase 3, la fórmula será la que aparece en la Figura 150:

$$k_y = 1 + 0.6 * \bar{\lambda}_y * \frac{N_{Ed}}{\chi_y * N_{c,rd}} =$$

$$1 + 0.6 * 0.87 * \frac{78.81}{0.747 * 746.4} = 1.18$$

Ya se cuenta con todos los parámetros para poder realizar la comprobación de estabilidad bajo la interacción de esfuerzos:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y * A * f_{yd}} + k_y \frac{c_{m,y} * M_{y,Ed}}{\chi_{LT} * W_y * f_{yd}} =$$

$$\frac{78.81 * 10^3}{0.747 * 2850 * \frac{275}{1.05}} + 1.18 \frac{1 * 14.46 * 10^6}{0.154 * 194 * 10^3 * \frac{275}{1.05}} =$$

$$0.14 + 2.18 = 2.32 \geq 1 \; (NO\ CUMPLE)$$

Como se ha comprobado, no cumple con la comprobación de estabilidad bajo interacción de esfuerzos debido a que el coeficiente de reducción por pandeo lateral, χ_{LT}, es demasiado restrictivo. Por lo tanto, para hacerlo menos restrictivo se reducirá la distancia entre puntos de arriostramiento colocando un tornapuntas en la tercera correa de cubierta (A 5.02 metros de la cabeza del pilar) que arriostre la fibra inferior del dintel.

De esta forma la mayor distancia entre puntos de arriostramiento, L_c (Y que además coincide con la zona donde se encuentran los mayores esfuerzos del dintel):

$$L_c = 12550 - 5020 = 7530\ mm$$

Una vez que ya se conoce la distancia entre puntos de arriostramiento, L_c, se procede a recalcular el coeficiente de reducción por pandeo lateral, χ_{LT}.

Se vuelve a obtener la componente del momento crítico que representa la resistencia por torsión uniforme de la barra, $M_{LT\,v}$:

$$M_{LT\,v} = C_1 * \frac{\pi}{L_c} * \sqrt{G * I_t * E * I_z} =$$

$$= 1 * \frac{\pi}{7530} * \sqrt{8.1 * 10^4 * 51 * 10^3 * 2.1 * 10^5 * 1.42 * 10^6} = 27.5\ KN * m$$

Así que solo queda determinar la componente $M_{LT\,w}$ que tal y como indica la norma se calcula de la siguiente forma:

$$M_{LT\,w} = W_y * \frac{\pi^2 * E}{L_c^2} * C_1 * i_{f,z}^2$$

Siendo:

- W_y: módulo resistente elástico de la sección, correspondiente a la fibra más comprimida.
- $i_{f,z}$: radio de giro, con respecto al eje de menor inercia de la sección, del soporte formado por el ala comprimida y la tercera parte de la zona comprimida del alma eficaz, adyacente al ala comprimida

El valor del radio de giro, con respecto al eje de menor inercia de la sección, $i_{f,z}$, ya ha sido calculado con anterioridad.

Por lo tanto, ya se puede calcular la componente del momento crítico que representa la resistencia por torsión no uniforme de la barra, $M_{LT\,w}$, y el momento crítico elástico del pandeo lateral, M_{cr}.

$$M_{LT\,w} = W_y * \frac{\pi^2 * E}{L_c^2} * C_1 * i_{f,z}^2 =$$

$$= 194 * 10^3 * \frac{\pi^2 * 2.1 * 10^5}{7530^2} * 1 * 594.38 = 7.8\ KN * m$$

$$M_{cr} = \sqrt{M_{LT\,v}^2 + M_{LT\,W}^2} = \sqrt{27.5^2 + 7.8^2} = 28.58\ KN * m$$

Una vez que ya se cuenta con el momento crítico, la esbeltez relativa frente al pandeo lateral queda de la siguiente forma:

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_y * f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{194 * 10^3 * 275}{28.58 * 10^6}} = 1.36$$

Para determinar el coeficiente de reducción, se necesita saber a qué curva de pandeo pertenece este caso, para ello se acude a la Tabla 6.6 del DB SE-A.

Elemento	Límites	Curva de pandeo
Perfil laminado con sección en doble T	h/b ≤ 2	a
	h/b > 2	b
Elemento armado con sección en doble T	h/b ≤ 2	c
	h/b > 2	d
Elementos con otras secciones	-	d

Figura 150 Curvas de pandeo según el elemento

Como puede observarse en la Figura 151, este caso pertenece a "Perfil laminado con sección en doble T". Falta determinar la relación h/b:

$$\frac{h}{b} = \frac{200}{100} = 2 \leq 2$$

Por lo tanto le corresponde la curva de pandeo a.

Se acude a las curvas y se obtiene que el coeficiente de reducción por pandeo lateral:

$$\chi_{LT} = 0.438$$

Ya se cuenta con todos los parámetros para poder realizar la comprobación de estabilidad bajo la interacción de esfuerzos:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y * A * f_{yd}} + k_y \frac{c_{m,y} * M_{y,Ed}}{\chi_{LT} * W_y * f_{yd}} =$$

$$\frac{78.81 * 10^3}{0.747 * 2850 * \frac{275}{1.05}} + 1.18 \frac{1 * 14.46 * 10^6}{0.438 * 194 * 10^3 * \frac{275}{1.05}} =$$

$$0.14 + 0.76 = 0.9 \leq 1 \; (\; CUMPLE)$$

Además, como se ha dicho anteriormente, en las piezas susceptibles de pandeo por torsión deberá comprobarse:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z * A * f_{yd}} + k_{y,LT} \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} * W_y * f_{yd}} \leq 1$$

Al contar con todos los parámetros, ya se puede realizar la comprobación. Al ser pieza susceptible de pandeo por torsión:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z * A * f_{yd}} + k_{y,LT} \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} * W_y * f_{yd}} =$$

$$\frac{78.81 * 10^3}{0.427 * 2850 * \frac{275}{1.05}} + 0.96 * \frac{14.46 * 10^6}{0.438 * 194 * 10^3 * \frac{275}{1.05}} =$$

$$0.24 + 0.62 = 0.86 \leq 1\ (CUMPLE)$$

Como se ha visto, el dintel de cierre, cumple con las comprobaciones de estabilidad con un aprovechamiento máximo del 90% de su capacidad.

Por lo tanto, se puede concluir que el dintel de cierre propuesto, formado por una IPE 200, cumple con las comprobaciones de resistencia y estabilidad.

7.2. Pilares de cierre

Se van a dimensionar y comprobar los pilares de cierre.

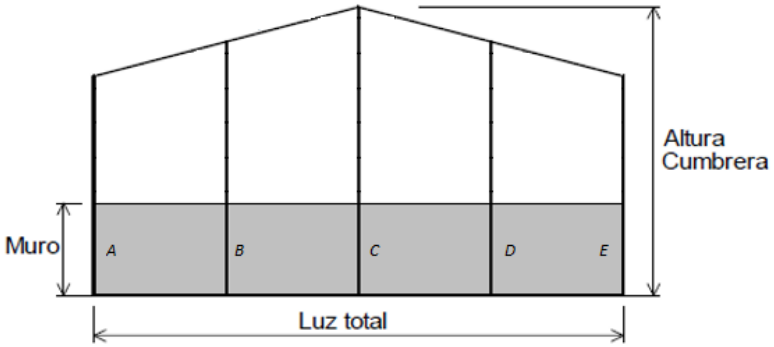


Figura 151 Pilares de cierre

Como se puede observar en la Figura 152, los pilares de cierre se encuentran divididos en dos grupos:

- Los exteriores: son los denominados A y E. Serán iguales que en el resto de pórticos, es decir un perfil IPE de inercia variable.
- Los interiores: son los denominados B, C y D.

Como se ha mencionado al comienzo del Apartado 7 del presente anexo, los pilares de cierre extremos, es decir, los pilares A y E no se van a comprobar ya que, no solo los efectos del puente grúa valen la tercera parte que en el resto de pilares principales, sino que además, abarcan la mitad de área tributaria por encontrarse en el extremo de la nave. Como ya se comprobaron en el Apartado 6.2 del presente anexo, se asume que cumplirán las comprobaciones de nuevo.

Por lo tanto se realizará el dimensionamiento y la comprobación de los pilares B, C y D. Sin embargo como el pilar B y el D son iguales, se estudiará el pilar B y se extrapolarán los resultados al pilar D.

Estos pilares irán articulados en la base y en la cabeza en su unión con el dintel de cierre.

PILAR B:

El pilar B tiene una longitud total de 14.625 metros

Como se ha hecho con anterioridad, va a presentarse una tabla con las acciones por hipótesis en la sección donde se producen los mayores esfuerzos de todo el pilar. Esta sección se encuentra a 5.35 metros de la base del pilar y las acciones por hipótesis se obtienen del programa informático de CYPE:

X=5,35 m [KN,m]	CP	N	V1a	V1b	V2	SCUpg(frena+)	SCUpg(frena-)
Nx	-17	-7	-71,5	-106	23	-16,7	0
Vz	0	0	-11,5	-11,7	8,15	0	0
My	0	0	144.66	144,66	-102	0	0

Tabla 23 Acciones por hipótesis a 5.35 metros de la base del pilar de cierre

Una vez que se conocen las acciones por hipótesis, se realiza una predimensión de los pilares de cierre. En este caso se colocará un perfil IPE 450 que contará con las siguientes propiedades:

	IPE 450
A [mm2]	9880
Av [mm2]	5082
b [mm]	190
h [mm]	450
d [mm]	379
tf [mm]	14,6
tw [mm]	9,4
Iy [mm4]	3,37E+08
Wy [mm4]	1,50E+06
Iz [mm4]	1,68E+04
Wz [mm4]	1,76E+05

Tabla 24 Propiedades IPE 450

Tal y como se ha hecho inicialmente, se va a comprobar que tipo de sección se tiene siguiendo el apartado 5.2.4 del DB SE-A del C.T.E.

Se comienza por estudiar las alas, que son iguales en todo el pilar. Para ello se acude a la Tabla 5.4 del DB SE-A a la fila de compresión ya que las alas siguen prácticamente una distribución de esfuerzos contante:

Tabla 5.4 Límites de esbeltez para elementos planos, apoyados en un borde y libre el otro, total o parcialmente comprimidos.

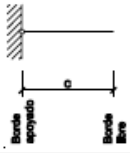
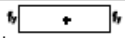
Solicitación	Elemento plano	Límite de esbeltez: c/t máximo		
	Geometría			
Compresión + Tracción -		Clase 1	Clase 2	Clase 3
Compresión		9ε	10 ε	14 ε

Figura 152 Límites de esbeltez para elementos apoyados en un borde y libres en el otro

Por lo tanto aplicando dicho procedimiento:

$$ALA \rightarrow \frac{c}{t_f} = \frac{\frac{b}{2}}{t_f} = \frac{95}{9.4} = 10.1 < 14 * \varepsilon = 14 * \sqrt{\frac{235}{275}} = 12.94 \rightarrow CLASE\ 3$$

A continuación, para el estudio del alma se acude a la tabla 5.3 del DB SE-A.

Esta vez el alma del perfil, además de estar solicitada a un esfuerzo de flexión simple, también está solicitada a compresión, en su mayoría gracias las cargas transmitidas por el sistema de arriostramiento de fachada, por lo que habrá que acudir a la fila de flexo compresión. Para determinar qué tipo de sección se tiene, se procede igual que antes:

$$Alma \rightarrow \frac{h - 2 * t_f}{t_w} = \frac{450 - 2 * 14.6}{9.4} = 44.76$$

Ahora, el valor de comparación se obtiene tal y como se observa en la Figura 154:

$$\frac{42 * \varepsilon}{0.67 + 0.33 * \Psi}$$

Siendo Ψ la relación entre las tensiones de tracción y compresión.

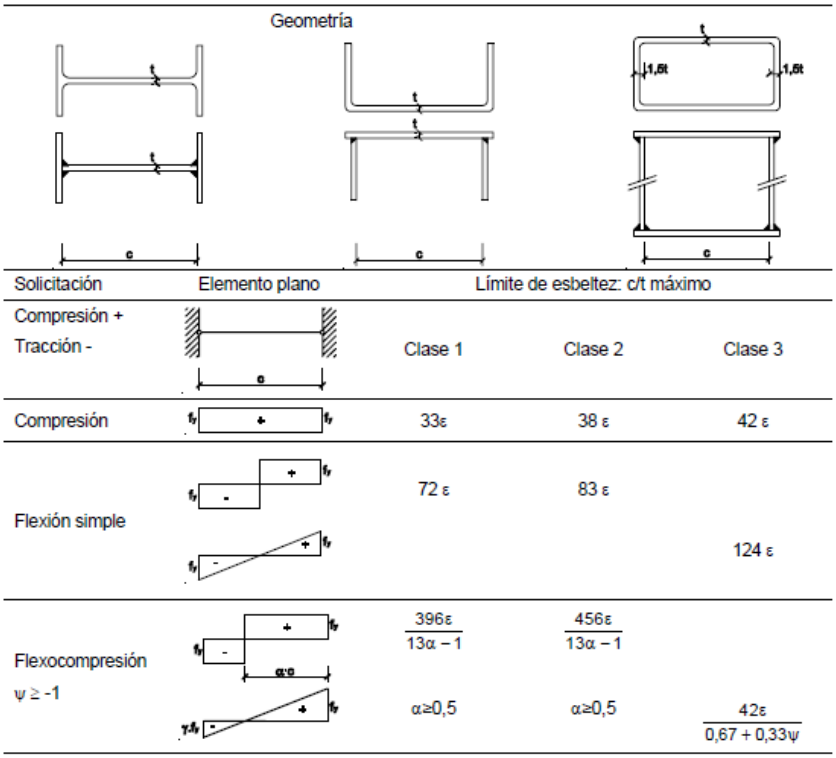


Figura 153 Límites de esbeltez para elementos apoyados en dos bordes

Por lo tanto, es preciso conocer el axil y el flector en valor de cálculo que actúa en el pilar. Para ello, se escogerá la sección del pilar con los mayores esfuerzos. Dicha sección ya ha sido mencionada anteriormente y los esfuerzos han sido anotados en la Tabla 23.

Se puede deducir que la combinación más desfavorable de esfuerzos será:

1.35 CP + 1.5 V1b + 1.5*0.7 $SCU_{PG(frena+)}$ + 1.5*0.5 N

Lo que dará lugar a unos axiles y unos momentos flectores de valor:

$$N_{Ed} = 1.35 * (-17) + 1.5 * (-106) + 1.5 * 0.7 * (-16.7) + 1.5 * 0.5 * (-7) = -204.7\ KN$$

$$M_{y,Ed} = 1.35 * (0) + 1.5 * (144.66) + 1.5 * 0.7 * (0) + 1.5 * 0.5 * (0) = 217\ KN * m$$

Las propiedades de la sección bruta:

$$A_1 = 9880\ mm^2$$

$$W_1 = 1500 * 10^3 mm^3$$

Ya se puede determinar cuánto valdrán los esfuerzos axiles en esa sección.

$$\sigma_{x,Ned} = \frac{N_{Ed}}{A_1} = 48.75\ MPa$$

$$\sigma_{x,My} = \frac{M_{y,Ed}}{W_1} = 144.66\ MPa$$

Por lo tanto, la distribución de esfuerzos de la sección bruta queda de la siguiente forma:

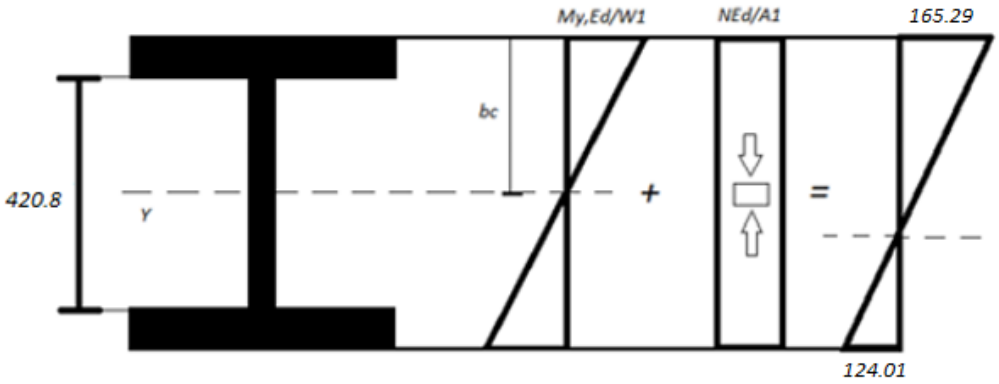


Figura 154 Distribución de esfuerzos sección bruta

Ya se puede obtener la relación entre los esfuerzos de tracción y compresión, siendo los valores de tracción tomados como negativos.

$$\Psi = \frac{-124.01}{165.29} = -0.75$$

Por lo tanto el valor de comparación adopta el siguiente valor:

$$\frac{42 * \varepsilon}{0.67 + 0.33 * \Psi} = \frac{42 * 0.9244}{0.67 + 0.33 * (-0.75)} = 91.9$$

Como se puede observar, el valor obtenido anteriormente para comprobar que tipo de sección se tiene, es de 44.76, mientras que el valor de comparación que indica el valor máximo para que la sección sea de clase 3, es de 91.9, por lo que se tiene una sección de clase 3 y se procede a realizar la comprobación de resistencia de esa sección, que al contar con los mayores esfuerzos, se supone la más desfavorable.

COMPROBACIÓN DE RESISTENCIA

Tal y como dicta el apartado 6.2.8 del DB SE-A del C.T.E., para realizar la comprobación de resistencia bajo interacción de esfuerzos despreciando el cortante, es necesario comprobar que el cortante en valor de cálculo es inferior a la mitad de la capacidad resistente a cortante de la sección.

Por lo tanto se calcula el cortante en valor de cálculo y la combinación más desfavorable de esfuerzos es:

0.8 CP + 1.5 V1b

Se obtiene un cortante de:

$$V_{Ed} = 0.8 * (0) + 1.5 * (-11.7) = -17.55\ KN$$

A continuación, se calcula la capacidad resistente a cortante de la sección según el apartado 6.2.4 del DB SE-A:

$$V_{pl,Rd} = A_v * \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

Donde el término de A_v hace referencia al área a cortante y adopta los siguientes valores para secciones armadas cargadas paralelamente al alma:

$$A_v = 5082\ mm^2$$

Por lo que la resistencia de la sección a cortante queda de la siguiente forma:

$$V_{pl,Rd} = A_v * \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}} = 5082 * \frac{\frac{275}{1.05}}{\sqrt{3}} = 768.43\ KN$$

La mitad de la resistencia a cortante será:

$$\frac{V_{pl,Rd}}{2} = \frac{768.43}{2} = 384.2\ KN > 17.4\ KN$$

Como el esfuerzo cortante en valor de cálculo, V_{Ed}, es inferior al 50% del esfuerzo resistente,$V_{pl,Rd}$, se puede despreciar el cortante en la interacción de esfuerzos.

Por lo tanto, tal y como indica C.T.E., se aplican las fórmulas 6.11 (Flexión compuesta sin cortante).

1 Flexión compuesta sin cortante:

c) en general se utilizarán las fórmulas de interacción, de carácter prudente, indicadas a continuación:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,Rdy}} + \frac{M_{zEd}}{M_{pl,Rdz}} \le 1 \qquad \text{Para secciones de clase 1 y 2}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{el,Rdy}} + \frac{M_{zEd}}{M_{el,Rdz}} \le 1 \qquad \text{Para secciones de clase 3} \qquad (6.11)$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{u,Rd}} + \frac{M_{y,Ed} + N_{Ed} \cdot e_{Ny}}{M_{0,Rdy}} + \frac{M_{zEd} + N_{SEd} \cdot e_{Ny}}{M_{0,Rdz}} \le 1 \qquad \text{Para secciones de clase 4}$$

siendo

$$f_{yd} = \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

Figura 155 Interacción de esfuerzos en secciones

Como se ha demostrado anteriormente, la sección de estudio es de clase 3 por lo que se tiene que aplicar la segunda de las fórmulas de la Figura 116, teniendo en cuenta además que no existe momento en z, por lo que la ecuación se simplifica y queda de la siguiente forma:

$$\frac{N_{Ed}}{A * f_{yd}} + \frac{M_{y,Ed}}{W_y * f_{yd}} \leq 1$$

Como ya se cuenta con las propiedades de la sección, ya se puede realizar la comprobación de resistencia:

$$\frac{N_{Ed}}{A * f_{yd}} + \frac{M_{y,Ed}}{W_y * f_{yd}} = \frac{204 * 10^3}{9880 * \frac{275}{1.05}} + \frac{217 * 10^6}{1500 * 10^3 * \frac{275}{1.05}} =$$

$$0.07 + 0.55 = 0.62 \leq 1(CUMPLE)$$

Se puede concluir que la sección del pilar justo por debajo de la ménsula cumple con la comprobación de resistencia con un aprovechamiento del 62% de su capacidad resistente.

Se procede a realizar la comprobación de estabilidad bajo interacción de esfuerzos.

COMPROBACIÓN DE ESTABILIDAD

Para realizar la comprobación de estabilidad se va a dividir el pilar en varios tramos de estudio como ya se ha hecho anteriormente con otros elementos.

Se colocará un tornapunta para arriostrar las alas interiores a la nave a la altura de la segunda correa de fachada frontal (6.25 metros) y a la altura de la cuarta correa de fachada frontal (10.75 metros). De esta forma, como ya se ha explicado anteriormente, se conseguirá reducir las longitudes entre puntos de arriostramientos y hacer el coeficiente de reducción por pandeo lateral menos restrictivo.

Por lo tanto la distribución del pilar de cierre queda de la siguiente forma:

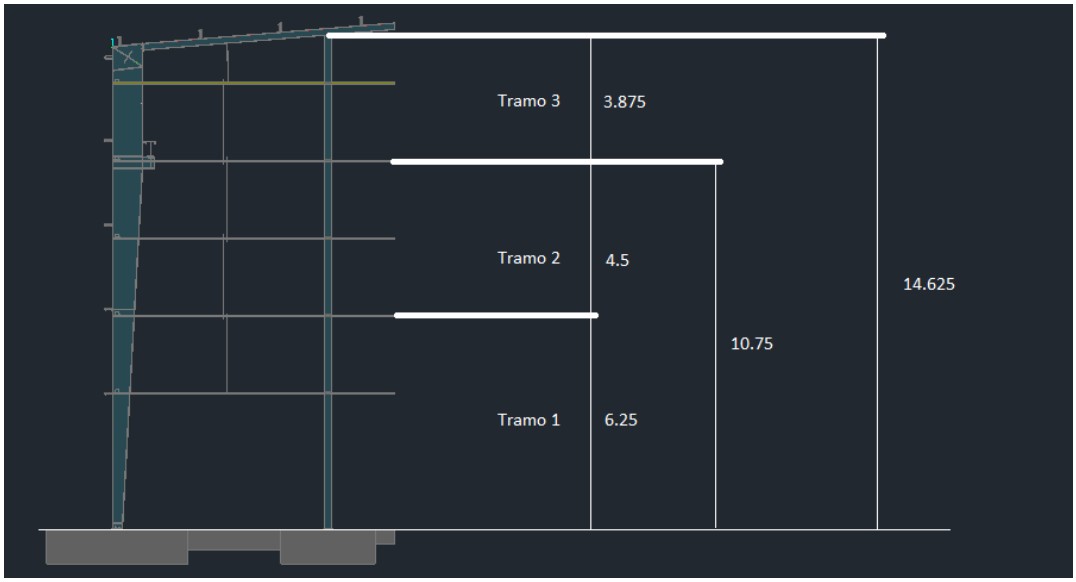


Figura 156 Esquema del pilar de cierre B y D

Como se puede observar en la Figura 157, existen 3 tramos diferenciados que serán comprobados a estabilidad bajo interacción de esfuerzos.

- Tramo 1: comprende de los 0 metros en la base del pilar hasta los 6.25 metros. Este tramo contiene los esfuerzos más desfavorables, ya que estos se encontraban a 5.35 metros de altura como se ha explicado anteriormente.

- Tramo 2: comprende de los 6.5 metros en los que finaliza el tramo 1, hasta los 10.75 metros en los que se encuentra la correa nº4.
- Tramo 3: comprende desde los 10.75 metros en los que finaliza el tramo 2, hasta la cabeza del pilar a 14.625 metros.

Se va a comenzar por estudiar el tramo 1.

Tramo 1:

Para realizar la comprobación de estabilidad del tramo 1 se tendrá en cuenta la interacción de esfuerzos según dicta el C.T.E en el apartado 6.3.4.2 del DB SE-A (Elementos comprimidos y flectados). Además, al ser el perfil del pilar una IPE, se tendrá en cuenta como susceptible de pandeo por torsión.

6.3.4.2 Elementos comprimidos y flectados

1 A menos que se lleve a cabo un estudio más preciso mediante el procedimiento general descrito en 5.4, las comprobaciones de estabilidad de pieza se realizarán aplicando las fórmulas que se indican a continuación, distinguiendo entre las que sean sensibles o no a la torsión (por ejemplo secciones abiertas o cerradas respectivamente).

La comprobación se llevará a cabo con las fórmulas siguientes:

Para toda pieza:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot A^* \cdot f_{yd}} + k_y \cdot \frac{c_{m,y} \cdot M_{y,Ed} + e_{N,y} \cdot N_{Ed}}{\chi_{LT} W_y \cdot f_{yd}} + \alpha_z \cdot k_z \cdot \frac{c_{m,z} \cdot M_{z,Ed} + e_{N,z} \cdot N_{Ed}}{W_z \cdot f_{yd}} \leq 1 \qquad (6.51)$$

Además, sólo en piezas no susceptibles de pandeo por torsión

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot A^* \cdot f_{yd}} + \alpha_y \cdot k_y \cdot \frac{c_{m,y} \cdot M_{y,Ed} + e_{N,y} \cdot N_{Ed}}{W_y \cdot f_{yd}} + k_z \cdot \frac{c_{m,z} \cdot M_{z,Ed} + e_{N,z} \cdot N_{Ed}}{W_z \cdot f_{yd}} \leq 1 \qquad (6.52)$$

Además, sólo en piezas susceptibles de pandeo por torsión

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot A^* \cdot f_{yd}} + k_{yLT} \cdot \frac{M_{y,Ed} + e_{N,y} \cdot N_{Ed}}{\chi_{LT} W_y \cdot f_{yd}} + k_z \cdot \frac{c_{m,z} \cdot M_{z,Ed} + e_{N,z} \cdot N_{Ed}}{W_z \cdot f_{yd}} \leq 1 \qquad (6.53)$$

Figura 157 Comprobación de estabilidad de elementos comprimidos y flectados

Las ecuaciones para comprobar la estabilidad de la Figura 158 se pueden simplificar ya que no existe momento flector en el eje z, y el desplazamiento del centro de gravedad en el eje “Y” y “Z” es cero, por lo que las fórmulas quedan de la siguiente forma:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y * A * f_{yd}} + k_y \frac{c_{m,y} * M_{y,Ed}}{\chi_{LT} * W_y * f_{yd}} \leq 1$$

Además, en las piezas susceptibles de pandeo por torsión deberá comprobarse:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z * A * f_{yd}} + k_{y,LT} \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} * W_y * f_{yd}} \leq 1$$

Como valores de cálculo de axil y momento flector en el eje y se tomarán los han sido calculados. Es decir:

$$N_{Ed} = -204.7\ KN$$

$$M_{y,Ed} = 217\ KN * m$$

Se va a empezar obteniendo el coeficiente de reducción por pandeo lateral, χ_{LT}. Para calcularlo habrá que seguir las indicaciones del DB SE-A del C.T.E en el apartado 6.3.3.2. En él se especifica,

que para obtener dicho coeficiente de reducción, es necesario obtener la esbeltez relativa frente al pandeo lateral, $\bar{\lambda}_{LT}$, que se determina según la relación:

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_y * f_y}{M_{cr}}}$$

Donde:

- M_{cr}: momento crítico elástico de pandeo lateral. Se determinará según la teoría de la elasticidad de acuerdo al apartado 6.3.3.3 del DB SE-A.
- Wy: módulo resistente elástico.

Por lo tanto, se va a determinar el momento crítico elástico del pandeo lateral. Siguiendo las indicaciones de la norma se calcula con la siguiente ecuación:

$$M_{cr} = \sqrt{M_{LT\,v}^2 + M_{LT\,W}^2}$$

Siendo:

- $M_{LT\,v}$= componente del momento crítico que representa la resistencia por torsión uniforme de la barra
- $M_{LT\,w}$= componente del momento crítico que representa la resistencia por torsión no uniforme de la barra

Para calcular la componente del momento crítico que representa la resistencia por torsión uniforme de la barra, $M_{LT\,v}$, se siguen las indicaciones de la norma y se aplica la siguiente fórmula:

$$M_{LT\,v} = C_1 * \frac{\pi}{L_c} * \sqrt{G * I_t * E * I_z}$$

Siendo:

- C_1: este factor tiene en cuenta las condiciones de apoyo y la ley de momentos flectores que solicitan la viga. Su valor se obtiene de la Tabla 6.7 del DB SE-A.
- L_c: longitud de pandeo lateral (Distancia entre apoyos laterales que impidan el pandeo lateral)
- G: módulo de elasticidad transversal
- E: módulo de elasticidad
- I_t: constante de torsión uniforme

Al ser el material acero S-275, se conocen las propiedades G y E.

A continuación se va a determinar el factor C_1 acudiendo a la Tabla 6.7 del DB SE-A.

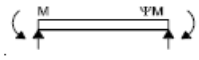
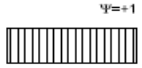
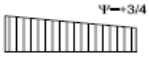
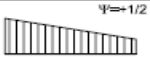
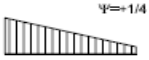
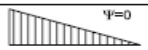
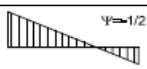
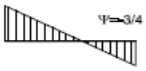
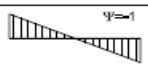
Condiciones de apoyo y tipo de solicitación	Diagrama de momentos flectores	C_1
		1
		1,14
		1,32
		1,56
		1,88
		2,28
		2,7
		2,93
		2,75

Figura 158 Valor del factor C_1

Gracias al software comercial CYPE, se puede consultar la distribución de momentos que se tiene en esa zona del pilar.

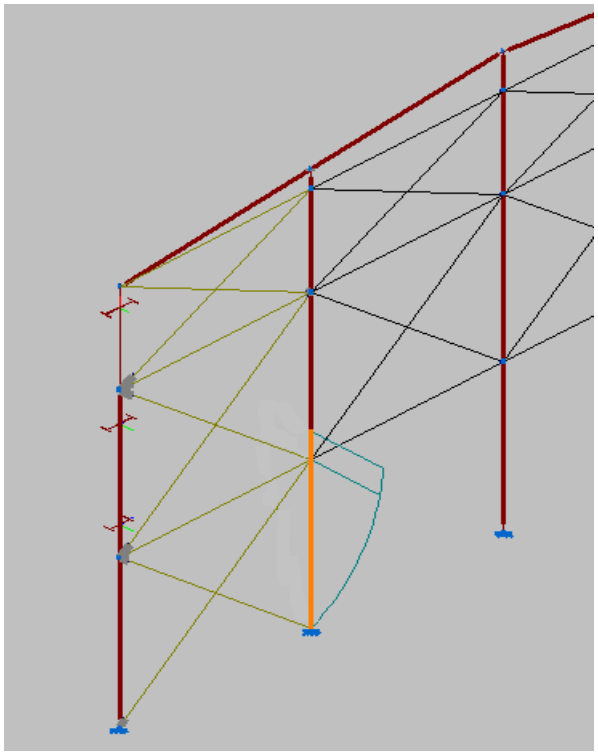


Figura 159 Distribución de momentos en el tramo 1 del pilar B

Se procedería a comparar el momento de la Figura 160 con los de la Figura 159 para averiguar el factor C_1. Como se puede observar, le corresponde un valor de:

$$C_1 = 1.88$$

A continuación se determinará el valor de L_c. Como se ha dicho anteriormente, la distancia entre puntos de arriostramiento para el tramo 1 es la distancia entre la base del pilar y la segunda correa de fachada frontal. Es decir:

$$L_c = 6250\ mm$$

Por lo tanto, solo queda determinar la constante de torsión uniforme, I_t.

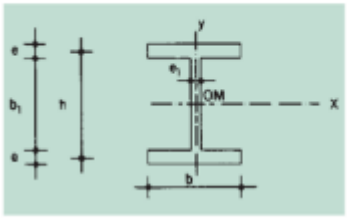
Sección	Coordenadas del centro de esfuerzos cortantes M	Módulo de torsión I_t cm⁴
	$x_0 = 0$ $y_0 = 0$	$\frac{2be^3 + b_1e_1^3}{3}$

Figura 160 Características de torsión en perfiles IPE

Siguiendo la fórmula de la Figura 160 al ser un perfil IPE:

$$I_t = \frac{2 * b * e^3 + b_1 * e_1^3}{3} = \frac{2 * 190 * 14.6^3 + (450 - 2 * 14.6) * 9.4^3}{3} = 0.51 * 10^6\ mm^4$$

Ya se puede obtener la componente del momento crítico que representa la resistencia por torsión uniforme de la barra, $M_{LT\,v}$:

$$M_{LT\,v} = C_1 * \frac{\pi}{L_c} * \sqrt{G * I_t * E * I_z} =$$

$$= 1.88 * \frac{\pi}{6250} * \sqrt{8.1 * 10^4 * 0.51 * 10^6 * 2.1 * 10^5 * 16.8 * 10^6} = 360.76\ KN * m$$

Así que solo queda determinar la componente $M_{LT\,w}$ que tal y como indica la norma se calcula de la siguiente forma:

$$M_{LT\,w} = W_y * \frac{\pi^2 * E}{L_c^2} * C_1 * i_{f,z}^2$$

Siendo:

- W_y: módulo resistente elástico de la sección, correspondiente a la fibra más comprimida.
- $i_{f,z}$: radio de giro, con respecto al eje de menor inercia de la sección, del soporte formado por el ala comprimida y la tercera parte de la zona comprimida del alma eficaz, adyacente al ala comprimida

El valor del radio de giro, con respecto al eje de menor inercia de la sección, $i_{f,z}$, se calcula de la siguiente forma:

$$i_{f,z} = \sqrt{\frac{I_{f,z}}{A_f}} = \sqrt{\frac{\frac{190^3 * 14.6}{12}}{\frac{450 - 2 * 14.6}{3} * 9.4 + 190 * 14.6}} = 45.15\ mm$$

Por lo tanto, ya se puede calcular la componente del momento crítico que representa la resistencia por torsión no uniforme de la barra, $M_{LT\,w}$, y el momento crítico elástico del pandeo lateral, M_{cr}.

$$M_{LT\,w} = W_y * \frac{\pi^2 * E}{L_c^2} * C_1 * i_{f,z}^2 =$$

$$1500 * 10^3 * \frac{\pi^2 * 2.1 * 10^5}{6250^2} * 1.88 * 45.15^2 = 305\ KN * m$$

$$M_{cr} = \sqrt{M_{LT\,v}^2 + M_{LT\,W}^2} = \sqrt{305^2 + 360.76^2} = 472\ KN * m$$

Una vez que ya se cuenta con el momento crítico, la esbeltez relativa frente al pandeo lateral queda de la siguiente forma:

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_y * f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{1500 * 10^3 * 275}{472 * 10^6}} = 0.93$$

Para determinar el coeficiente de reducción, se necesita saber a qué curva de pandeo pertenece este caso, para ello se acude a la Tabla 6.6 del DB SE-A.

Elemento	Límites	Curva de pandeo
Perfil laminado con sección en doble T	h/b ≤ 2	a
	h/b > 2	b
Elemento armado con sección en doble T	h/b ≤ 2	c
	h/b > 2	d
Elementos con otras secciones	-	d

Figura 161 Curvas de pandeo según el elemento

Como puede observarse en la Figura 162, este caso pertenece a "Perfil laminado con sección en doble T". Falta determinar la relación h/b:

$$\frac{h}{b} = \frac{450}{190} = 2.36 > 2$$

Por lo tanto le corresponde la curva de pandeo b.

Se acude a las curvas y se obtiene que el coeficiente de reducción por pandeo lateral:

$$\chi_{LT} = 0.635$$

A continuación es necesario obtener el coeficiente de reducción por pandeo en el eje y, χ_y.

Para la obtención de este coeficiente de reducción por pandeo se sigue el apartado 6.3 del DB SE-A del C.T.E. fijándose en la Figura 6.3 que muestra las curvas de pandeo en función de la esbeltez reducida.

Para la obtención de esa esbeltez reducida, se necesitan la esbeltez de Euler y la esbeltez mecánica.

Para esta última, hay que tener en cuenta que se necesita la longitud de pandeo y el radio de giro en el eje y.

La longitud de pandeo se obtiene de la siguiente manera:

$$L_k = \beta * L$$

Siendo:

- B: coeficiente de longitud de pandeo
- L: longitud de la barra

Se conoce que la longitud de pandeo en el eje y (Plano X-Z de la barra) son 14.65 metros (Longitud total del pilar), y el coeficiente de longitud de pandeo, β, es igual a 1 ya que se considera articulado en ambos extremos de ese plano.

Por lo tanto:

$$L_k = \beta * L = 1 * 14625 = 14625\ mm$$

Por lo tanto ya se puede calcular todo lo dicho anteriormente:

$$Esbeltez\ de\ Euler \rightarrow \ \lambda_E = \pi * \sqrt{\frac{E}{f_y}} = \pi * \sqrt{\frac{2.1 * 10^5}{275}} = 86.8$$

$$Esbeltez\ mecánica \rightarrow \ \lambda_y = \frac{L_k}{i_y} = \frac{14625}{185} = 79$$

Ya se puede calcular la esbeltez reducida:

$$Esbeltez\ reducida \rightarrow \ \bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_E} = \frac{79}{86.8} = 0.9$$

Una vez obtenida la esbeltez reducida ya se puede obtener el coeficiente de reducción acudiendo a las cuervas de pandeo. Este caso corresponde a la curva a, ya que se trata de una agrupación de perfiles laminados en I con pandeo en el eje “y”, y con una relación h/b mayor que 1.2.

$$\chi_y = 0.734$$

A continuación se procederá a obtener el valor del coeficiente de interacción k_y. Para ello se sigue el mismo apartado y se acude a la tabla 6.9 del DB SE-A.

Cla-se	Tipo de sec-ción	k_y	k_z	k_{yLT}
1 y 2	I, H, abier-tas	$1+(\bar{\lambda}_y-0{,}2)\cdot\frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{C,Rd}}$	$1+(2\cdot\bar{\lambda}_z-0{,}6)\cdot\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{C,Rd}}$	el menor de $1-\frac{0{,}1\cdot\bar{\lambda}_z}{(c_{mLT}-0{,}25)}\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{C,Rd}}$
	Hueca delga-da		$1+(\bar{\lambda}_z-0{,}2)\cdot\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{C,Rd}}$	$0{,}6+\bar{\lambda}_z$
3 y 4	Todas	$1+0{,}6\cdot\bar{\lambda}_y\cdot\frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{C,Rd}}$	$1+0{,}6\cdot\bar{\lambda}_z\cdot\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{C,Rd}}$	$1-\frac{0{,}05\cdot\bar{\lambda}_z}{(c_{mLT}-0{,}25)}\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{C,Rd}}$

siendo

$\bar{\lambda}_y$ y $\bar{\lambda}_z$ valores de las esbelteces reducidas para los ejes y – y y z – z, no mayores que 1,00.

$N_{C,Rd} = A^{*}\cdot\frac{f_y}{\gamma_{M1}}$

Figura 162 Coeficientes de interacción

Ya que se cuenta con sección de clase 3, la fórmula será la que aparece en la Figura 163:

$$k_y = 1 + 0.6 * \bar{\lambda}_y * \frac{N_{Ed}}{\chi_y * N_{c,rd}} =$$

$$1 + 0.6 * 0.9 * \frac{204.7}{0.734 * 2587.5} = 1.01$$

Se continúa obteniendo el factor de momento flector uniforme equivalente, $c_{m,y}$, para ello, en el apartado 6.3.4.2 del DB SE-A se acude a la tabla 6.10:

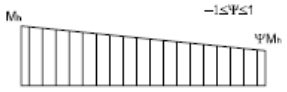
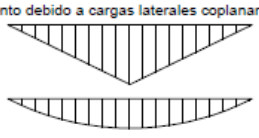
Factor de momento flector	Eje de flexión	Puntos arriostrados en dirección
$c_{m,y}$	y–y	z - z
$c_{m,z}$	z - z	y–y
$c_{m,LT}$	y – y	y–y
Diagrama de Flectores	**Factor de momento uniforme equivalente** $c_{m,y} = c_{m,i}$ (i =y) $c_{m,z} = c_{m,i}$ (i =z) $c_{m,LT} = c_{m,i}$ (i =LT)	
Momentos de extremo 	$c_{m,i} = 0{,}6 + 0{,}4\cdot\psi \ge 0{,}4$	
Momento debido a cargas laterales coplanarias 	$c_{m,i} = 0{,}9$	
	$c_{m,i} = 0{,}95$	

Figura 163 Coeficientes de momento equivalente

Se compara el momento de la Figura 163 con el obtenido en la Figura 159 y se toma como coeficiente de momento equivalente $C_{m,y}$=0.9.

Ya se cuenta con todos los parámetros para poder realizar la comprobación de estabilidad bajo la interacción de esfuerzos:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y * A * f_{yd}} + k_y \frac{c_{m,y} * M_{y,Ed}}{\chi_{LT} * W_y * f_{yd}} =$$

$$\frac{204.7 * 10^3}{0.734 * 9880 * \frac{275}{1.05}} + 1.01 \frac{0.9 * 217 * 10^6}{0.635 * 1500 * 10^3 * \frac{275}{1.05}} =$$

$$0.1 + 0.78 = 0.88 \leq 1 \ (CUMPLE)$$

Además, como se ha dicho anteriormente, en las piezas susceptibles de pandeo por torsión deberá comprobarse:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z * A * f_{yd}} + k_{y,LT} \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} * W_y * f_{yd}} \leq 1$$

A continuación es necesario obtener el coeficiente de reducción por pandeo en el eje z, χ_z.

Para la obtención de este coeficiente de reducción por pandeo se sigue el apartado 6.3 del DB SE-A del C.T.E. fijándose en la Figura 6.3 que muestra las curvas de pandeo en función de la esbeltez reducida.

Para la obtención de esa esbeltez reducida, se necesitan la esbeltez de Euler y la esbeltez mecánica. Para esta última, hay que tener en cuenta que se necesita la longitud de pandeo y el radio de giro en el eje z.

El radio de giro en el eje z es una propiedad del perfil que se obtiene de catálogo.

La longitud de pandeo se obtiene de la siguiente manera:

$$L_k = \beta * L$$

Siendo:

- B: coeficiente de longitud de pandeo
- L: longitud de la barra

Se conoce que la longitud de pandeo en el eje z (Plano X-Y de la barra) son 4 metros, ya que hasta esa altura no existe la primera correa que arriostra al pilar en ese plano y el coeficiente de longitud de pandeo, β, es igual a 1 ya que se considera articulado en ambos extremos de ese plano.

Por lo tanto:

$$L_k = \beta * L = 1 * 4000 = 4000 \ mm$$

Por lo tanto ya se puede calcular todo lo dicho anteriormente:

$$Esbeltez\ de\ Euler \rightarrow \ \lambda_E = \pi * \sqrt{\frac{E}{f_y}} = \pi * \sqrt{\frac{2.1 * 10^5}{275}} = 86.8$$

$$Esbeltez\ mecánica \rightarrow \ \lambda_z = \frac{L_k}{i_z} = \frac{4000}{41.2} = 97.08$$

Ya se puede calcular la esbeltez reducida:

$$Esbeltez\ reducida \rightarrow \ \bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_E} = \frac{97.08}{86.8} = 1.1$$

Una vez obtenida la esbeltez reducida ya se puede obtener el coeficiente de reducción acudiendo a las cuervas de pandeo. Este caso corresponde a la curva b, ya que se trata de una agrupación de perfiles laminados en I con pandeo en el eje "z", y con una relación h/b mayor que 1.2.

$$\chi_z = 0.535$$

Seguidamente, se calcula el coeficiente de interacción $k_{y,LT}$. Para ello, tal y como se hizo con anterioridad, se acude a la tabla 6.9 del DB SE-A.

Clase	Tipo de sección	k_y	k_z	k_{yLT}
1 y 2	I, H, abiertas	$1+(\bar{\lambda}_y-0{,}2)\cdot\frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{C,Rd}}$	$1+(2\cdot\bar{\lambda}_z-0{,}6)\cdot\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{C,Rd}}$	el menor de $1-\frac{0{,}1\cdot\bar{\lambda}_z}{(c_{mLT}-0{,}25)}\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{C,Rd}}$
	Hueca delgada		$1+(\bar{\lambda}_z-0{,}2)\cdot\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{C,Rd}}$	$0{,}6+\bar{\lambda}_z$
3 y 4	Todas	$1+0{,}6\cdot\bar{\lambda}_y\cdot\frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{C,Rd}}$	$1+0{,}6\cdot\bar{\lambda}_z\cdot\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{C,Rd}}$	$1-\frac{0{,}05\cdot\bar{\lambda}_z}{(c_{mLT}-0{,}25)}\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{C,Rd}}$

siendo

$\bar{\lambda}_y$ y $\bar{\lambda}_z$ valores de las esbelteces reducidas para los ejes y – y y z – z, no mayores que 1,00.

Figura 164 Coeficientes de interacción

Ya que se cuenta con sección de clase 3, la fórmula será la que aparece en la Figura 164:

$$k_{y,LT} = 1 - \frac{0.05 * \bar{\lambda}_z}{(c_{m,LT} - 0.25)} * \frac{N_{Ed}}{\chi_z * N_{c,rd}}$$

Sin embargo, se puede observar en la Tabla 6.9 el comentario que aparece en la parte inferior acerca de que el valor de las esbelteces reducidas tomará un valor no mayor que uno. Al tener una esbeltez reducida de 1.1, en la fórmula del coeficiente de interacción, $k_{y,LT}$, se sustituirá la esbeltez reducida por el valor de la unidad.

Se continúa obteniendo el factor de momento flector uniforme equivalente, $c_{m,LT}$, para ello, tal y como se hizo anteriormente se acude al apartado 6.3.4.2 del DB SE-A:

$$c_{m,LT} = 0.9$$

$$k_{y,LT} = 1 - \frac{0.05 * \bar{\lambda}_z}{(c_{m,LT} - 0.25)} * \frac{N_{Ed}}{\chi_z * N_{c,rd}} = 1 - \frac{0.05 * 1}{0.9 - 0.25} * \frac{204.7}{0.535 * 2587.5} = 0.96$$

Al contar con el resto de parámetros, que fueron calculados con anterioridad, ya se puede realizar la comprobación. Al ser pieza susceptible de pandeo por torsión:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z * A * f_{yd}} + k_{y,LT}\frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} * W_y * f_{yd}} =$$

$$\frac{204.7 * 10^3}{0.535 * 9880 * \frac{275}{1.05}} + 0.96 * \frac{217 * 10^6}{0.635 * 1500 * 10^3 * \frac{275}{1.05}} =$$

$$0.14 + 0.83 = 0.97 \leq 1\ (CUMPLE)$$

Como se ha visto, el pilar de cierre en el tramo 1, cumple con las comprobaciones de estabilidad con un aprovechamiento máximo del 97% de su capacidad.

Tramo 2:

A continuación, tal y como se ha hecho para el tramo 1, se va a comprobar la estabilidad del tramo 2 bajo interacción de esfuerzos.

Primero, se van a obtener los esfuerzos por hipótesis en la sección más solicitada del pilar, la cual se encuentra a 7.35 metros de la base del pilar. Gracias al programa informático de CYPE se obtienen los siguientes resultados:

X= 7,35 m [KN,m]	CP	N	V1a	V1b	V2	SCUpg(frena+)	SCUpg(frena-)
Nx	-15,1	-10,8	-27,8	-53,6	21	-9,7	-4,7
Vz	0	0	0	0	0	0	0
My	0	0	155,8	155,8	-110,1	0	0

Tabla 25 Acciones por hipótesis del tramo 2

Nuevamente, para realizar la comprobación de estabilidad del tramo 2 se tendrá en cuenta la interacción de esfuerzos según dicta el C.T.E en el apartado 6.3.4.2 del DB SE-A (Elementos comprimidos y flectados). Además, al ser el perfil del pilar una IPE, se tendrá en cuenta como susceptible de pandeo por torsión.

Las ecuaciones para comprobar la estabilidad son las que han sido usadas en el tramo 1 y cuentan con las mismas simplificaciones, por lo que las fórmulas quedan de la siguiente forma:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y * A * f_{yd}} + k_y \frac{c_{m,y} * M_{y,Ed}}{\chi_{LT} * W_y * f_{yd}} \leq 1$$

Además, en las piezas susceptibles de pandeo por torsión deberá comprobarse:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z * A * f_{yd}} + k_{y,LT} \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} * W_y * f_{yd}} \leq 1$$

A continuación, se determina cuál es la combinación más desfavorable de esfuerzos para obtenerlos en valor de cálculo y poder realizar la comprobación:

$$1.35\ CP + 1.5\ V1b + 1.5*0.7\ SCU_{PG(frena+)} + 1.5*0.5\ N$$

Ya se pueden obtener los esfuerzos en valor de cálculo:

$$N_{Ed} = 1.35 * (-15.1) + 1.5 * (-53.6) + 1.5 * 0.7 * (-9.7) + 1.5 * 0.5 * (-10.8) = -120\ KN$$

$$M_{y,Ed} = 1.35 * (0) + 1.5 * (155.8) + 1.5 * 0.7 * (0) + 1.5 * 0.5 * (0) = 233.7\ KN * m$$

Se continúa obteniendo el coeficiente de reducción por pandeo lateral, χ_{LT}, ya que varía con respecto al del tramo 1. Para calcularlo habrá que seguir las indicaciones del DB SE-A del C.T.E en el apartado 6.3.3.2. En él se especifica, que para obtener dicho coeficiente de reducción, es

necesario obtener la esbeltez relativa frente al pandeo lateral, $\bar{\lambda}_{LT}$, que se determina según la relación:

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_y * f_y}{M_{cr}}}$$

Donde:

- M_{cr}: momento crítico elástico de pandeo lateral. Se determinará según la teoría de la elasticidad de acuerdo al apartado 6.3.3.3 del DB SE-A.
- Wy: módulo resistente elástico.

Por lo tanto, se va a determinar el momento crítico elástico del pandeo lateral. Siguiendo las indicaciones de la norma se calcula con la siguiente ecuación:

$$M_{cr} = \sqrt{M_{LT\,v}^2 + M_{LT\,W}^2}$$

Siendo:

- $M_{LT\,v}$= componente del momento crítico que representa la resistencia por torsión uniforme de la barra
- $M_{LT\,w}$= componente del momento crítico que representa la resistencia por torsión no uniforme de la barra

Para calcular la componente del momento crítico que representa la resistencia por torsión uniforme de la barra, $M_{LT\,v}$, se siguen las indicaciones de la norma y se aplica la siguiente fórmula:

$$M_{LT\,v} = C_1 * \frac{\pi}{L_c} * \sqrt{G * I_t * E * I_z}$$

Siendo:

- C_1: este factor tiene en cuenta las condiciones de apoyo y la ley de momentos flectores que solicitan la viga. Su valor se obtiene de la Tabla 6.7 del DB SE-A.
- L_c: longitud de pandeo lateral (Distancia entre apoyos laterales que impidan el pandeo lateral)
- G: módulo de elasticidad transversal
- E: módulo de elasticidad
- I_t: constante de torsión uniforme

Al ser el material acero S-275, se conocen las propiedades G y E.

A continuación se va a determinar el factor C_1 acudiendo a la Tabla 6.7 del DB SE-A.

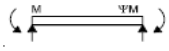
Condiciones de apoyo y tipo de solicitación	Diagrama de momentos flectores	C_1
	Ψ=+1	1
	Ψ=+3/4	1,14
	Ψ=+1/2	1,32
	Ψ=+1/4	1,56
	Ψ=0	1,88
	Ψ=-1/4	2,28
	Ψ=-1/2	2,7
	Ψ=-3/4	2,93
	Ψ=-1	2,75

Figura 165 Valor del factor C_1

Gracias al software comercial CYPE, se puede consultar la distribución de momentos que se tiene en esa zona del pilar.

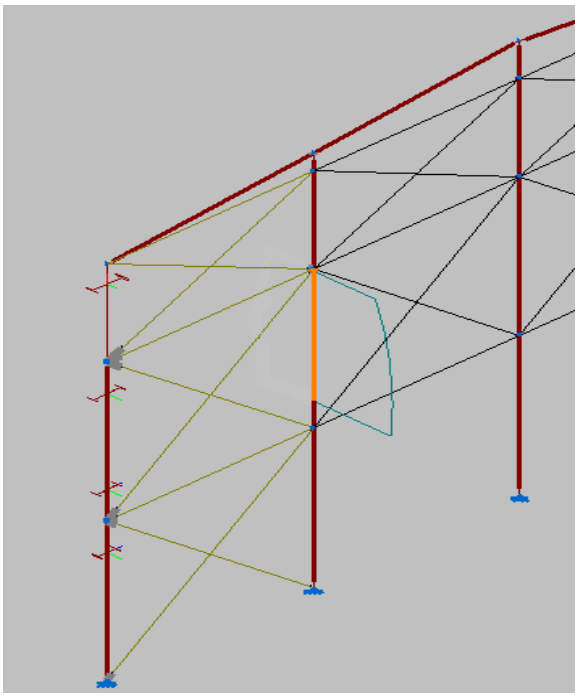


Figura 166 Distribución de momentos en el tramo 2 del pilar B

Se procedería a comparar el momento de la Figura 166 con los de la Figura 165 para averiguar el factor C_1. Se le puede asignar un valor aproximado de la unidad:

$$C_1 = 1$$

A continuación se determinará el valor de L_c. Como se ha dicho anteriormente, la distancia entre puntos de arriostramiento para el tramo 2 es la distancia entre la el final del tramo 1 (6.25 metros) y la cuarta correa de fachada frontal (10.75 metros). Es decir:

$$L_c = 4500\ mm$$

La constante de torsión uniforme, I_t, se calculó en el tramo 1:

$$I_t = 0.51 * 10^6\ mm^4$$

Ya se puede obtener la componente del momento crítico que representa la resistencia por torsión uniforme de la barra, $M_{LT\,v}$:

$$M_{LT\,v} = C_1 * \frac{\pi}{L_c} * \sqrt{G * I_t * E * I_z} =$$

$$= 1 * \frac{\pi}{4500} * \sqrt{8.1 * 10^4 * 0.51 * 10^6 * 2.1 * 10^5 * 16.8 * 10^6} = 266.51\ KN * m$$

Así que solo queda determinar la componente $M_{LT\,w}$ que tal y como indica la norma se calcula de la siguiente forma:

$$M_{LT\,w} = W_y * \frac{\pi^2 * E}{L_c^2} * C_1 * i_{f,z}^2$$

Siendo:

- W_y: módulo resistente elástico de la sección, correspondiente a la fibra más comprimida.
- $i_{f,z}$: radio de giro, con respecto al eje de menor inercia de la sección, del soporte formado por el ala comprimida y la tercera parte de la zona comprimida del alma eficaz, adyacente al ala comprimida

El valor del radio de giro, con respecto al eje de menor inercia de la sección, $i_{f,z}$, se calculó para el tramo 1:

$$i_{f,z} = 45.15\ mm$$

Por lo tanto, ya se puede calcular la componente del momento crítico que representa la resistencia por torsión no uniforme de la barra, $M_{LT\,w}$, y el momento crítico elástico del pandeo lateral, M_{cr}.

$$M_{LT\,w} = W_y * \frac{\pi^2 * E}{L_c^2} * C_1 * i_{f,z}^2 =$$

$$1500 * 10^3 * \frac{\pi^2 * 2.1 * 10^5}{4500^2} * 1 * 45.15^2 = 312.96\ KN * m$$

$$M_{cr} = \sqrt{M_{LT\,v}^2 + M_{LT\,W}^2} = \sqrt{266.51^2 + 312.96^2} = 411.06\ KN * m$$

Una vez que ya se cuenta con el momento crítico, la esbeltez relativa frente al pandeo lateral queda de la siguiente forma:

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_y * f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{1500 * 10^3 * 275}{411.06 * 10^6}} = 1$$

Para determinar el coeficiente de reducción, se necesita saber a qué curva de pandeo pertenece este caso, para ello se acude a la Tabla 6.6 del DB SE-A.

Elemento	Límites	Curva de pandeo
Perfil laminado con sección en doble T	h/b ≤ 2	a
	h/b > 2	b
Elemento armado con sección en doble T	h/b ≤ 2	c
	h/b > 2	d
Elementos con otras secciones	-	d

Figura 167 Curvas de pandeo según el elemento

Como puede observarse en la Figura 168, este caso pertenece a "Perfil laminado con sección en doble T". Falta determinar la relación h/b:

$$\frac{h}{b} = \frac{450}{190} = 2.36 > 2$$

Por lo tanto le corresponde la curva de pandeo b.

Se acude a las curvas y se obtiene que el coeficiente de reducción por pandeo lateral:

$$\chi_{LT} = 0.597$$

A continuación se procederá a obtener el valor del coeficiente de interacción k_y. Para ello se sigue el mismo apartado y se acude a la tabla 6.9 del DB SE-A.

Clase	Tipo de sección	k_y	k_z	k_{yLT}
1 y 2	I, H, abiertas	$1+(\bar{\lambda}_y-0{,}2)\cdot\frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{C,Rd}}$	$1+(2\cdot\bar{\lambda}_z-0{,}6)\cdot\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{C,Rd}}$	el menor de $1-\frac{0{,}1\cdot\bar{\lambda}_z}{(c_{mLT}-0{,}25)}\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{C,Rd}}$
	Hueca delgada		$1+(\bar{\lambda}_z-0{,}2)\cdot\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{C,Rd}}$	$0{,}6+\bar{\lambda}_z$
3 y 4	Todas	$1+0{,}6\cdot\bar{\lambda}_y\cdot\frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{C,Rd}}$	$1+0{,}6\cdot\bar{\lambda}_z\cdot\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{C,Rd}}$	$1-\frac{0{,}05\cdot\bar{\lambda}_z}{(c_{mLT}-0{,}25)}\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{C,Rd}}$

siendo

$\bar{\lambda}_y$ y $\bar{\lambda}_z$ valores de las esbelteces reducidas para los ejes y – y y z – z, no mayores que 1,00.

$N_{C,Rd} = A^{*}\cdot\frac{f_y}{\gamma_{M1}}$

Figura 168 Coeficientes de interacción

Ya que se cuenta con sección de clase 3, la fórmula será la que aparece en la Figura 163:

$$k_y = 1 + 0.6 * \bar{\lambda}_y * \frac{N_{Ed}}{\chi_y * N_{c,rd}} =$$

$$1 + 0.6 * 1 * \frac{120}{0.734 * 2587.5} = 1$$

Se continúa obteniendo el factor de momento flector uniforme equivalente, $c_{m,y}$, para ello, en el apartado 6.3.4.2 del DB SE-A se acude a la tabla 6.10:

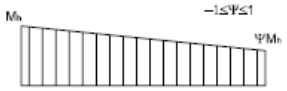
Factor de momento flector	Eje de flexión	Puntos arriostrados en dirección
$c_{m,y}$	y–y	z - z
$c_{m,z}$	z - z	y–y
$c_{m,LT}$	y – y	y–y
Diagrama de Flectores	**Factor de momento uniforme equivalente**	
	$c_{m,y} = c_{m,i}$ (i =y)	
	$c_{m,z} = c_{m,i}$ (i =z)	
	$c_{m,LT} = c_{m,i}$ (i =LT)	
Momentos de extremo 	$c_{m,i} = 0,6 + 0,4 \cdot \psi \ge 0,4$	
Momento debido a cargas laterales coplanarias 	$c_{m,i} = 0,9$	
	$c_{m,i} = 0,95$	

Figura 169 Coeficientes de momento equivalente

Se compara el momento de la Figura 170 con el obtenido en la Figura 166 y se toma como coeficiente de momento equivalente $C_{m,y}$=1 para estar por el lado de la seguridad.

Ya se cuenta con todos los parámetros para poder realizar la comprobación de estabilidad bajo la interacción de esfuerzos:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y * A * f_{yd}} + k_y \frac{c_{m,y} * M_{y,Ed}}{\chi_{LT} * W_y * f_{yd}} =$$

$$\frac{120 * 10^3}{0.734 * 9880 * \frac{275}{1.05}} + 1 * \frac{1 * 233.7 * 10^6}{0.597 * 1500 * 10^3 * \frac{275}{1.05}} =$$

$$0.05 + 0.94 = 0.99 \le 1 \ (CUMPLE)$$

Además, como se ha dicho anteriormente, en las piezas susceptibles de pandeo por torsión deberá comprobarse:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z * A * f_{yd}} + k_{y,LT} \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} * W_y * f_{yd}} \le 1$$

A continuación es necesario obtener el coeficiente de reducción por pandeo en el eje z, χ_z, que será diferente al del tramo 1 ya que en el tramo 2 la distancia máxima entre arriostramientos es distinta.

Para la obtención de este coeficiente de reducción por pandeo se sigue el apartado 6.3 del DB SE-A del C.T.E. fijándose en la Figura 6.3 que muestra las curvas de pandeo en función de la esbeltez reducida.

Para la obtención de esa esbeltez reducida, se necesitan la esbeltez de Euler y la esbeltez mecánica. Para esta última, hay que tener en cuenta que se necesita la longitud de pandeo y el radio de giro en el eje z.

El radio de giro en el eje z es una propiedad del perfil que se obtiene de catálogo.

La longitud de pandeo se obtiene de la siguiente manera:

$$L_k = \beta * L$$

Siendo:

- B: coeficiente de longitud de pandeo
- L: longitud de la barra

Como se ha mencionado, la longitud de pandeo en el eje z (Plano X-Y de la barra) son 2.25 metros, ya que en ese tramo la máxima distancia entre puntos de arriostramiento es la distancia entre correas. Además, β, es igual a 1 ya que se considera articulado en ambos extremos de ese plano.

Por lo tanto:

$$L_k = \beta * L = 1 * 2250 = 2250\ mm$$

Por lo tanto ya se puede calcular todo lo dicho anteriormente:

$$Esbeltez\ de\ Euler \rightarrow \lambda_E = \pi * \sqrt{\frac{E}{f_y}} = \pi * \sqrt{\frac{2.1 * 10^5}{275}} = 86.8$$

$$Esbeltez\ mecánica \rightarrow \lambda_z = \frac{L_k}{i_z} = \frac{2250}{41.2} = 54.6$$

Ya se puede calcular la esbeltez reducida:

$$Esbeltez\ reducida \rightarrow \bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_E} = \frac{54.6}{86.8} = 0.62$$

Una vez obtenida la esbeltez reducida ya se puede obtener el coeficiente de reducción acudiendo a las cuervas de pandeo. Este caso corresponde a la curva b, ya que se trata de una agrupación de perfiles laminados en I con pandeo en el eje “z”, y con una relación h/b mayor que 1.2.

$$\chi_z = 0.827$$

Seguidamente, se calcula el coeficiente de interacción $k_{y,LT}$. Para ello, tal y como se hizo con anterioridad, se acude a la tabla 6.9 del DB SE-A.

Clase	Tipo de sección	k_y	k_z	k_{yLT}
1 y 2	I, H, abiertas	$1+(\bar{\lambda}_y-0{,}2)\cdot\frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{C,Rd}}$	$1+(2\cdot\bar{\lambda}_z-0{,}6)\cdot\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{C,Rd}}$	el menor de $1-\frac{0{,}1\cdot\bar{\lambda}_z}{(c_{mLT}-0{,}25)}\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{C,Rd}}$
	Huecas delgadas		$1+(\bar{\lambda}_z-0{,}2)\cdot\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{C,Rd}}$	$0{,}6+\bar{\lambda}_z$
3 y 4	Todas	$1+0{,}6\cdot\bar{\lambda}_y\cdot\frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{C,Rd}}$	$1+0{,}6\cdot\bar{\lambda}_z\cdot\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{C,Rd}}$	$1-\frac{0{,}05\cdot\bar{\lambda}_z}{(c_{mLT}-0{,}25)}\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{C,Rd}}$

siendo

$\bar{\lambda}_y$ y $\bar{\lambda}_z$ valores de las esbelteces reducidas para los ejes y – y y z – z, no mayores que 1,00.

Figura 170 Coeficientes de interacción

Ya que se cuenta con sección de clase 3, la fórmula será la que aparece en la Figura 171:

$$k_{y,LT} = 1 - \frac{0.05 * \bar{\lambda}_z}{(c_{m,LT} - 0.25)} * \frac{N_{Ed}}{\chi_z * N_{c,rd}}$$

Sin embargo, se puede observar en la Tabla 6.9 el comentario que aparece en la parte inferior acerca de que el valor de las esbelteces reducidas tomará un valor no mayor que uno. Al tener una esbeltez reducida de 1.1, en la fórmula del coeficiente de interacción, $k_{y,LT}$, se sustituirá la esbeltez reducida por el valor de la unidad.

Se continúa obteniendo el factor de momento flector uniforme equivalente, $c_{m,LT}$, para ello, tal y como se hizo anteriormente se acude al apartado 6.3.4.2 del DB SE-A y se toma el valor de la unidad para estar por el lado de la seguridad:

$$c_{m,LT} = 1$$

$$k_{y,LT} = 1 - \frac{0.05 * \bar{\lambda}_z}{(c_{m,LT} - 0.25)} * \frac{N_{Ed}}{\chi_z * N_{c,rd}} = 1 - \frac{0.05 * 0.62}{1 - 0.25} * \frac{120}{0.827 * 2587.5} = 0.97$$

Al contar con el resto de parámetros, que fueron calculados con anterioridad, ya se puede realizar la comprobación. Al ser pieza susceptible de pandeo por torsión:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z * A * f_{yd}} + k_{y,LT}\frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} * W_y * f_{yd}} =$$

$$\frac{120 * 10^3}{0.827 * 9880 * \frac{275}{1.05}} + 0.97 * \frac{233.7 * 10^6}{0.597 * 1500 * 10^3 * \frac{275}{1.05}} =$$

$$0.03 + 0.96 = 0.99 \leq 1\ (CUMPLE)$$

Como se ha visto, el pilar de cierre en el tramo 2, cumple con las comprobaciones de estabilidad con un aprovechamiento máximo del 99% de su capacidad.

Jorge Alonso Sanz

A continuación, habría que realizar la comprobación del tramo 3, sin embargo, posee longitudes entre puntos de arriostramiento menores que cualquier otro tramo. Además los mayores esfuerzos que solicitan este tramo son menores que en el resto de los tramos.

Por lo tanto, se está ante un caso mucho más favorable y no hace falta su comprobación. Cabe mencionar además, que al diagrama de momentos del tramo 3 le corresponde un factor C_1 igual a 1.88, lo que hace muy complicado que no cumpla la comprobación de estabilidad bajo interacción de esfuerzos cuando el tramo 2 sí la cumplía.

No se va a comprobar tampoco si los tramos cumplirían con la comprobación de estabilidad si se aplicara una combinación desfavorable de esfuerzos que resultara en momentos negativos, ya que estos momentos son más pequeños en valor absoluto que los momentos positivos y además las longitudes entre puntos de arriostramiento para la fibra exterior a la nave son menores (Distancia entre correas) que para la fibra interior a la nave. Por lo que es un caso mucho más favorable.

PILAR C:

El pilar C tiene una longitud total de 15.25 metros

Como se ha hecho con anterioridad, va a presentarse una tabla con las acciones por hipótesis en la sección donde se producen los mayores esfuerzos de todo el pilar. Esta sección se encuentra a 7.7 metros de la base del pilar y las acciones por hipótesis se obtienen del programa informático de CYPE:

X= 7,7 m [KN,m]	CP	N	V1a	V1b	V2	SCUpg(frena+)	SCUpg(frena-)
Nx	-17	-10,4	-40	-53,5	15,9	-8,2	-5,4
Vz	0	0	0	0	0	0	0
My	0	0	137,4	137,4	-120,3	0	0

Tabla 26 Acciones por hipótesis

A continuación se realiza una predimensión del pilar y se propone el mismo perfil que para los pilares de cierre B y D, un perfil IPE 450.

	IPE 450
A [mm2]	9880
Av [mm2]	5082
b [mm]	190
h [mm]	450
d [mm]	379
tf [mm]	14,6
tw [mm]	9,4
Iy [mm4]	3,37E+08
Wy [mm4]	1,50E+06
Iz [mm4]	1,68E+04

Wz [mm4]	1,76E+05

Tabla 27 Propiedades IPE 450

Se procede a realizar la comprobación de resistencia de la sección más solicitada del pilar C.

COMPROBACIÓN DE RESISTENCIA

Tal y como dicta el apartado 6.2.8 del DB SE-A del C.T.E., para realizar la comprobación de resistencia bajo interacción de esfuerzos despreciando el cortante, es necesario comprobar que el cortante en valor de cálculo es inferior a la mitad de la capacidad resistente a cortante de la sección.

Al no existir cortante tal y como se observa en la Tabla 26, tal y como indica C.T.E., se aplican las fórmulas 6.11 (Flexión compuesta sin cortante).

1 Flexión compuesta sin cortante:

c) en general se utilizarán las fórmulas de interacción, de carácter prudente, indicadas a continuación:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,Rdy}} + \frac{M_{zEd}}{M_{pl,Rdz}} \le 1 \qquad \text{Para secciones de clase 1 y 2}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{el,Rdy}} + \frac{M_{zEd}}{M_{el,Rdz}} \le 1 \qquad \text{Para secciones de clase 3} \qquad (6.11)$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{u,Rd}} + \frac{M_{y,Ed} + N_{Ed} \cdot e_{Ny}}{M_{0,R_{dy}}} + \frac{M_{zEd} + N_{SEd} \cdot e_{Ny}}{M_{0,Rdz}} \le 1 \qquad \text{Para secciones de clase 4}$$

siendo

$$f_{yd} = \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

Figura 171 Interacción de esfuerzos en secciones

Como se ha demostrado anteriormente, la sección de estudio es de clase 3 por lo que se tiene que aplicar la segunda de las fórmulas de la Figura 116, teniendo en cuenta además que no existe momento en z, por lo que la ecuación se simplifica y queda de la siguiente forma:

$$\frac{N_{Ed}}{A * f_{yd}} + \frac{M_{y,Ed}}{W_y * f_{yd}} \le 1$$

Por lo tanto, es preciso conocer el axil y el flector en valor de cálculo. Para ello, se determinará la combinación más desfavorable de esfuerzos.

Se puede deducir que la combinación más desfavorable de esfuerzos será:

$$1.35\ CP + 1.5\ V1b + 1.5*0.7\ SCU_{PG(frena+)} + 1.5*0.5\ N$$

Lo que dará lugar a unos axiles y unos momentos flectores de valor:

$$N_{Ed} = 1.35 * (-17) + 1.5 * (-53.5) + 1.5 * 0.7 * (-9.7) + 1.5 * 0.5 * (-10.8) = -121.5\ KN$$

$$M_{y,Ed} = 1.35 * (0) + 1.5 * (137.4) + 1.5 * 0.7 * (0) + 1.5 * 0.5 * (0) = 206.1\ KN * m$$

Como ya se cuenta con las propiedades de la sección, ya se puede realizar la comprobación de resistencia:

$$\frac{N_{Ed}}{A * f_{yd}} + \frac{M_{y,Ed}}{W_y * f_{yd}} = \frac{121.5 * 10^3}{9880 * \frac{275}{1.05}} + \frac{206.1 * 10^6}{1500 * 10^3 * \frac{275}{1.05}} =$$

$$0.04 + 0.52 = 0.56 \leq 1 (CUMPLE)$$

Se puede concluir que la sección del pilar justo por debajo de la ménsula cumple con la comprobación de resistencia con un aprovechamiento del 56% de su capacidad resistente.

Se procede a realizar la comprobación de estabilidad bajo interacción de esfuerzos.

COMPROBACIÓN DE ESTABILIDAD

Para realizar la comprobación de estabilidad se va a dividir el pilar en varios tramos de estudio como ya se ha hecho anteriormente con otros elementos.

Tal y como se hizo en el pilar de cierre B y D, se colocará un tornapunta para arriostrar las alas interiores a la nave a la altura de la segunda correa de fachada frontal (6.25 metros) y a la altura de la cuarta correa de fachada frontal (10.75 metros). De esta forma, como ya se ha explicado anteriormente, se conseguirá reducir las longitudes entre puntos de arriostramientos y hacer el coeficiente de reducción por pandeo lateral menos restrictivo.

Por lo tanto, los tramos en los que se va a dividir el pilar de cierre C son los siguientes:

- Tramo 1: comprende de los 0 metros en la base del pilar hasta los 6.25 metros. Este tramo contiene los esfuerzos más desfavorables, ya que estos se encontraban a 5.35 metros de altura como se ha explicado anteriormente.
- Tramo 2: comprende de los 6.5 metros en los que finaliza el tramo 1, hasta los 10.75 metros en los que se encuentra la correa nº4.
- Tramo 3: comprende desde los 10.75 metros en los que finaliza el tramo 2, hasta la cabeza del pilar a 14.625 metros.

Se va a comenzar por estudiar el tramo 1.

<u>Tramo 1:</u>

Para realizar la comprobación de estabilidad del tramo 1 se tendrá en cuenta la interacción de esfuerzos según dicta el C.T.E en el apartado 6.3.4.2 del DB SE-A (Elementos comprimidos y flectados). Además, al ser el perfil del pilar una IPE, se tendrá en cuenta como susceptible de pandeo por torsión.

6.3.4.2 Elementos comprimidos y flectados

1 A menos que se lleve a cabo un estudio más preciso mediante el procedimiento general descrito en 5.4, las comprobaciones de estabilidad de pieza se realizarán aplicando las fórmulas que se indican a continuación, distinguiendo entre las que sean sensibles o no a la torsión (por ejemplo secciones abiertas o cerradas respectivamente).

La comprobación se llevará a cabo con las fórmulas siguientes:

Para toda pieza:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot A^* \cdot f_{yd}} + k_y \cdot \frac{c_{m,y} \cdot M_{y,Ed} + e_{N,y} \cdot N_{Ed}}{\chi_{LT} W_y \cdot f_{yd}} + \alpha_z \cdot k_z \cdot \frac{c_{m,z} \cdot M_{z,Ed} + e_{N,z} \cdot N_{Ed}}{W_z \cdot f_{yd}} \leq 1 \quad (6.51)$$

Además, sólo en piezas no susceptibles de pandeo por torsión

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot A^* \cdot f_{yd}} + \alpha_y \cdot k_y \cdot \frac{c_{m,y} \cdot M_{y,Ed} + e_{N,y} \cdot N_{Ed}}{W_y \cdot f_{yd}} + k_z \cdot \frac{c_{m,z} \cdot M_{z,Ed} + e_{N,z} \cdot N_{Ed}}{W_z \cdot f_{yd}} \leq 1 \quad (6.52)$$

Además, sólo en piezas susceptibles de pandeo por torsión

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot A^* \cdot f_{yd}} + k_{yLT} \cdot \frac{M_{y,Ed} + e_{N,y} \cdot N_{Ed}}{\chi_{LT} W_y \cdot f_{yd}} + k_z \cdot \frac{c_{m,z} \cdot M_{z,Ed} + e_{N,z} \cdot N_{Ed}}{W_z \cdot f_{yd}} \leq 1 \quad (6.53)$$

Figura 172 Comprobación de estabilidad de elementos comprimidos y flectados

Las ecuaciones para comprobar la estabilidad de la Figura 172 se pueden simplificar ya que no existe momento flector en el eje z, y el desplazamiento del centro de gravedad en el eje "Y" y "Z" es cero, por lo que las fórmulas quedan de la siguiente forma:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y * A * f_{yd}} + k_y \frac{c_{m,y} * M_{y,Ed}}{\chi_{LT} * W_y * f_{yd}} \leq 1$$

Además, en las piezas susceptibles de pandeo por torsión deberá comprobarse:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z * A * f_{yd}} + k_{y,LT} \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} * W_y * f_{yd}} \leq 1$$

Hay que obtener los valores de cálculo de axil y momento flector en el eje y del tramo 1. Gracias a CYPE se obtiene que los mayores esfuerzos se dan en el final del tramo 1, es decir, a 6.25 metros de la base del pilar. Las acciones por hipótesis en esa sección del pilar son las siguientes:

X= 6,25 m [KN,m]	CP	N	V1a	V1b	V2	SCUpg(frena+)	SCUpg(frena-)
Nx	-18,7	-10,4	-41	-53,5	16	-8,2	-5,4
Vz	0	0	-6,5	-6,5	5,7	0	0
My	0	0	133	133	-116,3	0	0

Tabla 28 Acciones por hipótesis sección más solicitada tramo 1

A continuación, se obtiene la combinación más desfavorable para los esfuerzos de la Tabla 28:

$$1.35\ CP + 1.5\ V1b + 1.5*0.7\ SCU_{PG(frena+)} + 1.5*0.5\ N$$

Lo que dará lugar a unos axiles y unos momentos flectores de valor:

$$N_{Ed} = 1.35 * (-18.7) + 1.5 * (-53.5) + 1.5 * 0.7 * (-8.2) + 1.5 * 0.5 * (-10.4) = -121.9\ KN$$

$$M_{y,Ed} = 1.35 * (0) + 1.5 * (133) + 1.5 * 0.7 * (0) + 1.5 * 0.5 * (0) = 199.5\ KN * m$$

El coeficiente de reducción por pandeo lateral, χ_{LT}, ya se calculó para el pilar de cierre B y es el mismo porque ambos pilares tienen las mismas distancias entre puntos de arroistramiento. Por lo tanto:

$$\chi_{LT} = 0.635$$

Lo mismo ocurre con el coeficiente de reducción por pandeo en el eje y, χ_y:

$$\chi_y = 0.734$$

A continuación se procederá a obtener el valor del coeficiente de interacción k_y. Para ello se sigue el mismo apartado y se acude a la tabla 6.9 del DB SE-A.

Clase	Tipo de sección	k_y	k_z	k_{yLT}
1 y 2	I, H, abiertas	$1+(\bar{\lambda}_y-0{,}2)\cdot\frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{C,Rd}}$	$1+(2\cdot\bar{\lambda}_z-0{,}6)\cdot\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{C,Rd}}$	el menor de $1-\frac{0{,}1\cdot\bar{\lambda}_z}{(c_{mLT}-0{,}25)}\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{C,Rd}}$
	Huecas delgadas		$1+(\bar{\lambda}_z-0{,}2)\cdot\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{C,Rd}}$	$0{,}6+\bar{\lambda}_z$
3 y 4	Todas	$1+0{,}6\cdot\bar{\lambda}_y\cdot\frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{C,Rd}}$	$1+0{,}6\cdot\bar{\lambda}_z\cdot\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{C,Rd}}$	$1-\frac{0{,}05\cdot\bar{\lambda}_z}{(c_{mLT}-0{,}25)}\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{C,Rd}}$

siendo

$\bar{\lambda}_y$ y $\bar{\lambda}_z$ valores de las esbelteces reducidas para los ejes y – y y z – z, no mayores que 1,00.

$N_{C,Rd} = A^{*}\cdot\frac{f_y}{\gamma_{M1}}$

Figura 173 Coeficientes de interacción

Ya que se cuenta con sección de clase 3, la fórmula será la que aparece en la Figura 173:

$$k_y = 1 + 0.6 * \bar{\lambda}_y * \frac{N_{Ed}}{\chi_y * N_{c,rd}} =$$

$$1 + 0.6 * 0.9 * \frac{121.9}{0.734 * 2587.5} = 1$$

Se continúa obteniendo el factor de momento flector uniforme equivalente, $c_{m,y}$, para ello, en el apartado 6.3.4.2 del DB SE-A se acude a la tabla 6.10:

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

Diagrama de Flectores	Factor de momento uniforme equivalente
	$c_{m,y} = c_{m,i}$ (i =y) $c_{m,z} = c_{m,i}$ (i =z) $c_{m,LT} = c_{m,i}$ (i =LT)
Momentos de extremo M_h $-1 \le \Psi \le 1$ ΨM_h	$c_{m,i} = 0{,}6 + 0{,}4 \cdot \psi \ge 0{,}4$
Momento debido a cargas laterales coplanarias	$c_{m,i} = 0{,}9$
	$c_{m,i} = 0{,}95$

Figura 174 Coeficientes de momento equivalente

Como se tiene la misma distribución de momentos que en el tramo 1 del pilar de cierre B:

$$C_{m,y} = 0.9$$

Ya se cuenta con todos los parámetros para poder realizar la comprobación de estabilidad bajo la interacción de esfuerzos:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y * A * f_{yd}} + k_y \frac{c_{m,y} * M_{y,Ed}}{\chi_{LT} * W_y * f_{yd}} =$$

$$\frac{121.9 * 10^3}{0.734 * 9880 * \frac{275}{1.05}} + 1 * \frac{0.9 * 199.5 * 10^6}{0.635 * 1500 * 10^3 * \frac{275}{1.05}} =$$

$$0.05 + 0.71 = 0.76 \le 1 \ (CUMPLE)$$

Además, como se ha dicho anteriormente, en las piezas susceptibles de pandeo por torsión deberá comprobarse:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z * A * f_{yd}} + k_{y,LT} \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} * W_y * f_{yd}} \le 1$$

Nuevamente, el coeficiente de reducción por pandeo en el eje z, χ_z, se calculó para el pilar de cierre B:

$$\chi_z = 0.535$$

Seguidamente, se calcula el coeficiente de interacción $k_{y,LT}$. Para ello, tal y como se hizo con anterioridad, se acude a la tabla 6.9 del DB SE-A.

Clase	Tipo de sección	k_y	k_z	k_{yLT}
1 y 2	I, H, abiertas	$1+(\bar{\lambda}_y-0{,}2)\cdot\frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{C,Rd}}$	$1+(2\cdot\bar{\lambda}_z-0{,}6)\cdot\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{C,Rd}}$	el menor de $1-\frac{0{,}1\cdot\bar{\lambda}_z}{(c_{mLT}-0{,}25)}\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{C,Rd}}$
	Huecas delgadas		$1+(\bar{\lambda}_z-0{,}2)\cdot\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{C,Rd}}$	$0{,}6+\bar{\lambda}_z$
3 y 4	Todas	$1+0{,}6\cdot\bar{\lambda}_y\cdot\frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{C,Rd}}$	$1+0{,}6\cdot\bar{\lambda}_z\cdot\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{C,Rd}}$	$1-\frac{0{,}05\cdot\bar{\lambda}_z}{(c_{mLT}-0{,}25)}\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{C,Rd}}$

siendo

$\bar{\lambda}_y$ y $\bar{\lambda}_z$ valores de las esbelteces reducidas para los ejes y – y y z – z, no mayores que 1,00.

Figura 175 Coeficientes de interacción

Ya que se cuenta con sección de clase 3, la fórmula será la que aparece en la Figura 164:

$$k_{y,LT} = 1 - \frac{0.05 * \bar{\lambda}_z}{(c_{m,LT} - 0.25)} * \frac{N_{Ed}}{\chi_z * N_{c,rd}}$$

Sin embargo, se puede observar en la Tabla 6.9 el comentario que aparece en la parte inferior acerca de que el valor de las esbelteces reducidas tomará un valor no mayor que uno. Al tener una esbeltez reducida de 1.1, en la fórmula del coeficiente de interacción, $k_{y,LT}$, se sustituirá la esbeltez reducida por el valor de la unidad.

Se continúa obteniendo el factor de momento flector uniforme equivalente, $c_{m,LT}$, para ello, tal y como se hizo anteriormente se acude al apartado 6.3.4.2 del DB SE-A:

$$c_{m,LT} = 0.9$$

$$k_{y,LT} = 1 - \frac{0.05 * \bar{\lambda}_z}{(c_{m,LT} - 0.25)} * \frac{N_{Ed}}{\chi_z * N_{c,rd}} = 1 - \frac{0.05 * 1}{0.9 - 0.25} * \frac{121.9}{0.535 * 2587.5} = 0.95$$

Al contar con el resto de parámetros, que fueron calculados con anterioridad, ya se puede realizar la comprobación. Al ser pieza susceptible de pandeo por torsión:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z * A * f_{yd}} + k_{y,LT}\frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} * W_y * f_{yd}} =$$

$$\frac{121.9 * 10^3}{0.535 * 9880 * \frac{275}{1.05}} + 0.95 * \frac{199.5 * 10^6}{0.635 * 1500 * 10^3 * \frac{275}{1.05}} =$$

$$0.08 + 0.75 = 0.83 \leq 1\ (CUMPLE)$$

Como se ha visto, el pilar de cierre en el tramo 1, cumple con las comprobaciones de estabilidad con un aprovechamiento máximo del 83% de su capacidad.

Tramo 2:

A continuación, tal y como se ha hecho para el tramo 1, se va a comprobar la estabilidad del tramo 2 bajo interacción de esfuerzos.

Nuevamente, para realizar la comprobación de estabilidad del tramo 2 se tendrá en cuenta la interacción de esfuerzos según dicta el C.T.E en el apartado 6.3.4.2 del DB SE-A (Elementos comprimidos y flectados). Además, al ser el perfil del pilar una IPE, se tendrá en cuenta como susceptible de pandeo por torsión.

Las ecuaciones para comprobar la estabilidad son las que han sido usadas en el tramo 1 y cuentan con las mismas simplificaciones, por lo que las fórmulas quedan de la siguiente forma:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y * A * f_{yd}} + k_y \frac{c_{m,y} * M_{y,Ed}}{\chi_{LT} * W_y * f_{yd}} \leq 1$$

Además, en las piezas susceptibles de pandeo por torsión deberá comprobarse:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z * A * f_{yd}} + k_{y,LT} \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} * W_y * f_{yd}} \leq 1$$

Se necesitan los esfuerzos por hipótesis en la sección más solicitada de este tramo del pilar, la cual se encuentra a 7.7 metros de la base del pilar. Dichos esfuerzos han sido obtenidos con ayuda del software comercial CYPE para realizar la comprobación de resistencia y se pueden encontrar en la Tabla 26. Por lo tanto los esfuerzos en valor de cálculo ya fueron calculados también.

$$N_{Ed} = -121.5\ KN$$
$$M_{y,Ed} = 206.1\ KN * m$$

Ya se cuenta coeficiente de reducción por pandeo lateral, χ_{LT}, que fue obtenido en el tramo 2 del pilar de cierre B.

$$\chi_{LT} = 0.597$$

El coeficiente de reducción por pandeo en el eje y, χ_y, es el mismo que en el tramo 1:

$$\chi_y = 0.734$$

A continuación se procederá a obtener el valor del coeficiente de interacción k_y. Para ello se sigue el mismo apartado y se acude a la tabla 6.9 del DB SE-A.

Clase	Tipo de sección	k_y	k_z	k_{yLT}
1 y 2	I, H, abiertas	$1+(\bar{\lambda}_y-0{,}2)\cdot\frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{C,Rd}}$	$1+(2\cdot\bar{\lambda}_z-0{,}6)\cdot\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{C,Rd}}$	el menor de $1-\frac{0{,}1\cdot\bar{\lambda}_z}{(c_{mLT}-0{,}25)}\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{C,Rd}}$
	Hueca delgada		$1+(\bar{\lambda}_z-0{,}2)\cdot\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{C,Rd}}$	$0{,}6+\bar{\lambda}_z$
3 y 4	Todas	$1+0{,}6\cdot\bar{\lambda}_y\cdot\frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{C,Rd}}$	$1+0{,}6\cdot\bar{\lambda}_z\cdot\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{C,Rd}}$	$1-\frac{0{,}05\cdot\bar{\lambda}_z}{(c_{mLT}-0{,}25)}\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{C,Rd}}$

siendo

$\bar{\lambda}_y$ y $\bar{\lambda}_z$ valores de las esbelteces reducidas para los ejes y – y y z – z, no mayores que 1,00.

$N_{C,Rd} = A^{*}\cdot\frac{f_y}{\gamma_{M1}}$

Figura 176 Coeficientes de interacción

Ya que se cuenta con sección de clase 3, la fórmula será la que aparece en la Figura 176:

$$k_y = 1 + 0.6 * \bar{\lambda}_y * \frac{N_{Ed}}{\chi_y * N_{c,rd}} =$$

$$1 + 0.6 * 1 * \frac{121.5}{0.734 * 2587.5} = 1$$

Se continúa obteniendo el factor de momento flector uniforme equivalente, $c_{m,y}$, para ello, en el apartado 6.3.4.2 del DB SE-A se acude a la tabla 6.10 y se toma como coeficiente de momento equivalente $C_{m,y}$=1 para estar por el lado de la seguridad.

Ya se cuenta con todos los parámetros para poder realizar la comprobación de estabilidad bajo la interacción de esfuerzos:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y * A * f_{yd}} + k_y \frac{c_{m,y} * M_{y,Ed}}{\chi_{LT} * W_y * f_{yd}} =$$

$$\frac{121.5 * 10^3}{0.734 * 9880 * \frac{275}{1.05}} + 1 * \frac{1 * 206.1 * 10^6}{0.597 * 1500 * 10^3 * \frac{275}{1.05}} =$$

$$0.05 + 0.94 = 0.99 \leq 1\ (CUMPLE)$$

Además, como se ha dicho anteriormente, en las piezas susceptibles de pandeo por torsión deberá comprobarse:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z * A * f_{yd}} + k_{y,LT} \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} * W_y * f_{yd}} \leq 1$$

A continuación es necesario obtener el coeficiente de reducción por pandeo en el eje z, χ_z, que será diferente al del tramo 1 ya que en el tramo 2 la distancia máxima entre arriostramientos es distinta. Sin embargo, será el mismo que el del tramo 2 del pilar de cierre B. Por lo tanto:

$$\chi_z = 0.827$$

Seguidamente, se calcula el coeficiente de interacción $k_{y,LT}$. Para ello, tal y como se hizo con anterioridad, se acude a la tabla 6.9 del DB SE-A.

Clase	Tipo de sección	k_y	k_z	k_{yLT}
1 y 2	I, H, abiertas	$1+(\bar{\lambda}_y-0{,}2)\cdot\frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{C,Rd}}$	$1+(2\cdot\bar{\lambda}_z-0{,}6)\cdot\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{C,Rd}}$	el menor de $1-\frac{0{,}1\cdot\bar{\lambda}_z}{(c_{mLT}-0{,}25)}\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{C,Rd}}$
	Huecas delgadas		$1+(\bar{\lambda}_z-0{,}2)\cdot\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{C,Rd}}$	$0{,}6+\bar{\lambda}_z$
3 y 4	Todas	$1+0{,}6\cdot\bar{\lambda}_y\cdot\frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{C,Rd}}$	$1+0{,}6\cdot\bar{\lambda}_z\cdot\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{C,Rd}}$	$1-\frac{0{,}05\cdot\bar{\lambda}_z}{(c_{mLT}-0{,}25)}\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{C,Rd}}$

siendo

$\bar{\lambda}_y$ y $\bar{\lambda}_z$ valores de las esbelteces reducidas para los ejes y – y y z – z, no mayores que 1,00.

Figura 177 Coeficientes de interacción

Ya que se cuenta con sección de clase 3, la fórmula será la que aparece en la Figura 171:

$$k_{y,LT} = 1 - \frac{0.05 * \bar{\lambda}_z}{(c_{m,LT} - 0.25)} * \frac{N_{Ed}}{\chi_z * N_{c,rd}}$$

Sin embargo, se puede observar en la Tabla 6.9 el comentario que aparece en la parte inferior acerca de que el valor de las esbelteces reducidas tomará un valor no mayor que uno. Al tener una esbeltez reducida de 1.1, en la fórmula del coeficiente de interacción, $k_{y,LT}$, se sustituirá la esbeltez reducida por el valor de la unidad.

Se continúa obteniendo el factor de momento flector uniforme equivalente, $c_{m,LT}$, para ello, tal y como se hizo anteriormente se acude al apartado 6.3.4.2 del DB SE-A y se toma el valor de la unidad para estar por el lado de la seguridad:

$$c_{m,LT} = 1$$

$$k_{y,LT} = 1 - \frac{0.05 * \bar{\lambda}_z}{(c_{m,LT} - 0.25)} * \frac{N_{Ed}}{\chi_z * N_{c,rd}} = 1 - \frac{0.05 * 0.62}{1 - 0.25} * \frac{121.5}{0.827 * 2587.5} = 0.97$$

Al contar con el resto de parámetros, que fueron calculados con anterioridad, ya se puede realizar la comprobación. Al ser pieza susceptible de pandeo por torsión:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z * A * f_{yd}} + k_{y,LT}\frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} * W_y * f_{yd}} =$$

$$\frac{121.5 * 10^3}{0.827 * 9880 * \frac{275}{1.05}} + 0.97 * \frac{206.1 * 10^6}{0.597 * 1500 * 10^3 * \frac{275}{1.05}} =$$

$$0.03 + 0.85 = 0.88 \leq 1\ (CUMPLE)$$

Como se ha visto, el pilar de cierre en el tramo 2, cumple con las comprobaciones de estabilidad con un aprovechamiento máximo del 88% de su capacidad.

A continuación, habría que realizar la comprobación del tramo 3, sin embargo, posee longitudes entre puntos de arriostramiento menores que cualquier otro tramo. Además los mayores esfuerzos que solicitan este tramo son menores que en el resto de los tramos.

Por lo tanto, se está ante un caso mucho más favorable y no hace falta su comprobación. Cabe mencionar además, que al diagrama de momentos del tramo 3 le corresponde un factor C_1 igual a 1.88, lo que hace muy complicado que no cumpla la comprobación de estabilidad bajo interacción de esfuerzos cuando el tramo 2 sí la cumplía.

No se va a comprobar tampoco si los tramos cumplirían con la comprobación de estabilidad si se aplicara una combinación desfavorable de esfuerzos que resultara en momentos negativos, ya que estos momentos son más pequeños en valor absoluto que los momentos positivos y además las longitudes entre puntos de arriostramiento para la fibra exterior a la nave son menores (Distancia entre correas) que para la fibra interior a la nave. Por lo que es un caso mucho más favorable.

Por tanto se puede concluir que el perfil IPE 450 cumple con todas las comprobaciones que manda el C.T.E. actuando como pilares de cierre en los pórticos hastiales.

8. Arriostramientos

En este apartado se van a dimensionar y comprobar los arriostramientos que posee la instalación.

Se van a colocar los siguientes arriostramientos:

- Arriostramientos de cubierta transversales a la nave entre los pórticos nº1 y nº2 y entre el nº10 y nº11.
- Arriostramientos de fachada lateral entre los pórticos nº1 y nº2 y entre el nº10 y nº11.
- Arriostramientos de cubierta longitudinales a la nave en el primer vano de 6.25 metros de cada dintel principal
- Arriostramientos de fachada frontal.

El objetivo de estos arriostramientos es absorber las cargas que actúan perpendicular y paralelamente a los pórticos. Estas cargas, son provocadas por el viento al actuar sobre las fachadas de la instalación.

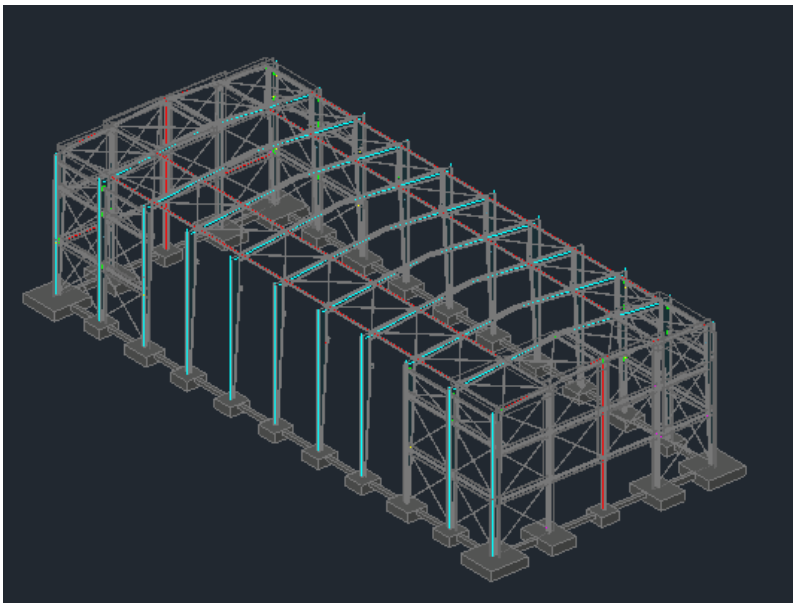


Figura 178 Conjunto de arriostramientos de la instalación

Como ya se ha dicho con anterioridad, el pórtico cuenta con las siguientes características:

- Modulación entre pórticos: 6 metros
- Altura de cumbrera: 15.25 metros
- Pendiente de la cubierta: 10%
- Luz total: 25 metros
- Número de vanos: 4
- Longitud de vano: 6.25 metros
- Altura de la viga carril: 10.7 metros

Las cargas de viento que inciden sobre los pórticos se han calculado en el Apartado 2.1 del presente anexo.

8.1. Arriostramiento de cubierta transversal

El arriostramiento de cubierta transversal a la nave consiste en un entramado de celosía formado por montantes y tirantes.

Los montantes los constituirán tubos estructurales cuadrados huecos y los tirantes serán redondos macizos.

Se comienza calculando las reacciones de las cabezas de los pilares sobre los dinteles a partir de las cargas de viento que inciden sobre el pórtico de manera perpendicular.

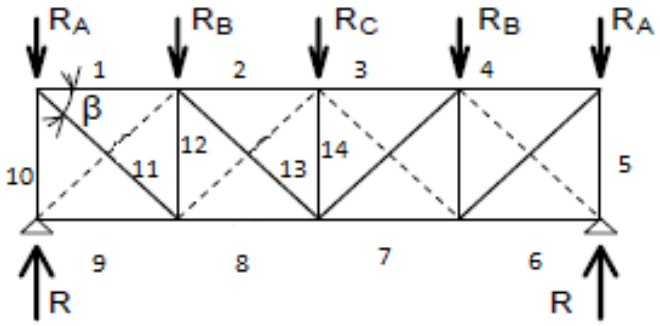


Figura 179 Esquema arriostrado cubierta transversal

Para calcular las reacciones de los pilares, hay que tener en cuenta que se encuentran articulados en la base y en la cabeza, por lo que las reacciones se calculan de la siguiente manera:

$$R_i = q_i * \frac{L_i}{2}$$

Teniendo presente que el área tributaria del pilar A es la mitad que en el resto de los pilares por ser el que se encuentra en el extremo, las cargas por metro lineal en cada uno de los pilares son las siguientes:

[KN/m]	V1	V2
Qa	3,55	2,07
Qb	5,86	4,14
Qc	4,73	4,14

Tabla 29 Cargas por metro lineal

Lo que genera unas reacciones:

[KN]	V1	V2
Ra	24,85	14,5
Rb	42,83	30,26
Rc	34,57	31,56

Tabla 30 Reacciones en cada pilar de cierre

A continuación se realiza un sumatorio de fuerzas con las reacciones de cada pilar, bajo la hipótesis V1 por ser la más desfavorable, para obtener la reacción R de la Figura 179.

$$R = \frac{2 * R_A + 2 * R_B + R_C}{2} = 84.96\ KN$$

Una vez que se han obtenido las cargas y las reacciones que actúan sobre la celosía, se realiza un sumatorio de fuerzas en los nudos para obtener los esfuerzos que solicitan a cada barra del entramado y se obtienen los siguientes resultados:

		Esfuerzo Axial [KN]	
Elemento	Barra	Proy. Horizontal	Real
Dintel	1	-62,24	-62,55
	2	-80,5	-80,9
Dintel de cierre	8	62,61	62,92
	9	0	0
Montantes	10	-84,96	-84,96
	12	-60,1	-60,1
	14	-34,57	-34,57
Diagonales	11	86,53	86,96
	13	24,53	24,65

Tabla 31 Esfuerzo de las barras que componen el entramado por la hipótesis V1 en la fachada frontal

Sin embargo, cabe destacar que estos son los efectos que produce la hipótesis de viento V1 sobre la fachada frontal de la instalación. Debido a la configuración de la nave, la cual cuenta con un sistema de arriostramiento longitudinal a la misma, los efectos de la hipótesis de viento V1 que se producen en la fachada lateral, repercuten en el entramado que forma el sistema de arriostramiento transversal a la nave.

Por lo tanto, los esfuerzos a los que están sometidos los montantes y diagonales del arriostramiento de cubierta transversal a la nave son distintos a los que se observan en la Tabla 31.

Gracias al software comercial CYPE, se pueden obtener los axiles de la diagonal y el montante más solicitados del entramado. Como el dintel principal y el dintel de cierre ya fueron calculados con anterioridad en el presente anexo, no se van a volver a calcular.

Dichos axiles son de la siguiente manera:

[KN]	Barra	Axil
Diagonal	15	167,2
Montante	14	-80,57

Tabla 32 Acciones en las barras del entramado de cubierta transversal

Ahora que ya se cuenta con los mayores axiles, se escogen los siguientes perfiles para actuar como diagonales y montantes:

<u>Montantes</u>

Se escogerá un perfil hueco cuadrado #140.5

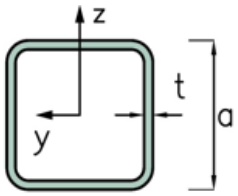


Figura 180 Esquema del perfil cuadrado hueco

Las propiedades del perfil serán las siguientes:

	#140.5
A [mm2]	2610
iy=iz [mm]	54,6
a [mm]	140

Tabla 33 Propiedades del montante

Diagonales

Se escogerá un redondo macizo Ø42.

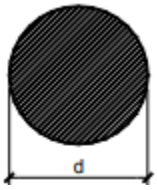


Figura 181 Esquema del redondo macizo

Las propiedades del perfil serán las siguientes:

	Ø42
A [mm2]	1385

Tabla 34 Propiedades de la diagonal

Se procede a realizar la comprobación de resistencia y estabilidad de los perfiles seleccionados.

Comprobación montantes

Al estar sometido a compresión, se acude al apartado 6.3.2 del DB SE-A del C.T.E. y la norma especifica que la resistencia de las barras a compresión se calcula de la siguiente forma:

$$N_{b,Rd} = \chi * A * f_{yd}$$

Siendo:

- A: área de la sección eficaz sometida a compresión.
- χ: coeficiente de reducción por pandeo.
- f_{yd}: resistencia en valor de cálculo del acero.

Para la obtención de este coeficiente de reducción por pandeo se sigue el apartado 6.3.2.1 del DB SE-A del C.T.E. fijándose en la Figura 6.3 que muestra las curvas de pandeo en función de la esbeltez reducida.

Para la obtención de esa esbeltez reducida, se necesitan la esbeltez de Euler y la esbeltez mecánica.

Para esta última, hay que tener en cuenta que se necesita la longitud de pandeo y el radio de giro en el eje y.

La longitud de pandeo se obtiene de la siguiente manera:

$$L_k = \beta * L$$

Siendo:

- B: coeficiente de longitud de pandeo
- L: longitud de la barra

Se conoce que la longitud de pandeo en el eje y (Plano X-Z de la barra) son 6 metros (Modulación entre pórticos), y el coeficiente de longitud de pandeo, β, es igual a 1 ya que se considera articulado en ambos extremos de ese plano.

Por lo tanto:

$$L_k = \beta * L = 1 * 6000 = 6000\ mm$$

Por lo tanto ya se puede calcular todo lo dicho anteriormente:

$$Esbeltez\ de\ Euler \rightarrow \lambda_E = \pi * \sqrt{\frac{E}{f_y}} = \pi * \sqrt{\frac{2.1 * 10^5}{275}} = 86.8$$

$$Esbeltez\ mecánica \rightarrow \lambda_y = \frac{L_k}{i_y} = \frac{6000}{54.6} = 109.9$$

Ya se puede calcular la esbeltez reducida:

$$Esbeltez\ reducida \rightarrow \bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_E} = \frac{109.9}{86.8} = 1.26$$

Una vez obtenida la esbeltez reducida ya se puede obtener el coeficiente de reducción acudiendo a las cuervas de pandeo. Este caso corresponde a la curva a, ya que se trata de tubos de chapa con pandeo en el eje "y", y laminados en caliente.

$$\chi_y = 0.493$$

Por lo que ya se puede obtener la resistencia del montante a compresión, y se obtiene un valor de:

$$N_{b,Rd} = \chi * A * f_{yd} = 0.493 * 2610 * \frac{275}{1.05} = 337\ \ KN$$

Se continúa obteniendo el valor del esfuerzo axil en valor de cálculo. Se conoce que la combinación desfavorable de esfuerzos será de la siguiente manera:

1.5 V1

Por lo tanto:

$$N_{Ed} = 1.5 * (-80.57) = -120.85\ KN$$

Ya se puede realizar la comprobación del montante:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1 \rightarrow \frac{120.85}{337} = 0.35 \leq 1 \ (CUMPLE)$$

Como se puede observar el montante más solicitado cumple con las comprobaciones que dicta la norma con un aprovechamiento del 35% de su capacidad.

Comprobación diagonales

Tal y como se indica en el apartado 6.2.3 del DB SE-A del C.T.E., para calcular la resistencia de las secciones de una barra sometidas a tracción:

$$N_{t,Rd} = A * f_{yd} = 1385 * \frac{275}{1.05} = 362.7 \ KN$$

Se continúa obteniendo el valor del esfuerzo axil en valor de cálculo. Se conoce que la combinación desfavorable de esfuerzos será de la siguiente manera:

1.5 V1

Por lo tanto:

$$N_{Ed} = 1.5 * (167.2) = 250.8 \ KN$$

Ya se puede realizar la comprobación de la diagonal:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1 \rightarrow \frac{250.8}{362.7} = 0.7 \leq 1 \ (CUMPLE)$$

Como se puede observar el montante más solicitado cumple con las comprobaciones que dicta la norma con un aprovechamiento del 70% de su capacidad.

Por lo tanto, todos los elementos del entramado de cubierta transversal a la nave cumplen con las comprobaciones que indica la norma.

8.2. Arriostramiento de fachada lateral

De la misma forma que el arriostrado de cubierta transversal, el arriostrado de fachada lateral consiste en un entramado de celosía formado por montantes y diagonales que se encargan de transmitir las cargas perpendiculares a los pórticos a la cimentación.

El entramado que forma el arriostrado de fachada lateral se instalará entre los pórticos 1, 2 y 3 y entre los pórticos 9, 10 y 11. El motivo de instalar dos entramados al comienzo y al final de la nave no es otro que el de repartir mejor las cargas que van hasta la cimentación y en un futuro poder dimensionar unas zapatas de un tamaño más reducido.

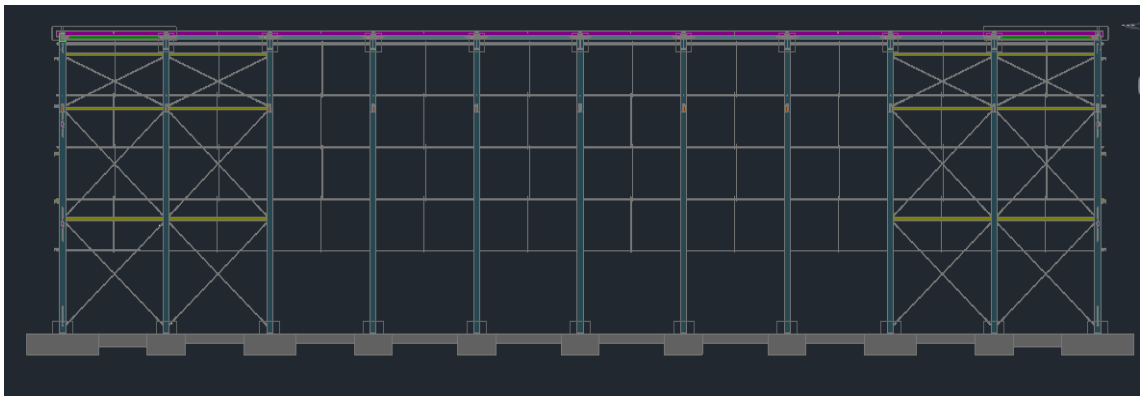


Figura 182 Arriostramientos de fachada lateral

Nuevamente, los montantes serán de tubo estructural cuadrado hueco y las diagonales serán redondo macizo.

Las acciones que lo solicitan por efecto de la hipótesis de viento V1 en la fachada frontal son las ya calculadas en el apartado anterior.

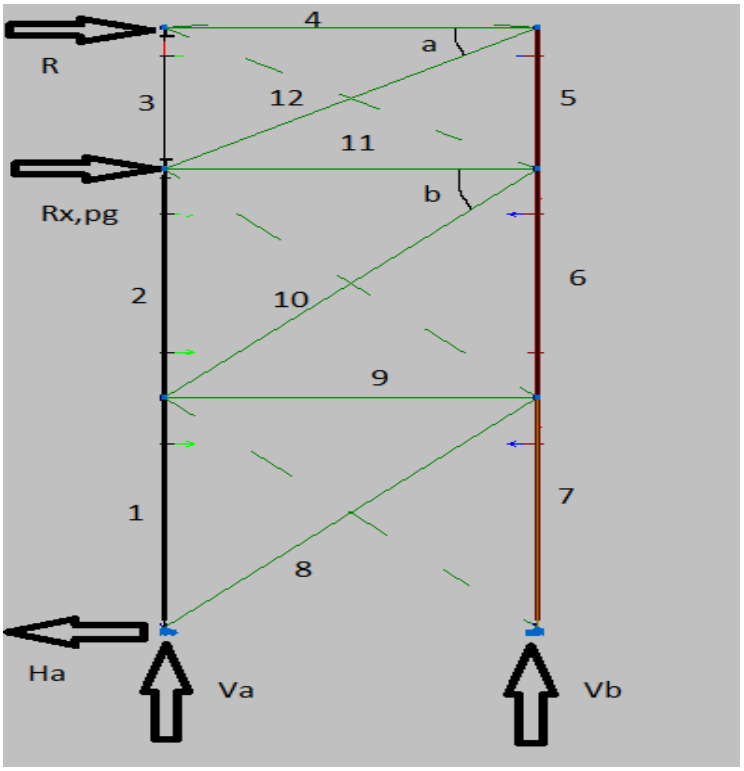


Figura 183 Esquema del arriostrado de fachada lateral

Acciones solicitantes:

$$R = 84.96\ KN$$

$$R_{x,PG} = 49.8\ KN$$

Los ángulos que se muestran en la Figura 182 son los siguientes:

$$a = 28.8º$$

$$b = 41.72º$$

Por último, las reacciones en los apoyos para cada hipótesis son las siguientes:

$$H_{A,V} = 84.96\ KN$$

$$V_{A,V} = -198.24\ KN$$

$$V_{B,V} = 198.24\ KN$$

$$H_{A,PG} = 49.8\ KN$$

$$V_{A,PG} = -116.2\ KN$$

$$V_{B,PG} = 116.2\ KN$$

Una vez que se tiene las reacciones, se realiza un sumatorio de fuerzas en los nudos para conocer los esfuerzos que solicitan a cada barra del entramado, sin embargo como ya se ha mencionado al comienzo del apartado, estos esfuerzos junto con los efectos de las frenadas y el peso del puente grúa, generarán unas reacciones muy grandes en las zapatas, lo que obligará a tener que dimensionarlas de un gran tamaño. Para que esto no ocurra, se añade otro entramado de

arriostramientos entre el segundo pórtico y el tercero y así repartir mejor las cargas que llega a cimentación.

Además, tal y como se ha explicado en el sistema de arriostramiento de cubierta transversal a la nave, estos son los efectos que produce la hipótesis de viento V1 sobre la fachada frontal de la instalación. Sin embargo, debido a la configuración de la nave, la cual cuenta con un sistema de arriostramiento longitudinal a la misma, los efectos de la hipótesis de viento V1 que se producen en la fachada lateral, repercuten en el entramado que forma el sistema de arriostramiento de fachada lateral.

Por lo tanto, los esfuerzos a los que están sometidos los montantes y diagonales del arriostramiento de fachada lateral de la nave son distintos a los que se puedan obtener haciendo el sumatorio de fuerzas en los nudos del entramado, como se ha mencionado anteriormente.

Gracias al software comercial CYPE, se pueden obtener los axiles por hipótesis de las diagonales y los montantes del entramado. Como el pilar principal ya fue calculado con anterioridad en el presente anexo, no se va a volver a calcular, y por tanto no van a volver a mostrarse sus esfuerzos.

Axiles [KN]		V1a	V1b	V2	SCUpg
Montante	9	-13,6	-20,2	-62,7	-53,2
	11	20,4	-21,7	-49,9	-53,7
	4	-35,4	-26,7	-54,89	-11,47
Diagonales	8	38,1	46,93	51,6	72
	10	18,34	27	44,18	70
	12	3,4	10,8	33	6,6

Tabla 35 Axiles por hipótesis del arriostramiento lateral de fachada

Ahora que ya se cuenta con los axiles que solicitan a las barras del entramado, se escogen los siguientes perfiles para actuar como diagonales y montantes:

Montantes

Se escogerá un perfil hueco cuadrado #140.5

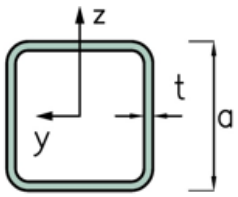


Figura 184 Esquema del perfil cuadrado hueco

Las propiedades del perfil serán las siguientes:

	#140.5
A [mm2]	2610
iy=iz [mm]	54,6
a [mm]	140

Tabla 36 Propiedades del montante

Diagonales

Se escogerá un redondo macizo Ø42.

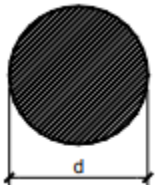


Figura 185 Esquema del redondo macizo

Las propiedades del perfil serán las siguientes:

	Ø42
A [mm2]	1385

Tabla 37 Propiedades de la diagonal

Se procede a realizar la comprobación de resistencia y estabilidad de los perfiles seleccionados.

Comprobación montantes

Al estar sometido a compresión, se acude al apartado 6.3.2 del DB SE-A del C.T.E. y la norma especifica que la resistencia de las barras a compresión se calcula de la siguiente forma:

$$N_{b,Rd} = \chi * A * f_{yd}$$

Siendo:

- A: área de la sección eficaz sometida a compresión.
- χ: coeficiente de reducción por pandeo.
- f_{yd}: resistencia en valor de cálculo del acero.

Dicho coeficiente de reducción por pandeo ya ha sido calculado para el sistema de arriostramiento de cubierta transversal a la nave, por lo que no es necesario volver a calcularlo.

$$\chi_y = 0.493$$

Por lo que ya se puede obtener la resistencia del montante a compresión, y se obtiene un valor de:

$$N_{b,Rd} = \chi * A * f_{yd} = 0.493 * 2610 * \frac{275}{1.05} = 337\ KN$$

Se continúa obteniendo el valor del esfuerzo axil en valor de cálculo. Se conoce que la combinación desfavorable de esfuerzos será de la siguiente manera:

1.5 V2+1.5*0.7 SCU_{PG}

Por lo tanto:

$$N_{Ed} = 1.5 * (-62.7) + 1.5 * 0.7 * (-53.2) = -128.25\ KN$$

Ya se puede realizar la comprobación del montante:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1 \rightarrow \frac{128.25}{337} = 0.4 \leq 1 \ (CUMPLE)$$

Como se puede observar el montante más solicitado cumple con las comprobaciones que dicta la norma con un aprovechamiento del 40% de su capacidad.

Comprobación diagonales

Tal y como se indica en el apartado 6.2.3 del DB SE-A del C.T.E., para calcular la resistencia de las secciones de una barra sometidas a tracción:

$$N_{t,Rd} = A * f_{yd} = 1385 * \frac{275}{1.05} = 362.7 \ KN$$

Se continúa obteniendo el valor del esfuerzo axil en valor de cálculo. Se conoce que la combinación desfavorable de esfuerzos será de la siguiente manera:

1.5 V2+1.5*0.7 SCU_{PG}

Por lo tanto:

$$N_{Ed} = 1.5 * (51.6) + 1.5 * 0.7 * (72) = 145 \ KN$$

Ya se puede realizar la comprobación de la diagonal:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1 \rightarrow \frac{145}{362.7} = 0.45 \leq 1 \ (CUMPLE)$$

Como se puede observar el montante más solicitado cumple con las comprobaciones que dicta la norma con un aprovechamiento del 45% de su capacidad.

Por lo tanto, todos los elementos del entramado de fachada lateral de la nave cumplen con las comprobaciones que indica la norma.

8.3. Arriostramiento de cubierta longitudinal

El arriostramiento de cubierta longitudinal a la nave consiste en un entramado de celosía formado por montantes y tirantes. Dicho sistema de arriostramiento, cumple la función de disminuir el desplazamiento de los pórticos principales en el mismo plano del pórtico (debido a la acción de cargas generadas por el viento y por las frenadas transversales del puente grúa), ya que estos se encuentran articulados en la base de los pilares.

Este entramado conecta los pórticos principales de la siguiente forma:

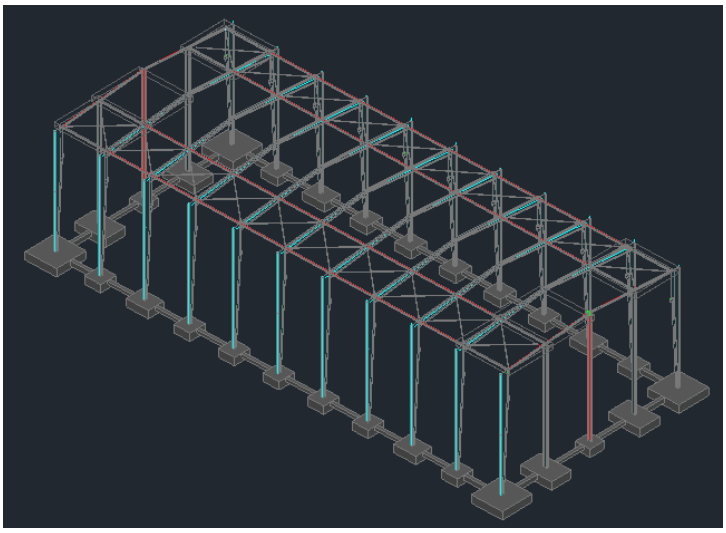


Figura 186 Arriostramiento longitudinal de la instalación

Los montantes los constituirán tubos estructurales cuadrados huecos y los tirantes serán redondos macizos.

Con el programa informático de CYPE, se puede observar las cargas a las que está sometida cada barra del entramado y determinar así cual será la más desfavorable para poder dimensionar y comprobar el sistema de arriostramiento.

Por lo tanto, se observa que el montante más solicitado será el central a la nave, mientras que la diagonal más cargada será la que se encuentra en el extremo del sistema de arriostramiento.

Las acciones por hipótesis que solicitan dichas barras:

Axiles [KN]	V1a	V1b	V2	SCUpg
Montante	-109,2	-140,1	-25,92	-30,8
Diagonales	104,2	126,9	0	11,26

Tabla 38 Acciones por hipótesis

Ahora que ya se cuenta con los mayores axiles que solicitan a las barras del entramado, se escogen los siguientes perfiles para actuar como diagonales y montantes:

Montantes

Se escogerá un perfil hueco cuadrado #140.5

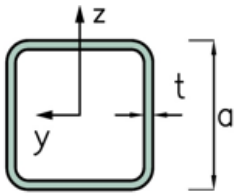


Figura 187 Esquema del perfil cuadrado hueco

Las propiedades del perfil serán las siguientes:

	#140.5
A [mm2]	2610
iy=iz [mm]	54,6
a [mm]	140

Tabla 39 Propiedades del montante

Diagonales

Se escogerá un redondo macizo Ø42.

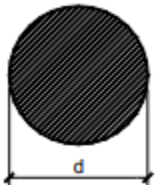


Figura 188 Esquema del redondo macizo

Las propiedades del perfil serán las siguientes:

	Ø42
A [mm2]	1385

Tabla 40 Propiedades de la diagonal

Se procede a realizar la comprobación de resistencia y estabilidad de los perfiles seleccionados.

Comprobación montantes

Al estar sometido a compresión, se acude al apartado 6.3.2 del DB SE-A del C.T.E. y la norma especifica que la resistencia de las barras a compresión se calcula de la siguiente forma:

$$N_{b,Rd} = \chi * A * f_{yd}$$

Siendo:

- A: área de la sección eficaz sometida a compresión.
- χ: coeficiente de reducción por pandeo.
- f_{yd}: resistencia en valor de cálculo del acero.

Dicho coeficiente de reducción por pandeo ya ha sido obtenido con anterioridad por lo que ya se cuenta con el.

$$\chi_y = 0.493$$

Por lo que ya se puede obtener la resistencia del montante a compresión, y se obtiene un valor de:

$$N_{b,Rd} = \chi * A * f_{yd} = 0.493 * 2610 * \frac{275}{1.05} = 337 \ KN$$

Se continúa obteniendo el valor del esfuerzo axil en valor de cálculo. Se conoce que la combinación desfavorable de esfuerzos será de la siguiente manera:

1.5 V1b+1.5*0.7 SCU_{PG}

Por lo tanto:

$$N_{Ed} = 1.5 * (-140.1) + 1.5 * 0.7 * (-30.8) = -242.5 \ KN$$

Ya se puede realizar la comprobación del montante:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1 \rightarrow \frac{242.5}{337} = 0.75 \leq 1 \ (CUMPLE)$$

Como se puede observar el montante más solicitado cumple con las comprobaciones que dicta la norma con un aprovechamiento del 75% de su capacidad.

Comprobación diagonales

Tal y como se indica en el apartado 6.2.3 del DB SE-A del C.T.E., para calcular la resistencia de las secciones de una barra sometidas a tracción:

$$N_{t,Rd} = A * f_{yd} = 1385 * \frac{275}{1.05} = 362.7 \ KN$$

Se continúa obteniendo el valor del esfuerzo axil en valor de cálculo. Se conoce que la combinación desfavorable de esfuerzos será de la siguiente manera:

1.5 V1b+1.5*0.7 SCU_{PG}

Por lo tanto:

$$N_{Ed} = 1.5 * (126.93) + 1.5 * 0.7 * (11.26) = 190.29 \ KN$$

Ya se puede realizar la comprobación de la diagonal:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1 \rightarrow \frac{190.29}{362.7} = 0.6 \leq 1 \ (CUMPLE)$$

Como se puede observar el montante más solicitado cumple con las comprobaciones que dicta la norma con un aprovechamiento del 60% de su capacidad.

Por lo tanto, todos los elementos del entramado de cubierta longitudinal a la instalación cumplen con las comprobaciones que indica la norma.

8.4. Arriostramiento de fachada frontal

El arriostramiento de fachada frontal a la nave consiste en un entramado de celosía formado por montantes y tirantes. Dicho sistema de arriostramiento, cumple la función de transmitir las cargas laterales a los pórticos, es decir, las reacciones que produce el sistema de arriostramiento longitudinal, hasta la cimentación.

Este entramado conecta los pórticos de cierre de la siguiente forma:

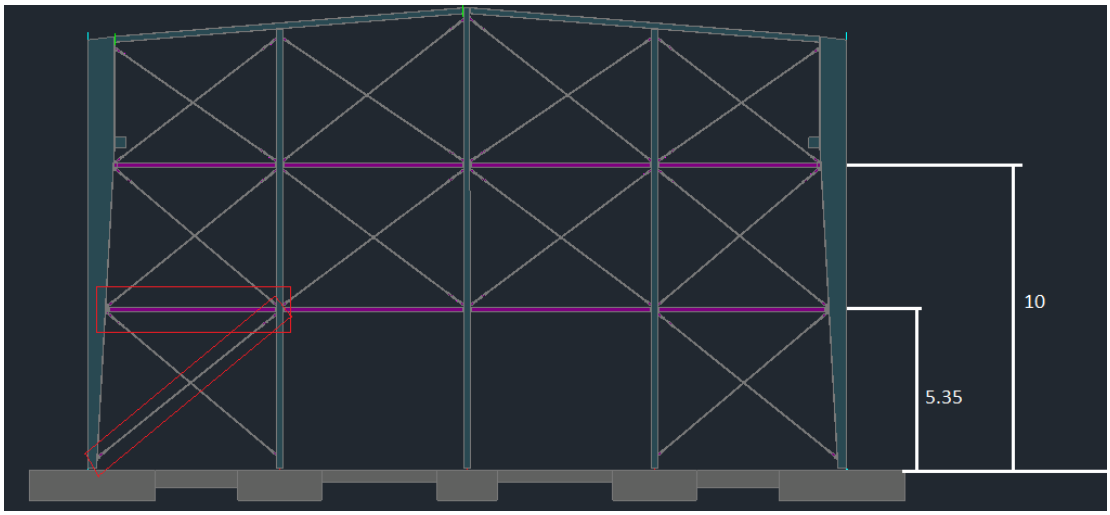


Figura 189 Geometría arriostramiento de fachada frontal

Los montantes los constituirán tubos estructurales cuadrados huecos y los tirantes serán redondos macizos.

Con el programa informático de CYPE, se puede observar las cargas a las que está sometida cada barra del entramado y determinar así cual será la más desfavorable para poder dimensionar y comprobar el sistema de arriostramiento.

Por lo tanto, se observa que el montante más solicitado será el que se encuentra a 5.35 metros en los vanos exteriores del pórtico central, mientras que la diagonal más cargada será la que se encuentra en la parte inferior del sistema. Ambas se encuentran indicadas en la Figura 189.

Las acciones por hipótesis que solicitan dichas barras:

Axiles [KN]	V1a	V1b	V2	SCUpg(frena+)	SCUpg(frena-)
Montante	-109	-132	13,66	-8,5	-11,5
Diagonales	143,5	174,3	0	28,2	0

Figura 190 Acciones por hipótesis

Ahora que ya se cuenta con los mayores axiles que solicitan a las barras del entramado, se escogen los siguientes perfiles para actuar como diagonales y montantes:

Montantes

Se escogerá un perfil hueco cuadrado #140.5

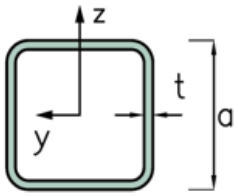


Figura 191 Esquema del perfil cuadrado hueco

Las propiedades del perfil serán las siguientes:

	#140.5
A [mm2]	2610
iy=iz [mm]	54,6
a [mm]	140

Tabla 41 Propiedades del montante

Diagonales

Se escogerá un redondo macizo Ø42.

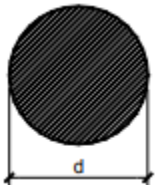


Figura 192 Esquema del redondo macizo

Las propiedades del perfil serán las siguientes:

	Ø42
A [mm2]	1385

Tabla 42 Propiedades de la diagonal

Se procede a realizar la comprobación de resistencia y estabilidad de los perfiles seleccionados.

Comprobación montantes

Al estar sometido a compresión, se acude al apartado 6.3.2 del DB SE-A del C.T.E. y la norma especifica que la resistencia de las barras a compresión se calcula de la siguiente forma:

$$N_{b,Rd} = \chi * A * f_{yd}$$

Siendo:

- A: área de la sección eficaz sometida a compresión.
- χ: coeficiente de reducción por pandeo.
- f_{yd}: resistencia en valor de cálculo del acero.

Para la obtención de este coeficiente de reducción por pandeo se sigue el apartado 6.3.2.1 del DB SE-A del C.T.E. fijándose en la Figura 6.3 que muestra las curvas de pandeo en función de la esbeltez reducida.

Para la obtención de esa esbeltez reducida, se necesitan la esbeltez de Euler y la esbeltez mecánica.

Para esta última, hay que tener en cuenta que se necesita la longitud de pandeo y el radio de giro en el eje y.

La longitud de pandeo se obtiene de la siguiente manera:

$$L_k = \beta * L$$

Siendo:

- B: coeficiente de longitud de pandeo
- L: longitud de la barra

Se conoce que la longitud de pandeo en el eje y (Plano X-Z de la barra) son 6.25 metros (longitud de los vanos del pórtico principal), y el coeficiente de longitud de pandeo, β, es igual a 1 ya que se considera articulado en ambos extremos de ese plano.

Por lo tanto:

$$L_k = \beta * L = 1 * 6250 = 6250\ mm$$

Por lo tanto ya se puede calcular todo lo dicho anteriormente:

$$Esbeltez\ de\ Euler \rightarrow \lambda_E = \pi * \sqrt{\frac{E}{f_y}} = \pi * \sqrt{\frac{2.1 * 10^5}{275}} = 86.8$$

$$Esbeltez\ mecánica \rightarrow \lambda_y = \frac{L_k}{i_y} = \frac{6250}{54.6} = 114.46$$

Ya se puede calcular la esbeltez reducida:

$$Esbeltez\ reducida \rightarrow \bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_E} = \frac{114.46}{86.8} = 1.31$$

Una vez obtenida la esbeltez reducida ya se puede obtener el coeficiente de reducción acudiendo a las cuervas de pandeo. Este caso corresponde a la curva a, ya que se trata de tubos de chapa con pandeo en el eje “y”, y laminados en caliente.

$$\chi_y = 0.459$$

Por lo que ya se puede obtener la resistencia del montante a compresión, y se obtiene un valor de:

$$N_{b,Rd} = \chi * A * f_{yd} = 0.459 * 2610 * \frac{275}{1.05} = 313.7\ \ KN$$

Se continúa obteniendo el valor del esfuerzo axil en valor de cálculo. Se conoce que la combinación desfavorable de esfuerzos será de la siguiente manera:

1.5 V1b+1.5*0.7 $SCU_{PG(frena\ -)}$

Por lo tanto:

$$N_{Ed} = 1.5 * (-132) + 1.5 * 0.7 * (-11.5) = -220.36\ KN$$

Ya se puede realizar la comprobación del montante:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1 \rightarrow \frac{220.36}{337} = 0.72 \leq 1\ (CUMPLE)$$

Como se puede observar el montante más solicitado cumple con las comprobaciones que dicta la norma con un aprovechamiento del 72% de su capacidad.

Comprobación diagonales

Tal y como se indica en el apartado 6.2.3 del DB SE-A del C.T.E., para calcular la resistencia de las secciones de una barra sometidas a tracción:

$$N_{t,Rd} = A * f_{yd} = 1385 * \frac{275}{1.05} = 362.7\ KN$$

Se continúa obteniendo el valor del esfuerzo axil en valor de cálculo. Se conoce que la combinación desfavorable de esfuerzos será de la siguiente manera:

1.5 V1b+1.5*0.7 $SCU_{PG(frena+)}$

Por lo tanto:

$$N_{Ed} = 1.5 * (174.3) + 1.5 * 0.7 * (28.2) = 271.06\ KN$$

Ya se puede realizar la comprobación de la diagonal:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1 \rightarrow \frac{271.06}{362.7} = 0.84 \leq 1\ (CUMPLE)$$

Como se puede observar el montante más solicitado cumple con las comprobaciones que dicta la norma con un aprovechamiento del 84% de su capacidad.

Por lo tanto, todos los elementos del entramado de fachada frontal de la instalación cumplen con las comprobaciones que indica la norma.

9. Uniones

Se van a dimensionar y calcular las uniones más significativas de la instalación.

El proceso de cálculo se va a llevar a cabo de acuerdo al DB SE-A (Apartado 8) del C.T.E. y al Eurocódigo 3 (Apartado 6 y anexos) donde se describen las comprobaciones que debe cumplir cada tipo de unión.

9.1. Unión del corte del dintel principal

Según el R.D. 2822/1998 los límites a partir de los cuáles se considera transporte especial son:

- 16.5 m de largo
- 2.55 m de ancho
- 4 m de alto

Por lo tanto, y para no incurrir en transportes especiales, facilitando de esta forma la labor del transporte, se decide cortar el dintel a una longitud aproximada de 3 metros desde la cabeza del pilar principal.

A 3 metros del pilar se tiene un canto de dintel de:

$$X = 3 * \frac{700 - 250}{12.55} = 107.57$$

$$h_{3m} = 700 - X = 592.4\, mm \cong 600\, mm$$

Se va a considerar un canto de 600 mm por lo que se recalcula la distancia a la que se realiza el corte y se obtiene que se efectuará a 2.8 metros de la cabeza del pilar principal.

Por tanto, se tiene el siguiente perfil en la zona de la unión:

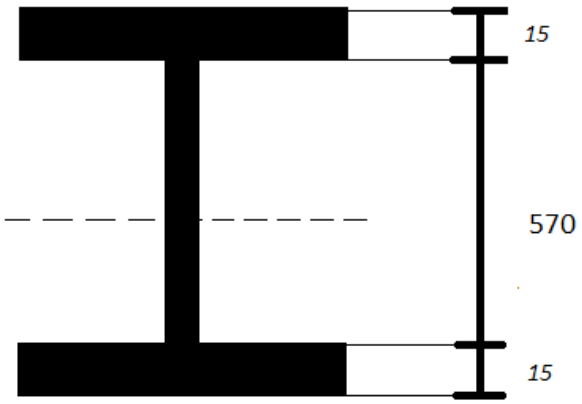


Figura 193 Sección del dintel a 2.8 metros del pilar

La unión se diseñará rígida atornillada con chapa frontal soldada a la viga, de esta forma se facilita la conexión de ambas partes en la obra.

Se va a realizar una predimensión de la unión y los elementos que compondrán la unión atornillada son:

- 8 x Perno hexagonal M24x80, 8.8 ISO 4017
- 8 x Tuerca hexagonal M24, 8.8 ISO 4017
- 2 x Chapa de 15x320x640 de acero S275

Para comprobar este tipo de unión se acude al párrafo 2 del apartado 8.8.4 empalmes en piezas flectadas con chapa frontal del DB SE-A y en él se indica que se podrá realizar el cálculo de la unión siguiendo las indicaciones para uniones entre viga y pilar con chapa frontal atornillada.

En la unión típica viga-pilar, el momento se transmite por acoplamiento de la compresión en o cerca del nivel del ala inferior y con la tracción en la parte superior de la unión. Estas dos fuerzas que podemos encontrar en la siguiente figura, no serán iguales debido a la existencia del axil.

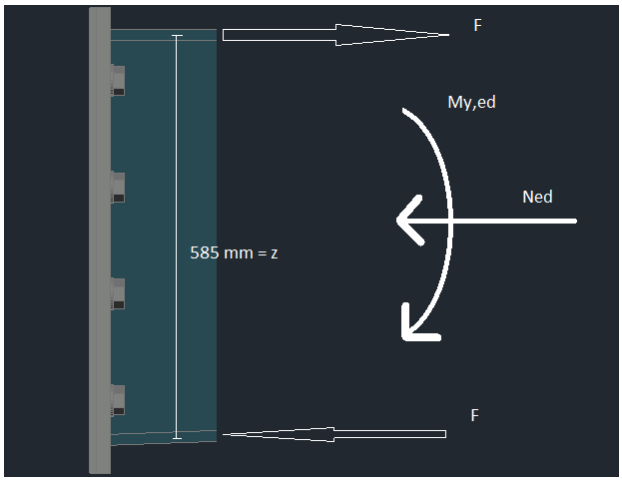


Figura 194 Esquema de la unión atornillada

Se pueden obtener los esfuerzos que solicitan a la unión en ese punto gracias al programa informático de CYPE. Por lo tanto las acciones por hipótesis que solicitan la unión son:

[KN,m]	CP	N	V1a	V1b	V2	SCU pg(frena+)	SCUpg(frena-)
N	-9,95	-18,75	-7,17	-17,53	33,14	-35,61	-12
Vz	-14,42	-27,58	29,45	12,12	28,15	2,1	2,82
My	-63,03	-126,59	129,28	119,53	115,21	20,16	27,04

Tabla 43 Acciones por hipótesis de la unión

Se va a realizar la comprobación de la unión siguiendo el método para uniones de viga y pilar atornilladas con chapa frontal que refleja el DB SE-A en el apartado 8.8.6. Tal y como indica, las comprobaciones de la unión se agrupan en tres zonas; la zona de tracción, de compresión y de cortante.

- Zona de cortante: en el caso de que las acciones que transmiten las alas no sean compensadas a cada lado de la unión el alma del pilar deberá de soportar el cortante originado por estas acciones.
- Zona de compresión: debe resistir el esfuerzo transmitido por el ala de la viga.
- Zona de tracción: solicitada por el esfuerzo de tracción que transmite el ala de la viga. Si la unión es con chapa frontal puede producirse el efecto palanca si la chapa no tiene suficiente espesor.

En cada una de las zonas hay varios componentes que pueden limitar la resistencia de la unión, dichos componentes se muestran en la siguiente figura.

Zona	Ref.	Componente
CORTANTE	*a* – $V_{wp,Rd}$	*Alma de pilar en resistencia*
	b – $V_{bc,Rd}$	*Alma de pilar en abolladura*
	c – $V_{WP,Rd}$	*Soldadura alma viga-chapa frontal*
TRACCIÓN	*d* – $F_{t,fc,Rd}$	*Ala del pilar en flexión*
	e – $F_{t,wc,Rd}$	*Alma de pilar en tracción*
	f – $F_{t,fb,Rd}$	*Soldadura ala viga-chapa frontal*
	g – $F_{t,ep,Rd}$	*Chapa frontal en flexión*
COMPRESIÓN	*i* – $F_{c,wc,Rd}$	*Alma de pilar en aplastamiento*
	j – $F_{c,bc,Rd}$	*Alma de pilar en pandeo*
	k – $F_{c,fb,Rd}$	*Soldadura ala viga-ala pilar*

Figura 195 Componentes de una unión rígida viga-pilar

Además, tal y como indica el apartado 8.8.6 del DB SE-A, la comprobación de la resistencia a flexión de una unión viga pilar exige comprobar la capacidad de la unión a momento flector y a esfuerzo cortante de la siguiente forma:

- Comprobación de la unión a esfuerzo cortante: $V_{wp,Ed} \leq V_{wp,Rd}$
- Comprobación de la unión a momento flector: $M_{Ed} \leq M_{Rd}$

Siendo:

- $V_{wp,Ed}$: cortante del nudo aplicado en el alma del pilar.
- $V_{wp,Rd}$: resistencia a cortante del nudo del alma del pilar.
- M_{Ed}: momento de cálculo aplicado.
- M_{Rd}: momento resistente de la unión viga-pilar.

La capacidad a cortante del alma del pilar será la menor entre las resistencias de los componentes de la zona de cortante.

La capacidad a flexión corresponde con la suma de los valores de cálculo de las resistencias eficaces de cada fila de tornillos traccionados, por su distancia a la fila de compresión.

Por lo tanto se comienza con la comprobación de las zonas anteriormente explicadas.

Zona de cortante:

Antes de comenzar con las comprobaciones es preciso obtener el cortante que se genera en la unión debido a los cortantes y flectores que existen. Tal y como indica el DB SE-A el cortante del nudo en el alma del pilar se obtiene de la siguiente forma:

$$V_{wp,Ed} = \frac{M_{b1,Ed} - M_{b2,Ed}}{z} - \frac{V_{c1,Ed} - V_{c2,Ed}}{2}$$

Con los significados y signos positivos de la siguiente figura. Z es el brazo de palanca global correspondiente a la unión.

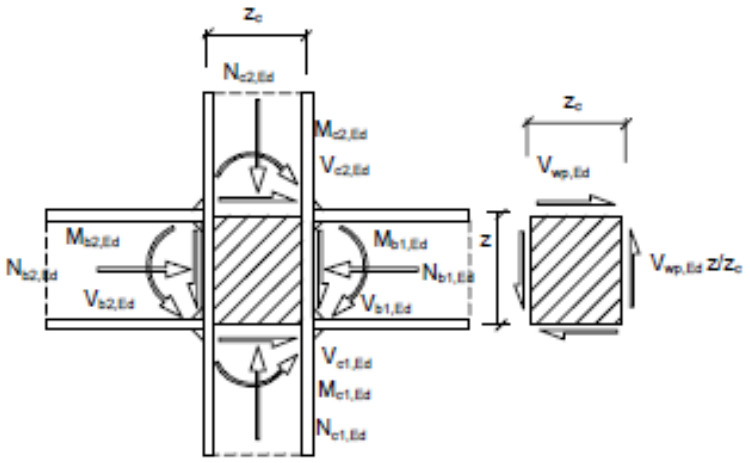


Figura 196 Cortante de nudo

Además en este caso, habrá que tener en cuenta el axil que actúa en la unión ya que generará un cortante en el nudo. Por lo tanto va a comenzarse por obtener la combinación desfavorable de esfuerzos para estas comprobaciones.

1.35 CP + 1.5 N

A continuación ya se pueden obtener los esfuerzos en valor de cálculo que solicitan la unión:

$$M_{y,Ed} = 1.35 * (-63.03) + 1.5 * (-126.59) = -275\ KN * m$$

$$N_{Ed} = 1.35 * (-9.95) + 1.5 * (-18.75) = -43.75\ KN$$

Ya se puede calcular el cortante generado en la unión. Tal y como se ha explicado anteriormente:

$$V_{w,Ed} = \frac{M_{b1,Ed} - M_{b2,Ed}}{z} - \frac{V_{c1,Ed} - V_{c2,Ed}}{2} + N_{Ed} =$$

$$\frac{M_{b1,Ed}}{z} + N_{Ed} = \frac{M_{y,Ed}}{z} + N_{Ed} = \frac{-275 * 10^3}{585} + (-43.75) = -513.83\ KN$$

Ahora que ella se conoce el cortante que actúa en el alma del pilar se procede a realizar las comprobaciones en la zona de cortante para saber cuál es la resistencia máxima a cortante

A) Alma del pilar en resistencia: no procede ya que no existe pilar en la unión.
B) Alma del pilar en abolladura: no procede ya que no existe pilar en la unión.
C) Soldadura alma viga-chapa frontal:

La soldadura del alma de la viga a la chapa frontal se va a realizar con soldadura en ángulo con una garganta de 4 mm y una longitud de 520 mm.

Para comprobar cuál es el esfuerzo que soporta la soldadura se acude al apartado 8.6.2 del DB SE-A (Resistencia de cálculo de las soldaduras en ángulo). En el tercer punto de dicho apartado se explica que la soldadura en ángulo será suficiente si, con las tensiones de cálculo se cumple:

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 * \left(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2\right)} \leq \frac{f_u}{\beta_w * \gamma_{M2}}$$

Siendo:

- β_w: coeficiente de correlación dado en la Tabla 8.1 del DB SE-A.
- f_u: resistencia última a tracción de la pieza más débil de la unión dado en la Tabla 8.1 del DB SE-A.
- $\sigma_\perp$: tensión normal perpendicular al plano de la garganta
- $\tau_\perp$: tensión tangencial (en el plano de la garganta) perpendicular al eje del cordón.
- $\tau_\parallel$: tensión tangencial (en el plano de la garganta) paralelo al eje del cordón.

Ahora que ya se conoce cada término, teniendo en cuenta que solo se tiene la componente $\tau_\parallel$ en la zona de cortante, la fórmula anterior queda de la siguiente manera:

$$\sqrt{0 + 3 * \left(0 + \tau_\parallel^2\right)} \leq \frac{f_u}{\beta_w * \gamma_{M2}} \rightarrow \tau_\parallel \leq \frac{f_u}{\sqrt{3} * \beta_w * \gamma_{M2}}$$

Y si se multiplica por el área de la garganta (teniendo en cuenta que existirá soldadura a ambos lados del alma de la viga) se obtiene la capacidad de la soldadura.

$$V_{w,Rd} \leq 2 * L_w * a_w \frac{f_u}{\sqrt{3} * \beta_w * \gamma_{M2}}$$

El coeficiente de correlación, β_w, y la resistencia última a tracción de la pieza, f_u, se obtiene de la Tabla 8.1 del DB SE-A tal y como se ha mencionado antes.

Acero	f_u (N/mm^2)	β_w
S 235	360	0,80
S 275	430	0,85
S 355	510	0,90

Figura 197 Coeficientes de correlación

Al estar trabajando con acero S-275, le corresponde un coeficiente de 0.85 y una resistencia última a tracción de la pieza de 430 N/mm^2.

Por tanto, la capacidad de la soldadura resulta:

$$V_{w,Rd} = 2 * L_w * a_w \frac{f_u}{\sqrt{3} * \beta_w * \gamma_{M2}} = 2 * 520 * 4 * \frac{430}{\sqrt{3} * 0.85 * 1.25} = 972\ KN$$

Como se puede apreciar, la unión cumple la comprobación a cortante que se ha mencionado anteriormente ya que:

$$V_{w,Rd} \geq V_{wp,Ed}$$

<u>Zona de tracción</u>

Para la zona de tracción, tal y como se especificó en la Figura 195 se comprobarán las siguientes:

D) Ala del pilar en flexión: no procede ya que no existe pilar en la unión.
E) Alma del pilar en tracción: no procede ya que no existe pilar en la unión.
F) Soldadura ala viga-chapa frontal.

Las soldaduras de unión del ala de la viga a la chapa frontal deben dimensionarse de manera que se asegure la resistencia completa del ala de la viga, es decir, la soldadura debe soportar la tracción máxima que soporte la viga.

$$F_{soldadura,Rd} \geq F_{t,fb,Rd}$$

La soldadura del ala de la viga a la chapa frontal se va a realizar con soldadura en ángulo con una garganta de 12 mm y una longitud de 300 mm.

Para comprobar cuál es el esfuerzo axil que soporta la soldadura se acude al apartado 8.6.2 del DB SE-A (Resistencia de cálculo de las soldaduras en ángulo) como se ha hecho en la zona de cortante.

Al estar trabajando con acero S-275, le corresponde un coeficiente de 0.85 y una resistencia última a tracción de la pieza de 430 N/mm^2.

Por tanto, como ocurría con la soldadura en la zona de cortante, la capacidad de la soldadura resulta:

$$F_{soldadura,Rd} = 2 * L_w * a_w \frac{f_u}{\sqrt{3} * \beta_w * \gamma_{M2}} = 2 * 300 * 12 * \frac{430}{\sqrt{3} * 0.85 * 1.25} = 1682\ KN$$

El axil máximo que soportan las alas de la viga se calcula de la siguiente forma:

$$F_{t,fb,Rd} = b * t_f * \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

Siendo:

- b: ancho del ala de la viga
- t_f: espesor del ala de la viga

Por lo que adoptará un valor de:

$$F_{t,fb,Rd} = b * t_f * \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 300 * 15 * \frac{275}{1.05} = 1178.5\ KN$$

Se puede confirmar entonces que:

$$F_{soldadura,Rd} \geq F_{t,fb,Rd} \rightarrow 1682\ KN\ \geq 1178.5\ KN$$

G) Chapa frontal en flexión

Para realizar esta comprobación, se va a acudir al Anexo J apartado 3.4.3 (Ala del pilar rigidizada) del Eurocódigo 3 (EC-3). En dicho apartado, se indica que ha de asimilarse el comportamiento del ala de la viga al de un casquillo en T equivalente, cuya longitud total es igual a la longitud eficaz total correspondiente a las disposiciones de los tornillos en la zona solicitada a tracción.

En este caso, se va a considerar un casquillo en T con 3 filas de tornillos traccionadas.

Además, se indica que los grupos de filas de tornillos por encima y por debajo del ala en tracción de la viga deben, también, tratarse como tramos en T y calcular su resistencia máxima por separado. Por lo tanto, la capacidad máxima a tracción que podrán desarrollar los tornillos de la placa será:

$$F_{t,ep,Rd} = F_{t,epExteriores,Rd} + F_{t,epInteriores,Rd}$$

Como en el diseño de la placa no se han incluido tornillos exteriores el segundo término de la ecuación anterior es cero, y hay que calcular la máxima fuerza a tracción que podrán transmitir los tornillos interiores.

Para ello, se acude al apartado 3.3 del Anexo J del EC-3 y ahí se indica que, la resistencia de cálculo de un ala de casquillo en T a tracción debe tomarse igual al más pequeño de los valores correspondientes a tres modos posibles de ruina que se representan en la siguiente figura.

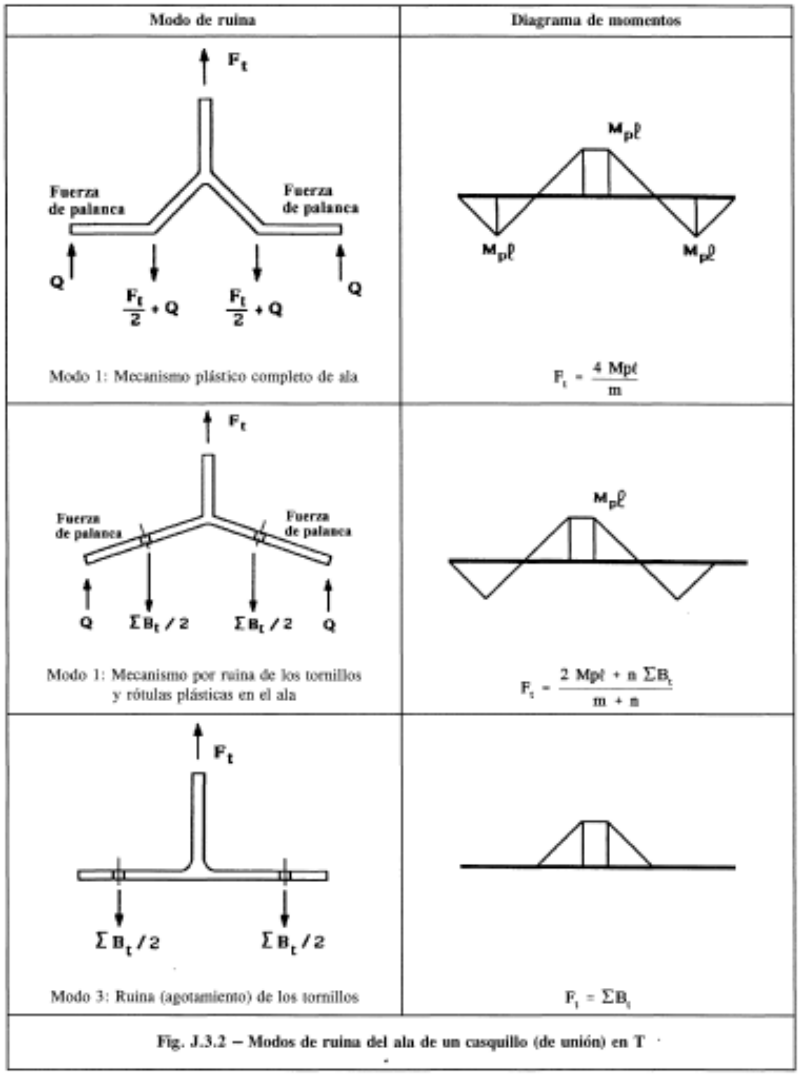


Fig. J.3.2 – Modos de ruina del ala de un casquillo (de unión) en T

Figura 198 Modos de ruina del ala de un casquillo (de unión) en T

Por lo tanto se llega a la siguiente conclusión:

$$F_{t,ep,Rd} = F_{t,epInteriores,Rd} = \min[F_{m1}, F_{m2}, F_{m3}]$$

Antes de empezar a calcular los 3 posibles modos de ruina, se van a calcular algunos parámetros necesarios que aparece en la Figura 198.

Tal y como indica el mismo apartado, el momento plástico en la rótula, M_{pl}, se calcula de la siguiente forma:

$$M_{pl,Rd} = l_{eff}\frac{t_y^2 * f_y}{4 * \gamma_{M0}}$$

Siendo:

- t_y : espesor de la placa.
- l_{eff}: longitud eficaz total.
- f_y: tensión de límite elástico de la placa.

Hay que tener en cuenta, tal y como indica el DB SE-A en el apartado 4.2, que al tener un espesor de placa entre 16 mm y 40 mm y trabajar con un acero S275, le corresponde una tensión de límite elástico de 265 N/mm^2.

Para calcular la longitud eficaz total, han de sumarse todas las longitudes eficaces de cada fila de tornillos sometidos a tracción. En el mismo apartado se diferencia entre 3 tipos distintos de situaciones de la fila de tornillos traccionados. Para cada uno de esos tipos, ha de tomarse el menor valor de las longitudes eficaces.

A) En el caso de tornillos adyacentes a un rigidizador:

$$l_{eff,a} = \alpha * m$$

$$l_{eff,a} = 2 * \pi * m$$

B) En el caso de tornillos interiores:

$$l_{eff,b} = p$$

$$l_{eff,b} = 4 * m + 1.25 * e$$

$$l_{eff,b} = 2 * \pi * m$$

C) En el caso de tornillos en una fila extrema:

$$l_{eff,c} = 0.5 * p + 2 * m + 0.625 * e$$

$$l_{eff,c} = 4 * m + 1.25 * e$$

$$l_{eff,c} = 2 * \pi * m$$

Siendo el coeficiente α (que interviene en el caso (a)) dado en la siguiente figura.

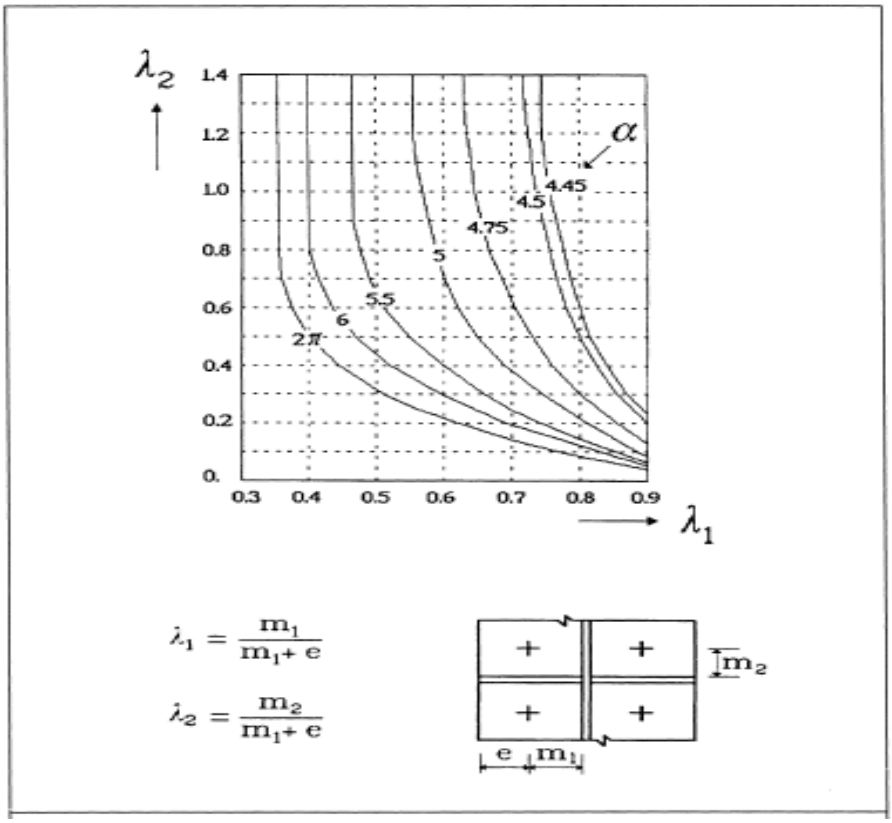


Figura 199 Valores de α para alas de pilar rigidizadas

Para calcular el coeficiente α, necesitaremos conocer m_1, m_2 y e. Esos parámetros se obtienen de la geometría de la unión que, en este caso se muestra en la siguiente figura.

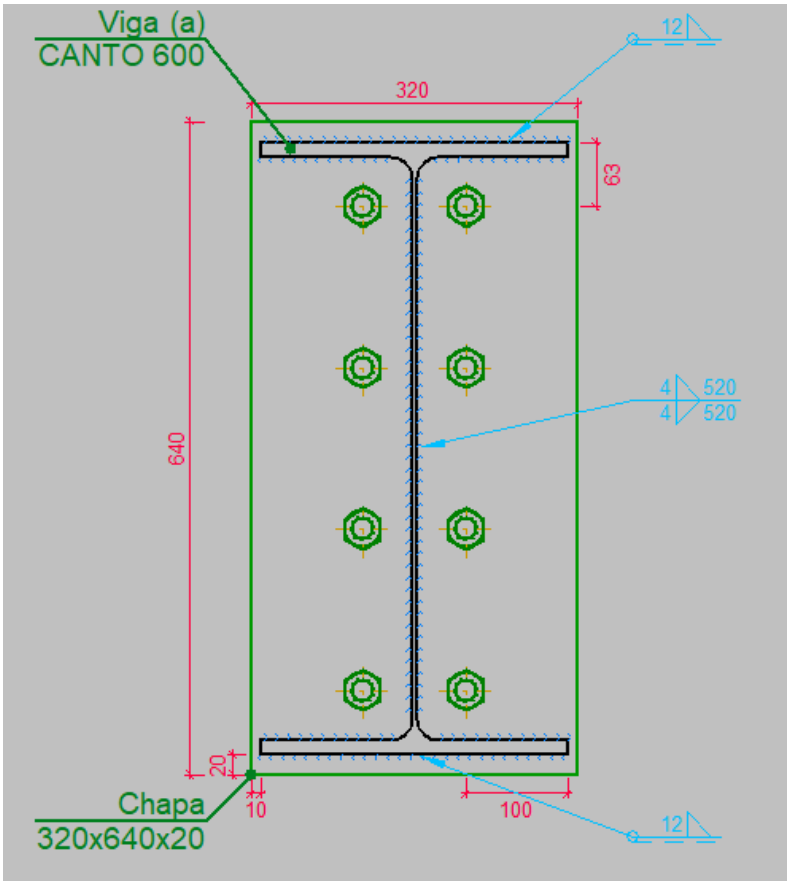


Figura 200 Geometría de la unión

Como se puede observar, dichos parámetros toman los siguientes valores:

$$m_1 = \frac{320 - 110 * 2}{2} - \frac{5}{2} = 47.5\ mm$$

$$m_2 = 63 - 15 = 48\ mm$$

$$e = 110\ mm$$

Ya se puede continuar obteniendo el valor de λ_1 y λ_2.

$$\lambda_1 = \frac{m_1}{m_1 + e} = \frac{47.5}{47.5 + 110} = 0.3$$

$$\lambda_2 = \frac{m_2}{m_1 + e} = \frac{48}{47.5 + 110} = 0.3$$

Una vez que se cuenta con estos valores se acude a la gráfica de la Figura 199 y se obtiene un valor de α:

$$\alpha = 2 * \pi$$

A continuación es necesario calcular el valor del coeficiente m para los casos (a), (b) y (c). Para ello se acude a la Figura J.3.1 del Anexo J del EC-3 que muestra lo siguiente.

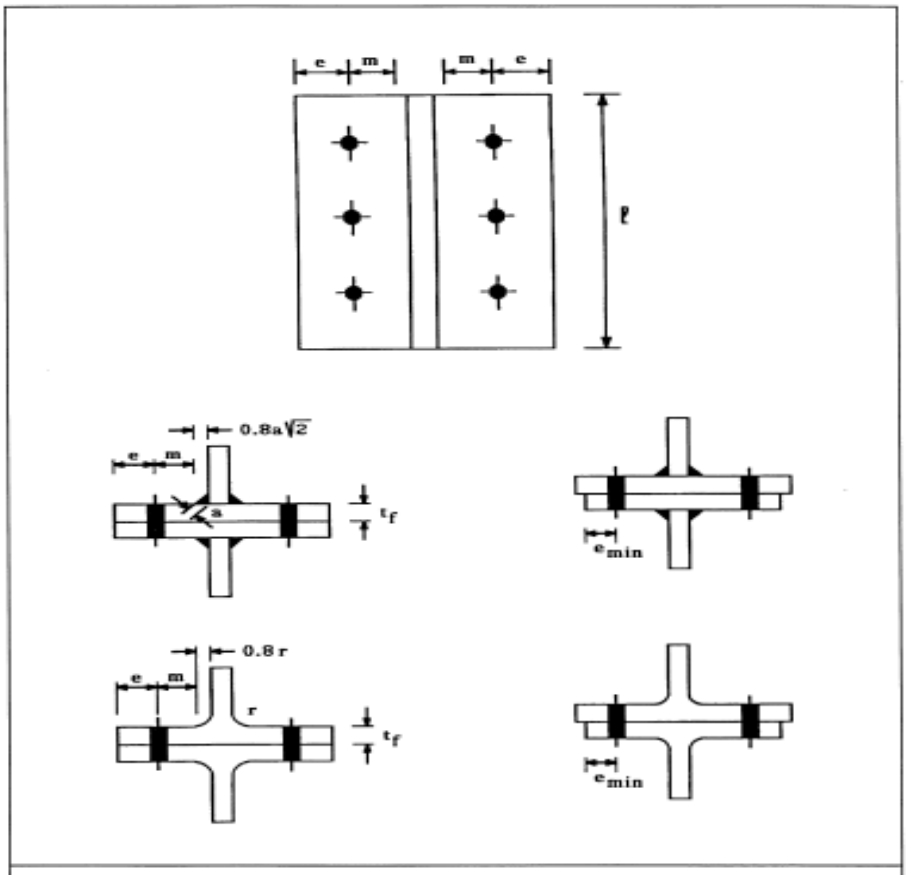


Figura 201 Dimensiones de un casquillo en T

Por lo tanto para obtener el coeficiente m:

$$m = \frac{100 - 5}{2} - 0.8 * 4 * \sqrt{2} = 43.5\ mm$$

Ya se puede empezar a calcular las longitudes eficaces. Las longitudes eficaces en este caso van de la siguiente forma:

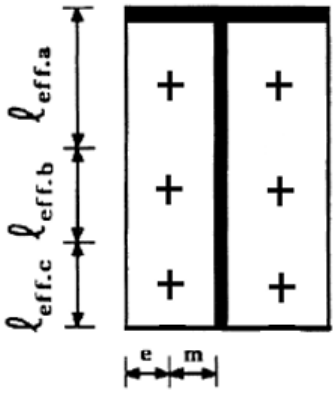


Figura 202 Tramos del casquillo

Se comienza calculando la longitud eficaz en el caso (a):

$$l_{eff,a} = \alpha * m = 273.31\ mm$$

$$l_{eff,a} = 2 * \pi * m = 273.31\ mm$$

Para la longitud eficaz del caso (b), el parámetro geométrico p se muestra en la siguiente figura.

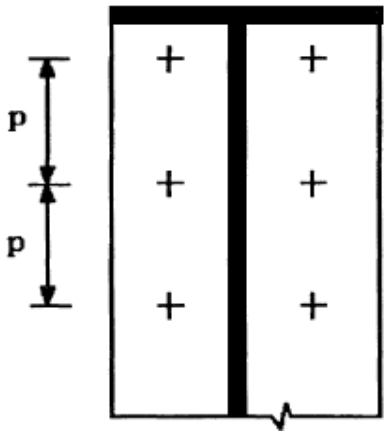


Figura 203 Parámetro geométrico "p"

$$l_{eff,b} = p = 158\ mm$$

$$l_{eff,b} = 4 * m + 1.25 * e = 311.5\ mm$$

$$l_{eff,b} = 2 * \pi * m = 273.3\ mm$$

En el caso (c) de tornillos en una fila extrema:

$$l_{eff,c} = 0.5 * p + 2 * m + 0.625 * e = 235\ mm$$

$$l_{eff,c} = 4 * m + 1.25 * e = 311.5\ mm$$

$$l_{eff,c} = 2 * \pi * m = 273.3\ mm$$

Por lo tanto, sumando las menores longitudes eficaces de cada caso, se obtiene una longitud eficaz total:

$$l_{eff} = 273.3 + 158 + 235 = 66.3\ mm$$

Ya se puede obtener el momento plástico en la rótula, M_{pl}:

$$M_{pl,Rd} = l_{eff}\frac{t_y^2 * f_y}{4 * \gamma_{M0}} = 666.3 * \frac{20^2 * 265}{4 * 1.05} = 16.81\ KN * m$$

Ahora que ya se cuenta con el momento plástico en la rótula, se va a obtener el parámetro n que aparece en la Figura 198. En el apartado J.3.3 se especifica:

$$n = e_{min} \leq 1.25 * m \rightarrow 110\ mm \leq 1.25 * 43.5 = 54.37\ mm$$

$$n = 54.37\ mm$$

Ya se pueden obtener pueden obtener las fuerzas de tracción máximas ante los 3 posibles modos de ruina que aparecen en la Figura 198.

$$F_{m1} = \frac{4 * M_{pl}}{m} = \frac{4 * 16.81}{43.5} = 1545.8\ KN$$

$$F_{m2} = \frac{2 * M_{pl} + n * \sum F_{t,Rd}}{m + n}$$

Siendo $F_{t,Rd}$, tal y como indica el DB SE-A del C.T.E. en el apartado 8.5.2:

$$F_{t,Rd} = n * \frac{0.9 * f_{ub} * A_s}{\gamma_{M2}}$$

Siendo:

- n: número de tornillos traccionados.
- f_{ub}: tensión de rotura del acero del tornillo.
- A_s: área de la sección resistente (sección roscada).

Para los tornillos que forman parte de la unión (M24x80, 8.8 ISO 4017) les corresponden las siguientes propiedades según la ISO 898:

$$f_{ub} = 800\ N/mm^2$$
$$A_s = 353\ mm^2$$

Por lo tanto:

$$F_{t,Rd} = n * \frac{0.9 * f_{ub} * A_s}{\gamma_{M2}} = 6 * \frac{0.9 * 800 * 353}{1.25} = 1220\ KN$$

Ya se puede obtener la fuerza de tracción máxima del modo de rotura 2:

$$F_{m2} = \frac{2 * M_{pl} + n * \sum F_{t,Rd}}{m + n} = \frac{2 * 16.81 + 54.37 * [1220]}{43.5 + 54.37} = 1021.2\ KN$$

$$F_{m3} = n * \sum F_{t,Rd} = n * \frac{0.9 * f_{ub} * A_s}{\gamma_{M2}} = 1220\ KN$$

Por lo tanto, como se ha dicho al comienzo del apartado G):

$$F_{t,ep,Rd} = F_{t,epInteriores,Rd} = \min[F_{m1}, \boldsymbol{F_{m2}}, F_{m3}] = 1021.2\ KN$$

Y ya se puede obtener la resistencia de cada fila de tornillos:

$$F_{t,ep,fila} = \frac{F_{t,ep,Rd}}{3} = 340.4\ KN$$

El axil que solicita la unión es el mismo que el cortante que solicitaba el alma del pilar en la comprobación de la zona de cortante, es decir:

$$F_{t,Ed} = -513.83\ KN$$

Se puede comprobar que:

$$F_{t,ep,Rd} \geq F_{t,Ed}$$

<u>Zona de compresión</u>

Se van a llevar a cabo las comprobaciones que se indicó en la Figura 195.

I) Alma del pilar en aplastamiento: no procede ya que no existe pilar en la unión.

J) Alma del pilar en pandeo: no procede ya que no existe pilar en la unión.

K) Soldadura ala viga-chapa frontal:

Tal y como se hizo para la zona de tracción, hay que comprobar que las soldaduras de unión del ala de la viga a la chapa frontal estén dimensionadas de manera que se asegure la resistencia completa del ala de la viga, es decir, la soldadura debe soportar la compresión máxima que soporte la viga.

$$F_{soldadura,Rd} \geq F_{c,fb,Rd}$$

La soldadura del ala de la viga a la chapa frontal se va a realizar con soldadura en ángulo con una garganta de 12 mm y una longitud de 300 mm.

Por tanto, al estar trabajando con las mismas condiciones que para la zona de tracción, la capacidad de la soldadura es la misma:

$$F_{soldadura,Rd} = 1682\ KN$$

El axil máximo que soportan las alas de la viga también se calculó con anterioridad:

$$F_{c,fb,Rd} = b * t_f * \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 300 * 15 * \frac{275}{1.05} = 1178.5\ KN$$

Se puede confirmar entonces que:

$$F_{soldadura,Rd} \geq F_{c,fb,Rd} \rightarrow 1682\ KN\ \geq 1178.5\ KN$$

Se puede verificar que la resistencia eficaz en la zona de compresión (1178.5 KN) es mayor que la de la zona de tracción (1021.2 KN) tal y como indica el DB SE-A del C.T.E en el párrafo 3 del apartado 8.8.6. Por lo tanto no hace falta reducirla en ninguna proporción que es lo que aconseja la norma si esto no se cumpliera.

Por último se va a realizar la comprobación de momento flector que se mencionó al comienzo del apartado.
Como se indica en el DB SE-A párrafo 2 del apartado 8.8.6, la capacidad resistente a momento depende de la resistencia de los componentes de la unión. El momento resistente de cálculo será la suma de los valores de cálculo de las resistencias eficaces de cada fila de tornillos traccionados, por su distancia al centro de la zona de compresión.

Se va a seguir una distribución plástica tal y como indica el EC-3 en el Procedimiento J.3.1. En esquema de la unión quedaría de la siguiente manera:

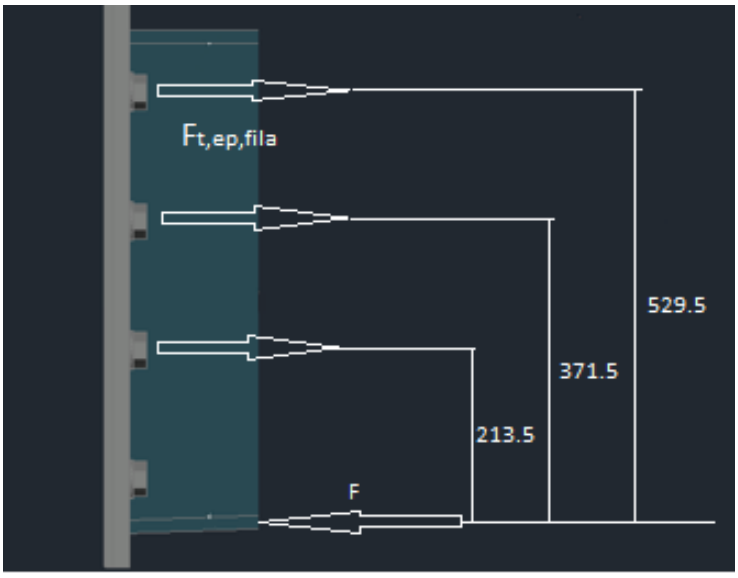


Figura 204 Distribución plástica de la resistencia eficaz de los tornillos

El momento que generan las fuerzas de tracción resulta:

$$M_{Rd} = \sum F_{t,fila\,i} * z_i = 340.4(213.5 + 371.5 + 529.5) = 379.37KN * m$$

El momento que existía en la unión se ha calculado con anterioridad:

$$M_{Ed} = 275\ KN * m$$

Por lo tanto:

$$M_{Rd} \geq M_{Ed}$$

Y se cumple la comprobación de momento flector. Por lo tanto se puede concluir que la unión cumple con las comprobaciones que se indican en la norma.

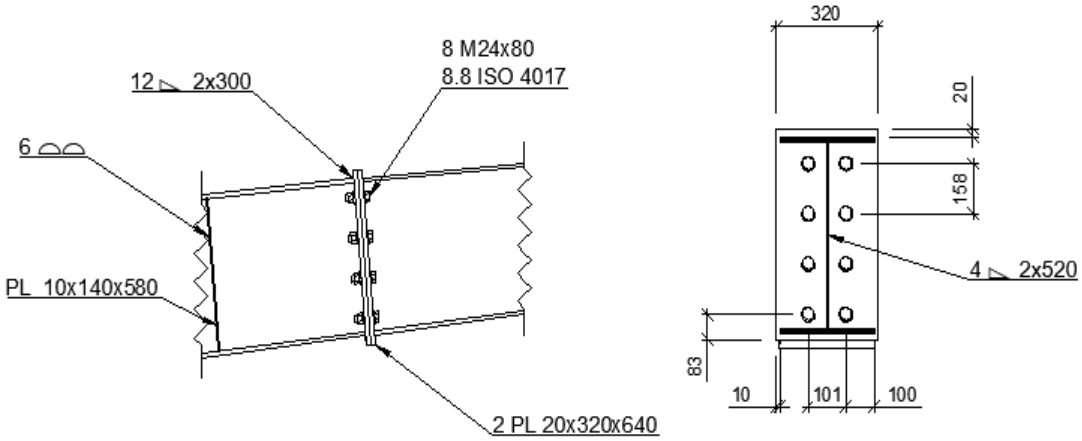


Figura 205 Detalle de la unión

9.2. Unión de cumbrera del pórtico principal

La unión de cumbrera se diseñará articulada atornillada con chapa frontal soldada al final de cada viga, de esta forma se facilita la conexión de ambas partes en la obra.

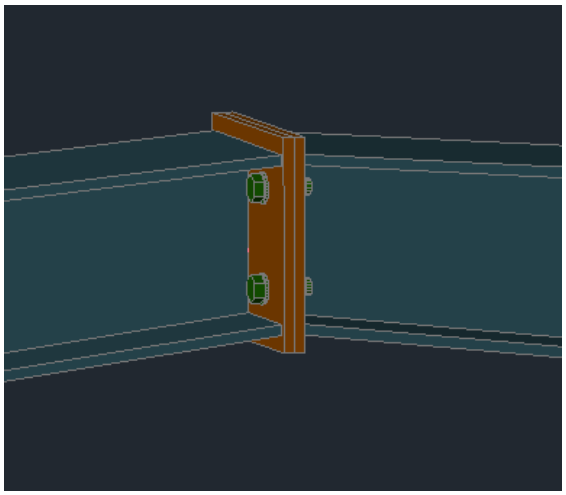


Figura 206 Unión de cumbrera

Se va a realizar una predimensión de la unión y los elementos que compondrán la unión atornillada son:

- 4 x Perno hexagonal M24x70, 8.8 ISO 4017
- 4 x Tuerca hexagonal M24, 8.8 ISO 4017
- 2 x Chapa de 15x300x320 de acero S275

Las soldaduras serán de la siguiente manera:

- Soldadura de alma: garganta de 4 mm y longitud 200 mm.
- Soldadura de ala: garganta de 12 mm y longitud de 300 mm.

Los tornillos se van a separar entre sí horizontal y verticalmente 140 mm. Como se ha planteado una unión articulada, los tornillos se han colocado a una distancia inferior a 2/3 la longitud del alma del pilar, evitando así que se generen momentos flectores en la unión.

Por lo tanto, se va a comprobar la resistencia de la unión ante esfuerzos de tracción y cortante, ya que los tornillos no trabajaban ante esfuerzos de compresión.

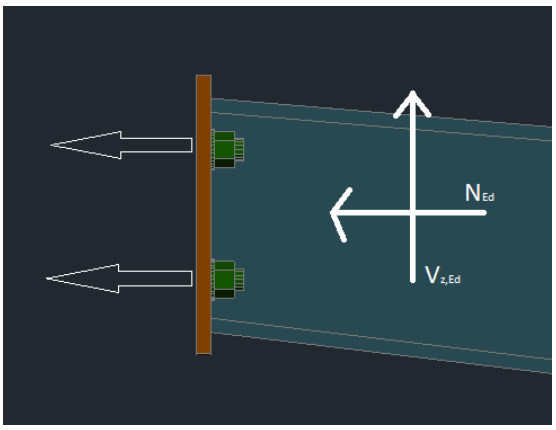


Figura 207 Esquema de la unión

A continuación, se anotan las acciones por hipótesis que solicitan la unión:

[KN,m]	CP	N	V1a	V1b	V2	SCU pg(frena+)	SCUpg(frena-)
N	-6	-11	5,36	0,72	40,55	-13,59	-12
Vz	0,6	1,1	-2,19	12,88	-4,05	2,1	2,82

Tabla 44 Acciones por hipótesis en la unión

Para axil de tracción máximo la combinación de esfuerzos más desfavorable es:

1.35 PP + 1.5 V2

$$N_{Ed} = 1.35 * (-6) + 1.5 * (-13.59) + 1.5 * 0.5 * (-11) = 56\ KN$$

$$V_{z,Ed} = 1.35 * (0.6) + 1.5 * (2.1) + 1.5 * 0.5 * (1.1) = 4.78\ KN$$

Para el cortante máximo la combinación de esfuerzos más desfavorable es:

1.35 PP + 1.5 V1b + 1.5*0.7 $SCU_{PG(frena-)}$ + 1.5*0.5 N

$$N_{Ed} = 1.35 * (-6) + 1.5 * (0.72) + 1.5 * 0.7 * (-12) + 1.5 * 0.5 * (-11) = -27.53\ KN$$

$$V_{z,Ed} = 1.35 * (0.6) + 1.5 * (12.88) + 1.5 * 0.7 * (2.82) + 1.5 * 0.5 * (1.1) = 24\ KN$$

Una vez conocidos los esfuerzos máximos, se procede a realizar las comprobaciones de resistencia.

Comprobación de la soldadura

Para la comprobación de la soldadura se opta por la combinación desfavorable con la que se obtiene el cortante máximo.

Además hay que tener en cuenta la inclinación del dintel (α=5.71º), por lo que hay que obtener los esfuerzos del axil y el cortante a ejes de la soldadura:

$$N_{Ed,x'} = N_{Ed} * \cos \propto = -27.4\ KN$$

$$N_{Ed,z'} = N_{Ed} * \text{sen} \propto = 2.73\ KN$$

$$V_{Ed,x'} = V_{Ed} * \text{sen} \propto = -2.38\ KN$$

$$V_{Ed,z'} = V_{Ed} * \cos \propto = 23.88\ KN$$

Por lo tanto, teniendo en cuenta que el axil sucede en el eje x' y el cortante en el z', los esfuerzos quedan de la siguiente forma:

$$N'_{Ed} = N_{Ed,x'} + V_{Ed,x'} = 29.784\ KN$$

$$V'_{z,Ed} = N_{Ed,z'} + V_{Ed,z'} = 26.61\ KN$$

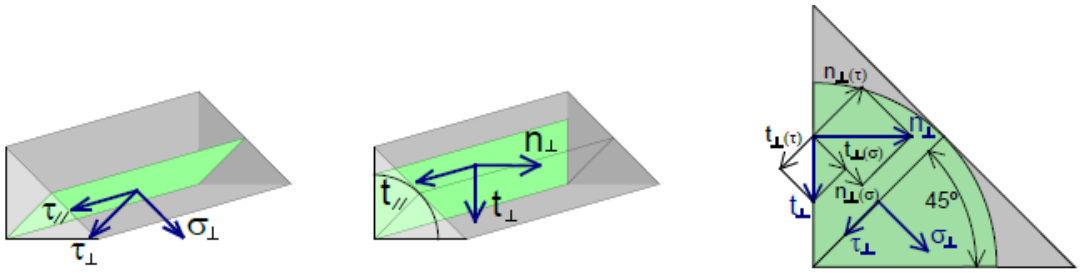
Para comprobar cuál es el esfuerzo que soporta la soldadura se acude al apartado 8.6.2 del DB SE-A (Resistencia de cálculo de las soldaduras en ángulo). En el tercer punto de dicho apartado se explica que la soldadura en ángulo será suficiente si, con las tensiones de cálculo se cumple:

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 * \left(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2\right)} \leq \frac{f_u}{\beta_w * \gamma_{M2}}$$

Siendo:

- β_w: coeficiente de correlación dado en la Tabla 8.1 del DB SE-A.
- f_u: resistencia última a tracción de la pieza más débil de la unión dado en la Tabla 8.1 del DB SE-A.

- $\sigma_\perp$: tensión normal perpendicular al plano de la garganta
- $\tau_\perp$: tensión tangencial (en el plano de la garganta) perpendicular al eje del cordón.
- $\tau_\parallel$: tensión tangencial (en el plano de la garganta) paralelo al eje del cordón.



a) tensiones sobre la sección de la garganta

b) tensiones sobre caras de la soldadura

$$\sigma_\perp = \frac{n_\perp + t_\perp}{\sqrt{2}}; \quad \tau_\perp = \frac{-n_\perp + t_\perp}{\sqrt{2}}; \quad \tau_{//} = t_{//} \qquad n_\perp = \frac{\sigma_\perp - \tau_\perp}{\sqrt{2}}; \quad t_\perp = \frac{\sigma_\perp + \tau_\perp}{\sqrt{2}}; \quad t_{//} = \tau_{//}$$

Figura 208 Tensiones en plano de soldadura

Ahora que ya se conoce cada término, se va a descomponer la comprobación en la soldadura del alma y del ala.

En el caso de la soldadura del alma:

$$L_w = 200\ mm$$

$$a_w = 0.7 * t_{min} = 0.7 * 5 = 3.5 \rightarrow a_w = 4\ mm$$

Las tensiones en el plano de soldadura son las siguientes:

$$n_\perp = \frac{N'_{Ed} * \frac{A_{alma}}{A_{tot}}}{2 * a_w * l_w} = \frac{29.78 * 10^3 * \frac{220 * 5}{220 * 5 + 300 * 15 * 2}}{2 * 4 * 200} = 2\ MPa$$

$$t_\perp = 0$$

$$t_\parallel = \frac{V'_{z,Ed}}{A_v} = \frac{26.61 * 10^3}{2 * 4 * 200} = 16.63\ MPa$$

Esto da lugar a unos esfuerzos en el plano de la garganta:

$$\sigma_\perp = \frac{n_\perp + t_\perp}{\sqrt{2}} = 1.41\ MPa$$

$$\tau_\perp = \frac{-n_\perp + t_\perp}{\sqrt{2}} = -1.41\ MPa$$

$$\tau_\parallel = t_\parallel = 16.63\ MPa$$

El coeficiente de correlación, β_w, y la resistencia última a tracción de la pieza, f_u, se obtiene de la Tabla 8.1 del DB SE-A tal y como se ha mencionado antes.

Acero	f_u (N/mm^2)	β_w
S 235	360	0,80
S 275	430	0,85
S 355	510	0,90

Figura 209 Coeficientes de correlación

Al estar trabajando con acero S-275, le corresponde un coeficiente de 0.85 y una resistencia última a tracción de la pieza de 430 N/mm^2.

Ya se puede realizar la comprobación de la soldadura del alma:

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 * \left(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2\right)} = \sqrt{1.41^2 + 3 * ((-1.41)^2 + 16.63^2)} =$$

$$= 28.94 \leq \frac{f_u}{\beta_w * \gamma_{M2}} = 404.7\ MPa\ (CUMPLE)$$

En el caso de la soldadura del ala:

$$L_f = 300\ mm$$

$$a_f = 0.7 * t_{min} = 0.7 * 15 = 10.5 \rightarrow a_w = 12\ mm$$

Las tensiones en el plano de soldadura son las siguientes:

$$n_{\perp} = \frac{N'_{Ed} * \frac{A_{ala}}{A_{tot}}}{2 * a_f * l_f} = \frac{29.78 * 10^3 * \frac{300 * 15}{220 * 5 + 300 * 15 * 2}}{2 * 12 * 300} = 1.84\ MPa$$

$$t_{\perp} = 0$$

$$t_{\parallel} = 0\ MPa$$

Esto da lugar a unos esfuerzos en el plano de la garganta:

$$\sigma_{\perp} = \frac{n_{\perp} + t_{\perp}}{\sqrt{2}} = 1.3\ MPa$$

$$\tau_{\perp} = \frac{-n_{\perp} + t_{\perp}}{\sqrt{2}} = -1.3\ MPa$$

$$\tau_{\parallel} = t_{\parallel} = 0\ MPa$$

Al estar trabajando con acero S-275, le corresponde un coeficiente de 0.85 y una resistencia última a tracción de la pieza de 430 N/mm^2.

Ya se puede realizar la comprobación de la soldadura del alma:

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 * \left(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2\right)} = \sqrt{1.3^2 + 3 * ((-1.3)^2 + 0^2)} =$$

$$= 2.3\ MPa \leq \frac{f_u}{\beta_w * \gamma_{M2}} = 404.7\ MPa\ (CUMPLE)$$

La soldadura de la unión cumple con todas las comprobaciones de resistencia.

<u>Comprobación de los tornillos</u>

Para la comprobación de la unión atornillada se siguen las indicaciones del DB SE-A del apartado 8.5 del C.T.E.

Comprobación geométrica:

Se comienza comprobando las distancias mínimas y máximas de los tornillos.

Distancias mínimas:

$$e_1 \geq 1.2 * d_0 \quad p_1 \geq 2.2 * d_0$$
$$e_2 \geq 1.5 * d_0 \quad p_2 \geq 3.0 * d_0$$

Siendo d_0 el diámetro de los agujeros más una pequeña sobredimensión en función de la métrica del tornillo. Como los tornillos son de M24, se realiza una sobredimensión del agujero de 2 mm.

$$d_0 = 24 + 2 = 26\ mm$$

Por tanto, las distancias mínimas quedan de la siguiente forma:

$$e_1 = 31.2\ mm \quad p_1 = 57.2\ mm$$
$$e_2 = 39\ mm \quad p_2 = 78\ mm$$

Distancias máximas:

Las distancias máximas al borde de la pieza son las siguientes:

$$e_1 = e_2 \leq 40\ mm + 4 * t \quad y \quad e_1 = e_2 \leq 12 * t \quad \text{ó} \quad 150\ mm$$

Las distancias máximas entre tornillos (Tracción) son las siguientes:

$$p_1 = p_2 \leq 14 * t \quad y \quad p_1 = p_2 \leq 200\ mm$$

Siendo t el espesor de las chapas, de 15 mm.

Por tanto, las distancias máximas quedan de la siguiente forma:

Al borde de la pieza: $e_1 = e_2 \leq 100\ mm \quad y \quad e_1 = e_2 \leq 180 \quad \text{ó} \quad 150\ mm$

Entre tornillos (Tracción):$p_1 = p_2 \leq 210 \quad y \quad p_1 = p_2 \leq 200\ mm$

Las distancias entre tornillos de la unión calculada son:

$$e_1 = 80\ mm \rightarrow 31.2 < 80 < 100\ mm$$
$$e_2 = 90\ mm \rightarrow 39 < 90 < 100\ mm$$
$$p_1 = 140\ mm \rightarrow 57.2 < 140 < 200\ mm$$
$$p_2 = 140\ mm \rightarrow 78 < 140 < 200\ mm$$

Se cumplen todas las restricciones geométricas.

Se van a realizar las comprobaciones a cortante, tracción y solicitación combinada para tornillos sin pretensar.

Comprobación a cortante:

La combinación desfavorable de esfuerzos para esta comprobación será la del cortante máximo, por lo tanto:

$$V'_{z,Ed} = 26.61\ KN$$

Para la comprobación a cortante, se acude al DB SE-A 8.5.2 y se sigue el procedimiento.

A) Resistencia de la sección transversal

La resistencia de los tornillos ante esfuerzos cortantes viene dada por:

$$F_{v,Rd} = n * \frac{0.5 * f_{ub} * A_s}{\gamma_{M2}} = 1 * \frac{0.5 * 800 * 353}{1.25} = 112.96\ KN$$

Sabiendo el esfuerzo que solicita la unión, el esfuerzo que deberá aguantar cada tornillo es:

$$\frac{V'_{z,Ed}}{4} = \frac{26.61}{4} = 6.1\ KN$$

Por lo que se cumple la comprobación:

$$F_{v,Rd} > \frac{V'_{z,Ed}}{4} \rightarrow 112.96\ KN > 6.1\ KN$$

B) Aplastamiento

La resistencia a aplastamiento de la chapa que se une:

$$F_{b,Rd} = \frac{2.5 * \alpha * f_u * d * t}{\gamma_{M2}}$$

Siendo:

- D: diámetro del vástago del tornillo.
- t: menor espesor de las chapas que se unen.
- f_u: resistencia última del acero de las chapas que se unen.
- α es el menor de:

$$\frac{e_1}{3 * d_0} = \frac{80}{3 * 26} = 1.02$$

$$\frac{p_1}{3 * d_0} - \frac{1}{4} = \frac{140}{3 * 26} - \frac{1}{4} = 1.54$$

$$\frac{f_{ub}}{f_u} = \frac{800}{430} = 1.86$$

1

Como puede observarse, de coeficiente α se elegirá la última de las opciones por ser la menor en este caso. Ya se conocen los diámetros de los vástagos del tornillo y el espesor de las chapas, por lo tanto la comprobación a aplastamiento:

$$F_{b,Rd} = \frac{2.5 * \alpha * f_u * d * t}{\gamma_{M2}} = \frac{2.5 * 1 * 430 * 24 * 15}{1.25} = 309.6\ KN$$

La comprobación resulta:

$$F_{b,Rd} > V'_{z,Ed} \rightarrow 309.6\ KN > 26.61\ KN$$

<u>Comprobación a tracción:</u>

Para la comprobación a tracción se elegirá la combinación desfavorable con la que se obtiene el axil máximo, es decir:

$$N_{Ed} = 56\ KN$$

Para la comprobación a cortante, se acude al DB SE-A 8.5.2 y se sigue el procedimiento.

A) Resistencia a tracción del tornillo:

La resistencia de los tornillos a tracción viene dada por:

$$F_{t,Rd} = \frac{0.9 * f_{ub} * A_s}{\gamma_{M2}} = \frac{0.9 * 800 * 353}{1.25} = 203.3\ KN$$

Sabiendo el esfuerzo que solicita la unión, el esfuerzo que deberá aguantar cada tornillo es:

$$\frac{N_{Ed}}{4} = \frac{56}{4} = 14\ KN$$

Por lo que se cumple la comprobación:

$$F_{t,Rd} > \frac{N_{Ed}}{4} \rightarrow 203.3\ KN > 14\ KN$$

B) Resistencia a punzonamiento de la cabeza del tornillo:

La resistencia de los tornillos a punzonamiento viene dada por:

$$F_{p,Rd} = \frac{0.6 * \pi * d_m * t_p * f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0.6 * \pi * \left(\frac{41.6 + 36}{2}\right) * 15 * 430}{1.25} = 377.3\ KN$$

Sabiendo el esfuerzo que solicita la unión, el esfuerzo que deberá aguantar cada tornillo es:

$$\frac{N_{Ed}}{4} = \frac{56}{4} = 14\ KN$$

Por lo que se cumple la comprobación:

$$F_{p,Rd} > \frac{N_{Ed}}{4} \rightarrow 377.3\ KN > 14\ KN$$

<u>Comprobación solicitación combinada:</u>

Por último, ya que sobre la unión atornillada actúan de manera simultánea esfuerzos de cortante y de tracción, se deberá cumplir además la siguiente condición.

$$\frac{V'_{z,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{N_{Ed}}{1.4 * F_{t,Rd}} \leq 1$$

Se va a coger el axil máximo y el cortante máximo aunque sean combinaciones de esfuerzos distintas ya que se está por el lado de la seguridad al ser el caso más desfavorable.

$$\frac{V'_{z,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{N_{Ed}}{1.4 * F_{t,Rd}} = \frac{26.61/4}{112.96} + \frac{56/4}{1.4 * 203.3} = 0.06 + 0.05 = 0.11 \leq 1$$

La unión atornillada cumple con todas las comprobaciones de resistencia.

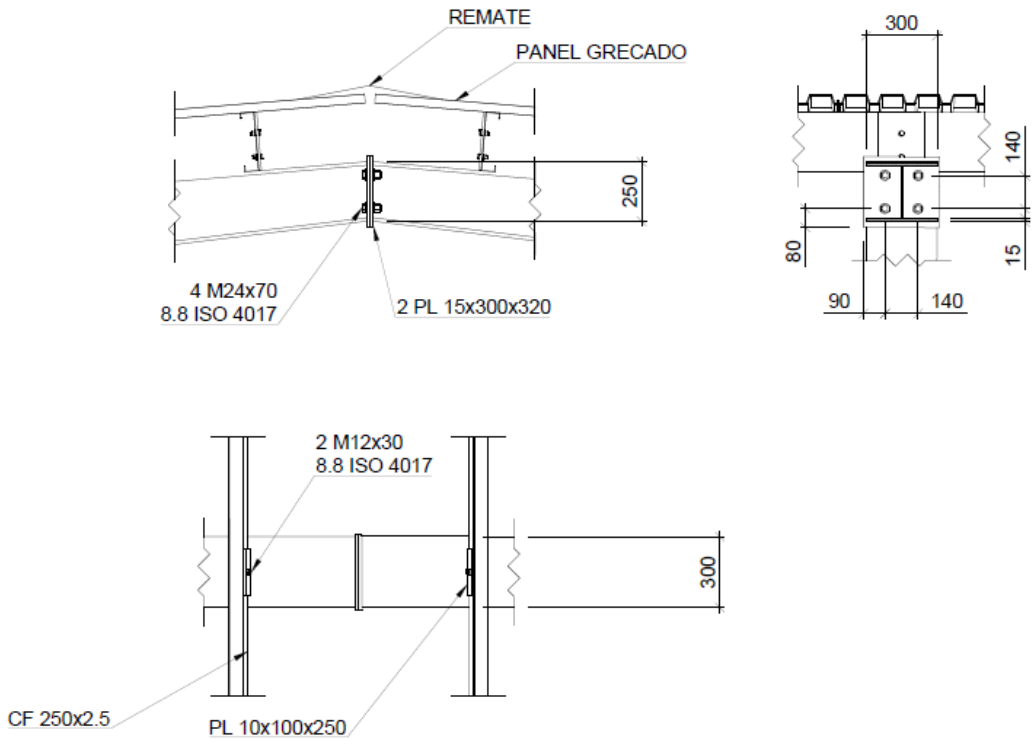


Figura 210 Detalle de la unión de cumbrera del pórtico principal

9.3. Unión Pilar-Dintel principal

La unión entre el pilar y el dintel del pórtico principal se diseñará rígida soldada y rigidizada.

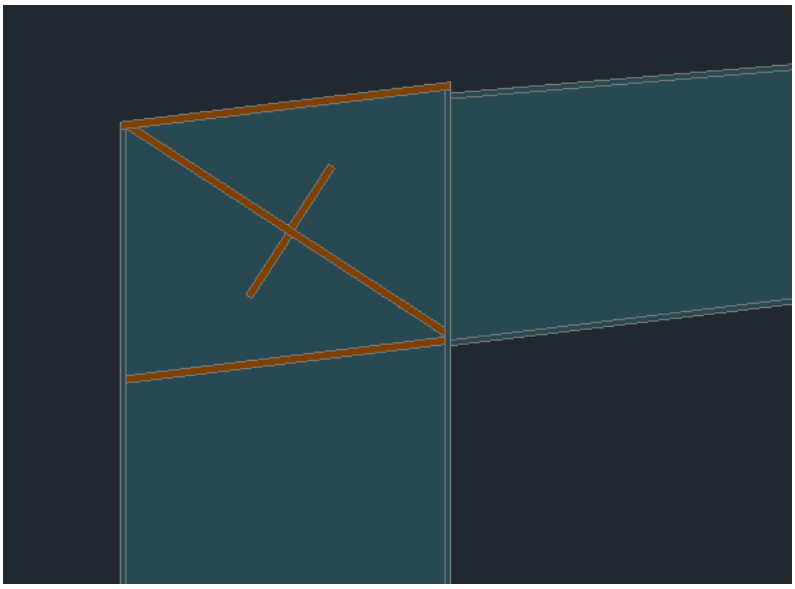


Figura 211 Unión pilar-dintel principal

Se le colocarán unos rigidizadores que se dimensionarán de acuerdo con las comprobaciones de cortante, tracción y compresión que aporta el Eurocódigo 3 (EC-3).

Se va a realizar la comprobación de la unión siguiendo el método para uniones de viga y pilar soldadas que refleja el EC-3 en el apartado J.2 del Anexo J. Tal y como indica, las comprobaciones de la unión se agrupan en tres zonas; la zona de tracción, de compresión y de cortante.

- Zona de cortante: en el caso de que las acciones que transmiten las alas no sean compensadas a cada lado de la unión el alma del pilar deberá de soportar el cortante originado por estas acciones.
- Zona de compresión: debe resistir el esfuerzo transmitido por el ala de la viga.
- Zona de tracción: solicitada por el esfuerzo de tracción que transmite el ala de la viga.

Los esfuerzos que actúan en la unión ya fueron obtenidos en el apartado 6.1 y reflejados en la Tabla 15 del presente anexo.

Se comienza a realizar las comprobaciones de las zonas descritas.

Zona de cortante

Para realizar la comprobación de la unión en la zona de cortante se acude al apartado J.2.5.2 (Panel rigidizado de alma de pilar). En él se especifica que para cumplir la comprobación de la zona de cortante hay que cumplir 3 requisitos:

1) Cuando para aumentar la resistencia a cortadura del alma del pilar, se incorporan rigidizadores diagonales de alma, estos deben estar dimensionados para resistir los esfuerzos de tracción y de compresión transmitidos al pilar por las alas de la viga.
2) Las soldaduras entre los rigidizadores y las alas del pilar deben estar dimensionadas para resistir los esfuerzos transmitidos en los rigidizadores.

3) Las soldaduras entre los rigidizadores y el alma del pilar deben ser tratadas como soldaduras nominales.

Por lo tanto, se va a empezar calculando los esfuerzos presentes en la unión soldada. Para ello se aplica la siguiente combinación desfavorable:

1.35 CP + 1.5 N

Con ello, se obtienen los siguientes esfuerzos:

$$M_{y,Ed} = -492.75\ KN * m$$

$$N_{Ed} = -43.92\ KN$$

$$V_{z,Ed} = -80.8\ KN$$

En la unión típica viga-pilar, el momento se transmite por acoplamiento de la compresión en o cerca del nivel del ala inferior y con la tracción en la parte superior de la unión. Estas dos fuerzas que podemos encontrar en la siguiente figura, no serán iguales debido a la existencia del axil.

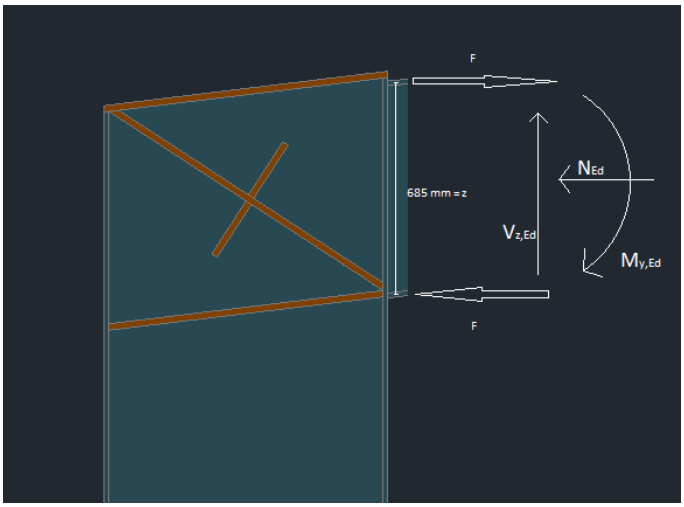


Figura 212 Esquema de la unión soldada

Por lo tanto, ya se puede comenzar a dimensionar la unión con el objetivo de cumplir los requisitos enumerados con anterioridad.

1) Rigidizador diagonal:

La fuerza de tracción será por tanto la suma de la parte proporcional del axil N_{Ed} y del momento existente en la unión entre la distancia entre el punto medio de las alas, es decir:

$$F_T = F + N_{Ed} * \frac{A_{ala}}{A_{total}} = \frac{487.84 * 10^6}{685} + 42.2 * 10^3 * \frac{300 * 15}{300 * 15 * 2 + 670 * 5}$$
$$= 728.4\ KN * m$$

A continuación, se procede a obtener cuál es la fuerza de tracción, F_s, que absorbe el rigidizador.

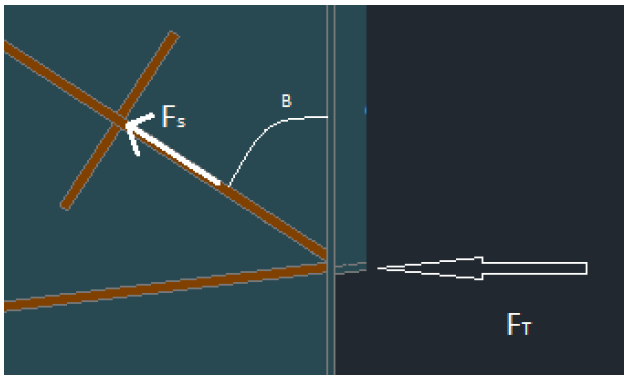


Figura 213 Esquema de fuerzas

Siendo el ángulo β que se muestra en la Figura 213 de 50.8º, la fuerza F_s adopta un valor de:

$$F_s = \frac{F_t}{sen(\beta)} = \frac{728.4}{sen\ (50.8)} = 940\ KN$$

Por lo tanto, ya se pueden obtener las dimensiones mínimas del rigidizador diagonal:

$$F_{Rd} = b_s * t_s * \frac{f_y}{\gamma_{M0}} > 940\ KN$$

Cabe mencionar, que al existir 2 rigidizadores (uno a cada lado del pilar) se va a contar con la anchura de ambos para soportar dicha fuerza. Por lo tanto la suma de las anchuras de los rigidizadores será la anchura del ala del dintel menos la anchura del alma del pilar, es decir:

$$b_s = 300 - 8 = 292\ mm$$

Con lo que se obtiene un espesor mínimo de rigidizador:

$$t_s \geq \frac{940 * 10^3 * 1.05}{292 * 275} = 12.29\ mm$$

Se optará por un espesor de 20 mm para igualarlo al resto de rigidizadores.

Por lo tanto, el rigidizador diagonal tendrá una anchura de 146 mm y un espesor de 20 mm.

2) Soldaduras ala del pilar-rigidizadores:

Para dimensionar las soldaduras de forma que aguanten los mismos esfuerzos de tracción y compresión que soportan los rigidizadores, se acude al apartado 8.6.2 del DB SE-A y en el párrafo 2 se especifica que:

$$F_{W,Ed} \leq a_f * l_f * \frac{f_u}{\sqrt{3} * \beta_w * \gamma_{M0}}$$

Siendo:

- a_f: espesor de la garganta de la soldadura.
- l_f: longitud de la soldadura.
- β_w: coeficiente de correlación dado en la Tabla 8.1 del DB SE-A.
- f_u: resistencia última a tracción de la pieza más débil de la unión dado en la Tabla 8.1 del DB SE-A.

Por lo tanto, se acude a la Tabla 8.1 para obtener el coeficiente de correlación, β_w, y la resistencia última a tracción de la pieza, f_u.

Acero	f_u (N/mm^2)	β_w
S 235	360	0,80
S 275	430	0,85
S 355	510	0,90

Figura 214 Coeficientes de correlación

Al estar trabajando con acero S-275, le corresponde un coeficiente de 0.85 y una resistencia última a tracción de la pieza de 430 N/mm^2.

Si se le asigna una longitud de la soldadura, l_f, del ancho de los rigidizadores el cual se calculó con anterioridad (292 mm), el espesor mínimo de la garganta de la soldadura, a_f resulta:

$$a_f \geq \frac{940 * 10^3 * \sqrt{3} * 0.85 * 1.25}{430 * 292} = 13.77\ mm \rightarrow a_f = 14\ mm$$

3) Soldaduras del alma del pilar-rigidizador

Para dimensionar las soldaduras de forma que aguanten los mismos esfuerzos de tracción y compresión que soportan los rigidizadores, se acude al apartado 8.6.2 del DB SE-A y en el párrafo 2 se especifica que:

$$F_{W,Ed} \leq a_w * l_w * \frac{f_u}{\sqrt{3} * \beta_w * \gamma_{M0}}$$

Siendo:

- a_w: espesor de la garganta de la soldadura.
- l_w: longitud de la soldadura.
- β_w: coeficiente de correlación dado en la Tabla 8.1 del DB SE-A.
- f_u: resistencia última a tracción de la pieza más débil de la unión dado en la Tabla 8.1 del DB SE-A.

Al estar trabajando con acero S-275, le corresponde un coeficiente de 0.85 y una resistencia última a tracción de la pieza de 430 N/mm^2.

Si se le asigna una longitud aproximada de la soldadura, l_w, igual a 900 mm, el espesor mínimo de la garganta de la soldadura, a_w resulta:

$$a_w \geq \frac{940 * 10^3 * \sqrt{3} * 0.85 * 1.25}{430 * 900} = 4.33\ mm \rightarrow a_w = 6\ mm$$

<u>Zona de tracción</u>

Para realizar la comprobación de la unión en la zona de tracción se acude al apartado J.2.3.3 (Alma de pilar rigidizada).

En él se especifica que la resistencia de cálculo de un alma de pilar rigidizada sometida a un esfuerzo transversal de tracción es, como mínimo, igual a la resistencia de cálculo del ala de la viga, a condición de que los rigidizadores cumplan los requisitos siguientes:

1) El espesor de los rigidizadores no debe ser inferior al de las alas de la viga

2) Si la clase de acero de los rigidizadores es inferior a la de la viga, se debe proceder además a verificar la capacidad de los rigidizadores para resistir los esfuerzos transversales aplicados por las alas de las vigas.
3) Las soldaduras entre los rigidizadores y las alas del pilar deben estar dimensionadas para resistir los esfuerzos transmitidos en los rigidizadores.
4) Las soldaduras entre los rigidizadores y el alma del pilar deben ser tratadas como soldaduras nominales.

Por lo tanto, ya se puede comenzar a dimensionar la unión con el objetivo de cumplir los requisitos enumerados con anterioridad.

1) Espesor del rigidizador:

Tal y como indica la norma, hay que instalar unos rigidizadores de espesor no menor de 15 mm, que es el espesor del ala de la viga. En este caso se pondrán de 20 mm.

2) Clase de acero

El acero de los rigidizadores será el S-275, igual que el de la viga y el pilar, por lo que no hace falta comprobar si resiste los esfuerzos transversales aplicados por las alas de las vigas.

3) Soldadura ala del pilar-rigidizadores

En la zona de cortante ya fueron diseñadas las soldaduras para soportar los mayores esfuerzos por lo que se ejecutarán de la misma forma:

$$a_f = 14\ mm$$

$$l_f = 292\ mm$$

4) Soldadura alma del pilar-rigidizadores

En la zona de cortante ya fueron diseñadas las soldaduras para soportar los mayores esfuerzos por lo que se ejecutarán de la misma forma:

$$a_w = 6\ mm$$

$$l_w = toda\ la\ longitud\ del\ rigidizador\ a\ lo\ largo\ del\ alma\ del\ pilar$$

Zona de compresión

Para realizar la comprobación de la unión en la zona de compresión se acude al apartado J.2.4.2 (Alma de pilar rigidizada).

En él se especifica que la resistencia de cálculo de un alma de pilar rigidizada sometida a un esfuerzo transversal de compresión es, como mínimo, igual a la resistencia de cálculo del ala de la viga, a condición de que los rigidizadores cumplan los mismos requisitos que en la zona de tracción.

Por lo que, como los requisitos para cumplir la comprobación de la zona de compresión son los mismos que para la zona de tracción, y estas ya se ha visto con anterioridad que las cumple, se considera que cumple con las comprobaciones de compresión.

Se concluye que la unión cumple con todas las comprobaciones que indica la norma del EC-3.

Jorge Alonso Sanz

A pesar de que no se dice nada más acerca de las soldaduras de la viga con el ala del pilar, estas se ejecutarán igual que las de los rigidizadores, por lo que se asume que soportarán los esfuerzos de tracción y compresión.

Soldadura alas de la viga-ala del pilar:

$$a_f = 14\ mm$$

$$l_f = 300\ mm$$

Soldadura alma de la viga-ala del pilar:

$$a_w = 6\ mm$$

$$l_w = 650\ mm$$

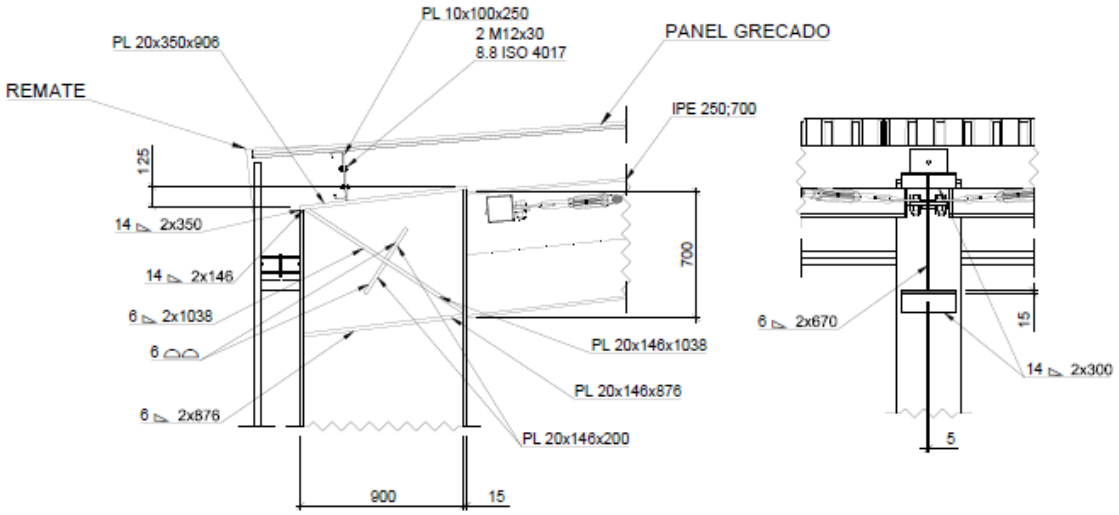


Figura 215 Detalle de la unión pilar-dintel principal

9.4. Unión ménsula-pilar principal

Se va a realizar la comprobación de los cordones de soldadura que unen la ménsula que sustenta la viga carril del puente grúa con el pilar principal. Se va a establecer una unión rígida para que no se produzca giro entre la ménsula y el pilar, por lo que se colocarán cordones de soldadura en todo el perímetro de la ménsula.

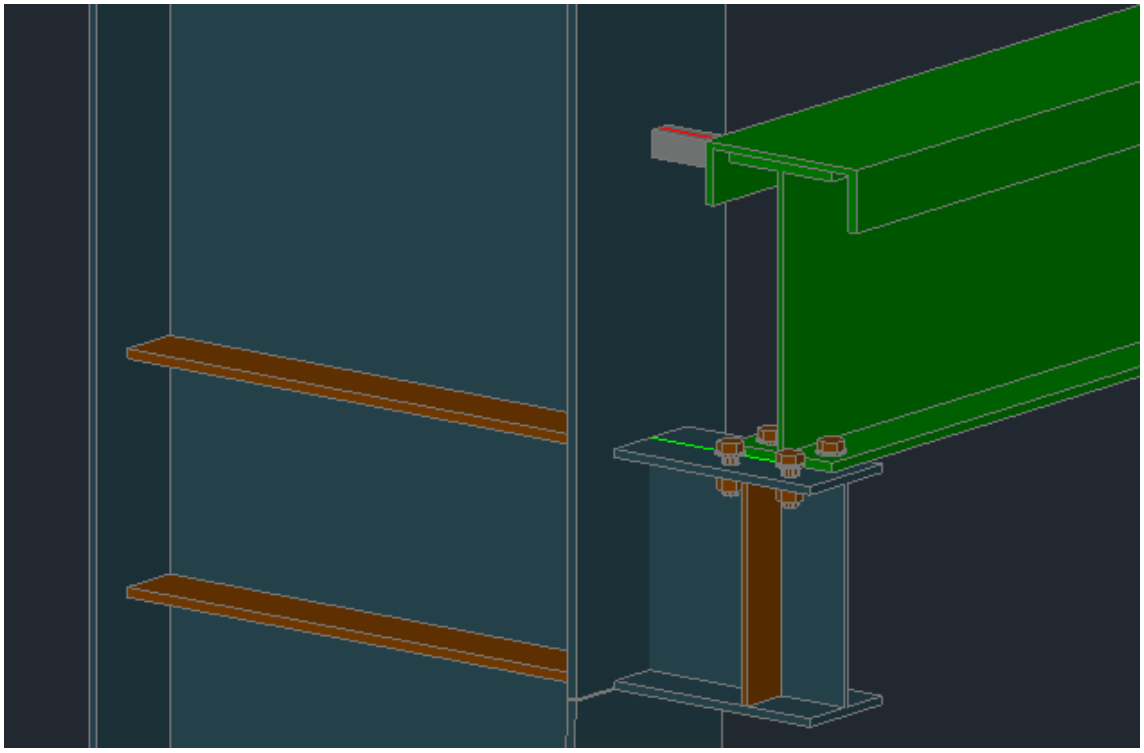


Figura 216 Unión de la ménsula con el pilar principal

Los esfuerzos flector y axil los transmite la sección formada por todos los cordones, mientras que el esfuerzo cortante solo los cordones verticales.

La ménsula está formada por un perfil IPE 360 y el pilar por un perfil de canto variable desde 300 mm a 900 mm, que a la altura de la ménsula ya posee un canto de 900 constante hasta el final de la cabeza del pilar. Las alas de dicho pilar tienen una anchura de 350 mm y las del perfil IPE 360 de la ménsula de 170 mm, por lo que el ancho de las alas del pilar será mayor que el de las alas de la ménsula, permitiendo la soldadura en todo el perímetro.

Se van a realizar 3 tipos de cordones de soldadura:

Cordón 1

$$a_1 = 0.7 * t_f = 0.7 * 12.7 = 8.9 \rightarrow a_1 = 10\ mm$$

$$l_1 = 170\ mm$$

Cordón 2

$$a_2 = 0.7 * t_f = 0.7 * 12.7 = 8.9 \rightarrow a_2 = 10\ mm$$

$$l_2 = b - t_w - 2 * r = 170 - 8 - 2 * 18 = 126\ mm$$

Cordón 3

$$a_3 = 0.7 * t_w = 0.7 * 8 = 5.6 \rightarrow a_3 = 6\ mm$$

$$l_3 = d = 299\ mm$$

La distribución de los cordones y de las tensiones en el perfil de la ménsula se puede apreciar en la siguiente figura.

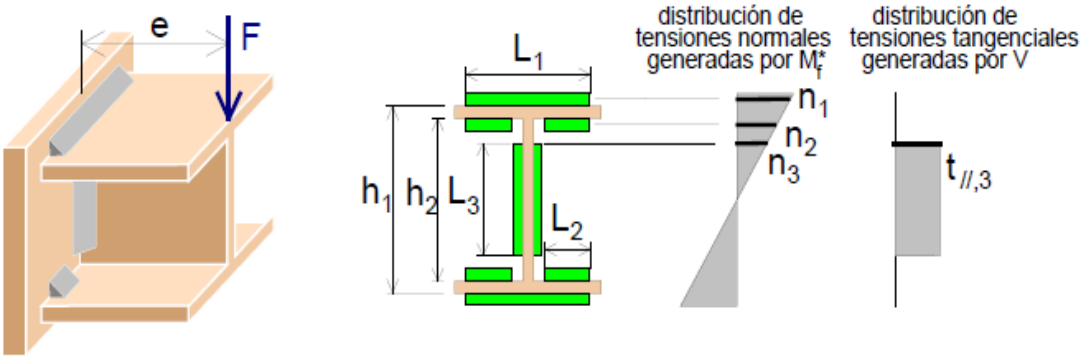


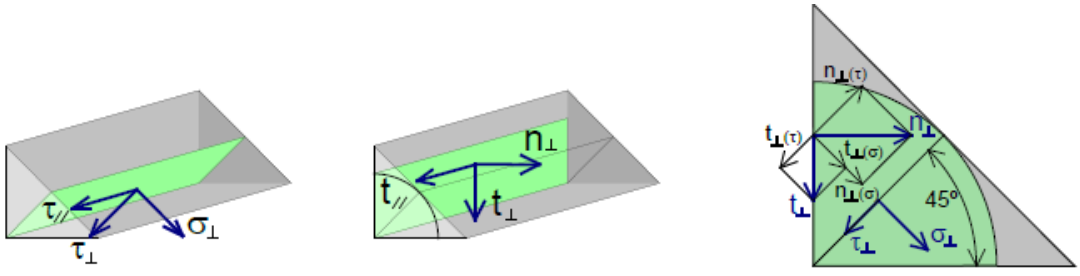
Figura 217 Distribución de tensiones en la sección

Para comprobar cada uno de los cordones de soldadura se acude al apartado 8.6.2 del DB SE-A (Resistencia de cálculo de las soldaduras en ángulo). En el tercer punto de dicho apartado se explica que la soldadura en ángulo será suficiente si, con las tensiones de cálculo se cumple:

$$\sqrt{\sigma_\perp^2 + 3 * (\tau_\perp^2 + \tau_\parallel^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w * \gamma_{M2}}$$

Siendo:

- β_w: coeficiente de correlación dado en la Tabla 8.1 del DB SE-A.
- f_u: resistencia última a tracción de la pieza más débil de la unión dado en la Tabla 8.1 del DB SE-A.
- $\sigma_\perp$: tensión normal perpendicular al plano de la garganta
- $\tau_\perp$: tensión tangencial (en el plano de la garganta) perpendicular al eje del cordón.
- $\tau_\parallel$: tensión tangencial (en el plano de la garganta) paralelo al eje del cordón.



a) tensiones sobre la sección de la garganta

b) tensiones sobre caras de la soldadura

$$\sigma_\perp = \frac{n_\perp + t_\perp}{\sqrt{2}};\quad \tau_\perp = \frac{-n_\perp + t_\perp}{\sqrt{2}};\quad \tau_{//} = t_{//} \qquad n_\perp = \frac{\sigma_\perp - \tau_\perp}{\sqrt{2}};\quad t_\perp = \frac{\sigma_\perp + \tau_\perp}{\sqrt{2}};\quad t_{//} = \tau_{//}$$

Figura 218 Tensiones en plano de soldadura

El área de la sección abatida de todas las soldaduras (para esfuerzos axiles) resulta:

$$A_{axil} = 2 * a_1 * l_1 + 4 * a_2 * l_2 + 2 * a_3 * l_3 = 12028\, mm^2$$

El área de la sección abatida de todas las soldaduras (para esfuerzos cortantes) resulta:

$$A_{cortante} = 2 * a_3 * l_3 = 3588\, mm^2$$

Se calcula la inercia de la sección abatida en el eje y:

$$I_y \cong 2 * \left[a_1 * l_1 * \left(\frac{h_1}{2}\right)^2\right] + 4 * \left[a_2 * l_2 * \left(\frac{h_2}{2}\right)^2\right] + 2 * \left[a_3 * l_3 * \frac{1}{12}\right]$$

Siendo:

$$h_1 = h_{IPE} + a_1 = 370\, mm$$
$$h_2 = h_{IPE} - 2 * t_f - a_2 = 324.6\, mm$$

Por tanto:

$$I_y \cong 2 * \left[10 * 170 * \left(\frac{370}{2}\right)^2\right] + 4 * \left[10 * 126 * \left(\frac{324.6}{2}\right)^2\right] + 2 * \left[6 * 299 * \frac{1}{12}\right]$$
$$= 209.39 * 10^6\, mm^4$$

Ahora que ya se conoce cada término, se va a descomponer la comprobación de la soldadura por cordones.

Los esfuerzos en valor de cálculo que solicitan la unión se definieron en el apartado 5 del presente anexo, resultando:

$$N_{Ed} = 44.5\, KN$$
$$V_{z,Ed} = 455.47\, KN$$
$$M_{y,Ed} = 113.8\, KN * m$$

<u>Comprobación cordón 1</u>

$$n_\perp = \frac{N_{Ed}}{A_{axil}} + \frac{M_{Ed}}{I} * \frac{h_1}{2} = \frac{44.5 * 10^3}{10028} + \frac{113.86 * 10^6}{209.39 * 10^6} * \frac{370}{2} = 104.3\, MPa$$
$$t_\perp = 0$$
$$t_\parallel = 0\, MPa$$

Esto da lugar a unos esfuerzos en el plano de la garganta:

$$\sigma_\perp = \frac{n_\perp + t_\perp}{\sqrt{2}} = 73.75\, MPa$$
$$\tau_\perp = \frac{-n_\perp + t_\perp}{\sqrt{2}} = -73.75\, MPa$$
$$\tau_\parallel = t_\parallel = 0\, MPa$$

Jorge Alonso Sanz

Al estar trabajando con acero S-275, le corresponde un coeficiente de 0.85 y una resistencia última a tracción de la pieza de 430 N/mm^2.

Ya se puede realizar la comprobación de la soldadura del alma:

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 * \left(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2\right)} = \sqrt{73.75^2 + 3 * ((-73.75)^2 + 0^2)} =$$

$$= 147.5 \leq \frac{f_u}{\beta_w * \gamma_{M2}} = 404.7\ MPa\ (CUMPLE)$$

Comprobación cordón 2

$$n_{\perp} = \frac{N_{Ed}}{A_{axil}} + \frac{M_{Ed}}{I} * \frac{h_2}{2} = \frac{44.5 * 10^3}{10028} + \frac{113.86 * 10^6}{209.39 * 10^6} * \frac{324.6}{2} = 91.95\ MPa$$

$$t_{\perp} = 0$$

$$t_{\parallel} = 0\ MPa$$

Esto da lugar a unos esfuerzos en el plano de la garganta:

$$\sigma_{\perp} = \frac{n_{\perp} + t_{\perp}}{\sqrt{2}} = 65\ MPa$$

$$\tau_{\perp} = \frac{-n_{\perp} + t_{\perp}}{\sqrt{2}} = -65\ MPa$$

$$\tau_{\parallel} = t_{\parallel} = 0\ MPa$$

Al estar trabajando con acero S-275, le corresponde un coeficiente de 0.85 y una resistencia última a tracción de la pieza de 430 N/mm^2.

Ya se puede realizar la comprobación de la soldadura del alma:

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 * \left(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2\right)} = \sqrt{65^2 + 3 * ((-65)^2 + 0^2)} =$$

$$= 130 \leq \frac{f_u}{\beta_w * \gamma_{M2}} = 404.7\ MPa\ (CUMPLE)$$

Comprobación cordón 3

$$n_{\perp} = \frac{N_{Ed}}{A_{axil}} + \frac{M_{Ed}}{I} * \frac{L_3}{2} = \frac{44.5 * 10^3}{10028} + \frac{113.86 * 10^6}{209.39 * 10^6} * \frac{299}{2} = 85\ MPa$$

$$t_{\perp} = 0$$

$$t_{\parallel} = \frac{V_{z,Ed}}{A_{cortante}} = \frac{455.47 * 10^3}{3588} = 127\ MPa$$

Esto da lugar a unos esfuerzos en el plano de la garganta:

$$\sigma_{\perp} = \frac{n_{\perp} + t_{\perp}}{\sqrt{2}} = 60\ MPa$$

$$\tau_{\perp} = \frac{-n_{\perp} + t_{\perp}}{\sqrt{2}} = -60\ MPa$$

$$\tau_{\parallel} = t_{\parallel} = 127\ MPa$$

Al estar trabajando con acero S-275, le corresponde un coeficiente de 0.85 y una resistencia última a tracción de la pieza de 430 N/mm^2.

Ya se puede realizar la comprobación de la soldadura del alma:

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 * (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} = \sqrt{60^2 + 3 * ((-60)^2 + 127^2)} =$$

$$= 250.66 \leq \frac{f_u}{\beta_w * \gamma_{M2}} = 404.7\ MPa\ (CUMPLE)$$

Todos los cordones de soldadura cumplen con las condiciones de resistencia.

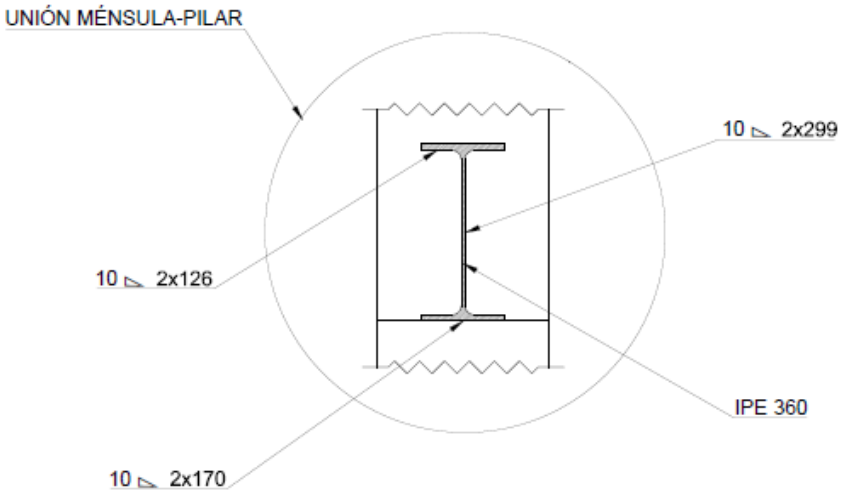


Figura 219 Detalle de la unión ménsula-pilar

9.5. Unión viga carril-ménsula

La viga carril se une a la ménsula a través de 2 tornillos de M2 8.8 ISO 4017.

Esta unión deberá soportar los esfuerzos procedentes de las frenadas P_x y P_y que realice el puente grúa, provocando un esfuerzo cortante sobre la unión.

Los valores de dichas frenadas fueron calculados en el apartado 4 del presente anexo.

Se toma la reacción en x por ser la más desfavorable y su combinación más desfavorable será:

$$1.5\ SCU_{PG}$$

Por lo tanto el esfuerzo en valor de cálculo será:

$$V_{Ed} = 1.5 * R_x = 1.5 * 49.8 = 74.7\ KN$$

La resistencia de cada tornillo ante esfuerzos cortantes viene dada por la siguiente expresión tal y como se indica en el DB SE-A en el apartado 8.5.2:

$$F_{v,Rd} = n * \frac{0.5 * f_{ub} * A_s}{\gamma_{M2}} = 1 * \frac{0.5 * 800 * 353}{1.25} = 112.96\ KN$$

Sabiendo el esfuerzo que solicita la unión, el esfuerzo que deberá aguantar cada tornillo es:

$$\frac{V_{z,Ed}}{2} = \frac{74.7}{2} = 37.35\ KN$$

Por lo que se cumple la comprobación:

$$F_{v,Rd} > \frac{V_{z,Ed}}{2} \rightarrow 112.96\ KN > 37.35\ KN$$

Por lo tanto los tornillos soportarán el esfuerzo de frenada del puente grúa.

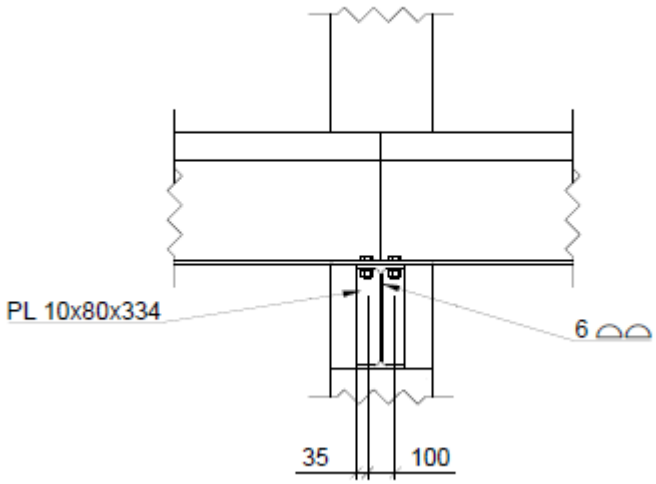


Figura 220 Detalle de la unión viga carril-ménsula

9.6. Unión de cumbrera en pórtico hastial

La unión del dintel con el pilar hastial se realiza mediante la unión soldada del dintel a una chapa de testa que irá unida a través de 4 tornillos a otra pletina soldada al pilar hastial en sus alas.

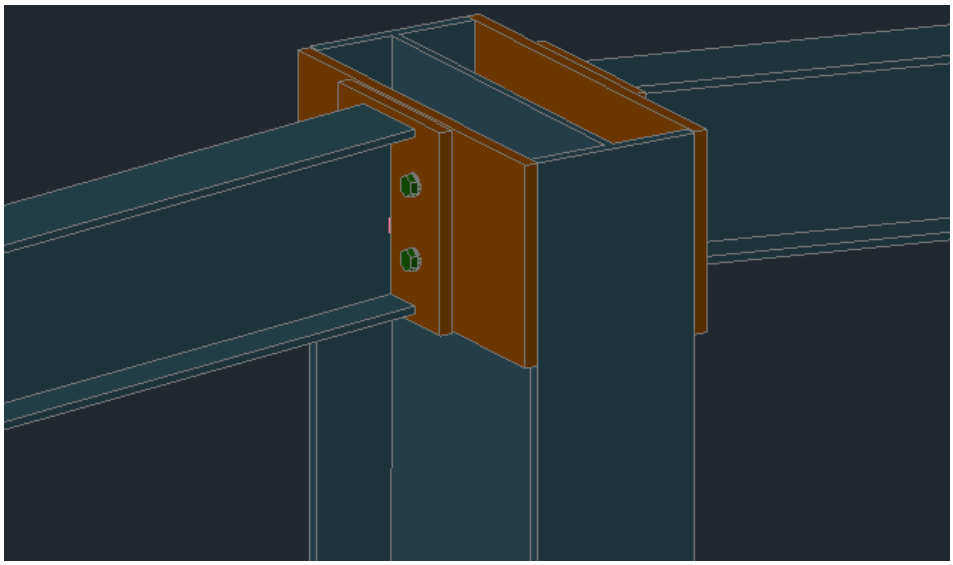


Figura 221 Unión de cumbrera en pórtico hastial

Las dimensiones de la chapa serán de 15x200x220 mm y los tornillos serán de M12x60, 8.8 ISO 4017.

El pilar tiene un perfil IPE 450 y las dimensiones de la chapa que va soldada al pilar es de 15x220x450.

Como se ha planteado una unión articulada en la cabeza del pilar, los tornillos se colocarán a una distancia inferior a 2/3 la longitud del alma del pilar, evitando así que se generen momentos flectores en la unión.

Por tanto, se va a comprobar la resistencia de la unión ante esfuerzos de tracción y cortante, ya que los tornillos sometidos a esfuerzos de compresión no trabajan.

Las acciones por hipótesis que solicitan a la unión son las siguientes:

[KN,m]	CP	N	V1a	V1b	V2	SCUpg(frena+)	SCUpg(frena-)
Nx	11,73	23,61	-98	-114	-32	-1	0
Vz	1,22	3,5	-2	0	-6,9	0	0

Tabla 45 Acciones por hipótesis

La combinación de esfuerzos más desfavorable para el axil de tracción máximo:

1.35 PP + 1.5 N

$$N_{Ed} = 1.35 * (11.73) + 1.5 * (23.61) = 52\ KN$$

$$V_{z,Ed} = 1.35 * (1.22) + 1.5 * (3.5) = 6.9\ KN$$

La combinación de esfuerzos más desfavorable para el cortante máximo:

0.8 PP + 1.5 V2

$$N_{Ed} = 0.8 * (11.73) + 1.5 * (-32) = -38.61\ KN$$

$$V_{z,Ed} = 0.8 * (1.22) + 1.5 * (-6.9) = -9.7\ KN$$

Una vez conocidos los esfuerzos máximos, se procede a realizar las comprobaciones de resistencia.

Comprobación de los tornillos

Para la comprobación de la unión atornillada se siguen las indicaciones del DB SE-A del apartado 8.5 del C.T.E.

Comprobación geométrica:

Se comienza comprobando las distancias mínimas y máximas de los tornillos.

Distancias mínimas:

$$e_1 \geq 1.2 * d_0 \quad p_1 \geq 2.2 * d_0$$
$$e_2 \geq 1.5 * d_0 \quad p_2 \geq 3.0 * d_0$$

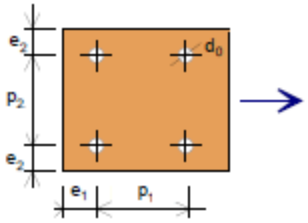


Tabla 46 Parámetros geométricos

Siendo d_0 el diámetro de los agujeros más una pequeña sobredimensión en función de la métrica del tornillo. Como los tornillos son de M12, se realiza una sobredimensión del agujero de 1 mm.

$$d_0 = 12 + 1 = 13\ mm$$

Por tanto, las distancias mínimas quedan de la siguiente forma:

$$e_1 = 15.6\ mm \quad p_1 = 28.6\ mm$$
$$e_2 = 19.5\ mm \quad p_2 = 39\ mm$$

Distancias máximas:

Las distancias máximas al borde de la pieza son las siguientes:

$$e_1 = e_2 \leq 40\ mm + 4 * t \quad y \quad e_1 = e_2 \leq 12 * t \quad \text{ó} \quad 150\ mm$$

Las distancias máximas entre tornillos (Tracción) son las siguientes:

$$p_1 = p_2 \leq 14 * t \quad y \quad p_1 = p_2 \leq 200\ mm$$

Siendo t el espesor de las chapas, de 15 mm.

Por tanto, las distancias máximas quedan de la siguiente forma:

Al borde de la pieza: $e_1 = e_2 \leq 100\ mm \quad y \quad e_1 = e_2 \leq 180 \quad \text{ó} \quad 150\ mm$

Entre tornillos (Tracción):$p_1 = p_2 \leq 210 \quad y \quad p_1 = p_2 \leq 200\ mm$

Las distancias entre tornillos de la unión calculada son:

$$e_1 = 60\ mm \rightarrow 15.6 < 60 < 100\ mm$$
$$e_2 = 50\ mm \rightarrow 19.5 < 50 < 100\ mm$$
$$p_1 = 100\ mm \rightarrow 28.6 < 100 < 200\ mm$$
$$p_2 = 100\ mm \rightarrow 39 < 100 < 200\ mm$$

Se cumplen todas las restricciones geométricas.

Se van a realizar las comprobaciones a cortante, tracción y solicitación combinada para tornillos sin pretensar.

Comprobación a cortante:

Para esta comprobación, se escogen los esfuerzos generados por la combinación que resulta en el cortante máximo.

Para la comprobación a cortante, se acude al DB SE-A 8.5.2 y se sigue el procedimiento.

A) Resistencia de la sección transversal

La resistencia de los tornillos ante esfuerzos cortantes viene dada por:

$$F_{v,Rd} = n * \frac{0.5 * f_{ub} * A_s}{\gamma_{M2}} = 1 * \frac{0.5 * 800 * 84.3}{1.25} = 26.9\ KN$$

Sabiendo el esfuerzo que solicita la unión, el esfuerzo que deberá aguantar cada tornillo es:

$$\frac{V_{z,Ed}}{4} = \frac{9.7}{4} = 2.42\ KN$$

Por lo que se cumple la comprobación:

$$F_{v,Rd} > \frac{V_{z,Ed}}{4} \rightarrow 26.9\ KN > 2.42\ KN$$

B) Aplastamiento

La resistencia a aplastamiento de la chapa que se une:

$$F_{b,Rd} = \frac{2.5 * \alpha * f_u * d * t}{\gamma_{M2}}$$

Siendo:

- D: diámetro del vástago del tornillo.
- t: menor espesor de las chapas que se unen.
- f_u: resistencia última del acero de las chapas que se unen.
- α es el menor de:

$$\frac{e_1}{3 * d_0} = \frac{80}{3 * 13} = 2.05$$
$$\frac{p_1}{3 * d_0} - \frac{1}{4} = \frac{140}{3 * 13} - \frac{1}{4} = 2.31$$
$$\frac{f_{ub}}{f_u} = \frac{800}{430} = 1.86$$
$$1$$

Como puede observarse, de coeficiente α se elegirá la última de las opciones por ser la menor en este caso. Ya se conocen los diámetros de los vástagos del tornillo y el espesor de las chapas, por lo tanto la comprobación a aplastamiento:

$$F_{b,Rd} = \frac{2.5 * \alpha * f_u * d * t}{\gamma_{M2}} = \frac{2.5 * 1 * 430 * 12 * 15}{1.25} = 154.8\ KN$$

La comprobación resulta:

$$F_{b,Rd} > V_{z,Ed} \rightarrow 154.8\ KN > 9.7\ KN$$

Comprobación a tracción:

Para la comprobación a tracción se elegirá la combinación desfavorable con la que se obtiene el axil máximo, es decir:

$$N_{Ed} = 52\ KN$$

Para la comprobación a cortante, se acude al DB SE-A 8.5.2 y se sigue el procedimiento.

A) Resistencia a tracción del tornillo:

La resistencia de los tornillos a tracción viene dada por:

$$F_{t,Rd} = \frac{0.9 * f_{ub} * A_s}{\gamma_{M2}} = \frac{0.9 * 800 * 84.3}{1.25} = 48.5\ KN$$

Sabiendo el esfuerzo que solicita la unión, el esfuerzo que deberá aguantar cada tornillo es:

$$\frac{N_{Ed}}{4} = \frac{52}{4} = 13\ KN$$

Por lo que se cumple la comprobación:

$$F_{t,Rd} > \frac{N_{Ed}}{4} \rightarrow 48.5\ KN > 13\ KN$$

B) Resistencia a punzonamiento de la cabeza del tornillo:

La resistencia de los tornillos a punzonamiento viene dada por:

$$F_{p,Rd} = \frac{0.6 * \pi * d_m * t_p * f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0.6 * \pi * \left(\frac{21.9 + 19}{2}\right) * 15 * 430}{1.25} = 198.9\ KN$$

Sabiendo el esfuerzo que solicita la unión, el esfuerzo que deberá aguantar cada tornillo es:

$$\frac{N_{Ed}}{4} = \frac{52}{4} = 13\ KN$$

Por lo que se cumple la comprobación:

$$F_{p,Rd} > \frac{N_{Ed}}{4} \rightarrow 198.9\ KN > 13\ KN$$

Comprobación solicitación combinada:

Por último, ya que sobre la unión atornillada actúan de manera simultánea esfuerzos de cortante y de tracción, se deberá cumplir además la siguiente condición.

$$\frac{V_{z,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{N_{Ed}}{1.4 * F_{t,Rd}} \leq 1$$

Se va a coger el axil máximo y el cortante máximo aunque sean combinaciones de esfuerzos distintas ya que se está por el lado de la seguridad al ser el caso más desfavorable.

$$\frac{V_{z,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{N_{Ed}}{1.4 * F_{t,Rd}} = \frac{9.7/4}{112.96} + \frac{52/4}{1.4 * 48.5} = 0.02 + 0.2 = 0.22 \leq 1$$

La unión atornillada cumple con todas las comprobaciones de resistencia.

Se va a realizar la comprobación de los cordones de soldadura que unen el dintel con la chapa de testa. Los esfuerzos flector y axil los transmite la sección formada por todos los cordones, mientras que el esfuerzo cortante solo los cordones verticales.

Como se ha dicho con anterioridad, en este caso no existe flector, ya que se trata de una unión articulada, por lo que solo existe esfuerzo axil de tracción y esfuerzo cortante.

Los cordones serán de la siguiente forma.

Cordón 1

$$a_1 = 0.7 * t_f = 0.7 * 8.5 = 5.95 \rightarrow a_1 = 6\ mm$$

$$l_1 = 100\ mm$$

Cordón 2

$$a_2 = 0.7 * t_f = 0.7 * 8.5 = 5.95 \rightarrow a_2 = 6\ mm$$

$$l_2 = b - t_w - 2 * r = 70\ mm$$

Cordón 3

$$a_3 = 0.7 * t_w = 0.7 * 5.6 = 3.92 \rightarrow a_3 = 4\ mm$$

$$l_3 = d = 159\ mm$$

La distribución de los cordones y de las tensiones en el perfil de la ménsula se puede apreciar en la siguiente figura.

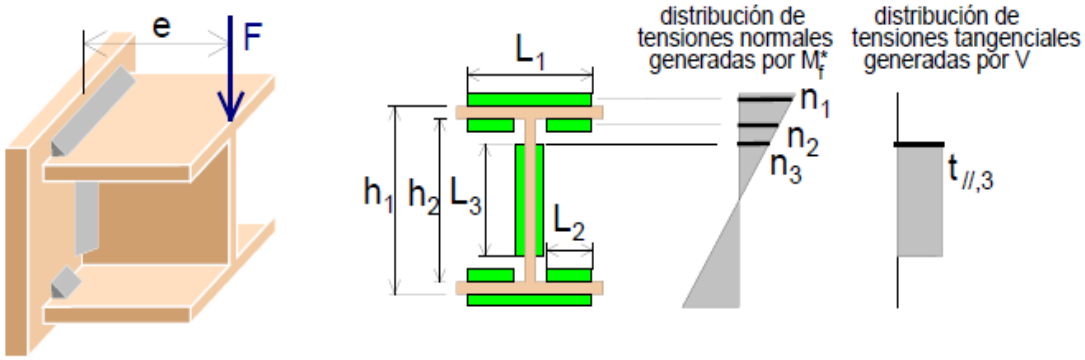


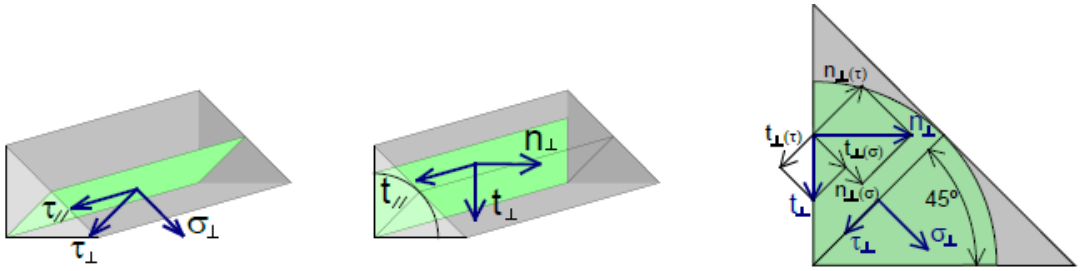
Figura 222 Distribución de tensiones en la sección

Como se ha hecho con anterioridad, para comprobar cada uno de los cordones de soldadura se acude al apartado 8.6.2 del DB SE-A (Resistencia de cálculo de las soldaduras en ángulo). En el tercer punto de dicho apartado se explica que la soldadura en ángulo será suficiente si, con las tensiones de cálculo se cumple:

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 * \left(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2\right)} \leq \frac{f_u}{\beta_w * \gamma_{M2}}$$

Siendo:

- β_w: coeficiente de correlación dado en la Tabla 8.1 del DB SE-A.
- f_u: resistencia última a tracción de la pieza más débil de la unión dado en la Tabla 8.1 del DB SE-A.
- $\sigma_{\perp}$: tensión normal perpendicular al plano de la garganta
- $\tau_{\perp}$: tensión tangencial (en el plano de la garganta) perpendicular al eje del cordón.
- $\tau_{\parallel}$: tensión tangencial (en el plano de la garganta) paralelo al eje del cordón.



a) tensiones sobre la sección de la garganta

b) tensiones sobre caras de la soldadura

$$\sigma_{\perp} = \frac{n_{\perp} + t_{\perp}}{\sqrt{2}}; \quad \tau_{\perp} = \frac{-n_{\perp} + t_{\perp}}{\sqrt{2}}; \quad \tau_{//} = t_{//} \qquad n_{\perp} = \frac{\sigma_{\perp} - \tau_{\perp}}{\sqrt{2}}; \quad t_{\perp} = \frac{\sigma_{\perp} + \tau_{\perp}}{\sqrt{2}}; \quad t_{//} = \tau_{//}$$

Figura 223 Tensiones en plano de soldadura

El área de la sección abatida de todas las soldaduras (para esfuerzos axiles) resulta:

$$A_{axil} = 2 * a_1 * l_1 + 4 * a_2 * l_2 + 2 * a_3 * l_3 = 3316.8\, mm^2$$

El área de la sección abatida de todas las soldaduras (para esfuerzos cortantes) resulta:

$$A_{cortante} = 2 * a_3 * l_3 = 1272\, mm^2$$

La inercia no es necesario calcularla ya que, como se ha mencionado antes, no hay esfuerzos flectores que soliciten la unión.

Ahora que ya se conoce cada término, se va a descomponer la comprobación de la soldadura por cordones.

La combinación de esfuerzos más desfavorable para la soldadura es la siguiente:

$$0.8\ CP + 1.5\ V1b + 1.5{*}0.7\ SCU_{PG(frena+)}$$

Lo que genera unos esfuerzos en valor de cálculo:

$$N_{Ed} = -163\, KN$$

$$V_{z,Ed} = 1\, KN$$

Comprobación cordones 1 y 2

$$n_{\perp} = \frac{N_{Ed}}{A_{axil}} = \frac{-163 * 10^3}{3316.8} = -49.15\ MPa$$

$$t_{\perp} = 0\ MPa$$

$$t_{\parallel} = 0\ MPa$$

Esto da lugar a unos esfuerzos en el plano de la garganta:

$$\sigma_{\perp} = \frac{n_{\perp} + t_{\perp}}{\sqrt{2}} = -49.15\ MPa$$

$$\tau_{\perp} = \frac{-n_{\perp} + t_{\perp}}{\sqrt{2}} = 49.15\ MPa$$

$$\tau_{\parallel} = t_{\parallel} = 0\ MPa$$

Al estar trabajando con acero S-275, le corresponde un coeficiente de 0.85 y una resistencia última a tracción de la pieza de 430 N/mm^2.

Ya se puede realizar la comprobación de la soldadura del alma:

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 * \left(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2\right)} = \sqrt{-49.15^2 + 3 * ((49.15)^2 + 0^2)} =$$

$$= 98.3 \leq \frac{f_u}{\beta_w * \gamma_{M2}} = 404.7\ MPa\ (CUMPLE)$$

Comprobación cordón 3

$$n_{\perp} = \frac{N_{Ed}}{A_{axil}} = \frac{-163 * 10^3}{10028} = -16.25\ MPa$$

$$t_{\perp} = 0$$

$$t_{\parallel} = \frac{V_{z,Ed}}{A_{cortante}} = \frac{1 * 10^3}{1272} = 0.78\ MPa$$

Esto da lugar a unos esfuerzos en el plano de la garganta:

$$\sigma_{\perp} = \frac{n_{\perp} + t_{\perp}}{\sqrt{2}} = -11.5\ MPa$$

$$\tau_{\perp} = \frac{-n_{\perp} + t_{\perp}}{\sqrt{2}} = 11.5\ MPa$$

$$\tau_{\parallel} = t_{\parallel} = 1\ MPa$$

Al estar trabajando con acero S-275, le corresponde un coeficiente de 0.85 y una resistencia última a tracción de la pieza de 430 N/mm^2.

Ya se puede realizar la comprobación de la soldadura del alma:

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 * \left(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2\right)} = \sqrt{-11.5^2 + 3 * ((11.5)^2 + 1^2)} =$$

$$= 23 \leq \frac{f_u}{\beta_w * \gamma_{M2}} = 404.7\ MPa\ (CUMPLE)$$

Todos los cordones de soldadura cumplen con las condiciones de resistencia.

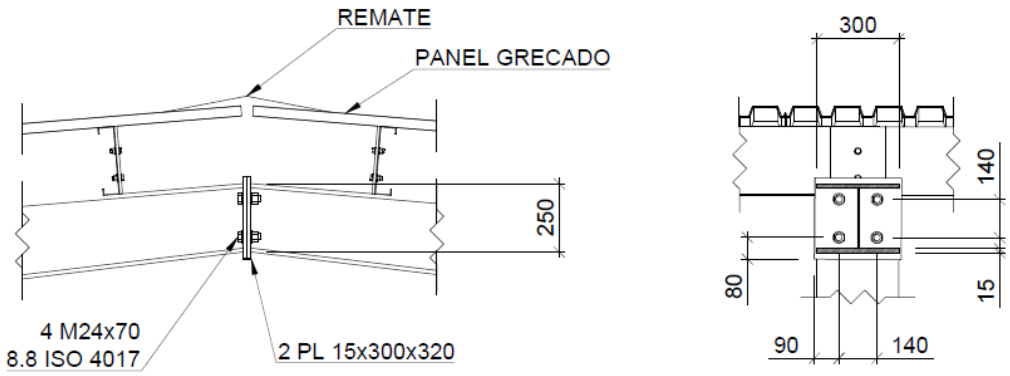


Figura 224 Detalle de la unión del dintel en la cumbrera

9.7. Unión dintel-pilar hastial "B"

La unión del dintel con los pilares hastiales "B" y "D" se realiza mediante una unión atornillada del dintel con una chapa de testa que, a su vez, irá soldada únicamente al alma del pilar, de forma que la unión entre el pilar y el dintel resulte articulada.

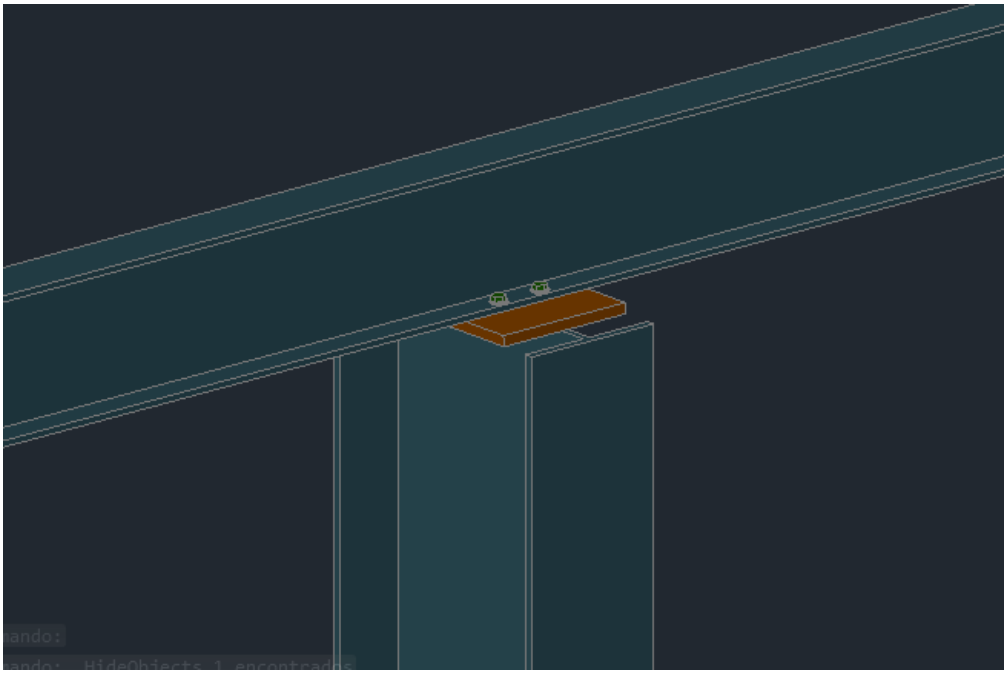


Figura 225 Unión dintel con pilar hastial

Se colocarán 4 tornillos M12x40, 8.8 ISO 4017.

El pilar tiene un perfil IPE 450 y las dimensiones de la chapa que va soldada al pilar es de 15x150x270.

Como se ha planteado una unión articulada en la cabeza del pilar, los tornillos se colocarán a una distancia inferior a 2/3 la longitud del alma del pilar, evitando así que se generen momentos flectores en la unión.

Por lo tanto se va a comprobar la resistencia de la unión ante esfuerzos de tracción y cortante, ya que los tornillos como se ha mencionado con anterioridad, ante esfuerzos de compresión no trabajan.

Las acciones por hipótesis que solicitan la cabeza del pilar hastial son las siguientes:

[KN,m]	CP	N	V1a	V1b	V2	SCUpg(frena+)	SCUpg(frena-)
Nx	-4,8	-11,9	17,1	0,7	26,6	0	0
Vz	0	0	41,7	41,7	-29,6	0	0

Tabla 47 Acciones por hipótesis en la cabeza del pilar

Para axil de tracción máximo la combinación de esfuerzos más desfavorable es:

0.8 PP + 1.5 V2

$$N_{Ed} = 0.8 * (-4.8) + 1.5 * (26.6) = 36\ KN$$

$$V_{z,Ed} = 0.8 * (0) + 1.5 * (-29.6) = -44.4\ KN$$

Jorge Alonso Sanz

Para el cortante máximo la combinación de esfuerzos más desfavorable es:

0.8 PP + 1.5 V1a

$$N_{Ed} = 0.8 * (-4.8) + 1.5 * (17.1) = 21.81\ KN$$

$$V_{z,Ed} = 0.8 * (0) + 1.5 * (41.7) = 62.5\ KN$$

Una vez conocidos los esfuerzos máximos, se procede a realizar las comprobaciones de resistencia.

Comprobación de los tornillos

Para la comprobación de la unión atornillada se siguen las indicaciones del DB SE-A del apartado 8.5 del C.T.E.

Comprobación geométrica:

Se comienza comprobando las distancias mínimas y máximas de los tornillos.

Distancias mínimas:

$$e_1 \geq 1.2 * d_0 \quad p_1 \geq 2.2 * d_0$$

$$e_2 \geq 1.5 * d_0 \quad p_2 \geq 3.0 * d_0$$

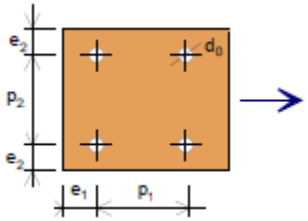


Figura 226 Parámetros geométricos

Siendo d_0 el diámetro de los agujeros más una pequeña sobredimensión en función de la métrica del tornillo. Como los tornillos son de M12, se realiza una sobredimensión del agujero de 1 mm.

$$d_0 = 24 + 2 = 26\ mm$$

Por tanto, las distancias mínimas quedan de la siguiente forma:

$$e_1 = 15.6\ mm \quad p_1 = 28.6\ mm$$

$$e_2 = 19.5\ mm \quad p_2 = 39\ mm$$

Distancias máximas:

Las distancias máximas al borde de la pieza son las siguientes:

$$e_1 = e_2 \leq 40\ mm + 4 * t \quad y \quad e_1 = e_2 \leq 12 * t \quad \text{ó} \quad 150\ mm$$

Las distancias máximas entre tornillos (Tracción) son las siguientes:

$$p_1 = p_2 \leq 14 * t \quad y \quad p_1 = p_2 \leq 200\ mm$$

Siendo t el espesor de las chapas, de 15 mm.

Por tanto, las distancias máximas quedan de la siguiente forma:

Al borde de la pieza: $e_1 = e_2 \leq 100\ mm \quad y \quad e_1 = e_2 \leq 180 \quad \text{ó} \quad 150\ mm$

Entre tornillos (Tracción):$p_1 = p_2 \leq 210 \quad y \quad p_1 = p_2 \leq 200\ mm$

Las distancias entre tornillos de la unión calculada son:

$$e_1 = 100\ mm \rightarrow 15.6 < 100 < 100\ mm$$
$$e_2 = 42.5\ mm \rightarrow 19.5 < 42.5 < 100\ mm$$
$$p_1 = 70\ mm \rightarrow 28.6 < 70 < 200\ mm$$
$$p_2 = 65\ mm \rightarrow 39 < 65 < 200\ mm$$

Se cumplen todas las restricciones geométricas.

Se van a realizar las comprobaciones a cortante, tracción y solicitación combinada para tornillos sin pretensar.

Comprobación a cortante:

La combinación desfavorable de esfuerzos para esta comprobación será la del cortante máximo, por lo tanto:

$$V_{z,Ed} = 62.5\ KN$$

Para la comprobación a cortante, se acude al DB SE-A 8.5.2 y se sigue el procedimiento.

A) Resistencia de la sección transversal

La resistencia de los tornillos ante esfuerzos cortantes viene dada por:

$$F_{v,Rd} = n * \frac{0.5 * f_{ub} * A_s}{\gamma_{M2}} = 1 * \frac{0.5 * 800 * 84.3}{1.25} = 26.9\ KN$$

Sabiendo el esfuerzo que solicita la unión, el esfuerzo que deberá aguantar cada tornillo es:

$$\frac{V_{z,Ed}}{4} = \frac{62.5}{4} = 15.7\ KN$$

Por lo que se cumple la comprobación:

$$F_{v,Rd} > \frac{V_{z,Ed}}{4} \rightarrow 26.9\ KN > 15.7\ KN$$

B) Aplastamiento

La resistencia a aplastamiento de la chapa que se une:

$$F_{b,Rd} = \frac{2.5 * \alpha * f_u * d * t}{\gamma_{M2}}$$

Siendo:

- d: diámetro del vástago del tornillo.
- t: menor espesor de las chapas que se unen.
- f_u: resistencia última del acero de las chapas que se unen.
- α es el menor de:

$$\frac{e_1}{3 * d_0} = \frac{100}{3 * 13} = 2.56$$

$$\frac{p_1}{3 * d_0} - \frac{1}{4} = \frac{140}{3 * 13} - \frac{1}{4} = 1.54$$

$$\frac{f_{ub}}{f_u} = \frac{800}{430} = 1.86$$

1

Como puede observarse, de coeficiente α se elegirá la última de las opciones por ser la menor en este caso. Ya se conocen los diámetros de los vástagos del tornillo y el espesor de las chapas, por lo tanto la comprobación a aplastamiento:

$$F_{b,Rd} = \frac{2.5 * \alpha * f_u * d * t}{\gamma_{M2}} = \frac{2.5 * 1 * 430 * 12 * 15}{1.25} = 154.8\ KN$$

La comprobación resulta:

$$F_{b,Rd} > V_{z,Ed} \rightarrow 154.8\ KN > 62.5\ KN$$

Comprobación a tracción:

Para la comprobación a tracción se elegirá la combinación desfavorable con la que se obtiene el axil máximo, es decir:

$$N_{Ed} = 36\ KN$$

Para la comprobación a cortante, se acude al DB SE-A 8.5.2 y se sigue el procedimiento.

A) Resistencia a tracción del tornillo:

La resistencia de los tornillos a tracción viene dada por:

$$F_{t,Rd} = \frac{0.9 * f_{ub} * A_s}{\gamma_{M2}} = \frac{0.9 * 800 * 84.3}{1.25} = 48.5\ KN$$

Sabiendo el esfuerzo que solicita la unión, el esfuerzo que deberá aguantar cada tornillo es:

$$\frac{N_{Ed}}{4} = \frac{36}{4} = 9\ KN$$

Por lo que se cumple la comprobación:

$$F_{t,Rd} > \frac{N_{Ed}}{4} \rightarrow 48.5\ KN > 9\ KN$$

B) Resistencia a punzonamiento de la cabeza del tornillo:

La resistencia de los tornillos a punzonamiento viene dada por:

$$F_{p,Rd} = \frac{0.6 * \pi * d_m * t_p * f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0.6 * \pi * \left(\frac{21.9 + 19}{2}\right) * 15 * 430}{1.25} = 198.9\ KN$$

Sabiendo el esfuerzo que solicita la unión, el esfuerzo que deberá aguantar cada tornillo es:

$$\frac{N_{Ed}}{4} = \frac{36}{4} = 9\ KN$$

Por lo que se cumple la comprobación:

$$F_{p,Rd} > \frac{N_{Ed}}{4} \rightarrow 198.9\ KN > 9\ KN$$

Comprobación solicitación combinada:

Por último, ya que sobre la unión atornillada actúan de manera simultánea esfuerzos de cortante y de tracción, se deberá cumplir además la siguiente condición.

$$\frac{V_{z,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{N_{Ed}}{1.4 * F_{t,Rd}} \leq 1$$

Se va a coger el axil máximo y el cortante máximo aunque sean combinaciones de esfuerzos distintas ya que se está por el lado de la seguridad al ser el caso más desfavorable.

$$\frac{V_{z,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{N_{Ed}}{1.4 * F_{t,Rd}} = \frac{62.5/4}{26.9} + \frac{36/4}{1.4 * 48.5} = 0.58 + 0.14 = 0.72 \leq 1$$

Se va a realizar la comprobación de los cordones de soldadura que unen el pilar hastial con la chapa. Los esfuerzos flector y axil los transmite la sección formada por todos los cordones, mientras que el esfuerzo cortante solo los cordones verticales.

Como se ha dicho con anterioridad, en este caso no existe flector, ya que se trata de una unión articulada, por lo que solo existe esfuerzo axil de tracción y esfuerzo cortante.

Además, en este caso solo existirá un tipo de cordón que será el que una el alma del pilar con la chapa.

Cordón 1

$$a_w = 0.7 * t_w = 0.7 * 9.4 = 6.58 \rightarrow a_w = 8\ mm$$

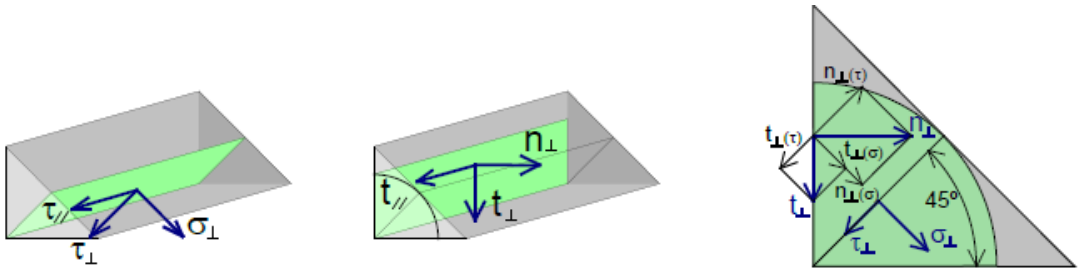
$$l_w = 270\ mm$$

Como se ha hecho con anterioridad, para comprobar cada uno de los cordones de soldadura se acude al apartado 8.6.2 del DB SE-A (Resistencia de cálculo de las soldaduras en ángulo). En el tercer punto de dicho apartado se explica que la soldadura en ángulo será suficiente si, con las tensiones de cálculo se cumple:

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 * \left(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2\right)} \leq \frac{f_u}{\beta_w * \gamma_{M2}}$$

Siendo:

- β_w: coeficiente de correlación dado en la Tabla 8.1 del DB SE-A.
- f_u: resistencia última a tracción de la pieza más débil de la unión dado en la Tabla 8.1 del DB SE-A.
- $\sigma_{\perp}$: tensión normal perpendicular al plano de la garganta
- $\tau_{\perp}$: tensión tangencial (en el plano de la garganta) perpendicular al eje del cordón.
- $\tau_{\parallel}$: tensión tangencial (en el plano de la garganta) paralelo al eje del cordón.



a) tensiones sobre la sección de la garganta *b) tensiones sobre caras de la soldadura*

$$\sigma_\perp = \frac{n_\perp + t_\perp}{\sqrt{2}}; \quad \tau_\perp = \frac{-n_\perp + t_\perp}{\sqrt{2}}; \quad \tau_{//} = t_{//} \qquad n_\perp = \frac{\sigma_\perp - \tau_\perp}{\sqrt{2}}; \quad t_\perp = \frac{\sigma_\perp + \tau_\perp}{\sqrt{2}}; \quad t_{//} = \tau_{//}$$

Figura 227 Tensiones en plano de soldadura

El área de la sección abatida de todas las soldaduras resulta:

$$A_{axil} = 2 * a_w * l_w = 5400\ mm^2$$

La inercia de la sección abatida no es necesario calcularla ya que, como se ha mencionado antes, no hay esfuerzos flectores que soliciten la unión.

Los esfuerzos en valor de cálculo que solicitan la unión se definieron en la comprobación de los tornillos. Tal y como se hizo en la comprobación de solicitación combinada, se van a escoger los mayores axiles y cortantes aunque provengan de combinaciones de esfuerzos distintas, ya que de esta forma se está por el lado de la seguridad:

$$N_{Ed} = 36\ KN$$

$$V_{z,Ed} = 62.5\ KN$$

Comprobación cordón

$$n_\perp = \frac{N_{Ed}}{A_{axil}} = \frac{36 * 10^3}{5400} = 6.66\ MPa$$

$$t_\perp = 0\ MPa$$

$$t_\parallel = \frac{V_{z,Ed}}{A_{cortante}} = \frac{62.5 * 10^3}{5400} = 11.57\ MPa$$

Esto da lugar a unos esfuerzos en el plano de la garganta:

$$\sigma_\perp = \frac{n_\perp + t_\perp}{\sqrt{2}} = 4.7\ MPa$$

$$\tau_\perp = \frac{-n_\perp + t_\perp}{\sqrt{2}} = -4.7\ MPa$$

$$\tau_\parallel = t_\parallel = 11.57\ MPa$$

Al estar trabajando con acero S-275, le corresponde un coeficiente de 0.85 y una resistencia última a tracción de la pieza de 430 N/mm^2.

Ya se puede realizar la comprobación de la soldadura del alma:

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 * \left(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2\right)} = \sqrt{4.7^2 + 3 * ((-4.7)^2 + 11.57^2)} =$$

$$= 22.13 \leq \frac{f_u}{\beta_w * \gamma_{M2}} = 404.7\ MPa\ (CUMPLE)$$

Todos los cordones de soldadura cumplen con las condiciones de resistencia.

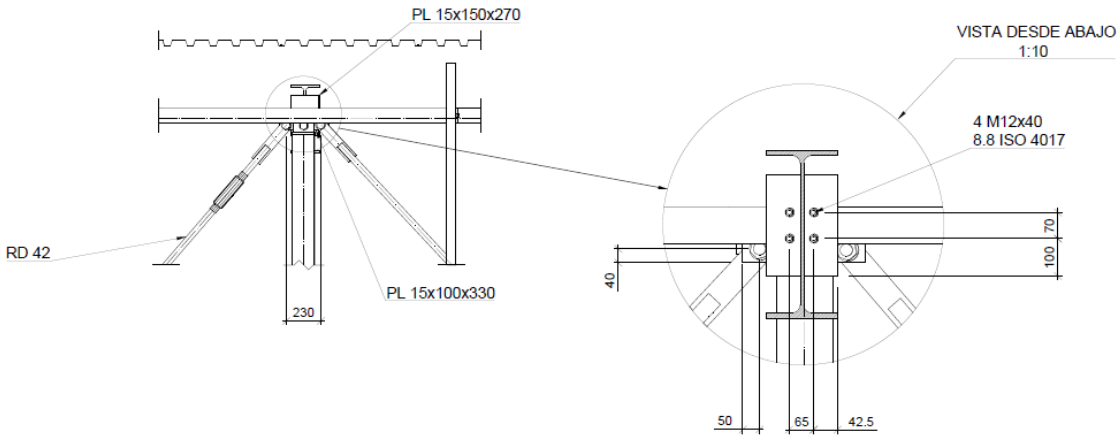


Figura 228 Detalle de unión dintel con pilar hastial

9.8. Unión del perfil compuesto de la viga carril

Como se ha visto en el apartado 4 del presente anexo, la viga carril la componen 2 tipoas distintos de perfiles, una IPE 450 y una UPN 280.

Ambos conforman una sola pieza a través de un cordón de soldadura intermitente que las une y que se va a dimensionar y comprobar a continuación.

Se va a realizar una predimensión de la soldadura:

$$L = 200\ mm$$

$$a = 0.7 * t_{mín} = 0.7 * t_{w,UPN} = 0.7 * 10 = 7 \rightarrow a = 8\ mm$$

Se necesita obtener la tensión admisible máxima en la soldadura y compararla con el cortante máximo.

Para comprobar cuál es la tensión admisible máxima que soporta la soldadura se acude al apartado 8.6.2 del DB SE-A (Resistencia de cálculo de las soldaduras en ángulo). En el tercer punto de dicho apartado se explica que la soldadura en ángulo será suficiente si, con las tensiones de cálculo se cumple:

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 * \left(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2\right)} \leq \frac{f_u}{\beta_w * \gamma_{M2}}$$

Siendo:

- β_w: coeficiente de correlación dado en la Tabla 8.1 del DB SE-A.
- f_u: resistencia última a tracción de la pieza más débil de la unión dado en la Tabla 8.1 del DB SE-A.
- $\sigma_{\perp}$: tensión normal perpendicular al plano de la garganta
- $\tau_{\perp}$: tensión tangencial (en el plano de la garganta) perpendicular al eje del cordón.
- $\tau_{\parallel}$: tensión tangencial (en el plano de la garganta) paralelo al eje del cordón.

Ahora que ya se conoce cada término, teniendo en cuenta que solo se tiene la componente $\tau_{\parallel}$, la fórmula anterior queda de la siguiente manera:

$$\sqrt{0 + 3 * \left(0 + \tau_{\parallel}^2\right)} \leq \frac{f_u}{\beta_w * \gamma_{M2}} \rightarrow \tau_{\parallel} \leq \frac{f_u}{\sqrt{3} * \beta_w * \gamma_{M2}}$$

Al estar trabajando con acero S-275, le corresponde un coeficiente de 0.85 y una resistencia última a tracción de la pieza de 430 N/mm^2.

Por tanto, la capacidad de la soldadura resulta:

$$\tau_{\parallel} \leq \frac{f_u}{\sqrt{3} * \beta_w * \gamma_{M2}} = \frac{430}{\sqrt{3} * 0.85 * 1.25} = 233.65\ MPa$$

Se aplican las conocidas fórmulas de Colignon para obtener el cortante máximo admisible:

$$\tau_{xz} = \frac{V_z * S_y}{I_y * b}$$

La inercia en el eje “y” ya se calculó en el apartado 4 del presente anexo:

$$I_y = 493.6 * 10^6\ mm^4$$

El parámetro b será igual a la anchura de las soldaduras de ambos lados de la viga:

$$b = 2 * a = 2 * 8 = 16\ mm$$

El momento estático S_y se calcula como la porción de área que hay por encima de la sección de estudio del cortante por la distancia al eje "y".

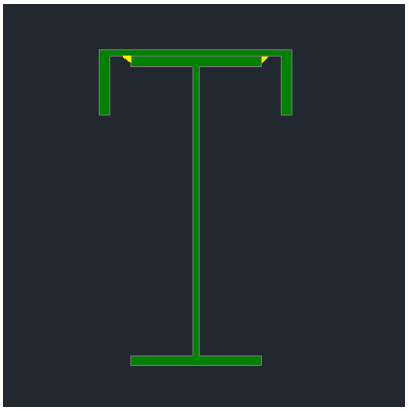


Figura 229 Unión perfil compuesto de la viga carril

$$S_y = t_{w,UPN} * H_{UPN} * (dy)$$

Siendo dy:

$$dy = H_{IPE} + \frac{t_{w,UPN}}{2} - C.D.G. = 450 + \frac{10}{2} - 298.5 = 156.5\ mm$$

Por lo tanto:

$$S_y = t_{w,UPN} * H_{UPN} * (dy) = 10 * 280 * 156.5 = 438.2 * 10^3\ mm^3$$

Lo que da lugar a un cortante máximo V_z:

$$V_{z,máx} = \frac{\tau_{xz} * I_y * b}{S_y} = \frac{233.65 * 493.6 * 10^6 * 16}{438.2 * 10^3} = 4211\ KN$$

El cortante que está actuando se va a tomar por el lado de la seguridad y se va a considerar que es igual a la reacción que causan ambas ruedas en la viga carril:

$$V_{z,Ed} = 1.5 * (2 * P_z) = 1.5 * 2 * 174.31 = 523\ KN$$

Por lo tanto:

$$\frac{V_{z,Ed}}{V_{z,máx}} = \frac{523}{4211} = 0.13$$

Se obtiene que la soldadura está trabajando a un 13%, luego en 1 metro de viga se contará con un cordón de 0.13 m. Sin embargo se optará por soldar 10 cm por cada 50 cm y se está por el lado de la seguridad.

9.9. Unión en sistema de arriostramiento

Se van a dimensionar y a calcular las uniones de los arriostramientos con las vigas y los pilares de la instalación.

Para ello, se elegirá el entramado de barras más solicitado de todos por ser el más desfavorable.

El método por el cual se ejecutará la unión será soldando una pletina a el alma de la viga o pilar, dependiendo de qué sistema de arriostramiento sea, y otra pletina a la diagonal o al montante para conectar después estas a la pletina inicial mediante una unión atornillada. De esta forma se facilita la conexión en la obra de los elementos.

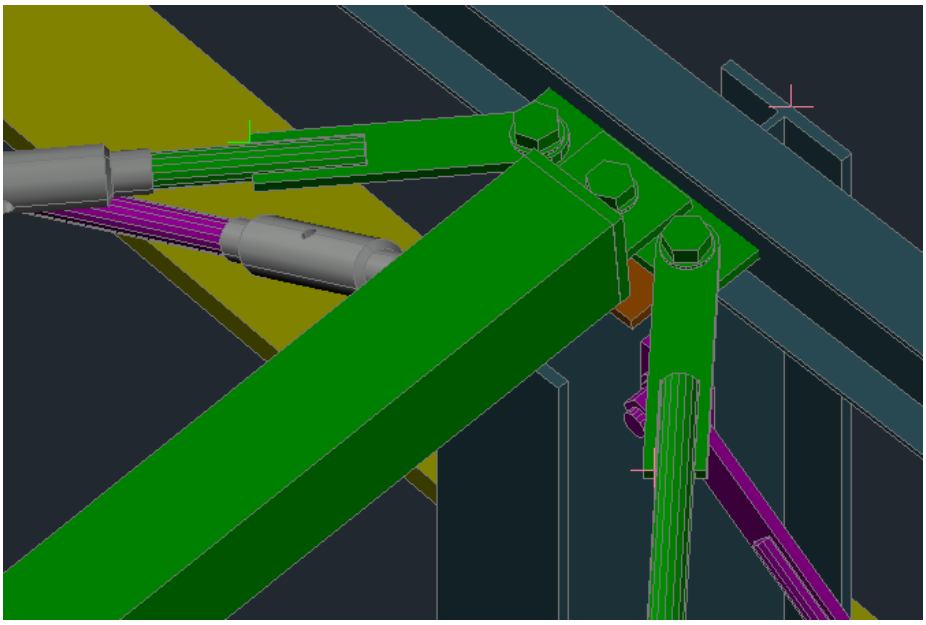


Figura 230 Unión de sistema de arriostramiento

Como se puede observar en la Figura 228, al final del montante también se le incorporará una pletina soldada de dimensiones 15x140x140 para después soldar a esta la que va atornillada, la cual tiene unas dimensiones de 15x100x140.

La pletina que va soldada a la viga o pilar será de 15x140x240 si a ella van unidas un montante y una diagonal. En el caso de que se unan un montante y dos diagonales la pletina será de 15x140x330.

La pletina que va soldada a la diagonal será de 15x70x350.

La unión se deberá comprobar ante esfuerzos cortantes ya que los montantes y las diagonales solo están sometidos a esfuerzos axiles.

Se trata de una unión articulada en la que los tornillos empleados serán de M33x60 8.8 ISO 4017.

Los mayores esfuerzos en valor de cálculo se obtienen de los arriostramientos y en el caso de esta instalación los más desfavorables por ser los mayores se encuentran en el arriostramiento de fachada frontal, cuyos valores se pueden consultar en el apartado 8.4 del presente anexo.

$$Diagonales \rightarrow N_{Ed} = 271.06\,KN$$

$$Montantes \rightarrow N_{Ed} = -220.36\,KN$$

Ahora que ya se conocen los esfuerzos, se procede a realizar las comprobaciones de resistencia.

Se comienza comprobando la unión atornillada.

Para la comprobación de la unión atornillada se siguen las indicaciones del DB SE-A del apartado 8.5 del C.T.E.

Comprobación geométrica:

Se comienza comprobando las distancias mínimas y máximas de los tornillos.

Distancias mínimas:

$$e_1 \geq 1.2 * d_0 \quad p_1 \geq 2.2 * d_0$$
$$e_2 \geq 1.5 * d_0 \quad p_2 \geq 3.0 * d_0$$

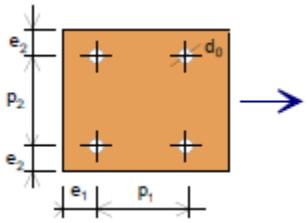


Figura 231 Parámetros geométricos

Siendo d_0 el diámetro de los agujeros más una pequeña sobredimensión en función de la métrica del tornillo. Como los tornillos son de M33, se realiza una sobredimensión del agujero de 3 mm.

$$d_0 = 33 + 3 = 36\ mm$$

Por tanto, las distancias mínimas quedan de la siguiente forma:

$$e_1 = 43.2\ mm \quad p_1 = 79.2\ mm$$
$$e_2 = 54\ mm \quad p_2 = 108\ mm$$

Distancias máximas:

Las distancias máximas al borde de la pieza son las siguientes:

$$e_1 = e_2 \leq 40\ mm + 4 * t \quad y \quad e_1 = e_2 \leq 12 * t \quad \text{ó} \quad 150\ mm$$

Las distancias máximas entre tornillos (Tracción) son las siguientes:

$$p_1 = p_2 \leq 14 * t \quad y \quad p_1 = p_2 \leq 200\ mm$$

Siendo t el espesor de las chapas, de 15 mm.

Por tanto, las distancias máximas quedan de la siguiente forma:

Al borde de la pieza: $e_1 = e_2 \leq 100\ mm \quad y \quad e_1 = e_2 \leq 180 \quad \text{ó} \quad 150\ mm$

Entre tornillos (Tracción):$p_1 = p_2 \leq 210 \quad y \quad p_1 = p_2 \leq 200\ mm$

Las distancias entre tornillos de la unión calculada son:

$$e_1 = 50\ mm \rightarrow 43.2 < 50 < 100\ mm$$
$$e_2 = 55\ mm \rightarrow 54 < 55 < 100\ mm$$

Jorge Alonso Sanz

$$p_1 = -\ mm \rightarrow 79.2 < -< 200\ mm$$

$$p_2 = 110\ mm \rightarrow 108 < 110 < 200\ mm$$

Se cumplen todas las restricciones geométricas.

Se van a realizar las comprobaciones a cortante del montante y la diagonal.

Comprobación a cortante:

Para la comprobación a cortante, se acude al DB SE-A 8.5.2 y se sigue el procedimiento.

A) Resistencia de la sección transversal:

Montantes:

La resistencia de los tornillos ante esfuerzos cortantes viene dada por:

$$F_{v,Rd} = n * \frac{0.5 * f_{ub} * A_s}{\gamma_{M2}} = 1 * \frac{0.5 * 800 * 855}{1.25} = 273.7\ KN$$

Sabiendo el esfuerzo que solicita la unión, el esfuerzo que deberá aguantar cada tornillo es:

$$V_{z,Ed} = -220.36\ KN$$

Por lo que se cumple la comprobación:

$$F_{v,Rd} > V_{z,Ed} \rightarrow 273.7\ KN > -220.36\ KN$$

Diagonales:

La resistencia de los tornillos ante esfuerzos cortantes viene dada por:

$$F_{v,Rd} = n * \frac{0.5 * f_{ub} * A_s}{\gamma_{M2}} = 1 * \frac{0.5 * 800 * 855}{1.25} = 273.7\ KN$$

Sabiendo el esfuerzo que solicita la unión, el esfuerzo que deberá aguantar cada tornillo es:

$$V_{z,Ed} = 271.06\ KN$$

Por lo que se cumple la comprobación:

$$F_{v,Rd} > V_{z,Ed} \rightarrow 273.7\ KN > 271.06\ KN$$

B) Aplastamiento

Montantes:

La resistencia a aplastamiento de la chapa que se une:

$$F_{b,Rd} = \frac{2.5 * \alpha * f_u * d * t}{\gamma_{M2}}$$

Siendo:

- d: diámetro del vástago del tornillo.
- t: menor espesor de las chapas que se unen.
- f_u: resistencia última del acero de las chapas que se unen.
- α es el menor de:

$$\frac{e_1}{3 * d_0} = \frac{50}{3 * 36} = 0.46$$

$$\frac{p_1}{3 * d_0} - \frac{1}{4} = -$$

$$\frac{f_{ub}}{f_u} = \frac{800}{430} = 1.86$$

1

Como puede observarse, de coeficiente α se elegirá la primera de las opciones por ser la menor en este caso. Ya se conocen los diámetros de los vástagos del tornillo y el espesor de las chapas, por lo tanto la comprobación a aplastamiento:

$$F_{b,Rd} = \frac{2.5 * \alpha * f_u * d * t}{\gamma_{M2}} = \frac{2.5 * 0.46 * 430 * 33 * 15}{1.25} = 364.32\ KN$$

La comprobación resulta:

$$F_{b,Rd} > V_{z,Ed} \rightarrow 364.32\ KN > 220.36\ KN$$

Diagonales:

La resistencia a aplastamiento de la chapa que se une:

$$F_{b,Rd} = \frac{2.5 * \alpha * f_u * d * t}{\gamma_{M2}}$$

Siendo:

- d: diámetro del vástago del tornillo.
- t: menor espesor de las chapas que se unen.
- f_u: resistencia última del acero de las chapas que se unen.
- α es el menor de:

$$\frac{e_1}{3 * d_0} = \frac{50}{3 * 36} = 0.46$$

$$\frac{p_1}{3 * d_0} - \frac{1}{4} = -$$

$$\frac{f_{ub}}{f_u} = \frac{800}{430} = 1.86$$

1

Como puede observarse, de coeficiente α se elegirá la primera de las opciones por ser la menor en este caso. Ya se conocen los diámetros de los vástagos del tornillo y el espesor de las chapas, por lo tanto la comprobación a aplastamiento:

$$F_{b,Rd} = \frac{2.5 * \alpha * f_u * d * t}{\gamma_{M2}} = \frac{2.5 * 0.46 * 430 * 33 * 15}{1.25} = 364.32\ KN$$

La comprobación resulta:

$$F_{b,Rd} > V_{z,Ed} \rightarrow 364.32\ KN > 271.06\ KN$$

La unión atornillada de ambos elementos cumple con las comprobaciones de resistencia que indica la norma.

Se va a realizar la comprobación de los cordones de soldadura que unen la viga con la chapa que recibe los esfuerzos del montante y la diagonal. Los esfuerzos flector y axil los transmite la sección formada por todos los cordones, mientras que el esfuerzo cortante solo los cordones verticales.

Como se ha dicho con anterioridad, en este caso no existe flector, ya que se trata de una unión articulada, por lo que solo existe esfuerzo axil de tracción y esfuerzo cortante.

Además, en este caso solo existirá un tipo de cordón que será el que una el alma de la viga con la chapa.

Se va a tomar el caso en el que a la chapa solo se le una un montante y una diagonal por ser el caso más desfavorable.

<u>Cordón 1</u>

$$a_w = 6\ mm$$

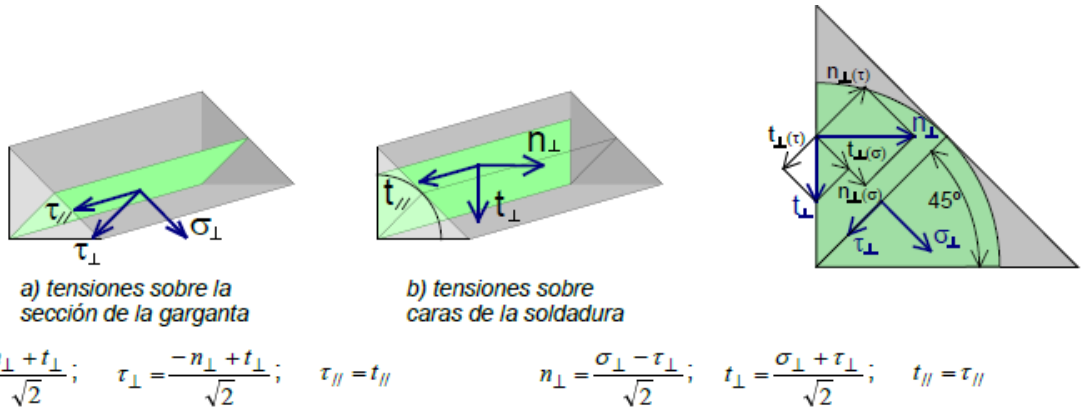
$$l_w = 240\ mm$$

Como se ha hecho con anterioridad, para comprobar cada uno de los cordones de soldadura se acude al apartado 8.6.2 del DB SE-A (Resistencia de cálculo de las soldaduras en ángulo). En el tercer punto de dicho apartado se explica que la soldadura en ángulo será suficiente si, con las tensiones de cálculo se cumple:

$$\sqrt{\sigma_\perp^2 + 3 * \left(\tau_\perp^2 + \tau_\parallel^2\right)} \leq \frac{f_u}{\beta_w * \gamma_{M2}}$$

Siendo:

- β_w: coeficiente de correlación dado en la Tabla 8.1 del DB SE-A.
- f_u: resistencia última a tracción de la pieza más débil de la unión dado en la Tabla 8.1 del DB SE-A.
- $\sigma_\perp$: tensión normal perpendicular al plano de la garganta
- $\tau_\perp$: tensión tangencial (en el plano de la garganta) perpendicular al eje del cordón.
- $\tau_\parallel$: tensión tangencial (en el plano de la garganta) paralelo al eje del cordón.



$$\sigma_\perp = \frac{n_\perp + t_\perp}{\sqrt{2}};\quad \tau_\perp = \frac{-n_\perp + t_\perp}{\sqrt{2}};\quad \tau_{//} = t_{//} \qquad n_\perp = \frac{\sigma_\perp - \tau_\perp}{\sqrt{2}};\quad t_\perp = \frac{\sigma_\perp + \tau_\perp}{\sqrt{2}};\quad t_{//} = \tau_{//}$$

Figura 232 Tensiones en plano de soldadura

El área de la sección abatida de todas las soldaduras resulta:

$$A_{axil} = 2 * a_w * l_w = 2880\ mm^2$$

Jorge Alonso Sanz

La inercia de la sección abatida no es necesario calcularla ya que, como se ha mencionado antes, no hay esfuerzos flectores que soliciten la unión.

Los esfuerzos en valor de cálculo que solicitan la unión se definieron en la comprobación de los tornillos, sin embargo hay que descomponerlos en el plano de la soldadura que muestra la Figura 231.

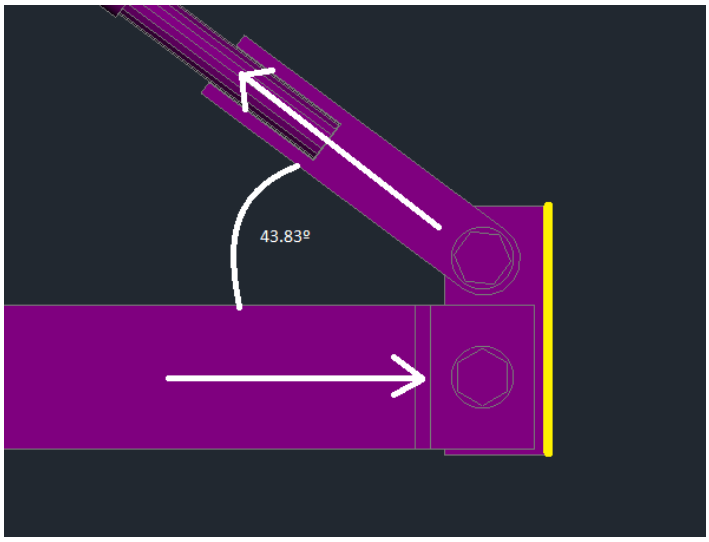


Figura 233 Geometría de la unión

Comprobación cordón

$$n_{\perp} = \frac{N_{Ed}}{A_{axil}} = \frac{-220.36 + 271.06 * \cos(43.83)}{2880 * 10^{-3}} = -8.68\ MPa$$

$$t_{\perp} = 0\ MPa$$

$$t_{\parallel} = \frac{V_{z,Ed}}{A_{cortante}} = \frac{271.06 * \text{sen}(43.83)}{2880 * 10^{-3}} = 65.17\ MPa$$

Esto da lugar a unos esfuerzos en el plano de la garganta:

$$\sigma_{\perp} = \frac{n_{\perp} + t_{\perp}}{\sqrt{2}} = -6.13\ MPa$$

$$\tau_{\perp} = \frac{-n_{\perp} + t_{\perp}}{\sqrt{2}} = 6.13\ MPa$$

$$\tau_{\parallel} = t_{\parallel} = 65.17\ MPa$$

Al estar trabajando con acero S-275, le corresponde un coeficiente de 0.85 y una resistencia última a tracción de la pieza de 430 N/mm^2.

Ya se puede realizar la comprobación de la soldadura del alma:

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 * \left(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2\right)} = \sqrt{-6.13^2 + 3 * ((6.13)^2 + 65.17^2)} =$$

$$= 113.54\ MPa \leq \frac{f_u}{\beta_w * \gamma_{M2}} = 404.7\ MPa\ (CUMPLE)$$

Todos los cordones de soldadura cumplen con las condiciones de resistencia.

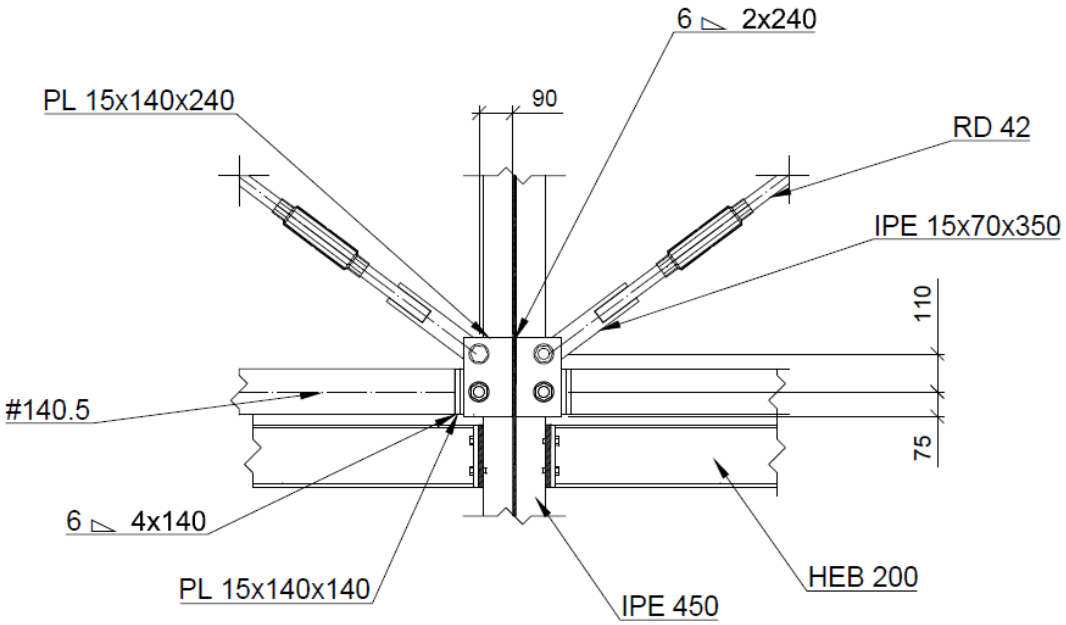


Figura 234 Detalle 1 de la unión de arriostramientos

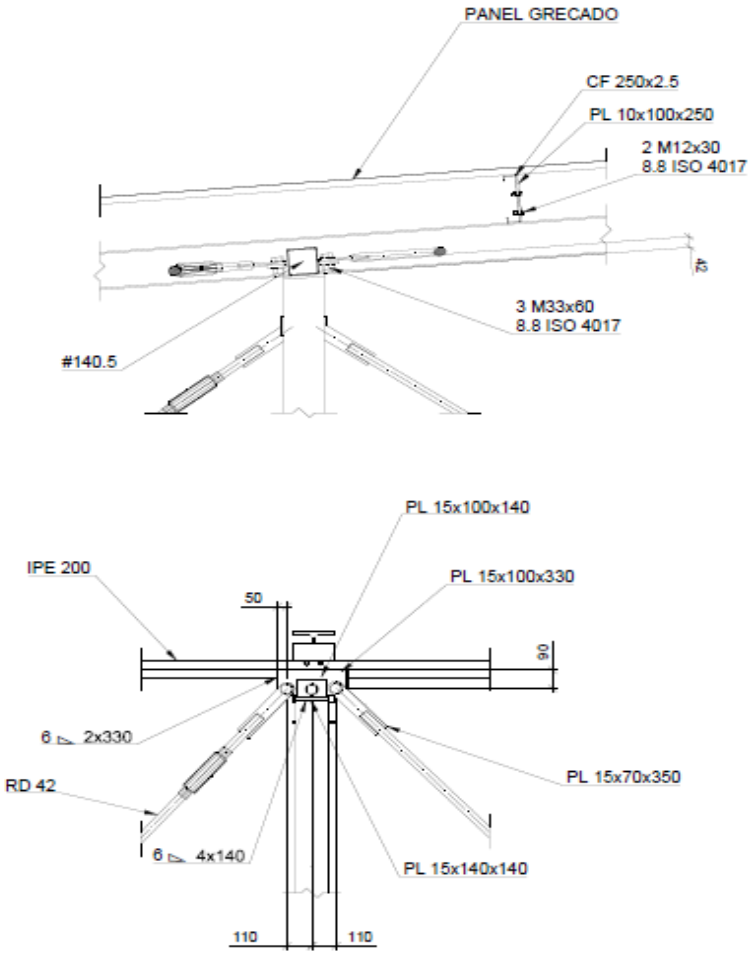


Figura 235 Detalle 2 de la unión de arriostramientos

10. Placas de anclaje

Se calcularán 2 tipos distintos de placas de anclaje, correspondientes a los pilares principales IPE 300;900 y a los pilares hastiales IPE 450.

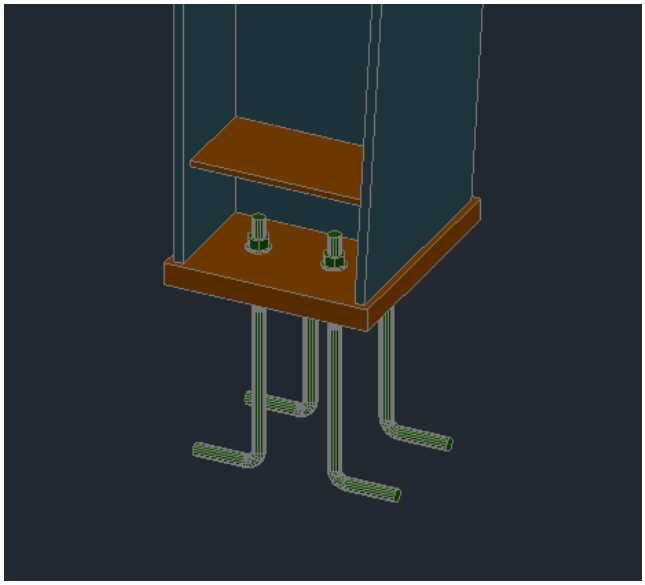


Figura 236 Placa de anclaje en pilar principal

Como ya se ha mencionado con anterioridad se va a realizar una unión articulada por lo que se va a soldar todo el final del perfil a la placa y luego se instalarán 2 pernos a cada lado del alma del perfil a una distancia no superior a 2/3 del alma del perfil.

Se van a realizar las siguientes comprobaciones:

- Esfuerzo de compresión menor que el máximo admisible del mortero: se va a instalar una capa de unos 20 mm de mortero de nivelación entre la pletina y la zapata. Dicho mortero cuenta con una tensión máxima admisible de 15 MPa, por lo que hay que comprobar que el axil creado en la placa no supere ese valor.
- Rigidez de la placa para verificar el espesor de la misma: se asumirá que cada porción de la pletina se comporta como una barra biarticulada con una carga lineal distribuida a lo largo de su longitud.
- Longitud de los pernos: a través de la normativa vigente para estructuras de hormigón (EHE-08, se comprobará la longitud mínima de los pernos.

Además de estas comprobaciones, se aportarán las comprobaciones hechas por el software informático de CYPE 3D. Dichas comprobaciones para la dimensión de las placas de anclaje abarcan lo siguiente:

- Tensión de compresión: Se comprueba que la tensión de compresión en la interfaz placa de anclaje-hormigón para el punto más comprimido es menor a la tensión admisible del hormigón.
- Condiciones geométricas: Se comprueban las condiciones geométricas para los elementos que componen las placas de anclaje (separación entre pernos, etc.).
- Condiciones geométricas: Se comprueban las condiciones geométricas para los elementos que componen las placas de anclaje (separación entre pernos, etc.).

- Resistencia del material de los pernos: Los esfuerzos actuantes sobre la placa se descomponen en axiles y cortantes sobre los pernos. Se comprueba que ambos esfuerzos, por separado y con interacción entre ellos (tensión de Von Mises), producen tensiones menores a la tensión límite del material de los pernos.
- Aplastamiento de chapa: Se comprueba que en cada perno no se supera el cortante que produciría el aplastamiento de la placa contra el perno.
- Tensiones globales: En placas con vuelo, se analizan cuatro secciones en el perímetro del perfil y se comprueba en todas ellas que las tensiones de Von Mises sean menores que la tensión límite de la placa.
- Tensiones locales: La placa de anclaje se ve dividida por el perfil y los rigidizadores en varias placas locales. Se comprueban las tensiones de Von Mises en todas estas placas locales, obteniendo los esfuerzos de cada subplaca a partir de las tensiones de contacto con el hormigón y los axiles de los pernos.
- Flechas globales equivalente: Se comprueba que en los vuelos de las placas no aparezcan flechas mayores que 1/250 del vuelo.

Por lo tanto, se va a comenzar a comprobar las placas de anclaje de los pilares.

10.1. Pilares principales

Las dimensiones de la placa de anclaje en los pilares principales son de 35x320x370 y los pernos utilizados son de 20 mm de diámetro B 500-S.

Se empieza por comprobar si el esfuerzo de compresión es menor que el máximo admisible del mortero (15 MPa). Para ello se necesitan los esfuerzos en la base del pilar en valor de cálculo.

Gracias al software comercial de CYPE se obtienen las acciones por hipótesis en la base del pilar principal más solicitado (Pilar del pórtico 6).

BASE PILAR [KN,m]	CP	N	V1a	V1b	V2	SCUpg(frena+)	SCUpg(frena-)
Nx	-51,2	-38,36	47,8	9,23	41,9	-298,4	-293
Vz	-8,3	-16	46,9	40,1	-4,7	-6	-19,2

Tabla 48 Acciones por hipótesis en la base del pilar

La combinación más desfavorable para los esfuerzos de la Tabla 48:

$$1.35\ CP + 1.5\ SCU_{PG(frena+)} + 1.5*0.5\ N$$

Lo que resulta en los siguientes esfuerzos:

$$N_{Ed} = 1.35 * (-51.2) + 1.5 * (-298.4) + 1.5 * 0.5 * (-38.36) = 545.5\ KN$$

$$V_{z,Ed} = 1.35 * (-8.3) + 1.5 * (-6) + 1.5 * 0.5 * (-16) = 32.2\ KN$$

Por lo tanto la presión en la placa de anclaje:

$$\sigma = \frac{N_{Ed}}{A} = \frac{545.5 * 10^3}{320 * 370} = 4.6\ MPa < 15\ MPa\ (CUMPLE)$$

A continuación se comprueba la rigidez de la placa para verificar el espesor de la misma. Se coge una rebanada de anchura 1 mm de la placa y se asume que trabaja como una viga biapoyada con una carga lineal uniformemente repartida a lo largo de una distancia L=h_{IPE}=300 mm.

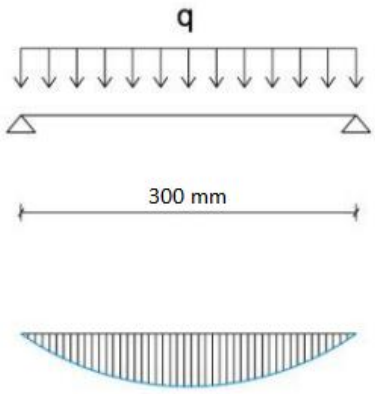


Figura 237 Esquema de viga biapoyada

El valor de la carga distribuida q:

$$q = \sigma * 1\ mm = 4.6\ N/mm$$

Lo que da lugar a un momento máximo igual a:

$$M_{máx} = q * \frac{L^2}{8} = 51750\ N * mm$$

El momento máximo que admite la placa con un espesor de 35 mm es de :

$$M_{máx,placa} = \frac{I_y}{h_{máx}} * f_{yd} = \frac{\frac{35^3 * 1mm}{12}}{\frac{35}{2}} * \frac{275}{1.05} = 53471.2\ N * mm$$

Por lo tanto

$$M_{máx,placa} > M_{máx}\ (CUMPLE)$$

Lo siguiente que se va a dimensionar es la longitud mínima de los pernos.

Como se ha mencionado antes, el diámetro de los pernos será de 20 mm y las patillas se encontrarán a 90º.

Tal y como indica la norma en el artículo 69.5.1.1, la longitud neta de anclaje no podrá adoptar valores inferiores al mayor de los tres siguientes:

- $10 * \emptyset$
- 150 mm
- Dos tercios de la longitud básica de anclaje para barras comprimidas.

Siendo la longitud básica de anclaje distinta según la posición que estás ocupan en la pieza de hormigón. En este caso, al estar formando un ángulo de entre 45 y 90 grados (En este caso 90º) la posición de los pernos es de tipo I.

Para barras en posición I, la longitud básica de anclaje:

$$l_b = m * \emptyset^2 > \emptyset * \frac{f_{yk}}{20}$$

Siendo:

- $\emptyset$: diámetro de la barra, en mm
- m: coeficiente numérico, con los valores indicados en la tabla 69.5.1.2.a de la norma EHE-08 en función del tipo de acero.
- f_{yk}: límite elástico garantizado del acero en N/mm^2.

Por lo tanto, para obtener el coeficiente “m” se acude a la tabla 69.5.1.2.a:

Resistencia característica del hormigón (N/mm²)	m	
	B 400 S B400SD	B 500 S B 500SD
25	1,2	1,5
30	1,0	1,3
35	0,9	1,2
40	0,8	1,1
45	0,7	1,0
≥50	0,7	1,0

Figura 238 Coeficiente m

Como se puede observar en la Figura 238, al contar con una resistencia del hormigón de 25 N/mm², y unos pernos de tipo B 500-S, corresponde un coeficiente m de valor 1'5.

Por lo tanto:

$$l_b = m * \emptyset^2 = 1.5 * 20^2 = 600 > \emptyset * \frac{f_{yk}}{20} = 20 * \frac{500}{20} = 500\ (CUMPLE)$$

Se obtiene una longitud básica de anclaje de 600 mm, por lo que ya se pueden obtener las longitudes mínimas de anclaje:

- $10 * \emptyset = 200\ mm$
- 150 mm
- $\frac{2}{3} l_b = \frac{2}{3} * 600 = 256\ mm$

Así que la longitud mínima de anclaje no puede ser inferior a 256 mm. Se decide adoptar una longitud de anclaje igual a 400 mm.

Referencia:

-Placa base: Ancho X: 370 mm Ancho Y: 320 mm Espesor: 35 mm
-Pernos: 4Ø20 mm L=40 cm Patilla a 90 grados
-Disposición: Posición X: Centrada Posición Y: Centrada

Comprobación	Valores	Estado
Separación mínima entre pernos: *3diámetros*	Mínimo: 60 mm Calculado: 120 mm	Cumple
Separación mínima pernos-perfil: *1.5diámetros*	Mínimo: 30 mm Calculado: 76 mm	Cumple
Separación mínima pernos-borde: *1.5diámetros*	Mínimo: 30 mm Calculado: 100 mm	Cumple
Longitud mínima del perno: *Se calcula la longitud de anclaje necesaria por adherencia.*	Mínimo: 20 cm Calculado: 40 cm	Cumple
Anclaje perno en hormigón: - Tracción: - Cortante: - Tracción + Cortante:	 Máximo: 88.9 kN Calculado: 6.22 kN Máximo: 62.23 kN Calculado: 17.12 kN Máximo: 88.9 kN Calculado: 30.67 kN	 Cumple Cumple Cumple
Tracción en vástago de pernos:	Máximo: 79.89 kN Calculado: 7.59 kN	Cumple
Tensión de Von Mises en vástago de pernos:	Máximo: 380.952 MPa Calculado: 100.081 MPa	Cumple
Aplastamiento perno en placa: *Límite del cortante en un perno actuando contra la placa*	Máximo: 366.67 kN Calculado: 15.85 kN	Cumple
Tensión de Von Mises en secciones globales:	Máximo: 261.905 MPa Calculado: 0 MPa	Cumple
Flecha global equivalente: *Limitación de la deformabilidad de los vuelos*	Mínimo: 250 Calculado: 100000	Cumple
Tensión de Von Mises local: *Tensión por tracción de pernos sobre placas en voladizo*	Máximo: 261.905 MPa Calculado: 4.86396 MPa	Cumple
Se cumplen todas las comprobaciones		

Información adicional:

- Relación rotura pésima sección de hormigón: 0.163
- Punto de tensión local máxima: (0.004, -0.135)

Figura 239 Comprobaciones de CYPE

10.2. Pilares hastiales

Las dimensiones de la placa de anclaje en los pilares hastiales son de 35x290x500 y los pernos utilizados son de 20 mm de diámetro B 500-S.

Se empieza por comprobar si el esfuerzo de compresión es menor que el máximo admisible del mortero (15 MPa). Para ello se necesitan los esfuerzos en la base del pilar en valor de cálculo.

Gracias al software comercial de CYPE se obtienen las acciones por hipótesis en la base del pilar hastial más solicitado (Pilar).

[KN,m]	CP	N	V1a	V1b	V2	SCUpg(frena+)	SCUpg(frena-)
Nx	-27	-9,9	-72,6	-107	22	-17	0
Vz	0	0	-42,7	-42	30	0	0

La combinación más desfavorable para los esfuerzos de la Tabla 48:

$$1.35\ CP + 1.5\ V1b + 1.5*0.7\ SCU_{PG(frena+)} + 1.5*0.5\ N$$

Lo que resulta en los siguientes esfuerzos:

$$N_{Ed} = 1.35 * (-27) + 1.5 * (-107) + 1.5 * 0.7 * (-17) + 1.5 * 0.5 * (-9.9) = 222.3\ KN$$

$$V_{z,Ed} = 1.35 * (0) + 1.5 * (-42) + 1.5 * 0.7 * (0) + 1.5 * 0.5 * (0) = 63\ KN$$

Por lo tanto la presión en la placa de anclaje:

$$\sigma = \frac{N_{Ed}}{A} = \frac{222.3 * 10^3}{290 * 500} = 1.53\ MPa < 15\ MPa\ (CUMPLE)$$

A continuación se comprueba la rigidez de la placa para verificar el espesor de la misma. Se coge una rebanada de anchura 1 mm de la placa y se asume que trabaja como una viga biapoyada con una carga lineal uniformemente repartida a lo largo de una distancia L=h_{IPE}=380 mm.

El valor de la carga distribuida q:

$$q = \sigma * 1\ mm = 1.53\ N/mm$$

Lo que da lugar a un momento máximo igual a:

$$M_{máx} = q * \frac{L^2}{8} = 27616.5\ N * mm$$

El momento máximo que admite la placa con un espesor de 35 mm es de :

$$M_{máx,placa} = \frac{I_y}{h_{máx}} * f_{yd} = \frac{\frac{35^3 * 1mm}{12}}{\frac{35}{2}} * \frac{275}{1.05} = 53471.2\ N * mm$$

Por lo tanto

$$M_{máx,placa} > M_{máx}\ (CUMPLE)$$

Para la longitud mínima de anclaje se obtienen los mismos resultados que en la placa de anclaje de los pilares principales. Por lo tanto, la longitud mínima de anclaje no puede ser inferior a 256 mm. Se decide adoptar una longitud de anclaje igual a 700 mm.

Referencia: -Placa base: Ancho X: 290 mm Ancho Y: 500 mm Espesor: 35 mm -Pernos: 4Ø20 mm L=70 cm Patilla a 90 grados -Disposición: Posición X: Centrada Posición Y: Centrada		
Comprobación	Valores	Estado
Separación mínima entre pernos: *3 diámetros*	Mínimo: 60 mm Calculado: 90 mm	Cumple
Separación mínima pernos-perfil: *1.5 diámetros*	Mínimo: 30 mm Calculado: 41 mm	Cumple
Separación mínima pernos-borde: *1.5 diámetros*	Mínimo: 30 mm Calculado: 100 mm	Cumple
Longitud mínima del perno: *Se calcula la longitud de anclaje necesaria por adherencia.*	Mínimo: 20 cm Calculado: 70 cm	Cumple
Anclaje perno en hormigón:		
- Tracción:	Máximo: 155.57 kN Calculado: 39.57 kN	Cumple
- Cortante:	Máximo: 108.9 kN Calculado: 53.77 kN	Cumple
- Tracción + Cortante:	Máximo: 155.57 kN Calculado: 116.38 kN	Cumple
Tracción en vástago de pernos:	Máximo: 79.89 kN Calculado: 38.02 kN	Cumple
Tensión de Von Mises en vástago de pernos:	Máximo: 380.952 MPa Calculado: 331.573 MPa	Cumple
Aplastamiento perno en placa: *Límite del cortante en un perno actuando contra la placa*	Máximo: 366.67 kN Calculado: 50.4 kN	Cumple
Tensión de Von Mises en secciones globales:	Máximo: 261.905 MPa	
- Derecha:	Calculado: 9.69543 MPa	Cumple
- Izquierda:	Calculado: 9.69543 MPa	Cumple
- Arriba:	Calculado: 3.94041 MPa	Cumple
- Abajo:	Calculado: 3.94041 MPa	Cumple
Flecha global equivalente: *Limitación de la deformabilidad de los vuelos*	Mínimo: 250	
- Derecha:	Calculado: 47597.7	Cumple
- Izquierda:	Calculado: 47597.7	Cumple
- Arriba:	Calculado: 100000	Cumple
- Abajo:	Calculado: 100000	Cumple
Tensión de Von Mises local: *Tensión por tracción de pernos sobre placas en voladizo*	Máximo: 261.905 MPa Calculado: 16.2446 MPa	Cumple
Se cumplen todas las comprobaciones		
Información adicional:		
- Relación rotura pésima sección de hormigón: 0.0612		
- Punto de tensión local máxima: (0.0047,-0.2104)		

Figura 240 Comprobaciones de CYPE

11. Cimentación

Se procede a calcular la cimentación de la estructura basada en zapatas aisladas que irán arriostradas con una viga de atado y con vigas centradoras para el caso de las zapatas de esquina.

Se establecen 5 tipos de zapatas cuya distribución se puede consultar en la siguiente figura.

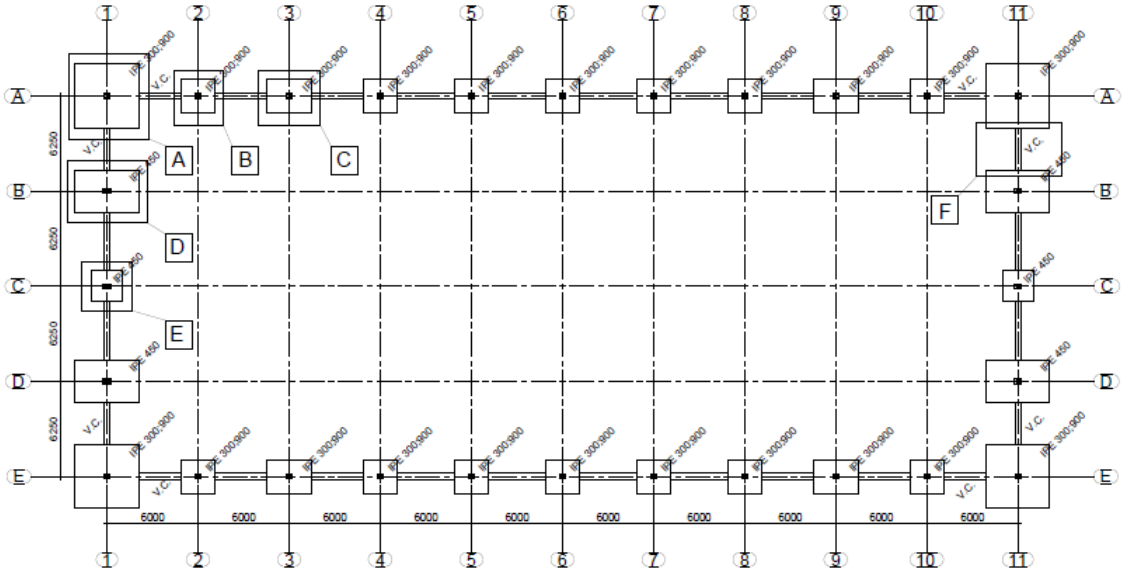


Figura 241 Distribución de la cimentación

Como se puede observar en la Figura 241, las zapatas se encuentran divididas en A, B, C, D, y E.

Se van a aportar los resultados dados por el software informático de CYPE el cual realiza las siguientes comprobaciones:

- Hundimiento: El hundimiento se alcanzará cuando la presión actuante sobre el terreno supera la resistencia característica del terreno, también llamada presión de hundimiento.
- Deslizamiento: Se podrá producir este modo de rotura cuando, en elementos que hayan de soportar cargas horizontales, las tensiones de corte en el contacto de la cimentación con el terreno superen la resistencia de ese contacto.
- Vuelco: Se produce cuando sobre las cimentaciones que hayan de soportar cargas horizontales y momentos importantes, el movimiento predominante sea el giro de la cimentación.
- Capacidad estructural: Este estado límite se alcanzará cuando los valores de cálculo de los efectos de las acciones en los elementos estructurales que componen el cimiento superen el valor de cálculo de su capacidad resistente. En general, el cálculo estructural se realiza sin teneren cuenta el peso propio del cimiento, ya que la armadura de este comienza a trabajar una vez fraguado el hormigón y asentado el cimiento en el terreno.

Se va a utilizar para toda la cimentación hormigón HA-25, acero B 500-S y unas características del terreno para situaciones persistentes de 0.11 MPa y para situaciones accidentales de 0.16 MPa. Estas características del terreno deberían realizarse mediante un estudio geotécnico, lo cual no es objeto de estudio en el presente proyecto, por lo que se tomarán esos valores de referencia para el cálculo de la cimentación.

11.1. Zapata A

Referencia: N21 Dimensiones: 420 x 420 x 100 Armados: Xi:Ø16c/20 Yi:Ø16c/20 Xs:Ø16c/20 Ys:Ø16c/20		
Comprobación	Valores	Estado
Tensiones sobre el terreno: *Criterio de CYPE*		
- Tensión media en situaciones persistentes:	Máximo: 0.11 MPa Calculado: 0.0434583 MPa	Cumple
- Tensión máxima en situaciones persistentes sin viento:	Máximo: 0.137438 MPa Calculado: 0.0291357 MPa	Cumple
- Tensión máxima en situaciones persistentes con viento:	Máximo: 0.137438 MPa Calculado: 0.0434583 MPa	Cumple
Vuelco de la zapata:		
- En dirección X:		No procede(1)
- En dirección Y: ***(1)*** *Sin momento de vuelco*		No procede(1)
Flexión en la zapata:		
- En dirección X:	Momento: 236.62 kN·m	Cumple
- En dirección Y:	Momento: 240.83 kN·m	Cumple
Cortante en la zapata:		
- En dirección X:	Cortante: 119.98 kN	Cumple
- En dirección Y:	Cortante: 123.02 kN	Cumple
Compresión oblicua en la zapata:		
- Situaciones persistentes: *Criterio de CYPE*	Máximo: 5000 kN/m² Calculado: 416 kN/m²	Cumple
Canto mínimo: *Artículo 58.8.1 de la norma EHE-08*	Mínimo: 25 cm Calculado: 100 cm	Cumple

Referencia: N21 Dimensiones: 420 x 420 x 100 Armados: Xi:Ø16c/20 Yi:Ø16c/20 Xs:Ø16c/20 Ys:Ø16c/20		
Comprobación	Valores	Estado
Espacio para anclar arranques en cimentación: - N21:	Mínimo: 0 cm Calculado: 92 cm	Cumple
Cuantía geométrica mínima: *Artículo 42.3.5 de la norma EHE-08* - Armado inferior dirección X: - Armado superior dirección X: - Armado inferior dirección Y: - Armado superior dirección Y:	Mínimo: 0.0009 Calculado: 0.001 Calculado: 0.001 Calculado: 0.001 Calculado: 0.001	Cumple Cumple Cumple Cumple
Cuantía mínima necesaria por flexión: *Artículo 42.3.2 de la norma EHE-08* - Armado inferior dirección X: - Armado inferior dirección Y: - Armado superior dirección X: - Armado superior dirección Y:	Calculado: 0.001 Mínimo: 0.0003 Mínimo: 0.0003 Mínimo: 0.0002 Mínimo: 0.0002	Cumple Cumple Cumple Cumple
Diámetro mínimo de las barras: *Recomendación del Artículo 58.8.2 (norma EHE-08)* - Parrilla inferior: - Parrilla superior:	Mínimo: 12 mm Calculado: 16 mm Calculado: 16 mm	Cumple Cumple
Separación máxima entre barras: *Artículo 58.8.2 de la norma EHE-08* - Armado inferior dirección X: - Armado inferior dirección Y: - Armado superior dirección X: - Armado superior dirección Y:	Máximo: 30 cm Calculado: 20 cm Calculado: 20 cm Calculado: 20 cm Calculado: 20 cm	Cumple Cumple Cumple Cumple

Referencia: N21 Dimensiones: 420 x 420 x 100 Armados: Xi:Ø16c/20 Yi:Ø16c/20 Xs:Ø16c/20 Ys:Ø16c/20		
Comprobación	Valores	Estado
Separación mínima entre barras: *Criterio de CYPE, basado en: J. Calavera. "Cálculo de Estructuras de Cimentación". Capítulo 3.16*	Mínimo: 10 cm	
- Armado inferior dirección X:	Calculado: 20 cm	Cumple
- Armado inferior dirección Y:	Calculado: 20 cm	Cumple
- Armado superior dirección X:	Calculado: 20 cm	Cumple
- Armado superior dirección Y:	Calculado: 20 cm	Cumple
Longitud de anclaje: *Criterio del libro "Cálculo de estructuras de cimentación", J. Calavera. Ed. INTEMAC, 1991*		
- Armado inf. dirección X hacia der:	Mínimo: 16 cm Calculado: 128 cm	Cumple
- Armado inf. dirección X hacia izq:	Mínimo: 16 cm Calculado: 128 cm	Cumple
- Armado inf. dirección Y hacia arriba:	Mínimo: 16 cm Calculado: 130 cm	Cumple
- Armado inf. dirección Y hacia abajo:	Mínimo: 16 cm Calculado: 130 cm	Cumple
- Armado sup. dirección X hacia der:	Mínimo: 19 cm Calculado: 128 cm	Cumple
- Armado sup. dirección X hacia izq:	Mínimo: 19 cm Calculado: 128 cm	Cumple
- Armado sup. dirección Y hacia arriba:	Mínimo: 19 cm Calculado: 130 cm	Cumple
- Armado sup. dirección Y hacia abajo:	Mínimo: 19 cm Calculado: 130 cm	Cumple
Longitud mínima de las patillas:	Mínimo: 16 cm	
- Armado inf. dirección X hacia der:	Calculado: 20 cm	Cumple

Referencia: N21

Dimensiones: 420 x 420 x 100

Armados: Xi:Ø16c/20 Yi:Ø16c/20 Xs:Ø16c/20 Ys:Ø16c/20

Comprobación	Valores	Estado
- Armado inf. dirección X hacia izq:	Calculado: 20 cm	Cumple
- Armado inf. dirección Y hacia arriba:	Calculado: 20 cm	Cumple
- Armado inf. dirección Y hacia abajo:	Calculado: 20 cm	Cumple
- Armado sup. dirección X hacia der:	Calculado: 20 cm	Cumple
- Armado sup. dirección X hacia izq:	Calculado: 20 cm	Cumple
- Armado sup. dirección Y hacia arriba:	Calculado: 20 cm	Cumple
- Armado sup. dirección Y hacia abajo:	Calculado: 20 cm	Cumple

Se cumplen todas las comprobaciones

Información adicional:

- Zapata de tipo rígido (Artículo 58.2 de la norma EHE-08)
- Relación rotura pésima (En dirección X): 0.17
- Relación rotura pésima (En dirección Y): 0.18
- Cortante de agotamiento (En dirección X): 1735.00 kN
- Cortante de agotamiento (En dirección Y): 1735.00 kN

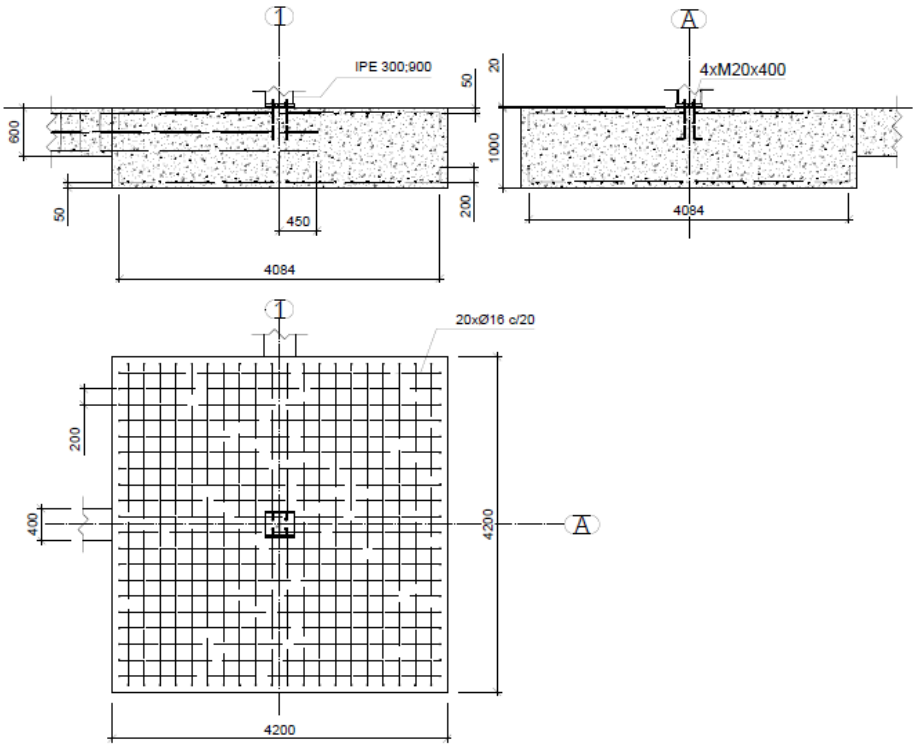


Figura 242 Detalle de la zapata A

11.2. Zapata B

Referencia: N8 Dimensiones: 220 x 220 x 100 Armados: Xi:Ø16c/20 Yi:Ø16c/20 Xs:Ø16c/20 Ys:Ø16c/20		
Comprobación	Valores	Estado
Tensiones sobre el terreno: *Criterio de CYPE*		
- Tensión media en situaciones persistentes:	Máximo: 0.11 MPa Calculado: 0.040221 MPa	Cumple
- Tensión máxima en situaciones persistentes sin viento:	Máximo: 0.137438 MPa Calculado: 0.0507177 MPa	Cumple
- Tensión máxima en situaciones persistentes con viento:	Máximo: 0.137438 MPa Calculado: 0.0554265 MPa	Cumple
Vuelco de la zapata: - En dirección X: - En dirección Y: *Si el % de reserva de seguridad es mayor que cero, quiere decir que los coeficientes de seguridad al vuelco son mayores que los valores estrictos exigidos para todas las combinaciones de equilibrio.* ***(1)*** *Sin momento de vuelco*	Reserva seguridad: 61.1 %	No procede***(1)*** Cumple
Flexión en la zapata: - En dirección X: - En dirección Y:	Momento: 77.09 kN·m Momento: 41.06 kN·m	Cumple Cumple
Cortante en la zapata: - En dirección X: - En dirección Y:	Cortante: 0.00 kN Cortante: 1.67 kN	Cumple Cumple
Compresión oblicua en la zapata: - Situaciones persistentes: *Criterio de CYPE*	Máximo: 5000 kN/m² Calculado: 102.6 kN/m²	Cumple
Canto mínimo: *Artículo 58.8.1 de la norma EHE-08*	Mínimo: 25 cm Calculado: 100 cm	Cumple

Referencia: N8 Dimensiones: 220 x 220 x 100 Armados: Xi:Ø16c/20 Yi:Ø16c/20 Xs:Ø16c/20 Ys:Ø16c/20		
Comprobación	Valores	Estado
Espacio para anclar arranques en cimentación: - N8:	Mínimo: 0 cm Calculado: 92 cm	Cumple
Cuantía geométrica mínima: *Artículo 42.3.5 de la norma EHE-08* - Armado inferior dirección X: - Armado superior dirección X: - Armado inferior dirección Y: - Armado superior dirección Y:	Mínimo: 0.0009 Calculado: 0.00091 Calculado: 0.00091 Calculado: 0.00091 Calculado: 0.00091	Cumple Cumple Cumple Cumple
Cuantía mínima necesaria por flexión: *Artículo 42.3.2 de la norma EHE-08* - Armado inferior dirección X: - Armado inferior dirección Y: - Armado superior dirección X: - Armado superior dirección Y:	Calculado: 0.001 Mínimo: 0.0002 Mínimo: 0.0001 Mínimo: 0.0001 Mínimo: 0.0001	Cumple Cumple Cumple Cumple
Diámetro mínimo de las barras: *Recomendación del Artículo 58.8.2 (norma EHE-08)* - Parrilla inferior: - Parrilla superior:	Mínimo: 12 mm Calculado: 16 mm Calculado: 16 mm	Cumple Cumple
Separación máxima entre barras: *Artículo 58.8.2 de la norma EHE-08* - Armado inferior dirección X: - Armado inferior dirección Y: - Armado superior dirección X: - Armado superior dirección Y:	Máximo: 30 cm Calculado: 20 cm Calculado: 20 cm Calculado: 20 cm Calculado: 20 cm	Cumple Cumple Cumple Cumple

Referencia: N8 Dimensiones: 220 x 220 x 100 Armados: Xi:Ø16c/20 Yi:Ø16c/20 Xs:Ø16c/20 Ys:Ø16c/20		
Comprobación	Valores	Estado
Separación mínima entre barras: *Criterio de CYPE, basado en: J. Calavera. "Cálculo de Estructuras de Cimentación". Capítulo 3.16*	Mínimo: 10 cm	
- Armado inferior dirección X:	Calculado: 20 cm	Cumple
- Armado inferior dirección Y:	Calculado: 20 cm	Cumple
- Armado superior dirección X:	Calculado: 20 cm	Cumple
- Armado superior dirección Y:	Calculado: 20 cm	Cumple
Longitud de anclaje: *Criterio del libro "Cálculo de estructuras de cimentación", J. Calavera. Ed. INTEMAC, 1991*	Calculado: 20 cm	
- Armado inf. dirección X hacia der:	Mínimo: 16 cm	Cumple
- Armado inf. dirección X hacia izq:	Mínimo: 16 cm	Cumple
- Armado inf. dirección Y hacia arriba:	Mínimo: 16 cm	Cumple
- Armado inf. dirección Y hacia abajo:	Mínimo: 16 cm	Cumple
- Armado sup. dirección X hacia der:	Mínimo: 19 cm	Cumple
- Armado sup. dirección X hacia izq:	Mínimo: 19 cm	Cumple
- Armado sup. dirección Y hacia arriba:	Mínimo: 19 cm	Cumple
- Armado sup. dirección Y hacia abajo:	Mínimo: 19 cm	Cumple
Longitud mínima de las patillas:	Mínimo: 16 cm	
- Armado inf. dirección X hacia der:	Calculado: 20 cm	Cumple
- Armado inf. dirección X hacia izq:	Calculado: 20 cm	Cumple
- Armado inf. dirección Y hacia arriba:	Calculado: 20 cm	Cumple
- Armado inf. dirección Y hacia abajo:	Calculado: 20 cm	Cumple
- Armado sup. dirección X hacia der:	Calculado: 20 cm	Cumple
- Armado sup. dirección X hacia izq:	Calculado: 20 cm	Cumple
- Armado sup. dirección Y hacia arriba:	Calculado: 20 cm	Cumple

Referencia: N8		
Dimensiones: 220 x 220 x 100		
Armados: Xi:Ø16c/20 Yi:Ø16c/20 Xs:Ø16c/20 Ys:Ø16c/20		
Comprobación	Valores	Estado
- Armado sup. dirección Y hacia abajo:	Calculado: 20 cm	Cumple
Se cumplen todas las comprobaciones		
Información adicional:		
- Zapata de tipo rígido (Artículo 58.2 de la norma EHE-08)		
- Relación rotura pésima (En dirección X): 0.12		
- Relación rotura pésima (En dirección Y): 0.07		
- Cortante de agotamiento (En dirección X): 0.00 kN		
- Cortante de agotamiento (En dirección Y): 908.80 kN		

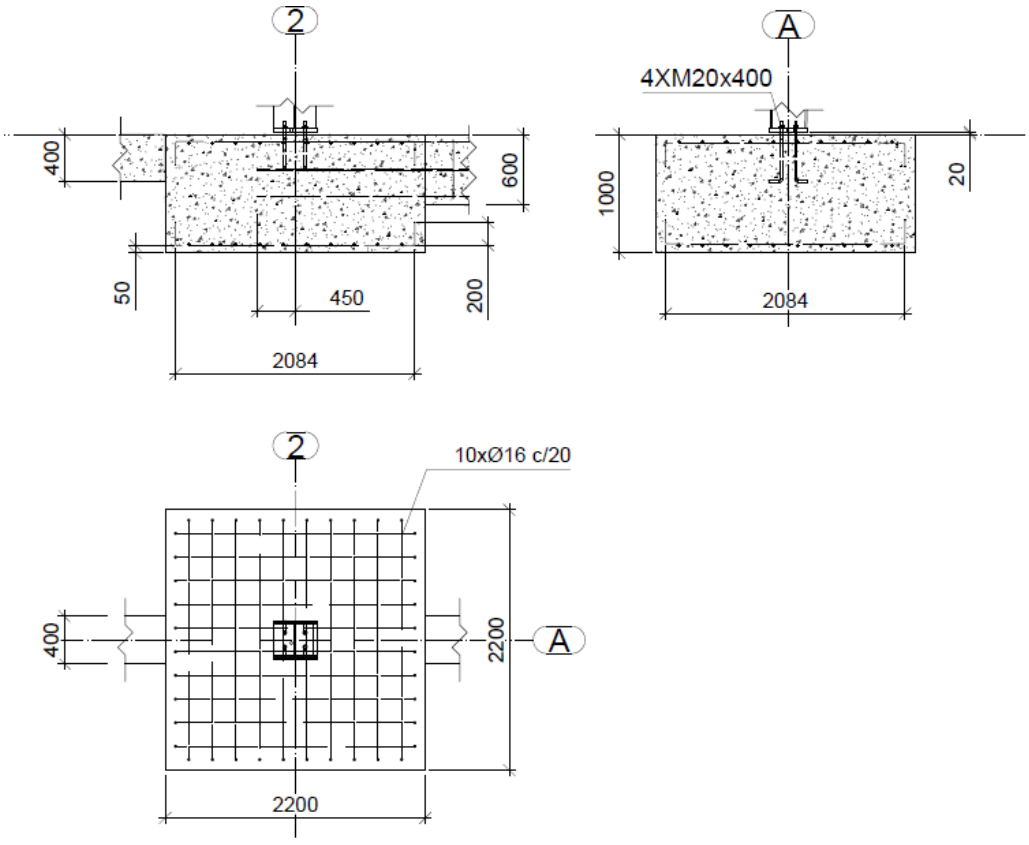


Figura 243 Detalle de la zapata B

11.3. Zapata C

12. Referencia: N100 Dimensiones: 300 x 220 x 100 Armados: Xi:Ø16c/20 Yi:Ø16c/20 Xs:Ø16c/20 Ys:Ø16c/20		
Comprobación	Valores	Estado
Tensiones sobre el terreno: *Criterio de CYPE*		
- Tensión media en situaciones persistentes:	Máximo: 0.11 MPa Calculado: 0.0489519 MPa	Cumple
- Tensión máxima en situaciones persistentes sin viento:	Máximo: 0.137438 MPa Calculado: 0.0516006 MPa	Cumple
- Tensión máxima en situaciones persistentes con viento:	Máximo: 0.137438 MPa Calculado: 0.0613125 MPa	Cumple
Vuelco de la zapata: *Si el % de reserva de seguridad es mayor que cero, quiere decir que los coeficientes de seguridad al vuelco son mayores que los valores estrictos exigidos para todas las combinaciones de equilibrio.*		
- En dirección X:	Reserva seguridad: 4.3 %	Cumple
- En dirección Y:	Reserva seguridad: 126.0 %	Cumple
Flexión en la zapata:		
- En dirección X:	Momento: 68.51 kN·m	Cumple
- En dirección Y:	Momento: 64.55 kN·m	Cumple
Cortante en la zapata:		
- En dirección X:	Cortante: 28.25 kN	Cumple
- En dirección Y:	Cortante: 2.45 kN	Cumple
Compresión oblicua en la zapata:		
- Situaciones persistentes: *Criterio de CYPE*	Máximo: 5000 kN/m² Calculado: 178.3 kN/m²	Cumple
Canto mínimo: *Artículo 58.8.1 de la norma EHE-08*	Mínimo: 25 cm Calculado: 100 cm	Cumple
Espacio para anclar arranques en cimentación:	Mínimo: 0 cm	
- N100:	Calculado: 92 cm	Cumple

12. Referencia: N100

Dimensiones: 300 x 220 x 100

Armados: Xi:Ø16c/20 Yi:Ø16c/20 Xs:Ø16c/20 Ys:Ø16c/20

Comprobación	Valores	Estado
Cuantía geométrica mínima:		
Artículo 42.3.5 de la norma EHE-08	Mínimo: 0.0009	
- Armado inferior dirección X:	Calculado: 0.00091	Cumple
- Armado superior dirección X:	Calculado: 0.00091	Cumple
- Armado inferior dirección Y:	Calculado: 0.00094	Cumple
- Armado superior dirección Y:	Calculado: 0.00094	Cumple
Cuantía mínima necesaria por flexión:		
Artículo 42.3.2 de la norma EHE-08	Calculado: 0.001	
- Armado inferior dirección X:	Mínimo: 0.0002	Cumple
- Armado inferior dirección Y:	Mínimo: 0.0001	Cumple
- Armado superior dirección X:	Mínimo: 0.0002	Cumple
- Armado superior dirección Y:	Mínimo: 0.0001	Cumple
Diámetro mínimo de las barras:		
Recomendación del Artículo 58.8.2 (norma EHE-08)	Mínimo: 12 mm	
- Parrilla inferior:	Calculado: 16 mm	Cumple
- Parrilla superior:	Calculado: 16 mm	Cumple
Separación máxima entre barras:		
Artículo 58.8.2 de la norma EHE-08	Máximo: 30 cm	
- Armado inferior dirección X:	Calculado: 20 cm	Cumple
- Armado inferior dirección Y:	Calculado: 20 cm	Cumple
- Armado superior dirección X:	Calculado: 20 cm	Cumple
- Armado superior dirección Y:	Calculado: 20 cm	Cumple
Separación mínima entre barras:		
Criterio de CYPE, basado en: J. Calavera. "Cálculo de Estructuras de Cimentación". Capítulo 3.16	Mínimo: 10 cm	
- Armado inferior dirección X:	Calculado: 20 cm	Cumple

12. Referencia: N100 Dimensiones: 300 x 220 x 100 Armados: Xi:Ø16c/20 Yi:Ø16c/20 Xs:Ø16c/20 Ys:Ø16c/20		
Comprobación	Valores	Estado
- Armado inferior dirección Y:	Calculado: 20 cm	Cumple
- Armado superior dirección X:	Calculado: 20 cm	Cumple
- Armado superior dirección Y:	Calculado: 20 cm	Cumple
Longitud de anclaje: *Criterio del libro "Cálculo de estructuras de cimentación", J. Calavera. Ed. INTEMAC, 1991*		
- Armado inf. dirección X hacia der:	Mínimo: 16 cm Calculado: 68 cm	Cumple
- Armado inf. dirección X hacia izq:	Mínimo: 16 cm Calculado: 68 cm	Cumple
- Armado inf. dirección Y hacia arriba:	Mínimo: 16 cm Calculado: 20 cm	Cumple
- Armado inf. dirección Y hacia abajo:	Mínimo: 16 cm Calculado: 20 cm	Cumple
- Armado sup. dirección X hacia der:	Mínimo: 19 cm Calculado: 68 cm	Cumple
- Armado sup. dirección X hacia izq:	Mínimo: 19 cm Calculado: 68 cm	Cumple
- Armado sup. dirección Y hacia arriba:	Mínimo: 19 cm Calculado: 20 cm	Cumple
- Armado sup. dirección Y hacia abajo:	Mínimo: 19 cm Calculado: 20 cm	Cumple
Longitud mínima de las patillas:	Mínimo: 16 cm	
- Armado inf. dirección X hacia der:	Calculado: 20 cm	Cumple
- Armado inf. dirección X hacia izq:	Calculado: 20 cm	Cumple
- Armado inf. dirección Y hacia arriba:	Calculado: 20 cm	Cumple
- Armado inf. dirección Y hacia abajo:	Calculado: 20 cm	Cumple

12. Referencia: N100

Dimensiones: 300 x 220 x 100

Armados: Xi:Ø16c/20 Yi:Ø16c/20 Xs:Ø16c/20 Ys:Ø16c/20

Comprobación	Valores	Estado
- Armado sup. dirección X hacia der:	Calculado: 20 cm	Cumple
- Armado sup. dirección X hacia izq:	Calculado: 20 cm	Cumple
- Armado sup. dirección Y hacia arriba:	Calculado: 20 cm	Cumple
- Armado sup. dirección Y hacia abajo:	Calculado: 20 cm	Cumple

Se cumplen todas las comprobaciones

Información adicional:

- Zapata de tipo rígido (Artículo 58.2 de la norma EHE-08)
- Relación rotura pésima (En dirección X): 0.11
- Relación rotura pésima (En dirección Y): 0.07
- Cortante de agotamiento (En dirección X): 908.80 kN
- Cortante de agotamiento (En dirección Y): 1239.30 kN

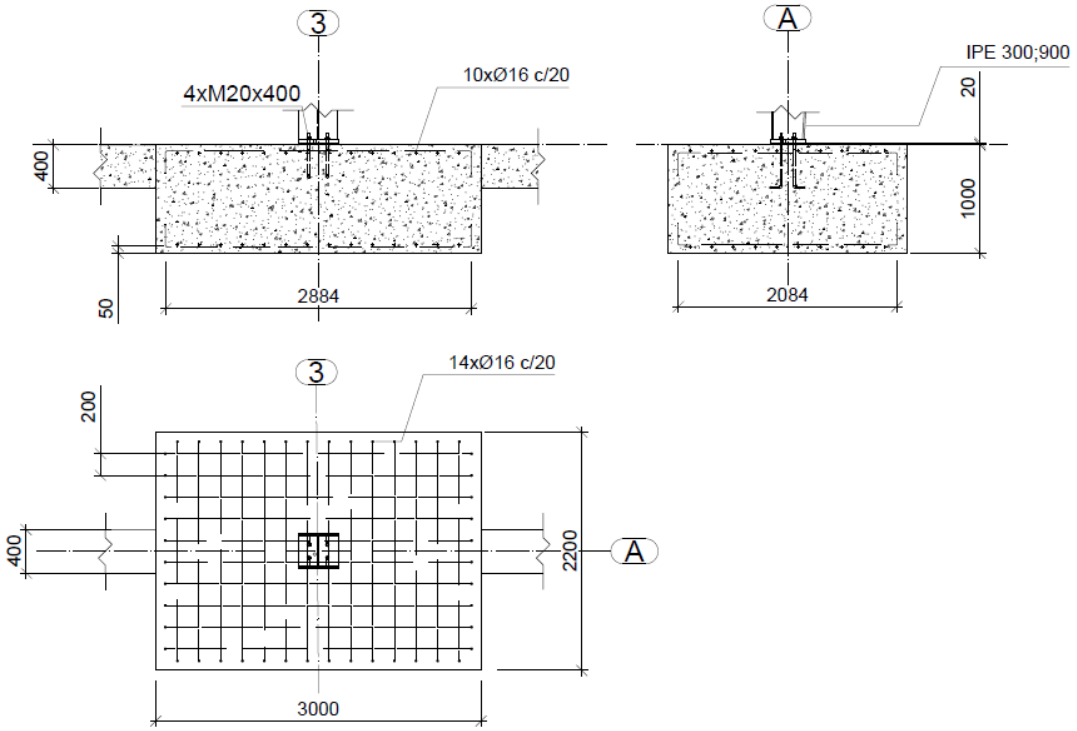


Figura 244 Detalle de la zapata C

11.4 Zapata D

12 Referencia: N30

Dimensiones: 280 x 420 x 100

Armados: Xi:Ø16c/20 Yi:Ø16c/20 Xs:Ø16c/20 Ys:Ø16c/20

Comprobación	Valores	Estado
Tensiones sobre el terreno: *Criterio de CYPE*		
- Tensión media en situaciones persistentes:	Máximo: 0.11 MPa Calculado: 0.0376704 MPa	Cumple
- Tensión máxima en situaciones persistentes sin viento:	Máximo: 0.137438 MPa Calculado: 0.0282528 MPa	Cumple
- Tensión máxima en situaciones persistentes con viento:	Máximo: 0.137438 MPa Calculado: 0.0507177 MPa	Cumple
Vuelco de la zapata:		
- En dirección X:		No procede(1)
- En dirección Y: *Si el % de reserva de seguridad es mayor que cero, quiere decir que los coeficientes de seguridad al vuelco son mayores que los valores estrictos exigidos para todas las combinaciones de equilibrio.* ***(1)** Sin momento de vuelco*	Reserva seguridad: 40.5 %	Cumple
Flexión en la zapata:		
- En dirección X:	Momento: 75.87 kN·m	Cumple
- En dirección Y:	Momento: 182.86 kN·m	Cumple
Cortante en la zapata:		
- En dirección X:	Cortante: 31.69 kN	Cumple
- En dirección Y:	Cortante: 95.84 kN	Cumple
Compresión oblicua en la zapata:		
- Situaciones persistentes: *Criterio de CYPE*	Máximo: 5000 kN/m² Calculado: 186.2 kN/m²	Cumple
Canto mínimo: *Artículo 58.8.1 de la norma EHE-08*	Mínimo: 25 cm Calculado: 100 cm	Cumple

12 Referencia: N30 Dimensiones: 280 x 420 x 100 Armados: Xi:Ø16c/20 Yi:Ø16c/20 Xs:Ø16c/20 Ys:Ø16c/20		
Comprobación	Valores	Estado
Espacio para anclar arranques en cimentación: - N30:	Mínimo: 0 cm Calculado: 92 cm	Cumple
Cuantía geométrica mínima: *Artículo 42.3.5 de la norma EHE-08* - Armado inferior dirección X: - Armado superior dirección X: - Armado inferior dirección Y: - Armado superior dirección Y:	Mínimo: 0.0009 Calculado: 0.001 Calculado: 0.001 Calculado: 0.00093 Calculado: 0.00093	Cumple Cumple Cumple Cumple
Cuantía mínima necesaria por flexión: *Artículo 42.3.2 de la norma EHE-08* - Armado inferior dirección X: - Armado inferior dirección Y: - Armado superior dirección X: - Armado superior dirección Y:	Calculado: 0.001 Mínimo: 0.0001 Mínimo: 0.0003 Mínimo: 0.0001 Mínimo: 0.0003	Cumple Cumple Cumple Cumple
Diámetro mínimo de las barras: *Recomendación del Artículo 58.8.2 (norma EHE-08)* - Parrilla inferior: - Parrilla superior:	Mínimo: 12 mm Calculado: 16 mm Calculado: 16 mm	Cumple Cumple
Separación máxima entre barras: *Artículo 58.8.2 de la norma EHE-08* - Armado inferior dirección X: - Armado inferior dirección Y: - Armado superior dirección X: - Armado superior dirección Y:	Máximo: 30 cm Calculado: 20 cm Calculado: 20 cm Calculado: 20 cm Calculado: 20 cm	Cumple Cumple Cumple Cumple

12 Referencia: N30

Dimensiones: 280 x 420 x 100

Armados: Xi:Ø16c/20 Yi:Ø16c/20 Xs:Ø16c/20 Ys:Ø16c/20

Comprobación	Valores	Estado
Separación mínima entre barras: *Criterio de CYPE, basado en: J. Calavera. "Cálculo de Estructuras de Cimentación". Capítulo 3.16*	Mínimo: 10 cm	
- Armado inferior dirección X:	Calculado: 20 cm	Cumple
- Armado inferior dirección Y:	Calculado: 20 cm	Cumple
- Armado superior dirección X:	Calculado: 20 cm	Cumple
- Armado superior dirección Y:	Calculado: 20 cm	Cumple
Longitud de anclaje: *Criterio del libro "Cálculo de estructuras de cimentación", J. Calavera. Ed. INTEMAC, 1991*		
- Armado inf. dirección X hacia der:	Mínimo: 16 cm Calculado: 64 cm	Cumple
- Armado inf. dirección X hacia izq:	Mínimo: 16 cm Calculado: 64 cm	Cumple
- Armado inf. dirección Y hacia arriba:	Mínimo: 16 cm Calculado: 125 cm	Cumple
- Armado inf. dirección Y hacia abajo:	Mínimo: 16 cm Calculado: 125 cm	Cumple
- Armado sup. dirección X hacia der:	Mínimo: 19 cm Calculado: 64 cm	Cumple
- Armado sup. dirección X hacia izq:	Mínimo: 19 cm Calculado: 64 cm	Cumple
- Armado sup. dirección Y hacia arriba:	Mínimo: 19 cm Calculado: 125 cm	Cumple
- Armado sup. dirección Y hacia abajo:	Mínimo: 19 cm Calculado: 125 cm	Cumple
Longitud mínima de las patillas:	Mínimo: 16 cm	
- Armado inf. dirección X hacia der:	Calculado: 20 cm	Cumple

12 Referencia: N30

Dimensiones: 280 x 420 x 100

Armados: Xi:Ø16c/20 Yi:Ø16c/20 Xs:Ø16c/20 Ys:Ø16c/20

Comprobación	Valores	Estado
- Armado inf. dirección X hacia izq:	Calculado: 20 cm	Cumple
- Armado inf. dirección Y hacia arriba:	Calculado: 20 cm	Cumple
- Armado inf. dirección Y hacia abajo:	Calculado: 20 cm	Cumple
- Armado sup. dirección X hacia der:	Calculado: 20 cm	Cumple
- Armado sup. dirección X hacia izq:	Calculado: 20 cm	Cumple
- Armado sup. dirección Y hacia arriba:	Calculado: 20 cm	Cumple
- Armado sup. dirección Y hacia abajo:	Calculado: 20 cm	Cumple

Se cumplen todas las comprobaciones

Información adicional:

- Zapata de tipo rígido (Artículo 58.2 de la norma EHE-08)
- Relación rotura pésima (En dirección X): 0.06
- Relación rotura pésima (En dirección Y): 0.21
- Cortante de agotamiento (En dirección X): 1735.00 kN
- Cortante de agotamiento (En dirección Y): 1156.70 kN

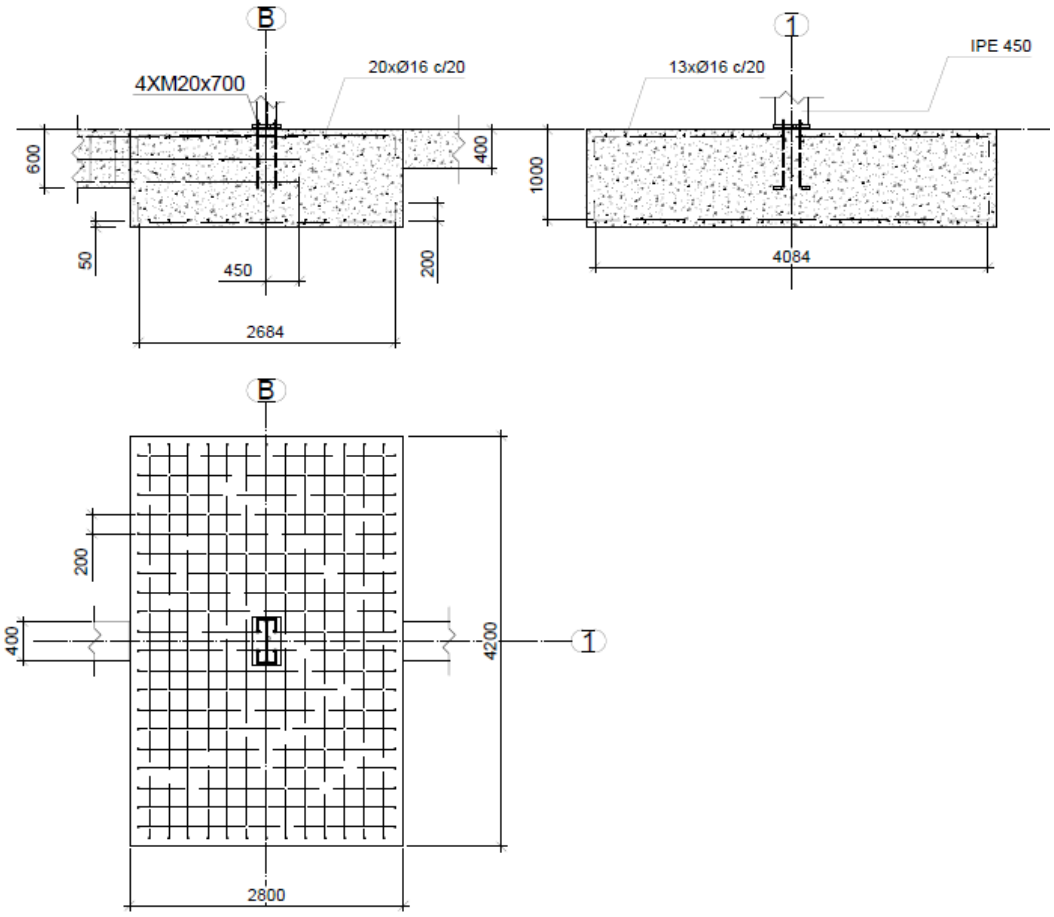


Figura 245 Detalle de zapata D

11.5 Zapata E

12 Referencia: N28

Dimensiones: 200 x 200 x 100

Armados: Xi:Ø16c/20 Yi:Ø16c/20 Xs:Ø16c/20 Ys:Ø16c/20

Comprobación	Valores	Estado
Tensiones sobre el terreno: *Criterio de CYPE*		
- Tensión media en situaciones persistentes:	Máximo: 0.11 MPa Calculado: 0.0338445 MPa	Cumple
- Tensión máxima en situaciones persistentes sin viento:	Máximo: 0.137438 MPa Calculado: 0.0339426 MPa	Cumple
- Tensión máxima en situaciones persistentes con viento:	Máximo: 0.137438 MPa Calculado: 0.0605277 MPa	Cumple
Vuelco de la zapata: *Si el % de reserva de seguridad es mayor que cero, quiere decir que los coeficientes de seguridad al vuelco son mayores que los valores estrictos exigidos para todas las combinaciones de equilibrio.*		
- En dirección X:	Reserva seguridad: 25414.5 %	Cumple
- En dirección Y:	Reserva seguridad: 94.7 %	Cumple
Flexión en la zapata:		
- En dirección X:	Momento: 13.10 kN·m	Cumple
- En dirección Y:	Momento: 30.65 kN·m	Cumple
Cortante en la zapata:		
- En dirección X:	Cortante: 0.00 kN	Cumple
- En dirección Y:	Cortante: 0.00 kN	Cumple
Compresión oblicua en la zapata:		
- Situaciones persistentes: *Criterio de CYPE*	Máximo: 5000 kN/m² Calculado: 50.2 kN/m²	Cumple
Canto mínimo: *Artículo 58.8.1 de la norma EHE-08*	Mínimo: 25 cm Calculado: 100 cm	Cumple

12 Referencia: N28

Dimensiones: 200 x 200 x 100

Armados: Xi:Ø16c/20 Yi:Ø16c/20 Xs:Ø16c/20 Ys:Ø16c/20

Comprobación	Valores	Estado
Espacio para anclar arranques en cimentación:	Mínimo: 0 cm	
- N28:	Calculado: 92 cm	Cumple
Cuantía geométrica mínima:		
Artículo 42.3.5 de la norma EHE-08	Mínimo: 0.0009	
- Armado inferior dirección X:	Calculado: 0.0009	Cumple
- Armado superior dirección X:	Calculado: 0.0009	Cumple
- Armado inferior dirección Y:	Calculado: 0.0009	Cumple
- Armado superior dirección Y:	Calculado: 0.0009	Cumple
Cuantía mínima necesaria por flexión:		
Artículo 42.3.2 de la norma EHE-08	Mínimo: 0.0001	
- Armado inferior dirección X:	Calculado: 0.001	Cumple
- Armado inferior dirección Y:	Calculado: 0.001	Cumple
- Armado superior dirección Y:	Calculado: 0.001	Cumple
Diámetro mínimo de las barras:		
Recomendación del Artículo 58.8.2 (norma EHE-08)	Mínimo: 12 mm	
- Parrilla inferior:	Calculado: 16 mm	Cumple
- Parrilla superior:	Calculado: 16 mm	Cumple
Separación máxima entre barras:		
Artículo 58.8.2 de la norma EHE-08	Máximo: 30 cm	
- Armado inferior dirección X:	Calculado: 20 cm	Cumple
- Armado inferior dirección Y:	Calculado: 20 cm	Cumple
- Armado superior dirección X:	Calculado: 20 cm	Cumple
- Armado superior dirección Y:	Calculado: 20 cm	Cumple
Separación mínima entre barras:		
Criterio de CYPE, basado en: J. Calavera. "Cálculo de Estructuras de Cimentación". Capítulo 3.16	Mínimo: 10 cm	

12 Referencia: N28

Dimensiones: 200 x 200 x 100

Armados: Xi:Ø16c/20 Yi:Ø16c/20 Xs:Ø16c/20 Ys:Ø16c/20

Comprobación	Valores	Estado
- Armado inferior dirección X:	Calculado: 20 cm	Cumple
- Armado inferior dirección Y:	Calculado: 20 cm	Cumple
- Armado superior dirección X:	Calculado: 20 cm	Cumple
- Armado superior dirección Y:	Calculado: 20 cm	Cumple
Longitud de anclaje: *Criterio del libro "Cálculo de estructuras de cimentación", J. Calavera. Ed. INTEMAC, 1991*	Calculado: 20 cm	
- Armado inf. dirección X hacia der:	Mínimo: 16 cm	Cumple
- Armado inf. dirección X hacia izq:	Mínimo: 16 cm	Cumple
- Armado inf. dirección Y hacia arriba:	Mínimo: 16 cm	Cumple
- Armado inf. dirección Y hacia abajo:	Mínimo: 16 cm	Cumple
- Armado sup. dirección X hacia der:	Mínimo: 19 cm	Cumple
- Armado sup. dirección X hacia izq:	Mínimo: 19 cm	Cumple
- Armado sup. dirección Y hacia arriba:	Mínimo: 19 cm	Cumple
- Armado sup. dirección Y hacia abajo:	Mínimo: 19 cm	Cumple
Longitud mínima de las patillas:	Mínimo: 16 cm	
- Armado inf. dirección X hacia der:	Calculado: 20 cm	Cumple
- Armado inf. dirección X hacia izq:	Calculado: 20 cm	Cumple
- Armado inf. dirección Y hacia arriba:	Calculado: 20 cm	Cumple
- Armado inf. dirección Y hacia abajo:	Calculado: 20 cm	Cumple
- Armado sup. dirección X hacia der:	Calculado: 20 cm	Cumple
- Armado sup. dirección X hacia izq:	Calculado: 20 cm	Cumple
- Armado sup. dirección Y hacia arriba:	Calculado: 20 cm	Cumple
- Armado sup. dirección Y hacia abajo:	Calculado: 20 cm	Cumple
Se cumplen todas las comprobaciones		

12 Referencia: N28		
Dimensiones: 200 x 200 x 100		
Armados: Xi:Ø16c/20 Yi:Ø16c/20 Xs:Ø16c/20 Ys:Ø16c/20		
Comprobación	Valores	Estado
Información adicional:		
- Zapata de tipo rígido (Artículo 58.2 de la norma EHE-08)		
- Relación rotura pésima (En dirección X): 0.03		
- Relación rotura pésima (En dirección Y): 0.06		
- Cortante de agotamiento (En dirección X): 0.00 kN		
- Cortante de agotamiento (En dirección Y): 0.00 kN		

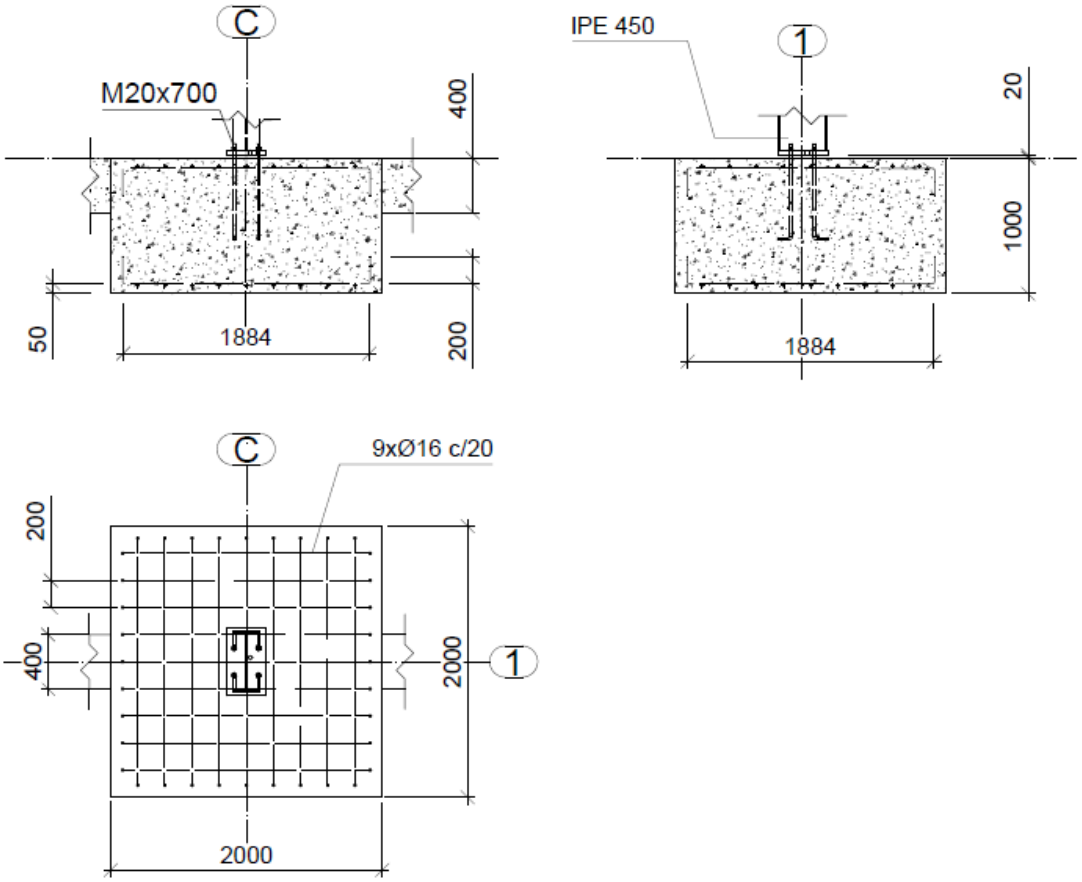


Figura 246 Detalle de la zapata E

11.5 Viga centradora

Referencia: VC.S-2 [N27-N21] (Viga centradora)
-Dimensiones: 40.0 cm x 60.0 cm
-Armadura superior: 4Ø20
-Armadura de piel: 1x2Ø12
-Armadura inferior: 4Ø20
-Estribos: 1xØ8c/30

Comprobación	Valores	Estado
Diámetro mínimo estribos:	Mínimo: 6 mm Calculado: 8 mm	Cumple
Separación mínima entre estribos: *Artículo 69.4.1 de la norma EHE-08*	Mínimo: 3.7 cm Calculado: 29.2 cm	Cumple
Separación mínima armadura longitudinal: *Artículo 69.4.1 de la norma EHE-08*	Mínimo: 3.7 cm	
- Armadura superior:	Calculado: 6.8 cm	Cumple
- Armadura inferior:	Calculado: 6.8 cm	Cumple
- Armadura de piel:	Calculado: 21.6 cm	Cumple
Separación máxima estribos: - Situaciones persistentes: *Artículo 44.2.3.4.1 de la norma EHE-08*	Máximo: 30 cm Calculado: 30 cm	Cumple
Separación máxima armadura longitudinal: *Artículo 42.3.1 de la norma EHE-08*	Máximo: 30 cm	
- Armadura superior:	Calculado: 6.8 cm	Cumple
- Armadura inferior:	Calculado: 6.8 cm	Cumple
- Armadura de piel:	Calculado: 21.6 cm	Cumple
Cuantía mínima para los estribos: - Situaciones persistentes: *Norma EHE-08. Artículo 44.2.3.4.1*	Mínimo: 3.14 cm²/m Calculado: 3.35 cm²/m	Cumple
Cuantía geométrica mínima armadura traccionada: *Norma EHE-08. Artículo 42.3.5*	Mínimo: 0.0028	
- Armadura inferior (Situaciones persistentes):	Calculado: 0.0052	Cumple

Referencia: VC.S-2 [N27-N21] (Viga centradora)
-Dimensiones: 40.0 cm x 60.0 cm
-Armadura superior: 4Ø20
-Armadura de piel: 1x2Ø12
-Armadura inferior: 4Ø20
-Estribos: 1xØ8c/30

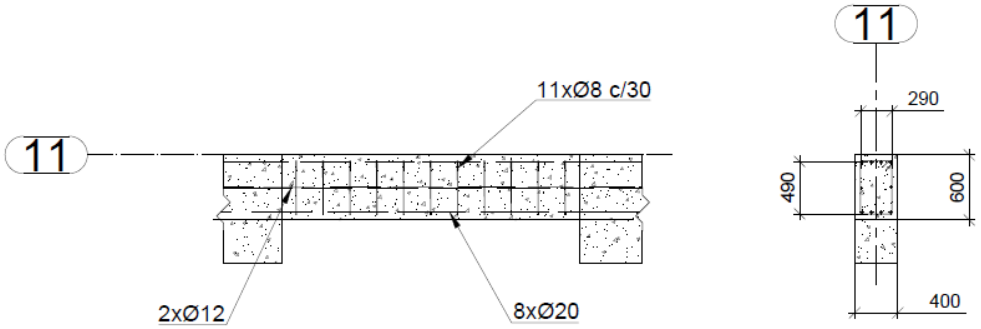
Comprobación	Valores	Estado
- Armadura superior (Situaciones persistentes):	Calculado: 0.0052	Cumple
Armadura mínima por cuantía mecánica de flexión compuesta: *Se aplica la reducción del artículo 42.3.2 (norma EHE-08)* - Armadura inferior (Situaciones persistentes): - Armadura superior (Situaciones persistentes):	 Mínimo: 3.68 cm² Calculado: 12.56 cm² Calculado: 12.56 cm²	 Cumple Cumple
Comprobación de armadura necesaria por cálculo a flexión compuesta: Situaciones persistentes:	 Momento flector: 160.04 kN·m Axil: ± 0.00 kN Momento flector: -85.19 kN·m Axil: ± 0.00 kN	 Cumple Cumple
Longitud de anclaje barras superiores origen: - Situaciones persistentes: *El anclaje se realiza a partir del eje de los pilares*	 Mínimo: 50 cm Calculado: 50 cm	 Cumple
Longitud de anclaje barras inferiores origen: - Situaciones persistentes: *El anclaje se realiza a partir del eje de los pilares*	 Mínimo: 35 cm Calculado: 36 cm	 Cumple
Longitud de anclaje de las barras de piel origen: - Situaciones persistentes: *El anclaje se realiza a partir del eje de los pilares*	 Mínimo: 25 cm Calculado: 26 cm	 Cumple
Longitud de anclaje barras superiores extremo: - Situaciones persistentes: *El anclaje se realiza a partir del eje de los pilares*	 Mínimo: 50 cm Calculado: 50 cm	 Cumple

Referencia: VC.S-2 [N27-N21] (Viga centradora)
-Dimensiones: 40.0 cm x 60.0 cm
-Armadura superior: 4Ø20
-Armadura de piel: 1x2Ø12
-Armadura inferior: 4Ø20
-Estribos: 1xØ8c/30

Comprobación	Valores	Estado
Longitud de anclaje barras inferiores extremo: - Situaciones persistentes: *El anclaje se realiza a partir del eje de los pilares*	Mínimo: 35 cm Calculado: 36 cm	Cumple
Longitud de anclaje de las barras de piel extremo: - Situaciones persistentes: *El anclaje se realiza a partir del eje de los pilares*	Mínimo: 25 cm Calculado: 26 cm	Cumple
Comprobación de cortante: - Situaciones persistentes:	Cortante: 56.11 kN	Cumple
Se cumplen todas las comprobaciones		

Información adicional:

- Diámetro mínimo de la armadura longitudinal (Recomendación del Artículo 58.8.2 de la EHE-08): Mínimo: 12.0 mm, Calculado: 20.0 mm (Cumple)



ANEXO III

PROTECCIÓN CONTRAINCENDIOS

ÍNDICE

1. Introducción 1

2. Cumplimiento del R.D. 2267/2004 2

2.1. Anexo I: Caracterización de los establecimientos industriales en relación con la seguridad contra incendios 2

2.1.1. Características de los establecimientos industriales por su configuración y ubicación con relación a su entorno 2

2.1.2. Caracterización de los establecimientos industriales por su nivel de riesgo intrínseco 3

2.2. Anexo II: Requisitos constructivos de los establecimientos industriales según su configuración, ubicación y nivel de riesgo intrínseco 6

2.2.1. Fachadas accesibles 6

2.2.2. Sectorización del establecimiento industrial 6

2.2.3. Materiales 6

2.2.4. Estabilidad al fuego de los elementos constructivos portantes 6

2.2.5. Cubierta 7

2.2.6. Resistencia al fuego de los elementos constructivos de cerramiento 8

2.2.7. Evacuación de los establecimientos industriales 8

2.2.8. Señalización 9

2.2.9. Ventilación 9

2.2.10. Almacenamiento 9

2.3. Anexo III: Requisitos de las instalaciones de protección contra incendios de los establecimientos industriales 10

3. Planos 13

4. Bibliografía 13

1. Introducción

El presente Anexo tiene por objeto establecer las reglas y procedimientos que permitan cumplir con las exigencias básicas descritas en la normativa vigente en caso de incendio.

En el diseño y realización de las instalaciones de seguridad en caso de incendio del presente proyecto se siguen las directrices marcadas por el R.D. 2276/2004, “Reglamento de seguridad contra incendios en los establecimientos industriales”.

2. Cumplimiento del R.D. 2267/2004

Este reglamento tiene por objeto establecer y definir los requisitos que deben satisfacer y las condiciones que deben cumplir los establecimientos e instalaciones de uso industrial para su seguridad en caso de incendio, para prevenir su aparición y para dar la respuesta adecuada, en caso de producirse, limitar su propagación y posibilitar su extinción, con el fin de anular o reducir los daños o pérdidas que el incendio pueda producir a personas o bienes.

Las actividades de prevención del incendio tendrán como finalidad limitar la presencia del riesgo de fuego y las circunstancias que pueden desencadenar el incendio.

Las actividades de respuesta al incendio tendrán como finalidad controlar o luchar contra el incendio, para extinguirlo, y minimizar los daños o pérdidas que pueda generar.

Este reglamento se aplicará, con carácter complementario, a las medidas de protección contra incendios establecidas en las disposiciones vigentes que regulan actividades industriales, sectoriales o específicas, en los aspectos no previstos en ellas, las cuales serán de completa aplicación en su campo.

2.1. Anexo I: Caracterización de los establecimientos industriales en relación con la seguridad contra incendios

En este apartado se pretende recopilar los requisitos que deben cumplir los establecimientos en relación a su configuración y ubicación en relación a su entorno y a su nivel de riesgo intrínseco.

2.1.1. Características de los establecimientos industriales por su configuración y ubicacióncon relación a su entorno

De acuerdo con el Art. 2.1, nos encontramos en un edificio tipo C, que se define como establecimiento industrial que ocupa totalmente un edificio, o varios, en su caso, que está a una distancia mayor de tres metros del edificio más próximo. Dicha distancia deberá estar libre de mercancías combustibles o elementos intermedios susceptibles de propagar el incendio.

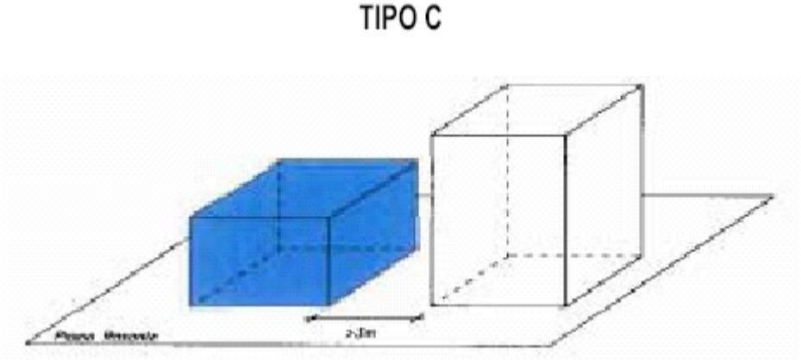


Figura 1 Tipología del establecimiento

2.1.2. Caracterización de los establecimientos industriales por su nivel de riesgo intrínseco

En este apartado se procede a calcular el riesgo intrínseco de la edificación a partir de las actividades que realizan en su interior.

Se considerará la totalidad del edificio como un solo sector de incendio.

La densidad de la carga de fuego ponderada y corregida para actividades de producción, transformación, reparación o cualquier otra distinta de almacenamiento se calcula mediante la siguiente expresión obtenida en el Apartado 3 del R.D. 2267/2004:

$$Q_s = \frac{\sum_1^i q_{si} * S_i * C_i}{A} * R_a$$

Siendo:

- Q_s: densidad de carga de fuego, ponderada y corregida del sector del incendio, en MJ/m^2.
- q_{si}: densidad de carga de fuego de cada zona con un proceso diferente según los diferentesprocesos que se realizan en el sector del incendio, en MJ/m^2.
- S_i: Superficie ocupada en planta por cada actividad de producción (m^2).
- C_i: es el coeficiente adimensional que pondera el grado de peligrosidad (por la combustibilidad)de cada uno de los combustibles que existen en el sector del incendio.
- R_a: es el coeficiente adimensional que corrige el grado de peligrosidad (por la activación) inherente a la actividad industrial que se desarrolla en el sector del incendio.
- A: Superficie construida del sector de incendio (m^2).

Sin embargo, para actividades de almacenamiento, la norma propone otra forma de calcular la densidad de la carga de fuego ponderada:

$$Q_s = \frac{\sum_1^i q_{si} * S_i * h_i * C_i}{A} * R_a$$

Donde todos los términos significan lo mismo que la expresión anterior, añadiendo a esta h_i, que simboliza la altura del almacenamiento de cada uno de los combustibles.

Por lo tanto se va a comenzar calculando la densidad de la carga de fuego ponderada y corregida para actividades distintas a las de almacenamiento.

Los valores de densidad de carga de fuego de cada zona por proceso, q_i, se pueden obtener de la Tabla 1.2 del R.D. 2267/2004.

VALORES DEL COEFICIENTE DE PELIGROSIDAD POR COMBUSTIBILIDAD, C_i		
ALTA	*MEDIA*	*BAJA*
- Líquidos clasificados como clase A en la ITC MIE-APQ1 - Líquidos clasificados como subclase B_1, en la ITC MIE-APQ1. - Sólidos capaces de iniciar su combustión a una temperatura inferior a 100 ºC. - Productos que pueden formar mezclas explosivas con el aire a temperatura ambiente. - Productos que pueden iniciar combustión espontánea en el aire a temperatura ambiente.	- Líquidos clasificados como subclase B_2 en la ITC MIE-APQ1. - Líquidos clasificados como clase C en la ITC MIE-APQ1. - Sólidos que comienzan su ignición a una temperatura comprendida entre 100 ºC y 200 ºC. - Sólidos que emiten gases inflamables.	- Líquidos clasificados como clase D en la ITC MIE-APQ1. - Sólidos que comienzan su ignición a una temperatura superior a 200 ºC.
$C_i = 1,60$	$C_i = 1,30$	$C_i = 1,00$

Figura 2 Valores del coeficiente de peligrosidad por combustibilidad, Ci

Las actividades que se realizan en el interior son las siguientes:

Actividad	Si [m^2]	Ra	Ci	Qsi[MJ/m^2]	Qsi*Si*Ci
Maquinaria	30	1,5	1,3	300	17550
Recepción	400	1	1	400	160000
Oficina	30	1	1	600	18000
Baños/vestuarios	20	1	1	80	1600
Almacén de material	30	2	1	1200	72000

Tabla 1 Actividades en la instalación

Por lo tanto, aplicando la anterior fórmula a cada una de las actividades que refleja la Tabla 1 y sabiendo que se tiene una superficie de 1500 m^2 de sector de incendio, se obtiene el siguiente resultado:

Total Qs	179.5

Tabla 2 Densidad de carga de fuego

A continuación, se calcula la densidad de la carga de fuego ponderada para actividades de almacenamiento, siendo dichas actividades las siguientes.

Actividad de almacenamiento	Si [m^2]	Ra	Ci	Qsi[MJ/m^3]	Qsi*Si*Ci
Estanterías de acero	500	1	1	20	10000

Tabla 3 Actividad de almacenamiento

Aplicando la fórmula para las actividades de almacenamiento a las actividades que refleja la Tabla 3 y sabiendo que se tiene una superficie de 1500 m^2 de sector de incendio y una altura h_i de almacenamiento de 10 metros, se obtiene el siguiente resultado:

Total Qs	66.6

Tabla 4 Densidad de carga de fuego

Se suman las dos densidades de carga de fuego calculadas con anterioridad y se obtiene 246.1 MJ/m^2. Por lo tanto la instalación será de riesgo intrínseco BAJO-1, ya que es inferior a 425 MJ/m^2.

Nivel de riesgo intrínseco		*Densidad de carga de fuego ponderada y corregida*	
		Mcal/m²	*MJ/m²*
BAJO	1	$Q_s \leq 100$	$Q_s \leq 425$
	2	$100 < Q_s \leq 200$	$425 < Q_s \leq 850$
MEDIO	3	$200 < Q_s \leq 300$	$850 < Q_s \leq 1275$
	4	$300 < Q_s \leq 400$	$1275 < Q_s \leq 1700$
	5	$400 < Q_s \leq 800$	$1700 < Q_s \leq 3400$
ALTO	6	$800 < Q_s \leq 1600$	$3400 < Q_s \leq 6800$
	7	$1600 < Q_s \leq 3200$	$6800 < Q_s \leq 13600$
	8	$3200 < Q_s$	$13600 < Q_s$

Figura 3 Cálculo del nivel de riesgo intrínseco

2.2. Anexo II: Requisitos constructivos de los establecimientos industriales según su configuración, ubicación y nivel de riesgo intrínseco

2.2.1. Fachadas accesibles

Las distancias exteriores exigidas para la entrada de los servicios de extinción de incendios se cumplirán.

2.2.2. Sectorización del establecimiento industrial

Como ya se ha calculado con anterioridad, el riesgo intrínseco de la edificación está tipificado como BAJO-1, por lo que el área de sectorización al tratarse de una instalación de tipo C no tiene límites.

Riesgo intrínseco del sector de incendio	*Configuración del establecimiento*		
	TIPO A (m^2)	TIPO B (m^2)	TIPO C (m^2)
BAJO	(1)-(2)-(3)	(2) (3) (5)	(3) (4)
1	2000	6000	SIN LÍMITE
2	1000	4000	6000
MEDIO	(2)-(3)	(2) (3)	(3) (4)
3	500	3500	5000
4	400	3000	4000
5	300	2500	3500
ALTO	NO ADMITIDO	(3) 2000	(3)(4) 3000
6		1500	2500
7		NO ADMITIDO	2000
8			

Figura 4 Máxima superficie construida admisible de cada sector de incendio

2.2.3. Materiales

Los materiales a utilizar cumplirán los valores de resistencia al fuego que determina la norma UNE-EN 13501-1.

2.2.4. Estabilidad al fuego de los elementos constructivos portantes

Tal y como se indica en la Tabla 2.2 del mencionado Real Decreto, los materiales portantes tendrán la siguiente estabilidad al fuego:

NIVEL DE RIESGO INTRÍNSECO	TIPO A		TIPO B		TIPO C	
	Planta sótano	Planta sobre rasante	Planta sótano	Planta sobre rasante	Planta sótano	Planta sobre rasante
BAJO	R 120 *(EF – 120)*	R 90 *(EF – 90)*	R 90 *(EF – 90)*	R 60 *(EF – 60)*	R 60 *(EF – 60)*	R 30 *(EF – 30)*
MEDIO	NO ADMITIDO	R 120 *(EF – 120)*	R 120 *(EF -120)*	R 90 *(EF – 90)*	R 90 *(EF – 90)*	R 60 *(EF – 60)*
ALTO	NO ADMITIDO	NO ADMITIDO	R 180 *(EF -180)*	R 120 *(EF -120)*	R 120 *(EF -120)*	R 90 *(EF – 90)*

Figura 5 Estabilidad al fuego de elementos portantes

Para un establecimiento de Tipo C con nivel de riesgo intrínseco bajo y que desarrolla su actividad industrial en planta sobre rasante, como es el caso de las instalaciones proyectadas, la estabilidad al fuego de los elementos estructurales portantes será de R 30.

2.2.5. Cubierta

Para las instalaciones proyectadas se podrá aplicar el apartado 4.2 del Anexo II del RD 2267/2004 que establece la estabilidad al fuego mínima a cumplir por la estructura principal de cubiertas ligeras, ya que el entramado de cubierta de la estructura cumple las condiciones para ser catalogada como cubierta ligera.

Los requisitos que debe de cumplir la cubierta se establecen en la Tabla 2.3 de dicho Anexo.

NIVEL DE RIESGO INTRÍNSECO	Tipo B	Tipo C
	Sobre rasante	Sobre rasante
Riesgo bajo	R 15 (*EF-15*)	NO SE EXIGE
Riesgo medio	R 30 (*EF-30*)	R 15 (*EF-15*)
Riego alto	R 60 (*EF-60*)	R 30 (*EF-30*)

Figura 6 Estabilidad de los elementos de cubierta

Por lo tanto, las instalaciones estarán exentas de cumplir una estabilidad mínima frente al fuego.

2.2.6. Resistencia al fuego de los elementos constructivos de cerramiento

El cerramiento de la instalación consistirá en bloques de hormigón hasta llegar a una altura de 4 metros, de esa cota hasta la cabeza del pilar se cerrara con un panel grecado CM 40/974 de la marca "CURBIMETAL". Estos materiales cumplirán con las resistencias al fuego garantizadas por el fabricante.

2.2.7. Evacuación de los establecimientos industriales

A la hora de diseñar las salidas y recorridos de evacuación, se tendrá en cuenta el número de trabajadores de la instalación. Para este caso, los trabajadores son inferiores a 100 personas (3 personas), por lo que el valor de ocupación (P) será:

$$P = 1.1 * p = 1.1 * 3 = 3.3$$

Por lo tanto, la ocupación total que será considerada es de 4 trabajadores.

Las restricciones en cuanto a distancias máximas de recorrido de evacuación que son establecidas en el Anexo II del R.D. 2267/2004 se recogen en la siguiente figura:

Longitud del recorrido de evacuación según el número de salidas		
Riesgo	1 salida recorrido único	2 salidas alternativas
Bajo(*)	35m(**)	50 m
Medio	25 m(***)	50 m
Alto	--------	25 m

Figura 7 Longitud del recorrido de evacuación según el número de salidas

Como se puede observar en la imagen, al tratarse de un establecimiento tipificado de riesgo intrínseco bajo, se puede contar con solo 1 salida de recorrido único.

Además, se menciona que si la ocupación es inferior a 25 personas (4 en este caso) la distancia máxima del recorrido se podrá aumentar de 35 metros a 50 metros.

Sin embargo, la instalación contará con 2 salidas alternativas que, en caso de emergencia, podrán ser utilizadas como salida, aparte de las puertas principales de recepción y distribución de material. Por lo tanto las salidas quedan de la siguiente forma:

- 2 puertas principales de 5x5 m, ubicadas en la fachada Sur de la nave.
- 2 puertas secundarias de 2.1x1 m, ubicadas en las fachadas Norte y Oeste.

Dentro de la instalación, existirán 2 recorridos de emergencia:

- Recorridos 1-2: serán los que recorran aquellos operarios que se encuentren en la zona de almacenaje de bobinas. Su salida se efectuará a partir de las puertas denominadas como secundarias, que se sitúan en la fachada Norte y Oeste.

  Metros totales máximos que se pueden recorrer: Recorrido 1: 30 m< 50 m/ Recorrido 2: 35 m < 50 m.

- Recorrido 3: Serán los que recorran aquellas personas que se encuentren o bien en la zona administrativa (Oficina, almacén, baños, vestuario…), o bien en la zona de recepción y distribución de bobinas. Su salida se efectuará a partir de las puertas

denominadas como principales, que se sitúan en la fachada Sur de la nave y consisten en unas puertas basculante de preleva de dimensiones 5x5 m.

Metros totales máximos que se pueden recorrer: Recorrido 3: 25 m< 50 m

Las salidas de emergencia cumplen con las dimensiones mínimas y estarán debidamente señalizadas. Además, todos los recorridos cumplen con la distancia máxima de evacuación.

Los recorridos exactos vienen definidos en el documento *"Planos" y se encuentra recogido como "Plano de protección contra incendios".*

2.2.8. Señalización

Se utilizarán señales de salida, de uso habitual o de emergencia, definidas en artículo 12 de la NBE-CPI/96, además deberán cumplir lo dispuesto en el Real Decreto 485/1997, conforme a los siguientes criterios.

- Las salidas del recinto, planta o edificio tendrán una señal con el rótulo "SALIDA".
- La señal con el rótulo "Salida de emergencia" debe utilizarse en toda salida para uso exclusivo de emergencia.
- Deben disponerse señales indicativas de dirección de los recorridos, visibles desde todo origen de evacuación desde el que no se perciban directamente las salidas o sus señales indicativas.
- En los puntos de los recorridos de evacuación en los que existan alternativas que puedan inducir a error, también se dispondrán de las señales antes citadas, de forma que quede claramente indicada la alternativa correcta.
- Las señales deben ser visibles incluso en caso de fallo en el suministro al alumbrado normal.

Se señalizarán los medios de protección contra incendios de utilización manual mediantеseñales definidas en la norma UNE 23033-1.

2.2.9. Ventilación

Al tratarse de un establecimiento con riesgo intrínseco de incendio bajo las instalaciones estarán exentas de disponer de instalación de ventilación y eliminación de gases y humos procedentes de la combustión.

2.2.10. Almacenamiento

El sistema de almacenamiento de bobinas de acero será en estanterías metálicas independientes de la estructura de la nave. Además el sistema de almacenamiento será automático ya que las unidades de carga se almacenan y elevan sin necesidad de presencia de personal.

Además, al tratarse de un establecimiento de tipo C y poseer un nivel de riesgo intrínseco bajo, no se exige ningún tratamiento a la estructura principal de sistemas de almacenaje.

Nivel de riesgo intrínseco	Sistema de almacenaje independiente o autoportante operado automáticamente					
	Tipo A		Tipo B		Tipo C	
	Rociadores automáticos de agua		Rociadores automáticos de agua		Rociadores automáticos de agua	
	NO	SÍ	NO	SÍ	NO	SÍ
Riesgo bajo	R15*(EF-15)*	No se exige	No se exige	No se exige	No se exige	No se exige
Riesgo medio	R30*(EF-30)*	R15*(EF-15)*	R15*(EF-15)*	No se exige	No se exige	No se exige
Riesgo alto			R30*(EF-30)*	R15*(EF-15)*	R15*(EF-15)*	No se exige

Figura 8 Requisitos del sistema de almacenaje operado automáticamente

2.3. Anexo III: Requisitos de las instalaciones de protección contra incendios de los establecimientos industriales

Se instalarán los siguientes sistemas de protección contra incendios:

Sistema manual de alarma de incendio

Se situará, un pulsador junto a cada salida de evacuación del sector de incendio, y la distancia máxima a recorrer desde cualquier punto hasta alcanzar un pulsador no superará los 25 m. Por tanto, se dispone de 4 pulsadores manuales de alarma de incendio.

Su ubicación exacta viene definida en el documento *"Planos" y se encuentra recogido como "Plano de protección contra incendios".*

Extintores de incendio

Para determinar el número de extintores portátiles que será necesario instalar en el establecimiento en función de su superficie y de su riesgo intrínseco de incendio según la Tabla 3.1 de dicho anexo.

GRADO DE RIESGO INTRÍNSECO DEL SECTOR DE INCENDIO	*EFICACIA MÍNIMA DEL EXTINTOR*	*ÁREA MÁXIMA PROTEGIDA DEL SECTOR DE INCENDIO*
BAJO	21 A	Hasta 600 m² (un extintor más por cada 200 m², o fracción, en exceso)
MEDIO	21 A	Hasta 400 m² (un extintor más por cada 200 m², o fracción, en exceso)
ALTO	34 A	Hasta 300 m² (un extintor más por cada 200 m², o fracción, en exceso)

Figura 9 Dotación de extintores portátiles en sectores de incendios

De modo que para un establecimiento de riesgo intrínseco bajo, el número mínimo de extintores será de un extintor hasta 600 m^2 y se deberá colocar un extintor más por cada 200 m^2.

Por lo tanto, al ser la superficie construida de 1500 m^2, el número mínimo de extintores será:

$$600 + (x - 1) * 200 = 1500 \rightarrow x = 5.5, por\ lo\ que\ se\ necesitarán\ 6\ extintores.$$

El agente extintor será seleccionado con la tabla I-1 del apéndice 1 del Reglamento de Instalaciones de protección contra incendios, aprobados por el Real Decreto 1942/1993.

TABLA I-1

Agentes extintores y su adecuación a las distintas clases de fuego

Agente extintor	Clase de fuego (UNE 23.010)			
	A (Sólidos)	B (Líquidos)	C (Gases)	D (Metales especiales)
Agua pulverizada	(2)xxx	x		
Agua a chorro	(2)xx			
Polvo BC (convencional)		xxx	xx	
Polvo ABC (polivalente)	xx	xx	xx	
Polvo específico metales				xx
Espuma física	(2)xx	xx		
Anhídrido carbónico ...	(1)x	x		
Hidrocarburos halogenados	(1)x	xx		

Siendo:

xxx Muy adecuado.
xx Adecuado.
x Aceptable.

Figura 10 Agentes extintores y su adecuación a las clases de fuego

Para el caso de las instalaciones proyectadas, en las que el combustible será de tipo A, ya que se trata de un sólido, los extintores que se deberían colocar, serán con agente extintor de agua pulverizada, pero, al tener en la instalación maquinaria electrónica, se optará por utilizar extintores de polvo BC con un valor mínimo de 6 kg, tal y como indica la norma.

Tal y como indica el R.D. 2267/2004, los extintores deberán instalarse en un lugar donde el desplazamiento máximo que deba recorrer una persona que se encuentre en cualquier punto del sector de incendios hasta llegar al extintor sea menor de 15 metros. Teniendo este requisito en cuenta, se distribuirán los extintores de manera equitativa por toda la instalación no superando la distancia máxima de 15 metros anteriormente mencionada.

La ubicación exacta de los extintores viene definida en el documento *"Planos" y se encuentra recogido como "Plano de protección contra incendios".*

Alumbrado de emergencia

La instalación de los sistemas de alumbrado cumplirá con las siguientes condiciones tal y como indica el R.D. 2267/2004:

- Será fija, estará provista de una fuente propia de energía y entraráautomáticamente en funcionamiento al producirse un fallo del 70% de sutensión nominal de servicio.
- Mantendrá las condiciones de servicio durante una hora, como mínimo, desde el momento en que se produzca el fallo.
- Proporcionará una iluminancia de un lx, como mínimo, en el nivel de suelo en los recorridos de evacuación.
- La iluminancia será, como mínimo, de cinco lux en los espacios definidos en el apartado 16.2 del Anexo III del R.D. 2267/2004.
- La uniformidad de la iluminación proporcionada en los distintos puntos de cadazona será tal que el cociente entre la iluminancia máxima y la mínima sea menorque 40.
- Los niveles de iluminación establecidos deben obtenerse considerando nulo el factor de reflexión de paredes y techos y contemplando un factor de mantenimiento que comprenda la reducción del rendimiento luminoso debido al envejecimiento de las lámparas y a la suciedad de las luminarias.

Señalización de las salidas

Las señales de salida de uso habitual y de emergencia deberán estar debidamente señaladas, así como los extintores manuales que deberán ser instalados

3. Planos

En el documento *"Planos"* se representa con detalle toda la instalación contra incendios recogida en el presente Anexo. Se encuentra recogido como *"Plano de protección contra incendios".*

4. Bibliografía

Reglamento de Seguridad Contra Incendios en los Establecimientos Industriales. RealDecreto 2267/2004 de 3 de Diciembre. (BOE 17-12-2004).

Universidad Zaragoza
1542

Trabajo Fin de Grado

Cálculo y dimensionado de la estructura de una planta industrial para el almacenamiento y distribución de bobinas de acero

PLANOS

Autor/es

Jorge Alonso Sanz

Director/es

Víctor Tabuenca Cintora

Grado en Ingeniería Mecánica

Escuela de Ingeniería y Arquitectura de Zaragoza

2022

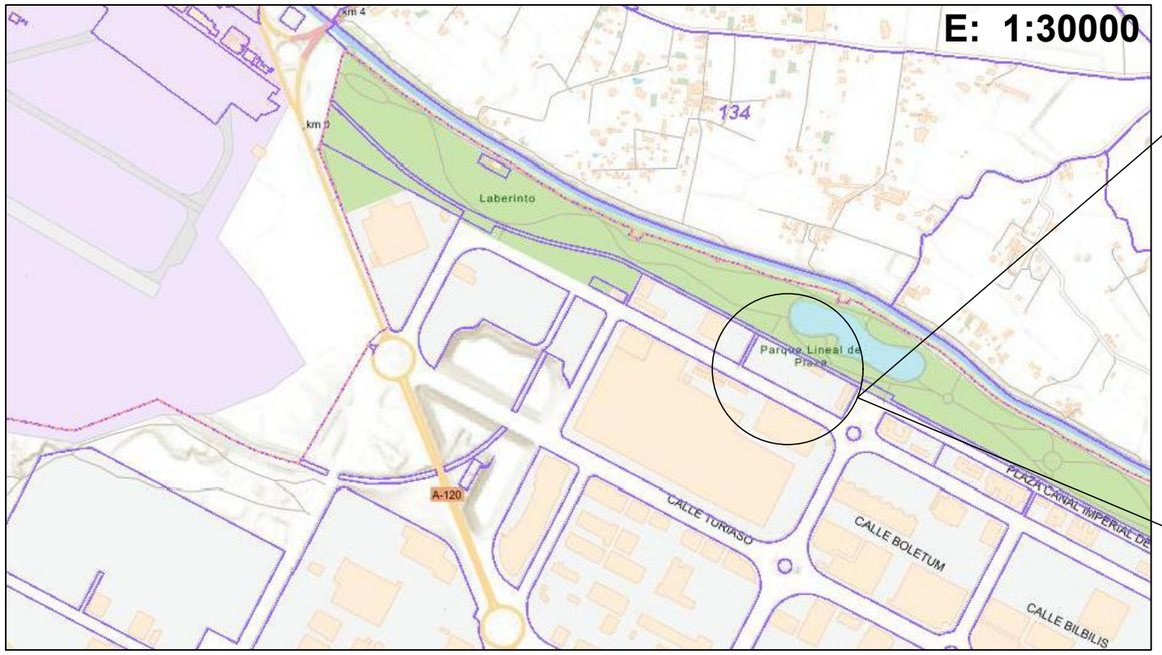
INDICE

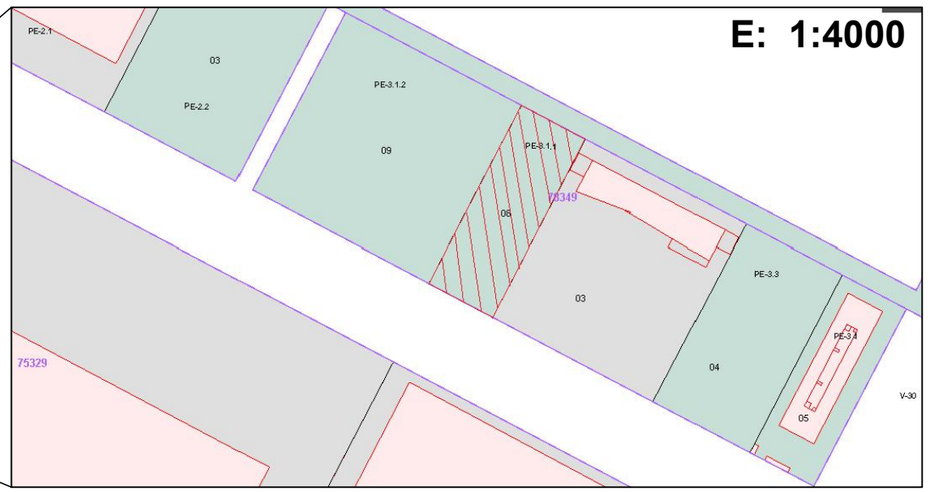
1. Emplazamiento 1
2. Distribución de la parcela 2
3. Distribución en planta.....3
4. Zanjas y saneamiento.....4
5. Cerramiento 3D.....5
6. Lucernarios de cubierta.....6
7. Vista 3D de la estructura.....7
8. Fachadas.....8
9. Cimentación.....9
10. Placas de anclaje.....10
11. Pórtico hastial sur.....11
12. Pórtico principal.....12
13. Pórtico hastial nort.....13
14. Arriostrado lateral.....14
15. Arriostrado de cubierta transversal.....15
16. Arriostrado de cubierta longitudinal.....16
17. Arriostrado de fachada frontal.....17
18. Correas de fachada lateral.....18
19. Correas de fachada hastial.....19
20. Correas de cubierta.....20
21. Protección contra incendios.....21



Acceso directo por A-2 o N-125







CÁLCULO Y DIMENSIONADO DE LA ESTRUCTURA DE UNA PLANTA INDUSTRIAL PARA ALMACENAMIENTO DE BOBINAS DE ACERO			
Dibujado	20/06/2022	Jorge Alonso Sanz	*Firma:*
Titulo EMPLAZAMIENTO			

Escuela de Ingeniería y Arquitectura
Universidad Zaragoza

Grado en Ing. Mecánica	
Escala	S/E
Plano Nº	1

A3

9

7000

Salida del producto

Entrada del producto

10000

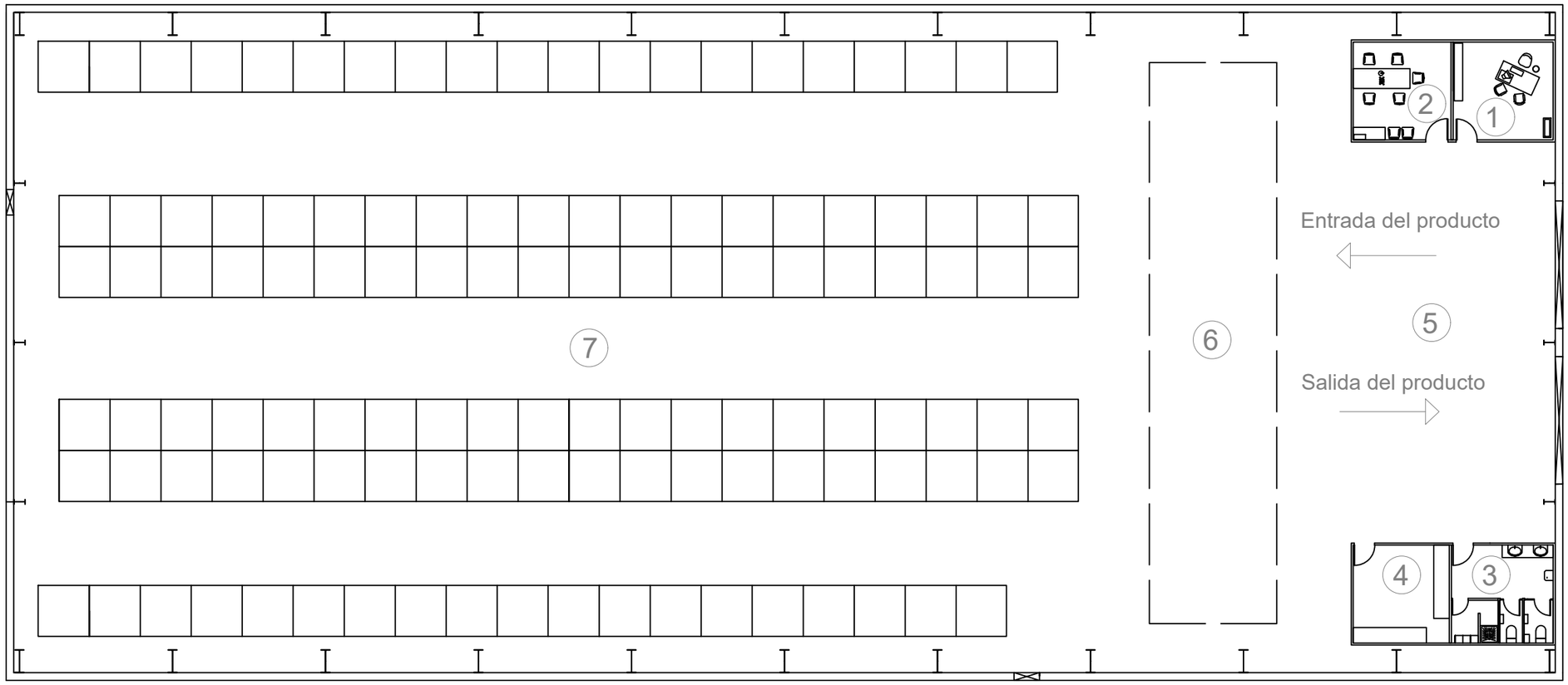
Zona de retranqueo

7000

4

CÁLCULO Y DIMENSIONADO DE LA ESTRUCTURA DE UNA PLANTA INDUSTRIAL PARA ALMACENAMIENTO DE BOBINAS DE ACERO				Escuela de Ingeniería y Arquitectura Universidad Zaragoza
Dibujado	20/06/2022	Jorge Alonso Sanz	Firma:	
Titulo: DISTRIBUCIÓN DE LA PARCELA				Grado en Ing. Mecánica
				Escala 1:250
				Plano Nº 2

A2



1.	OFICINA ADMINISTRATIVA	15.05 m2
2.	ZONA DE COMEDOR	14.74 m2
3.	BAÑOS/VESTUARIOS	15.31 m2
4.	ALMACÉN	14.47 m2
5.	ZONA DE ENTRADA Y SALIDA DE MATERIAL	175.2 m2
6.	ZONA ÓPTICA DE DISTRIBUCIÓN DE BOBINAS	110 m2
7.	ZONA DE ALMACÉN DE BOBINAS	978.3 m2

CÁLCULO Y DIMENSIONADO DE LA ESTRUCTURA DE UNA PLANTA INDUSTRIAL PARA ALMACENAMIENTO DE BOBINAS DE ACERO

Dibujado	20/06/2022	Jorge Alonso Sanz	*Firma:*

Titulo

DISTRIBUCIÓN EN PLANTA

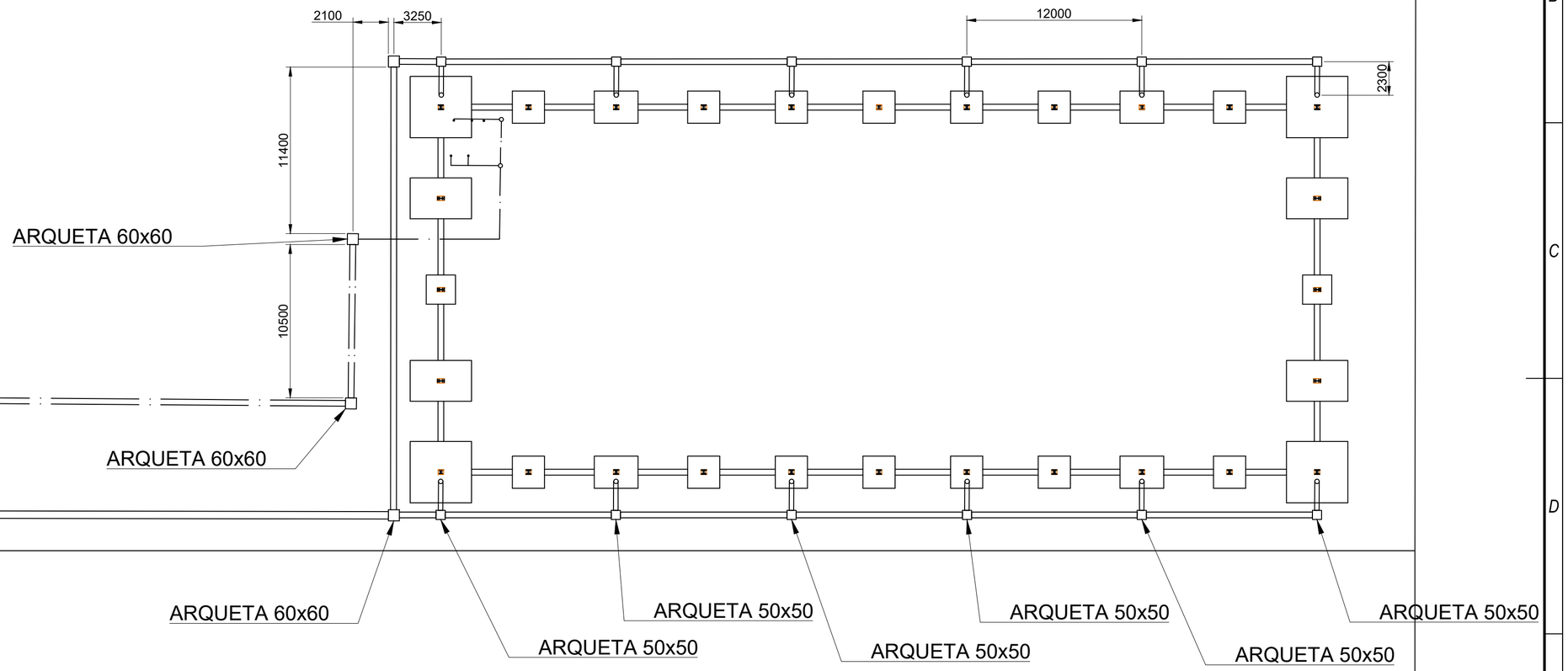
Escuela de Ingeniería y Arquitectura
Universidad Zaragoza
1542

Grado en Ing. Mecánica

Escala 1:200

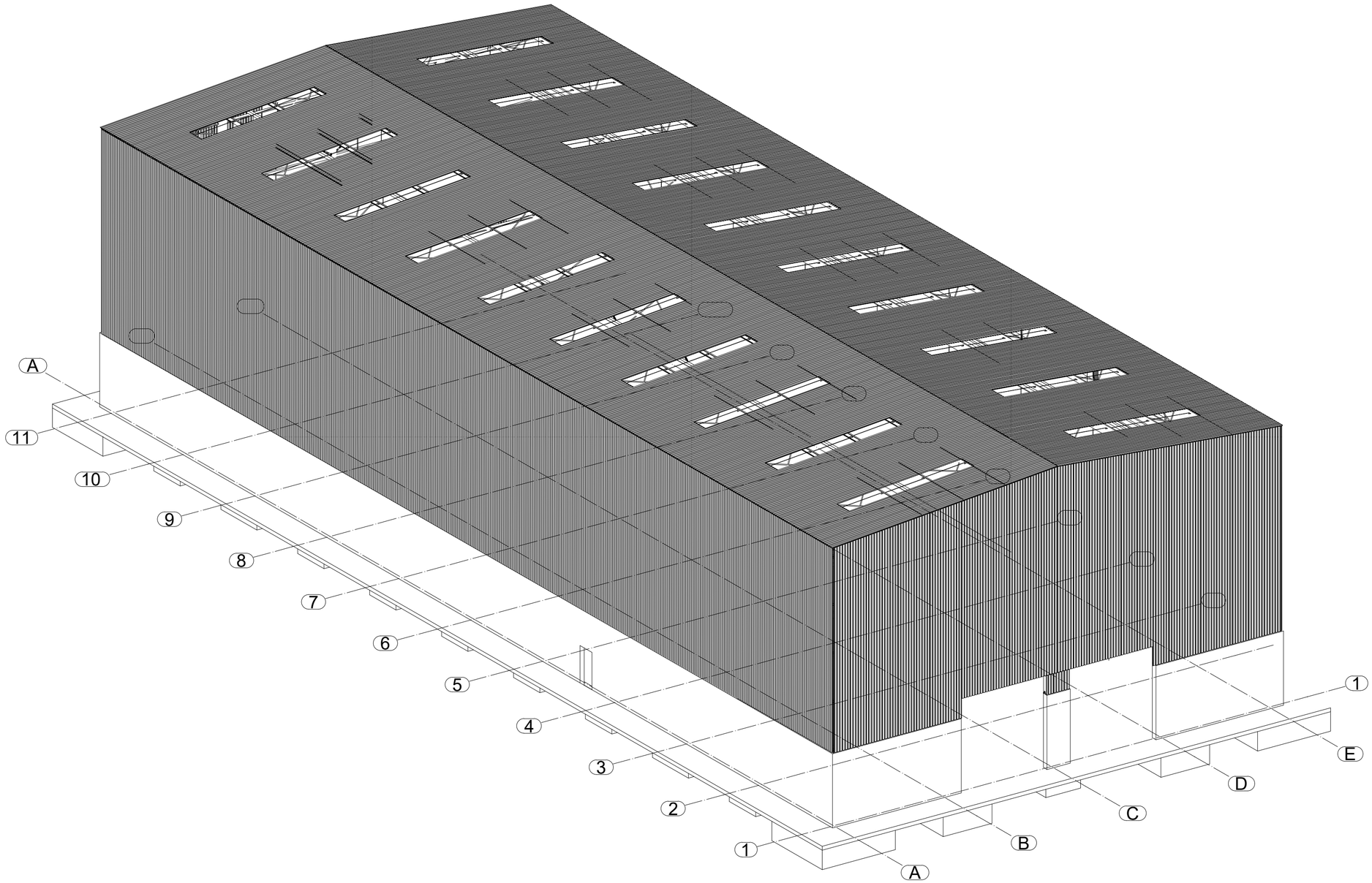
Plano Nº 3

A3



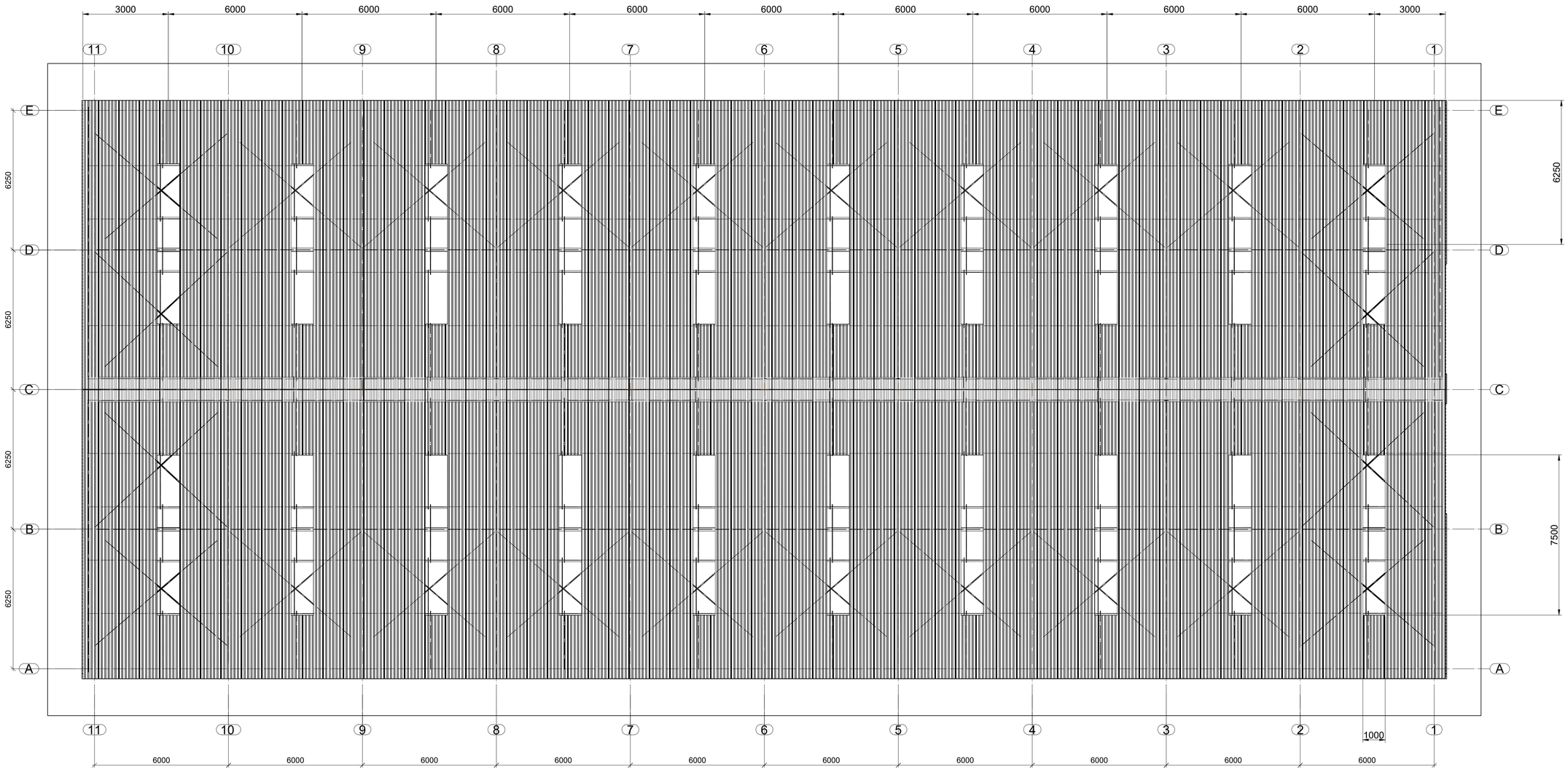
CÁLCULO Y DIMENSIONADO DE LA ESTRUCTURA DE UNA PLANTA INDUSTRIAL PARA ALMACENAMIENTO DE BOBINAS DE ACERO			Escuela de Ingeniería y Arquitectura Universidad Zaragoza
Dibujado	20/06/2022	Jorge Alonso Sanz	Firma:
Titulo: ZANJAS Y SANEAMIENTO			Grado en Ing. Mecánica
			Escala 1:250
			Plano Nº 4

A2

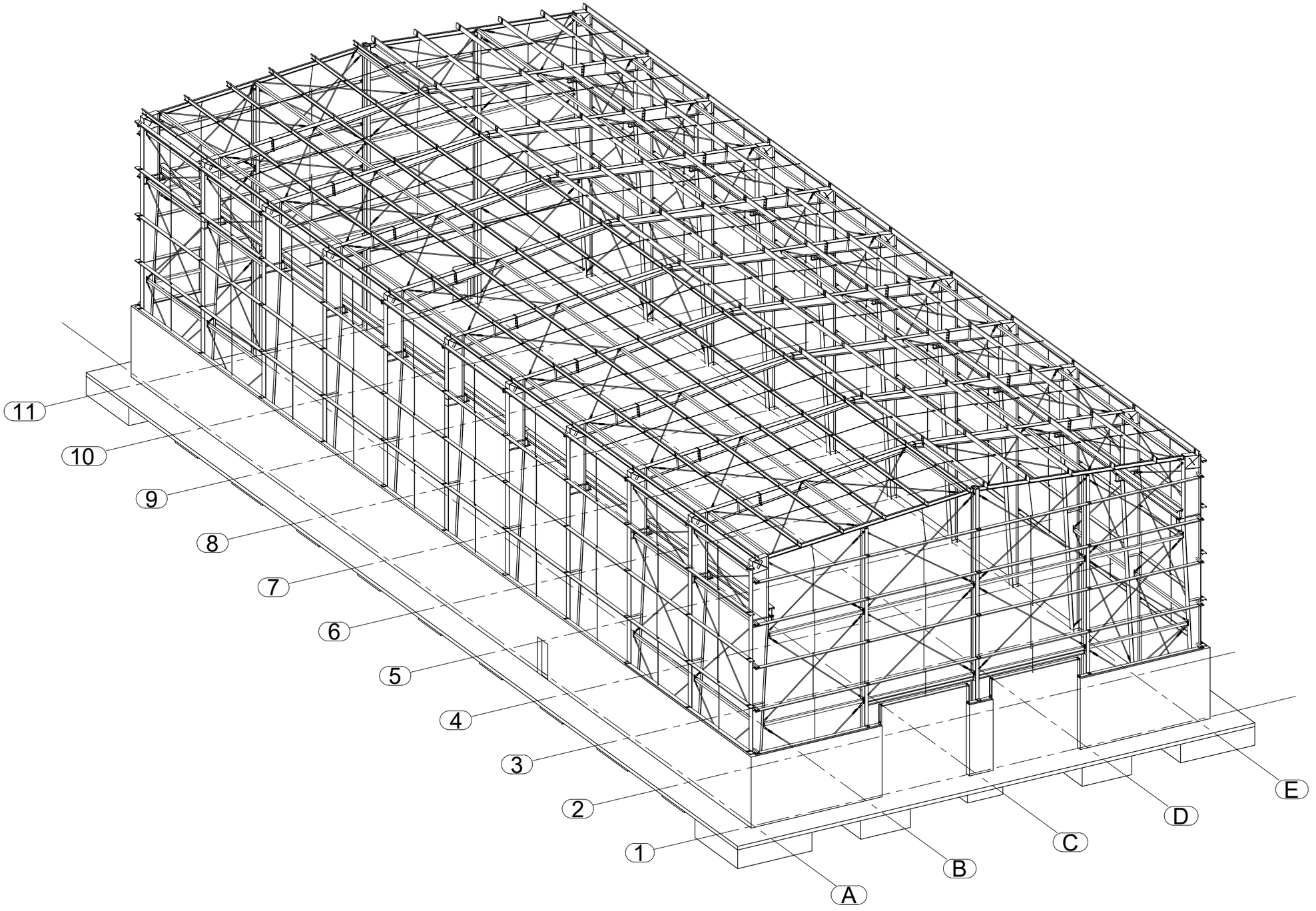


CÁLCULO Y DIMENSIONADO DE LA ESTRUCTURA DE UNA PLANTA INDUSTRIAL PARA ALMACENAMIENTO DE BOBINAS DE ACERO				Escuela de Ingeniería y Arquitectura Universidad Zaragoza
Dibujado	20/06/2022	Jorge Alonso Sanz	*Firma:*	*Grado en Ing. Mecánica*
Titulo **3D CERRAMIENTO**				*Escala* **1:150**
				Plano Nº **5**

A2



CÁLCULO Y DIMENSIONADO DE LA ESTRUCTURA DE UNA PLANTA INDUSTRIAL PARA ALMACENAMIENTO DE BOBINAS DE ACERO				Escuela de Ingeniería y Arquitectura Universidad Zaragoza
Dibujado	20/06/2022	Jorge Alonso Sanz	*Firma:*	
Titulo LUCERNARIOS DE CUBIERTA				*Grado en Ing. Mecánica*
				Escala 1:100
				Plano Nº 6



CÁLCULO Y DIMENSIONADO DE LA ESTRUCTURA DE UNA PLANTA INDUSTRIAL PARA ALMACENAMIENTO DE BOBINAS DE ACERO

Dibujado	20/06/2022	Jorge Alonso Sanz	*Firma:*

Titulo

VISTA 3D DE LA ESTRUCTURA

Escuela de Ingeniería y Arquitectura
Universidad Zaragoza
1542

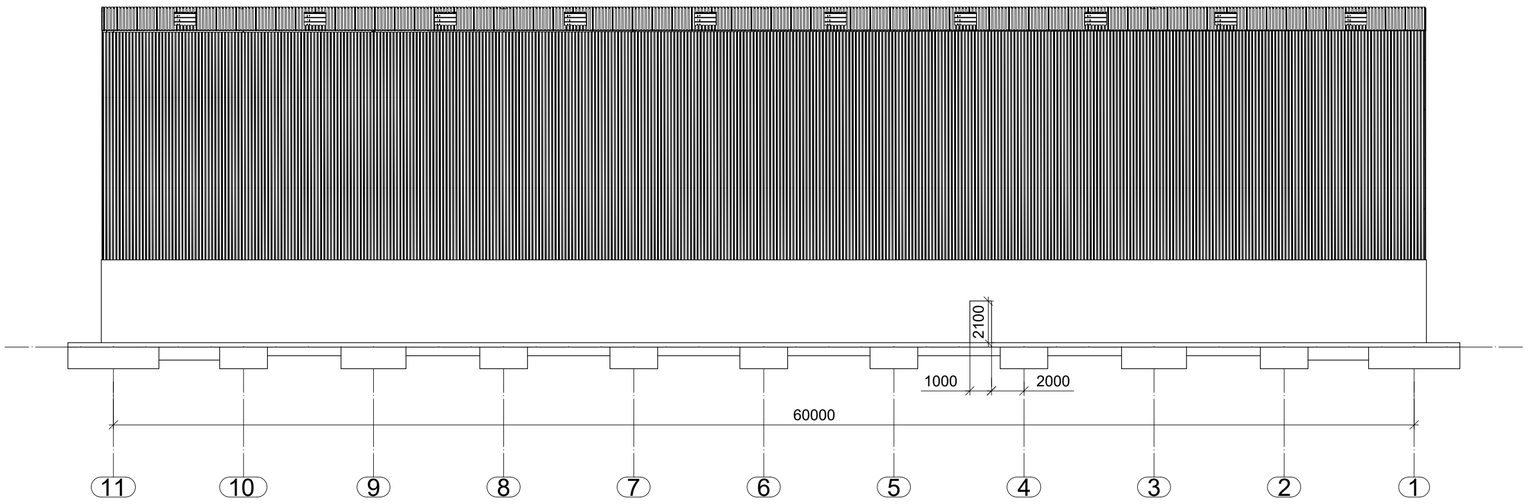
Grado en Ing. Mecánica

Escala **1:200**

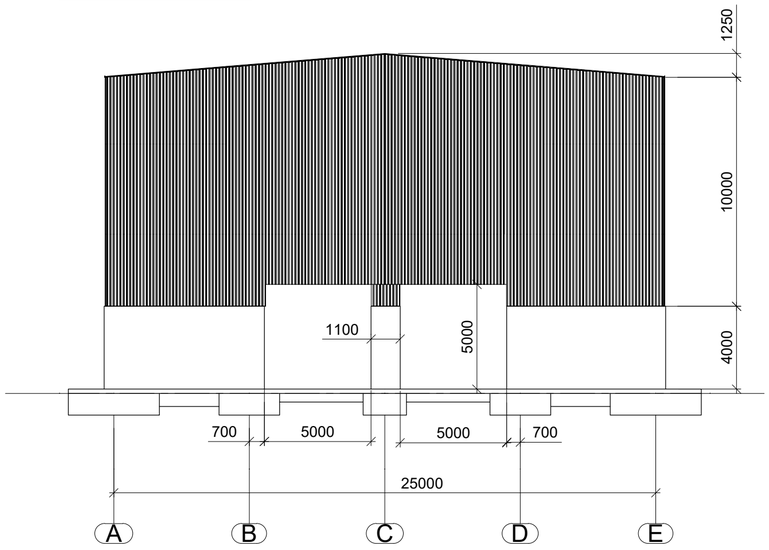
Plano Nº **7**

A3

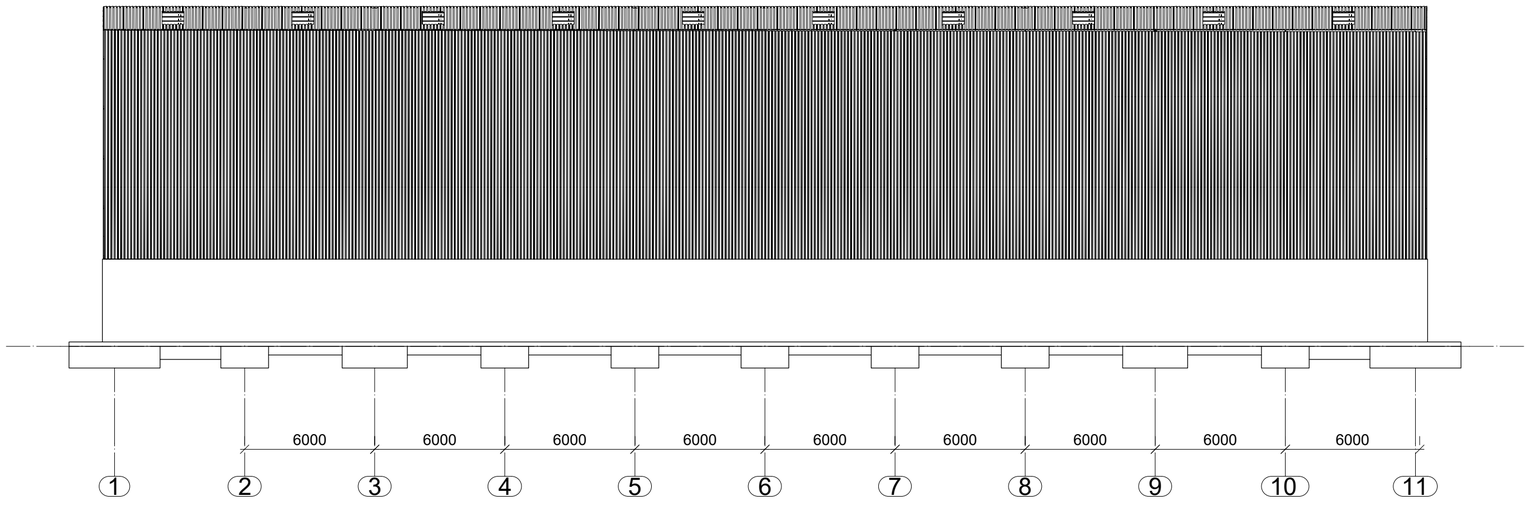
FACHADA OESTE



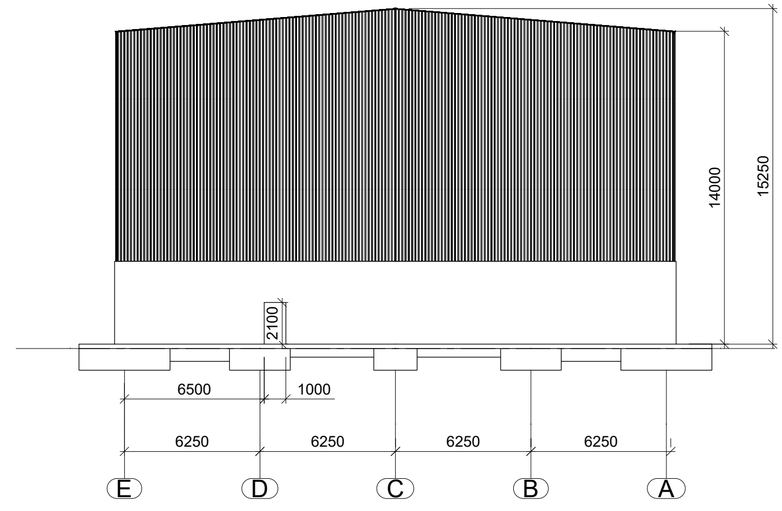
FACHADA SUR



FACHADA ESTE

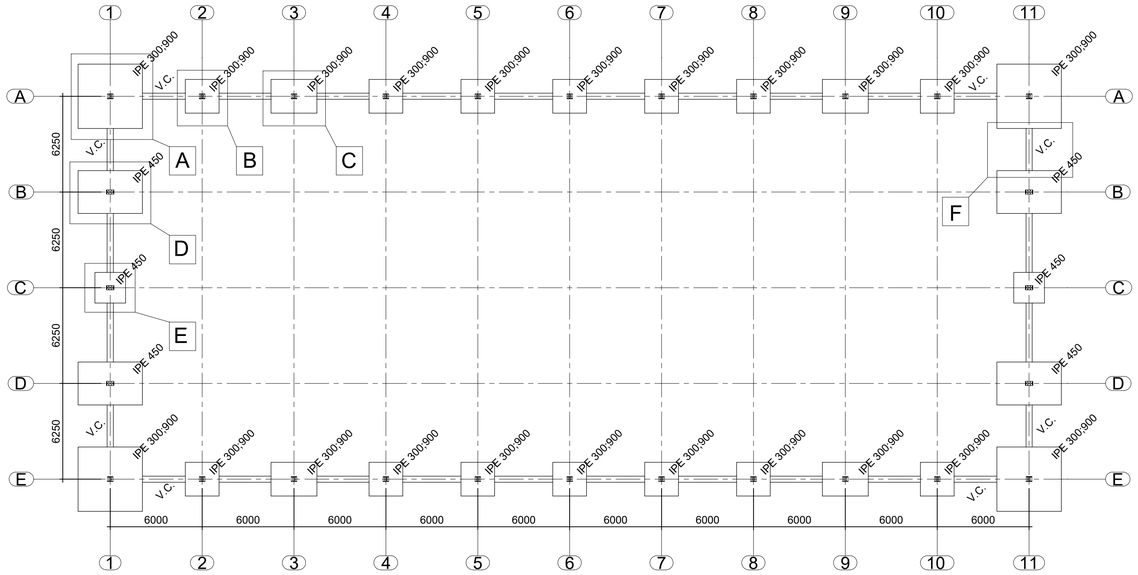


FACHADA NORTE

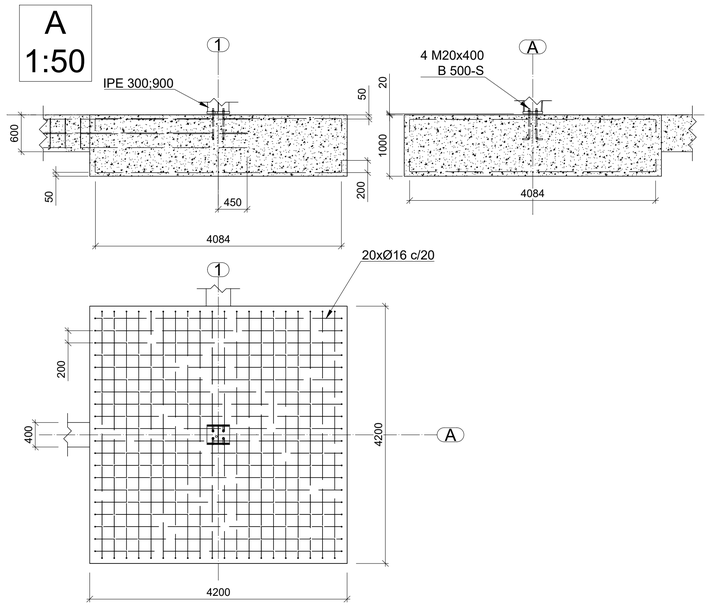


CÁLCULO Y DIMENSIONADO DE LA ESTRUCTURA DE UNA PLANTA INDUSTRIAL PARA ALMACENAMIENTO DE BOBINAS DE ACERO			Escuela de Ingeniería y Arquitectura Universidad Zaragoza
Dibujado	20/06/2022	Jorge Alonso Sanz	*Firma:*
Titulo FACHADAS			*Grado en Ing. Mecánica*
			Escala 1:200
			Plano Nº 8

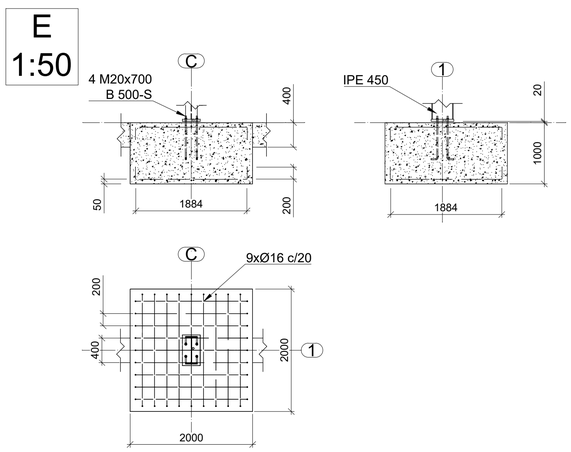
A2



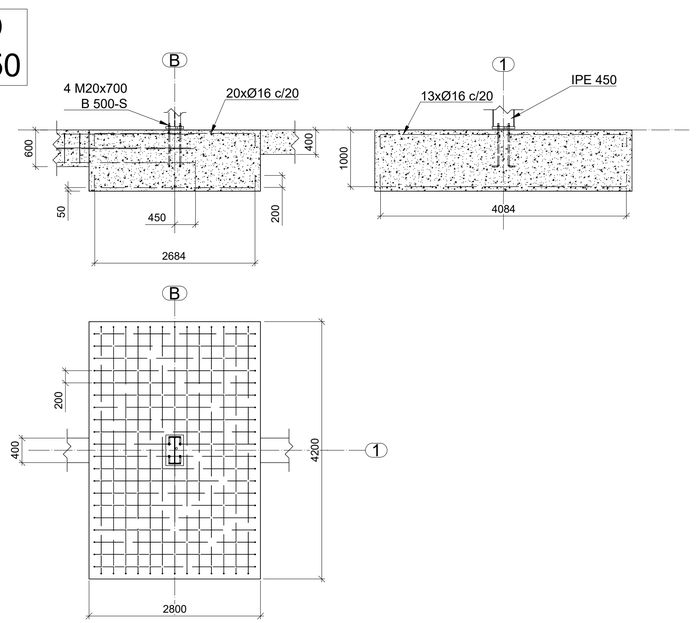
A 1:50



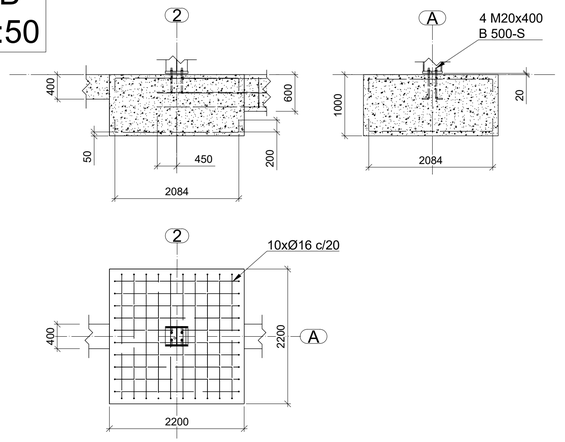
E 1:50



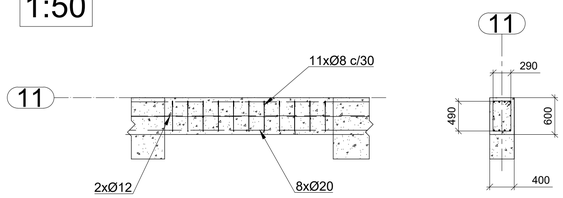
D 1:50



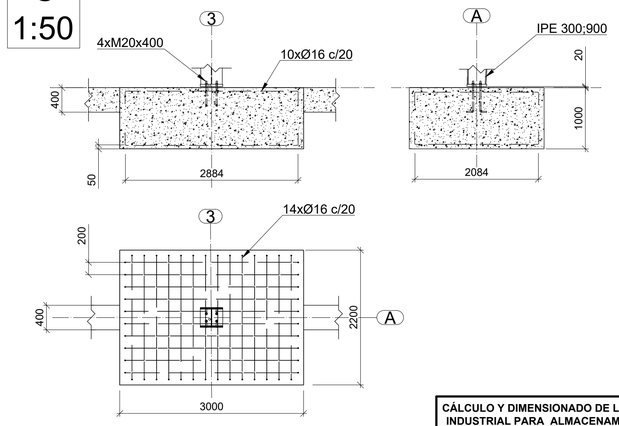
B 1:50



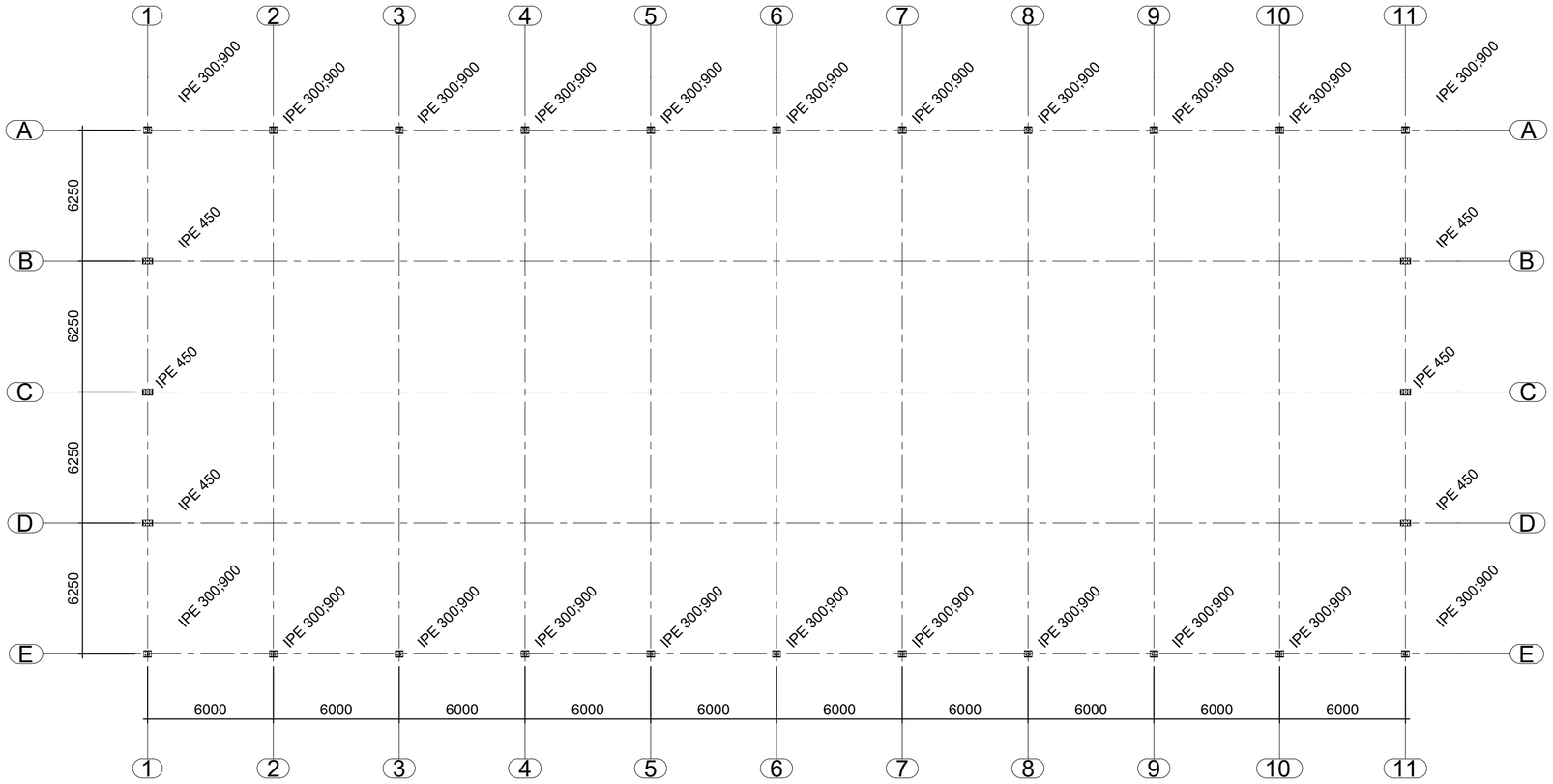
F 1:50



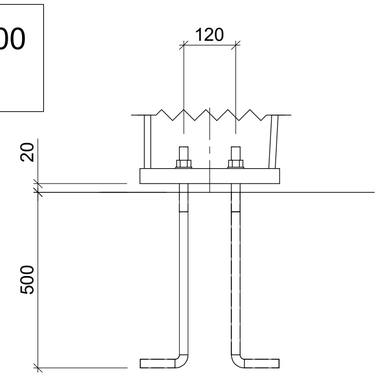
C 1:50

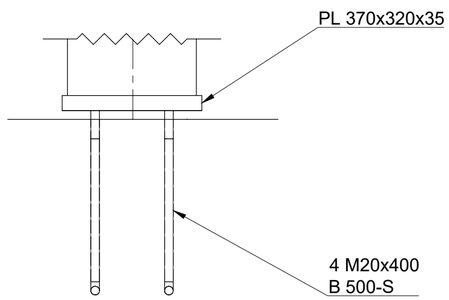


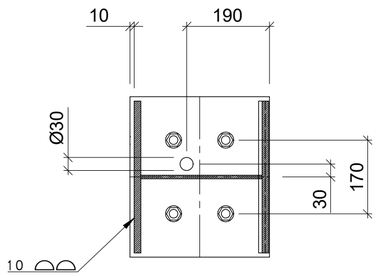
CÁLCULO Y DIMENSIONADO DE LA ESTRUCTURA DE UNA PLANTA INDUSTRIAL PARA ALMACENAMIENTO DE BOBINAS DE ACERO			Escuela de Ingeniería y Arquitectura Universidad Zaragoza
Dibujado	20/06/2022	Jorge Alonso Sanz	*Firma:*
Título CIMENTACIÓN			*Grado en Ing. Mecánica*
			Escala 1:200
			Plano Nº 9



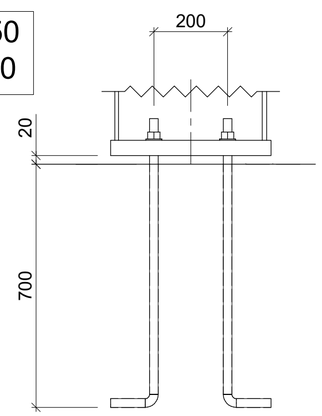
IPE 300;900
E: 1:10

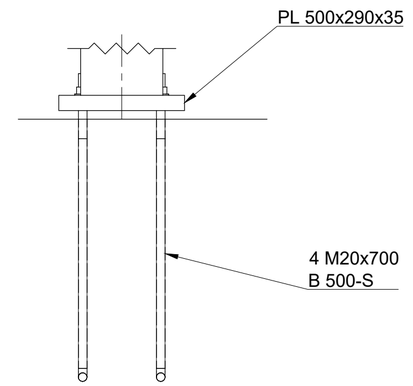


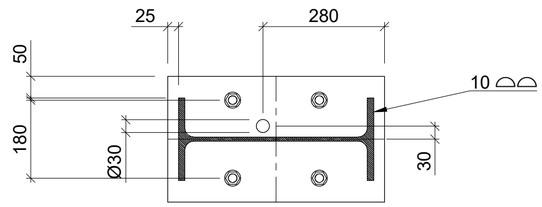




IPE 450
E: 1:10

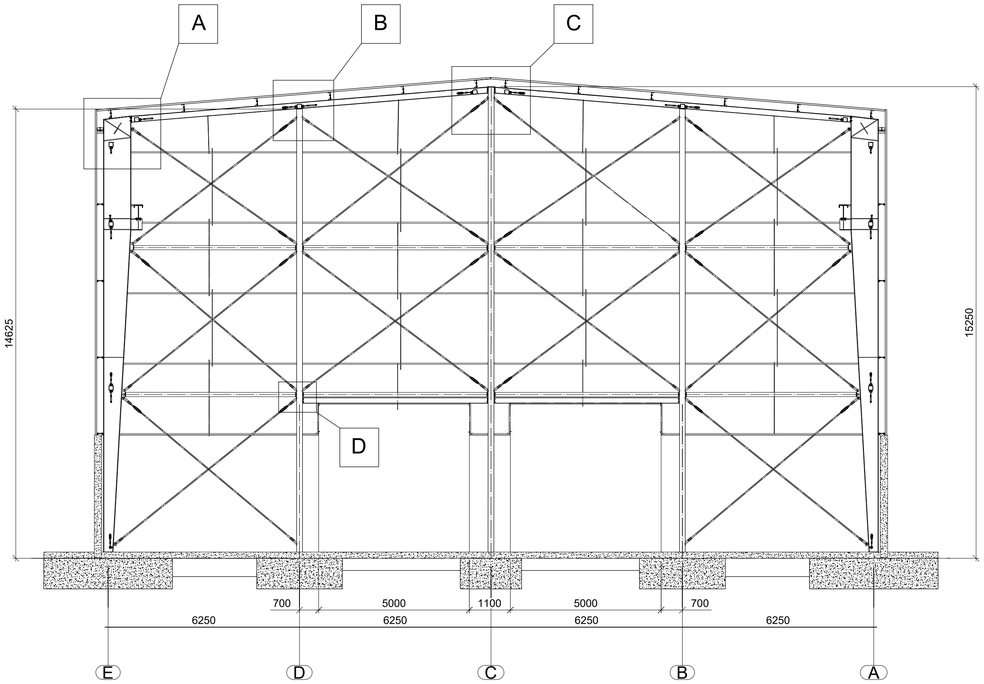




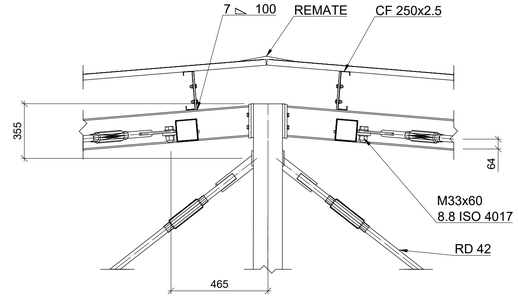


CÁLCULO Y DIMENSIONADO DE LA ESTRUCTURA DE UNA PLANTA INDUSTRIAL PARA ALMACENAMIENTO DE BOBINAS DE ACERO			Escuela de Ingeniería y Arquitectura Universidad Zaragoza
Dibujado	20/06/2022	Jorge Alonso Sanz	Firma:
Titulo: ALINEACIÓN DE PILARES Y PLACAS DE ANCLAJE			Grado en Ing. Mecánica
			Escala 1:200
			Plano Nº 10

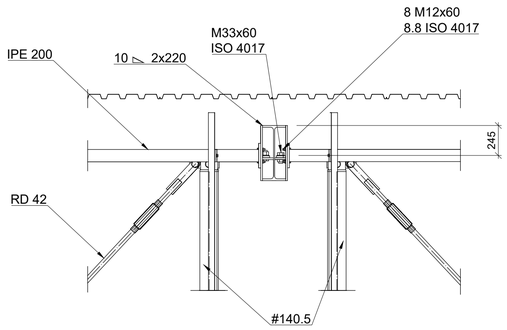
A2

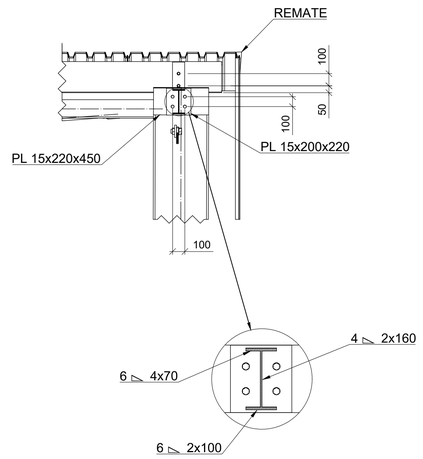


A
1:25

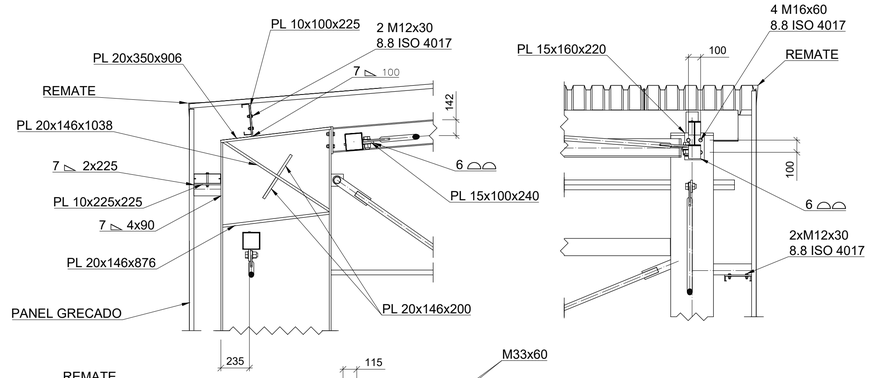


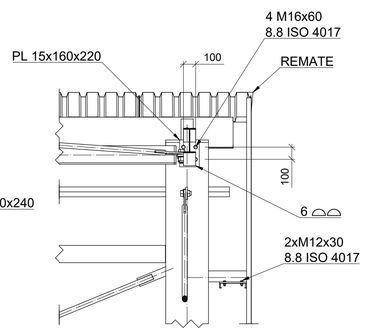
C
1:25

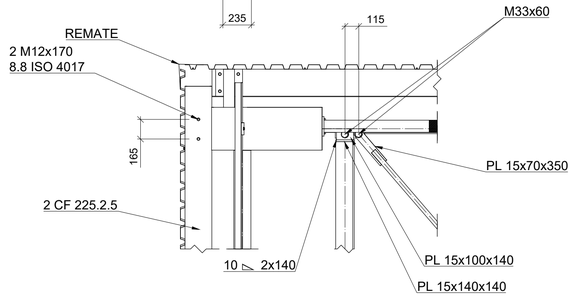




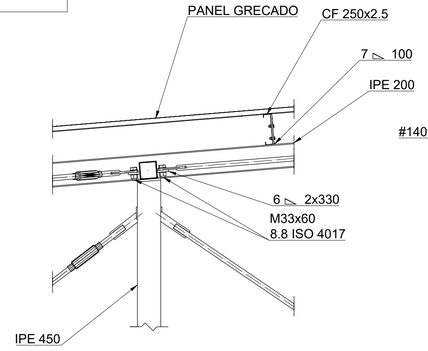
D
1:25

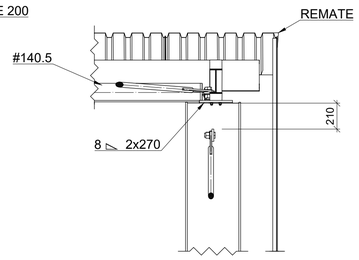


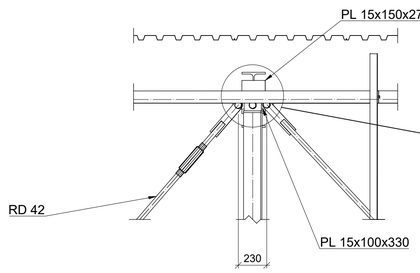


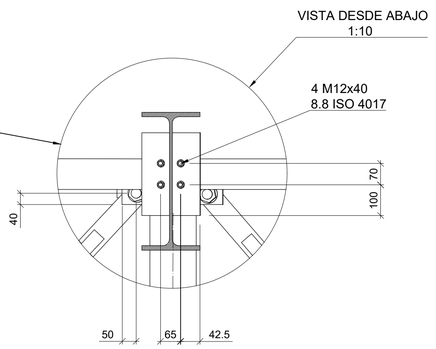


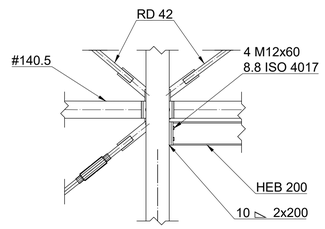
B
1:25

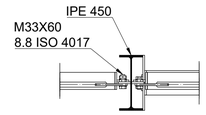


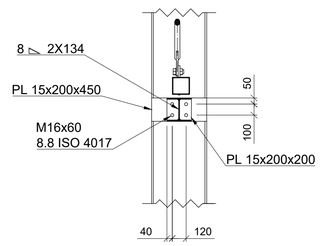












CÁLCULO Y DIMENSIONADO DE LA ESTRUCTURA DE UNA PLANTA INDUSTRIAL PARA ALMACENAMIENTO DE BOBINAS DE ACERO

Dibujado	20/06/2022	Jorge Alonso Sanz	*Firma:*

Titulo

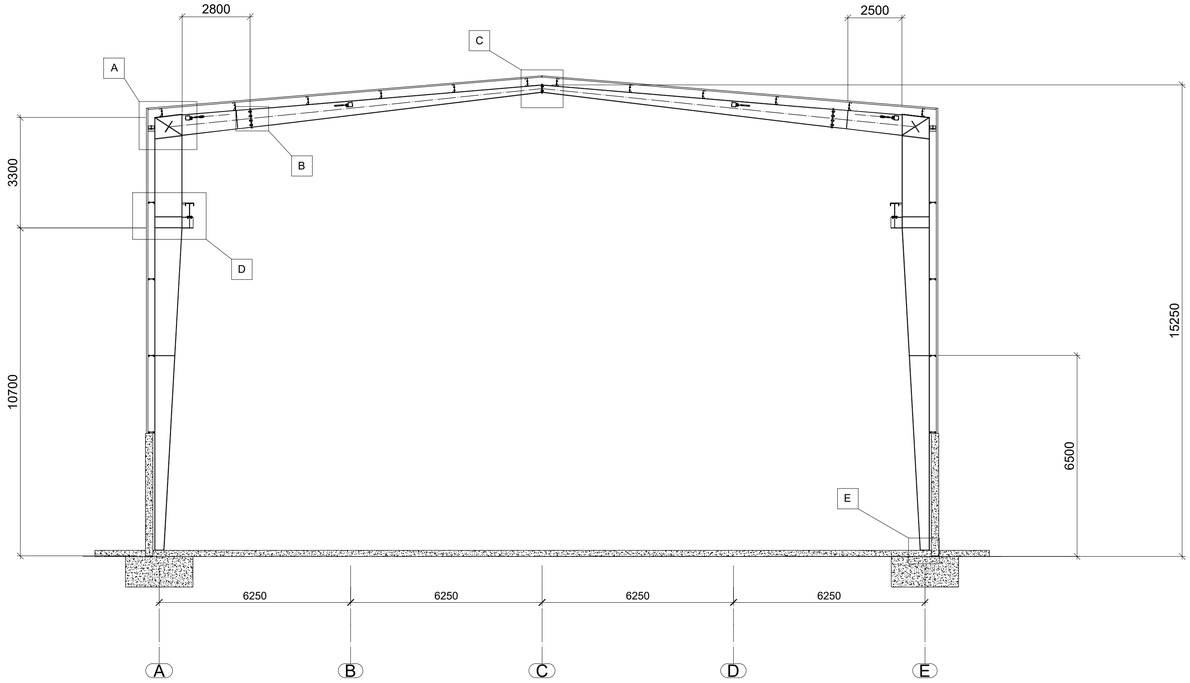
PÓRTICO HASTIAL SUR

Escuela de Ingeniería y Arquitectura Universidad Zaragoza

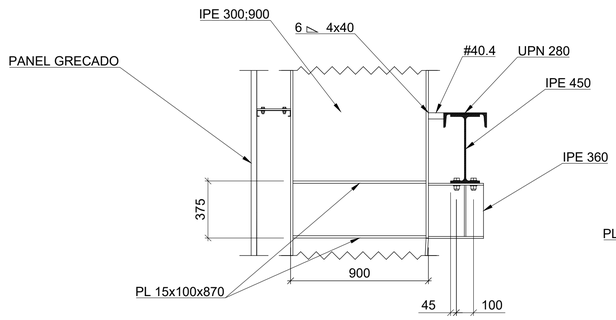
Grado en Ing. Mecánica

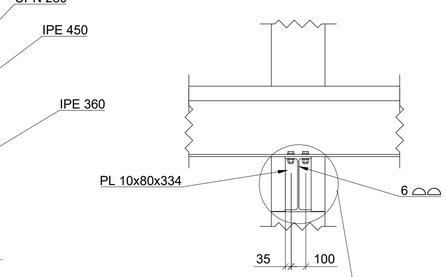
Escala **1:100**

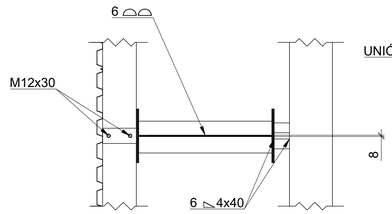
Plano Nº **11**

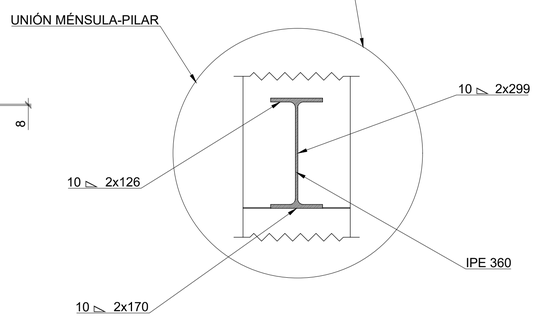


A
1:20

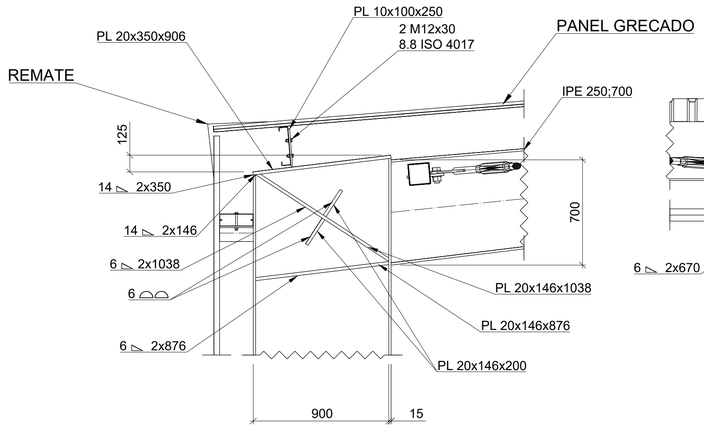


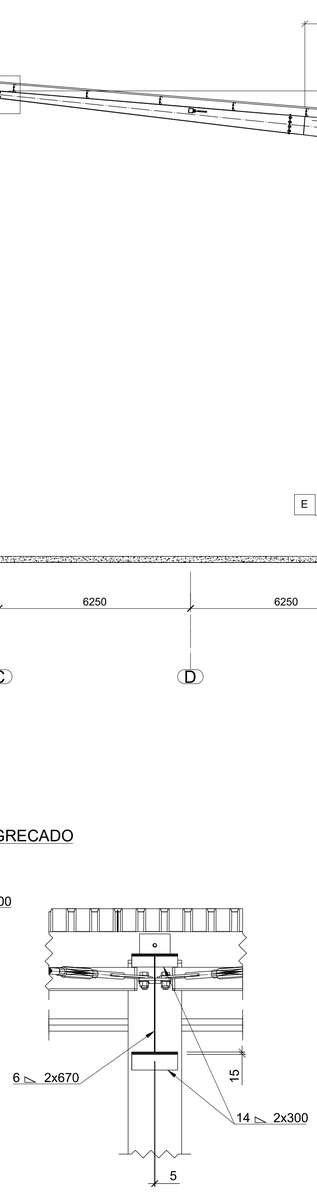




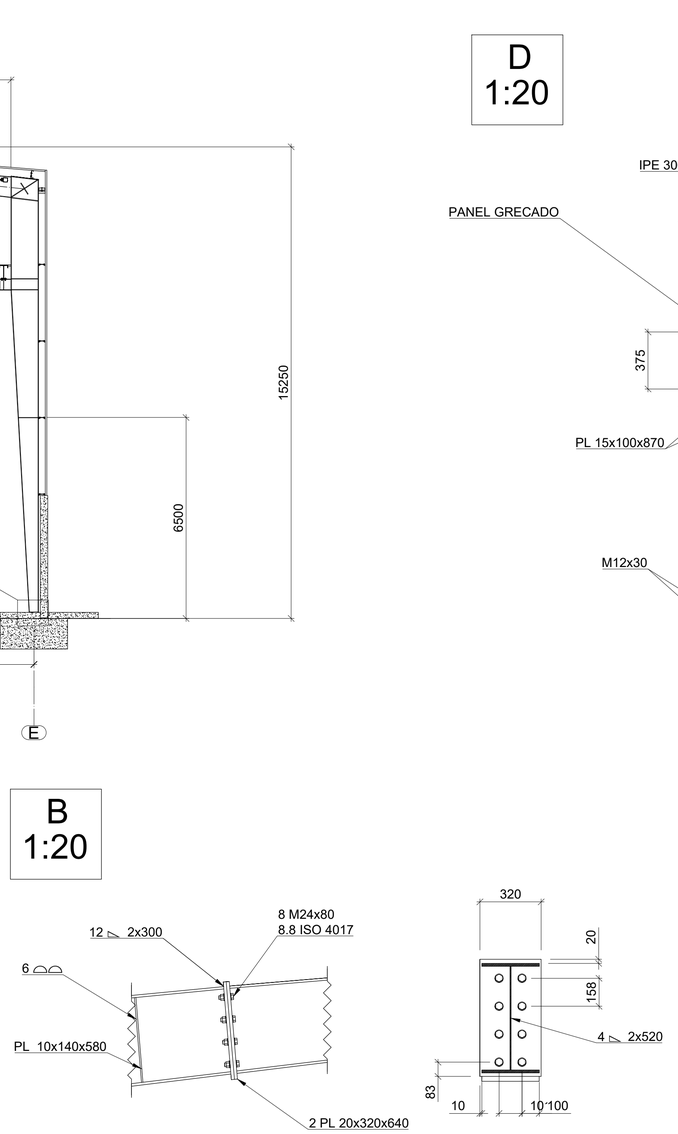


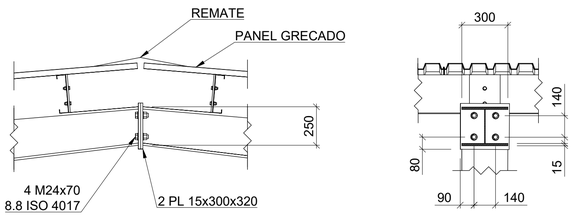
C
1:20

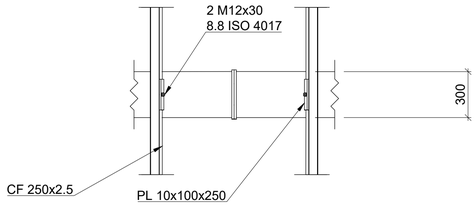


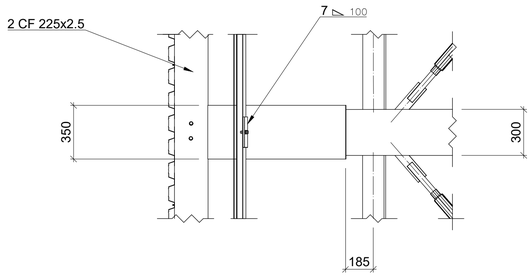


B
1:20

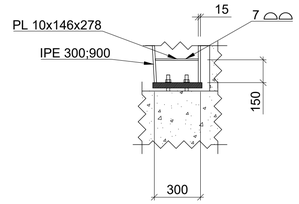




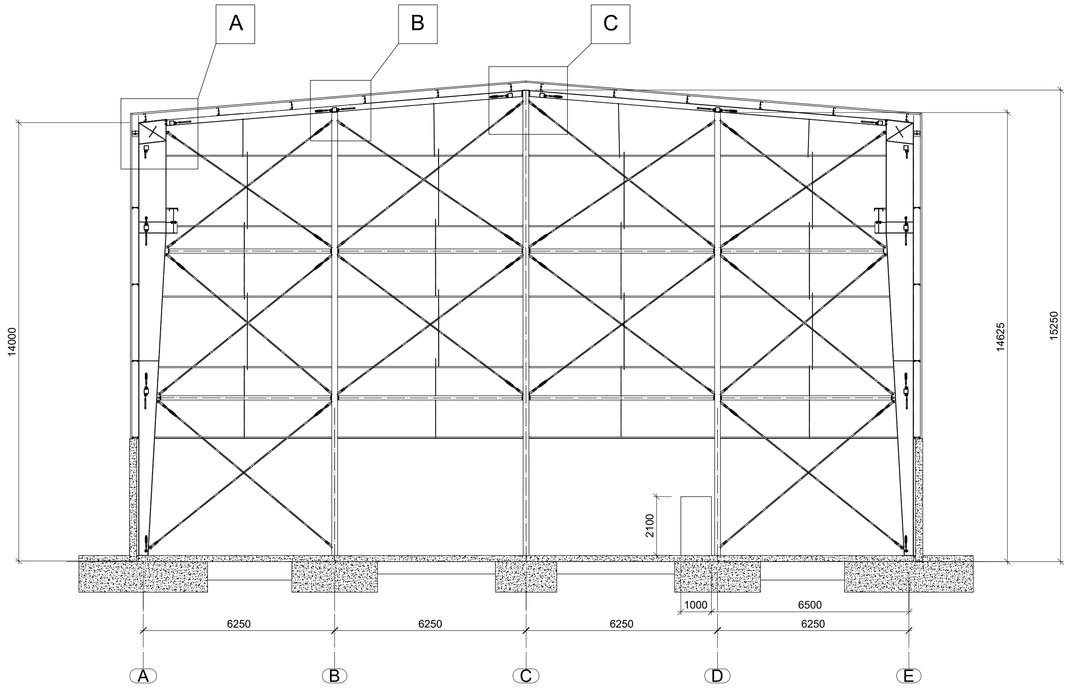




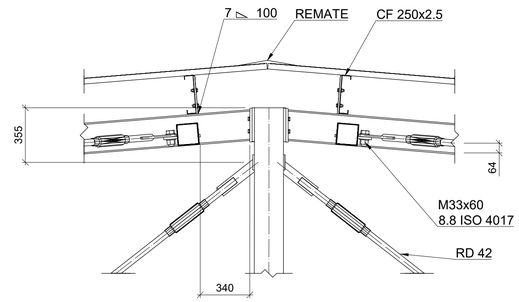
E
1:20

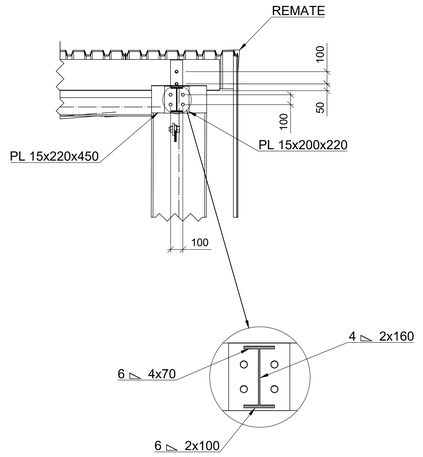


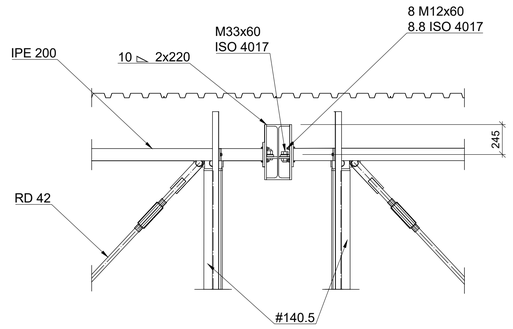
CÁLCULO Y DIMENSIONADO DE LA ESTRUCTURA DE UNA PLANTA INDUSTRIAL PARA ALMACENAMIENTO DE BOBINAS DE ACERO			Escuela de Ingeniería y Arquitectura Universidad Zaragoza 1542
Dibujado	20/06/2022	Jorge Alonso Sanz	*Firma:*
Título **PÓRTICO PRINCIPAL**			*Grado en Ing. Mecánica*
			Escala **1:100**
			Plano Nº **12**



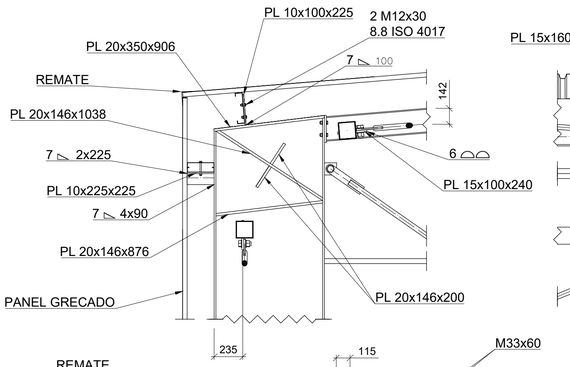
C
1:25

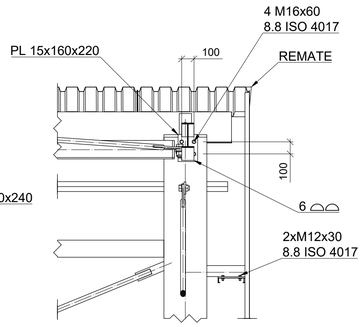


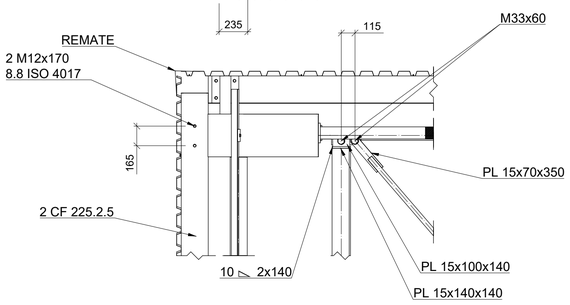




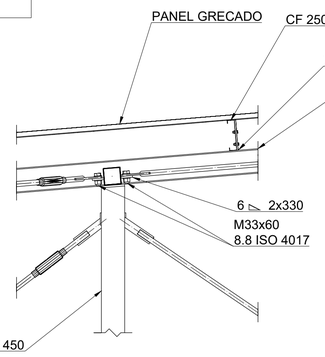
A
1:25

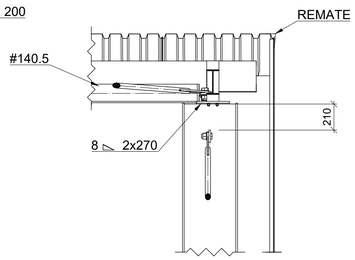


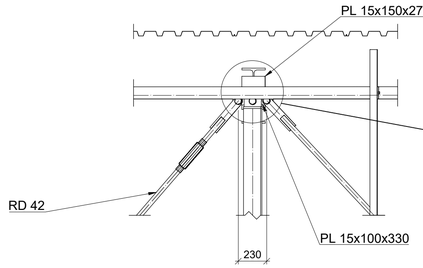


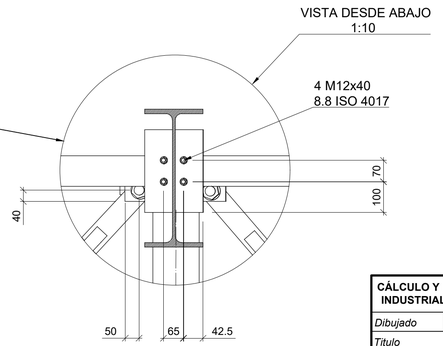


B
1:25

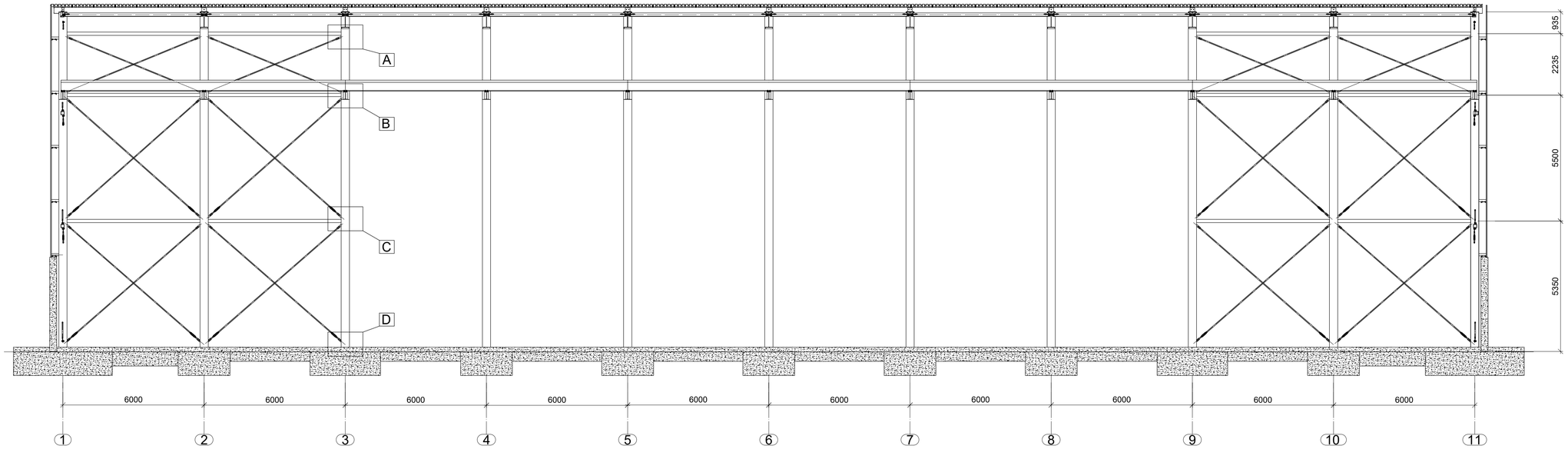








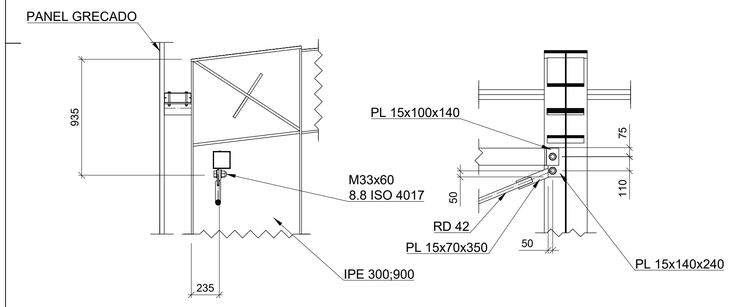
CÁLCULO Y DIMENSIONADO DE LA ESTRUCTURA DE UNA PLANTA INDUSTRIAL PARA ALMACENAMIENTO DE BOBINAS DE ACERO			Escuela de Ingeniería y Arquitectura Universidad Zaragoza
Dibujado	20/06/2022	Jorge Alonso Sanz	*Firma:*
Titulo	**PÓRTICO HASTIAL NORTE**		*Grado en Ing. Mecánica*
			Escala **1:100**
			Plano Nº **13**

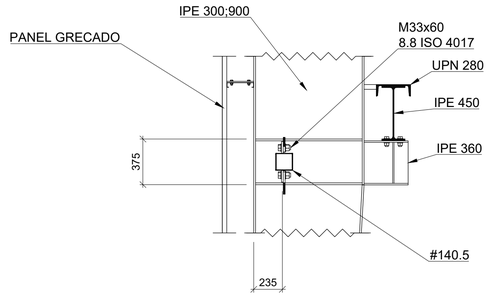


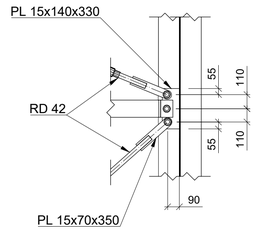
A
1:25

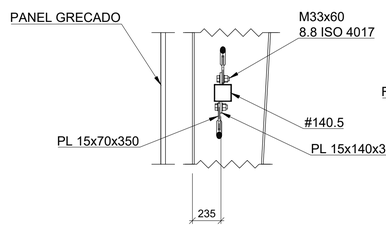
B
1:25

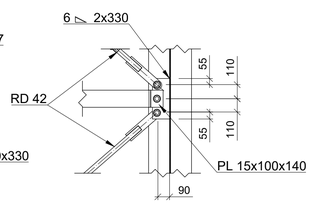
C
1:25

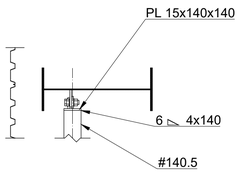




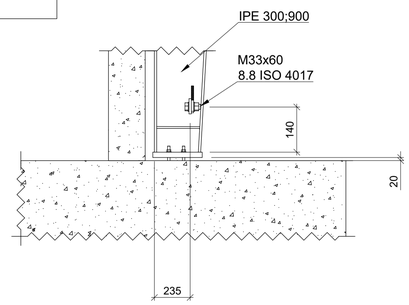


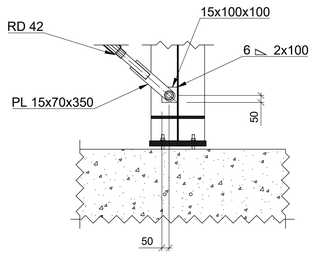




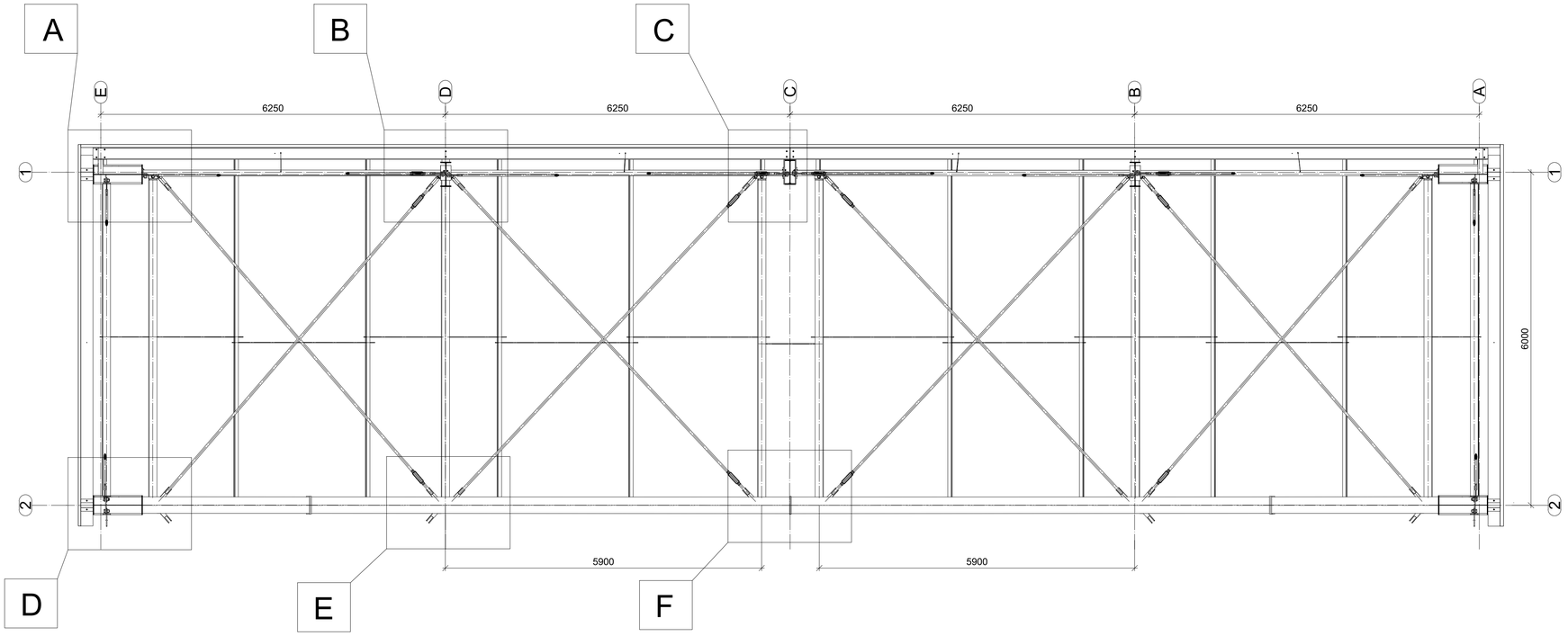


D
1:25

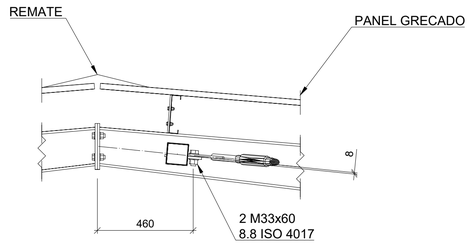


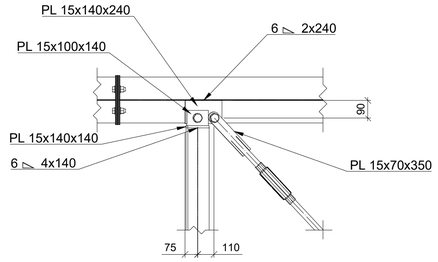


CÁLCULO Y DIMENSIONADO DE LA ESTRUCTURA DE UNA PLANTA INDUSTRIAL PARA ALMACENAMIENTO DE BOBINAS DE ACERO				Escuela de Ingeniería y Arquitectura Universidad Zaragoza
Dibujado	20/06/2022	Jorge Alonso Sanz	*Firma:*	
Titulo **ARRIOSTRADO LATERAL**				*Grado en Ing. Mecánica*
				Escala **1:100**
				Plano Nº **14**

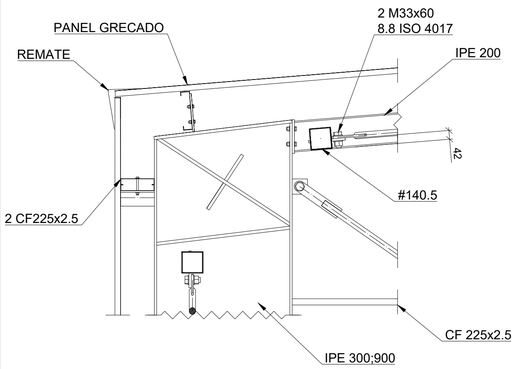


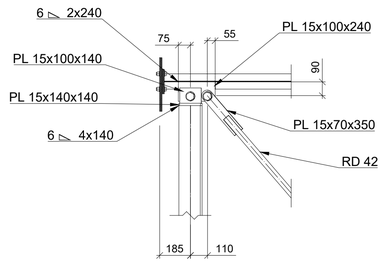
F
1:20



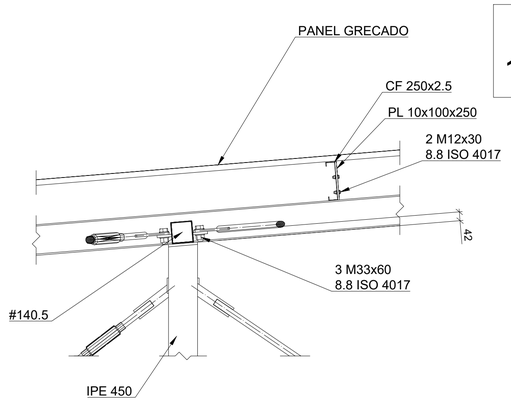


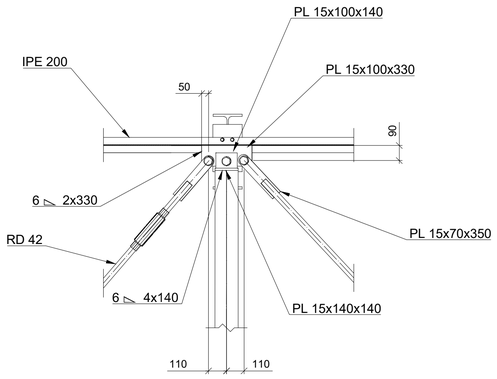
A
1:20



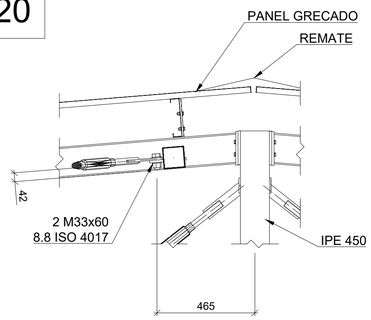


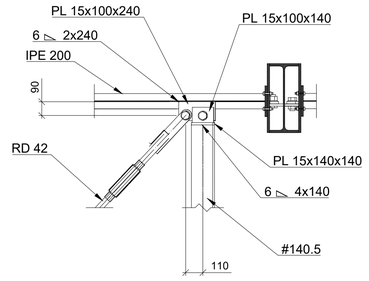
B
1:20



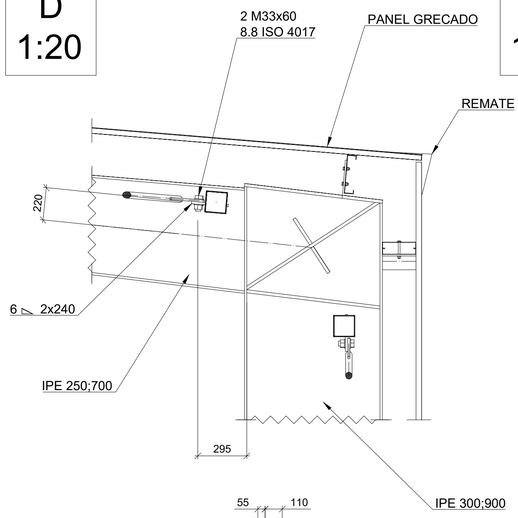


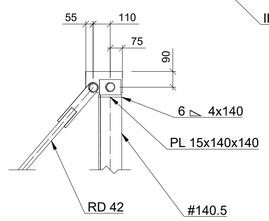
C
1:20



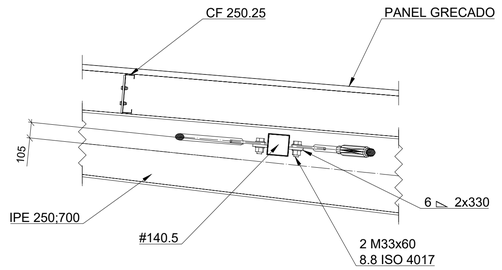


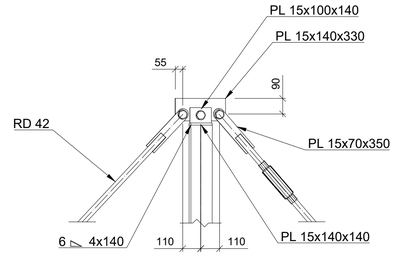
D
1:20



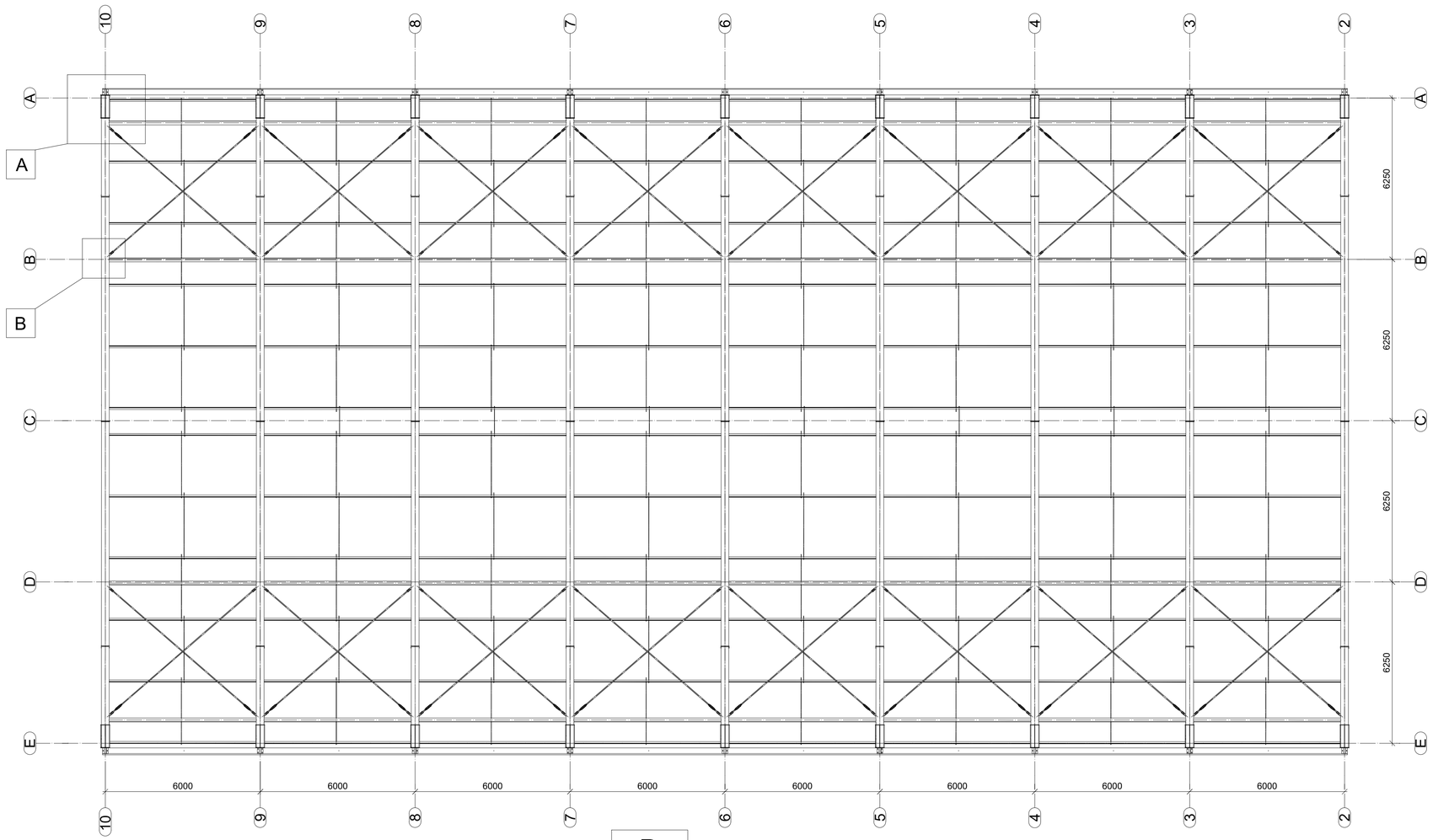


E
1:20

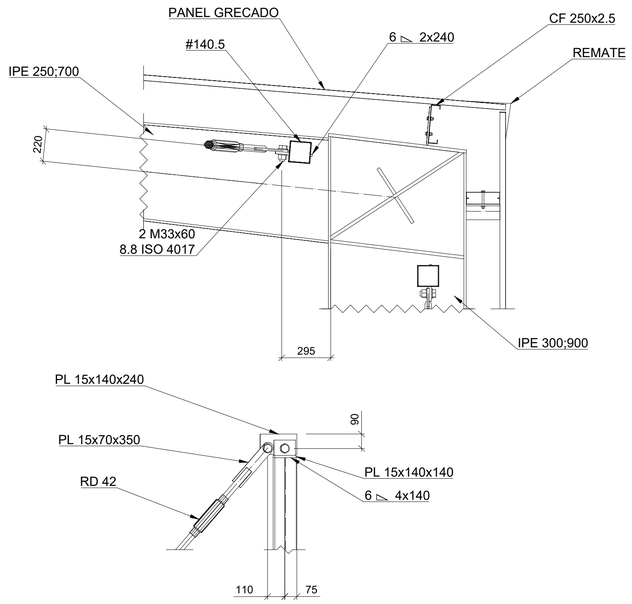




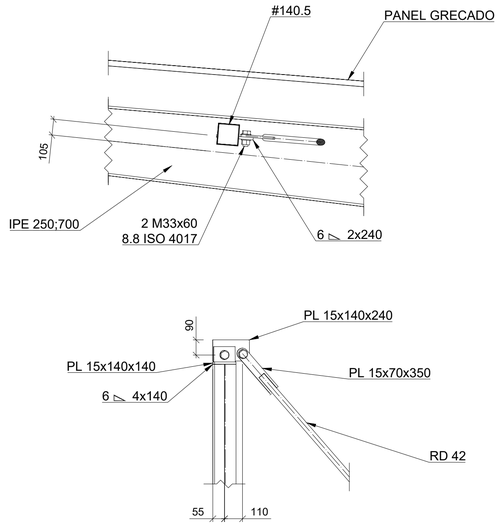
CÁLCULO Y DIMENSIONADO DE LA ESTRUCTURA DE UNA PLANTA INDUSTRIAL PARA ALMACENAMIENTO DE BOBINAS DE ACERO			Escuela de Ingeniería y Arquitectura Universidad Zaragoza
Dibujado	20/06/2022	Jorge Alonso Sanz	*Firma:*
Título	ARRIOSTRADO DE CUBIERTA TRANSVERSAL		*Grado en Ing. Mecánica*
			Escala 1:50
			Plano Nº 15



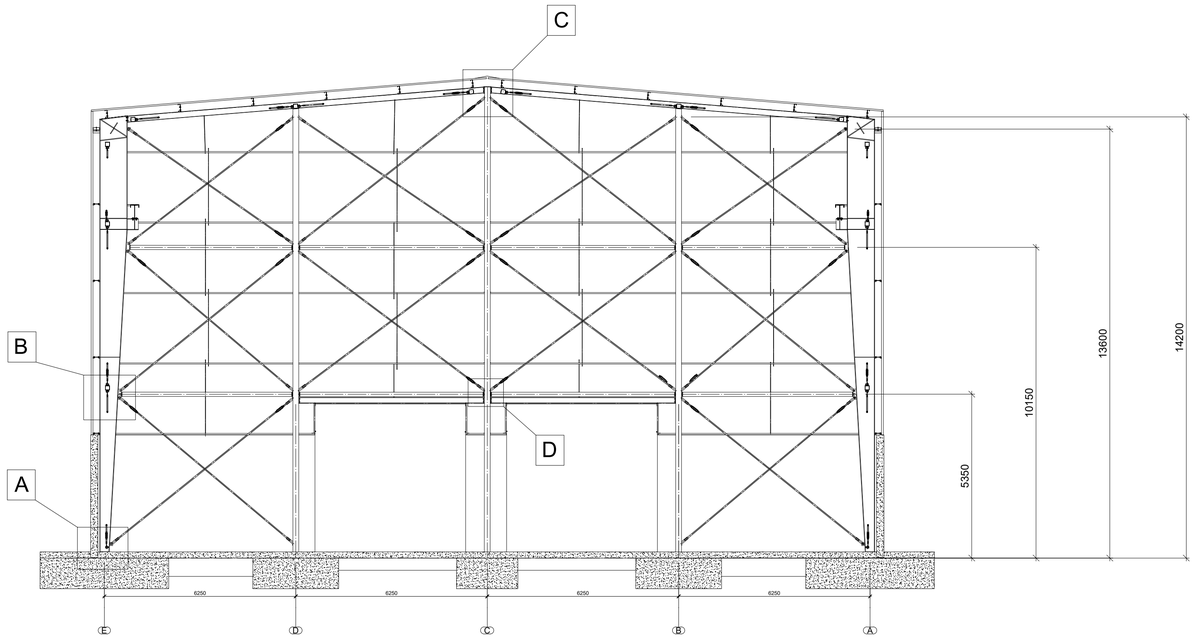
A
1:20



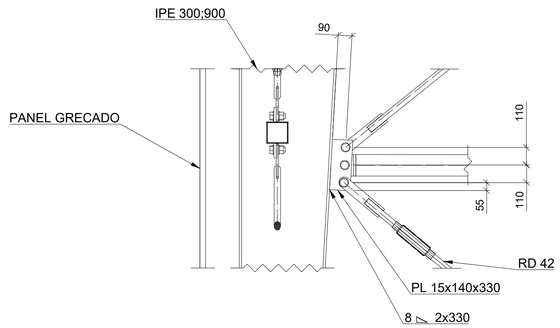
B
1:20

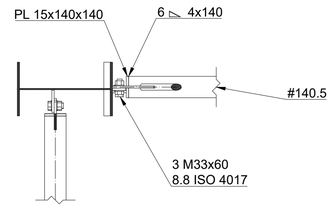


CÁLCULO Y DIMENSIONADO DE LA ESTRUCTURA DE UNA PLANTA INDUSTRIAL PARA ALMACENAMIENTO DE BOBINAS DE ACERO				Escuela de Ingeniería y Arquitectura Universidad Zaragoza
Dibujado	20/06/2022	Jorge Alonso Sanz	*Firma:*	
Título	**ARRIOSTRADO DE CUBIERTA LONGITUDINAL PÓRTICOS 2-10**			*Grado en Ing. Mecánica*
				Escala **1:100**
				Plano Nº **16**

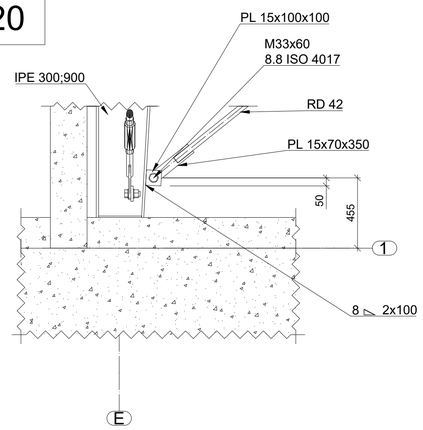


B
1:20

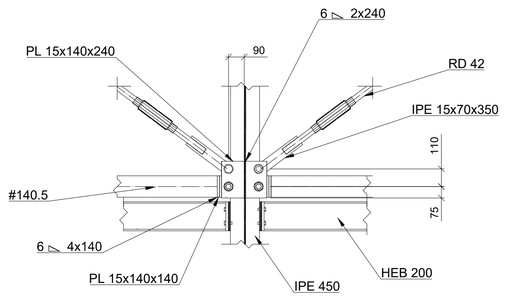




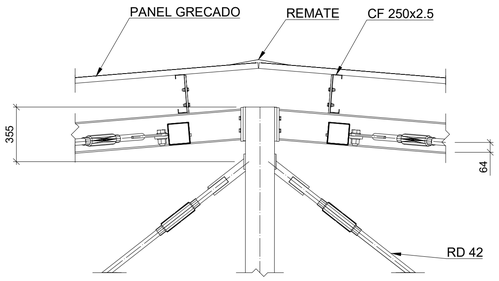
A
1:20

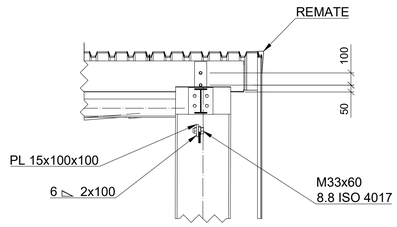


D
1:20

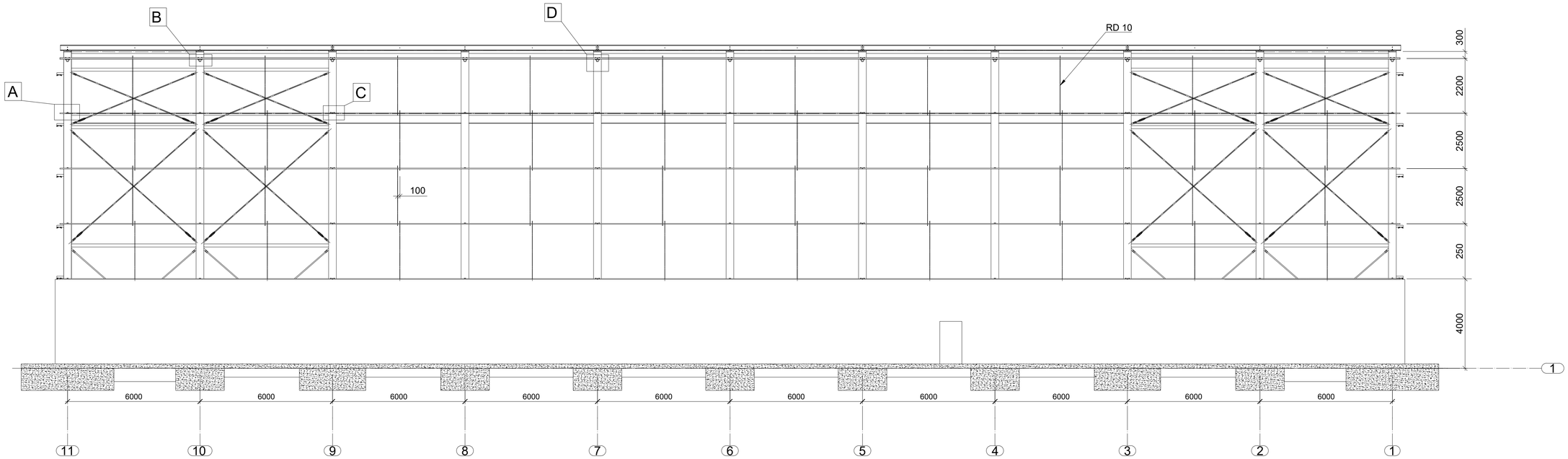


C
1:20

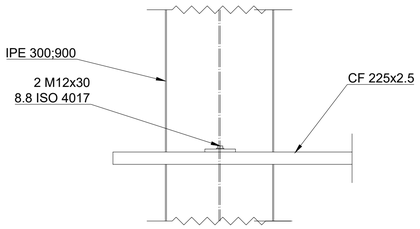


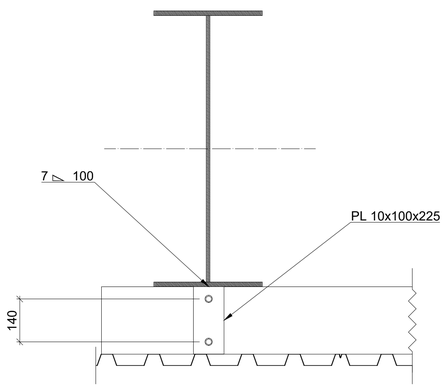


CÁLCULO Y DIMENSIONADO DE LA ESTRUCTURA DE UNA PLANTA INDUSTRIAL PARA ALMACENAMIENTO DE BOBINAS DE ACERO				Escuela de Ingeniería y Arquitectura Universidad Zaragoza
Dibujado	20/06/2022	Jorge Alonso Sanz	*Firma:*	
Titulo **ARRIOSTRAMIENTO DE FACHADA FRONTAL**				*Grado en Ing. Mecánica*
				Escala **1:100**
				Plano Nº **17**

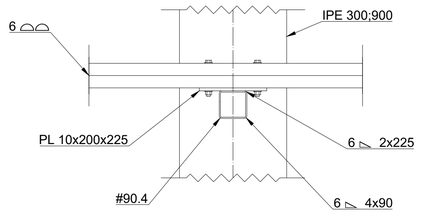


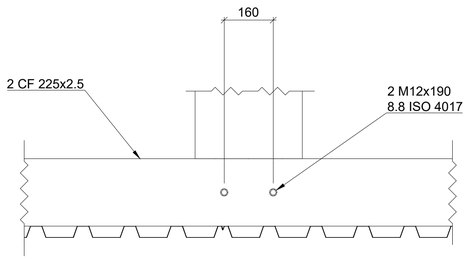
A 1:10



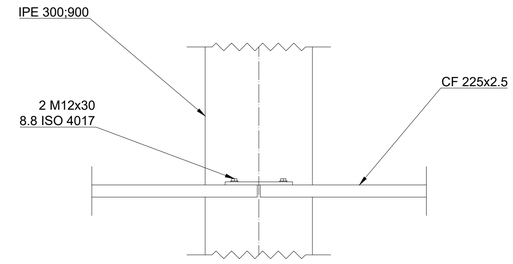


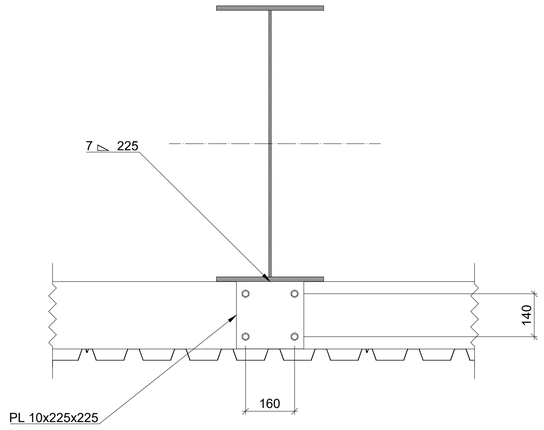
B 1:10



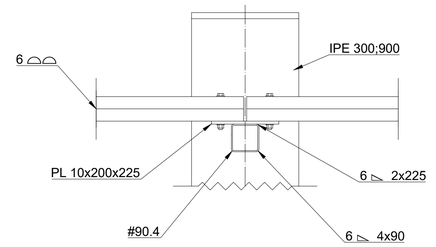


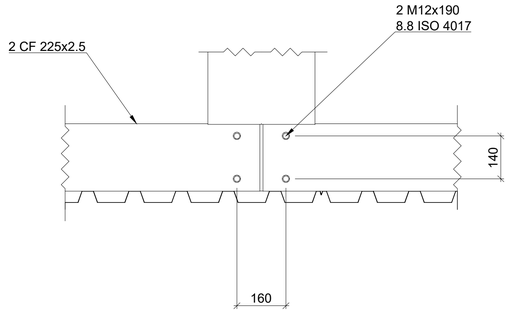
C 1:10



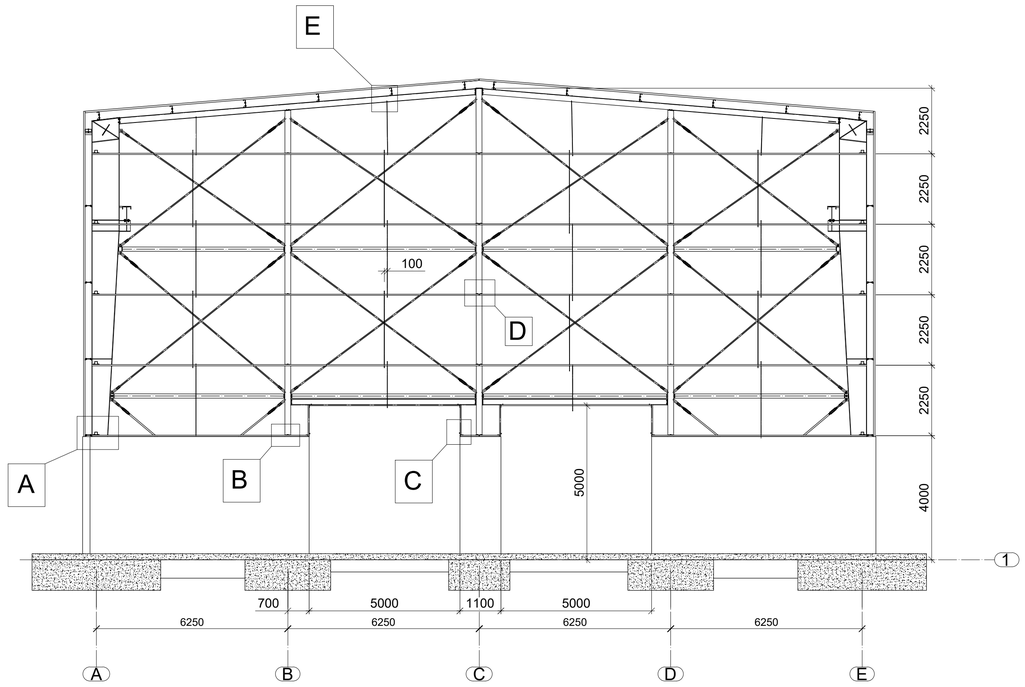


D 1:10

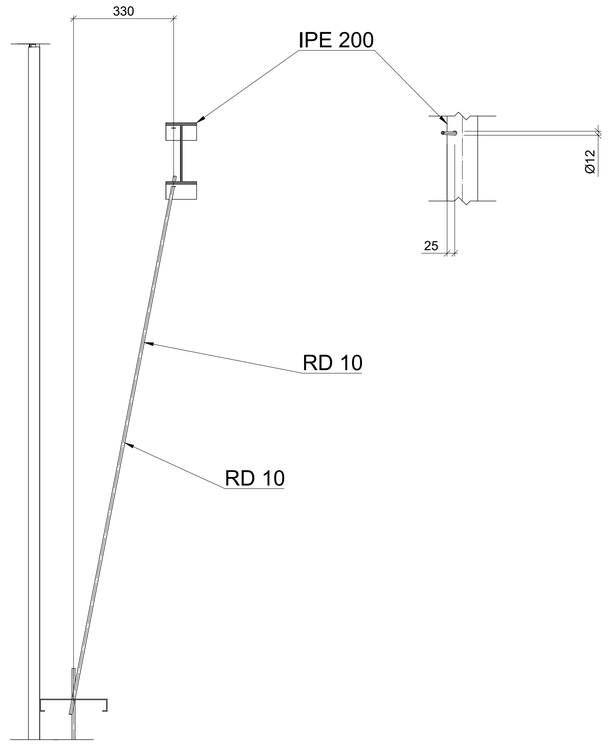




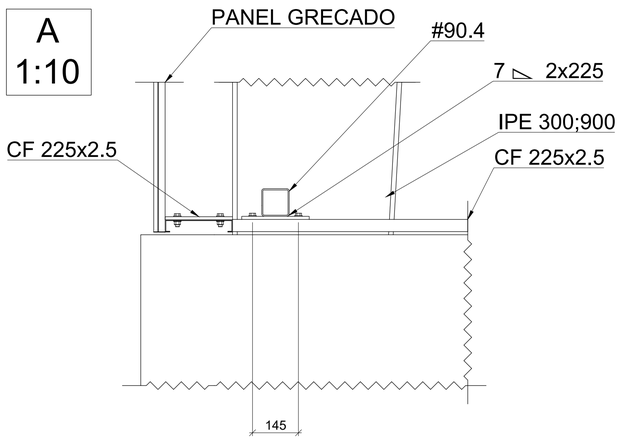
CÁLCULO Y DIMENSIONADO DE LA ESTRUCTURA DE UNA PLANTA INDUSTRIAL PARA ALMACENAMIENTO DE BOBINAS DE ACERO			Escuela de Ingeniería y Arquitectura Universidad Zaragoza
Dibujado	20/06/2022	Jorge Alonso Sanz	*Firma:*
Título CORREAS FACHADAS LATERALES			*Grado en Ing. Mecánica*
			Escala 1:100
			Plano Nº 18



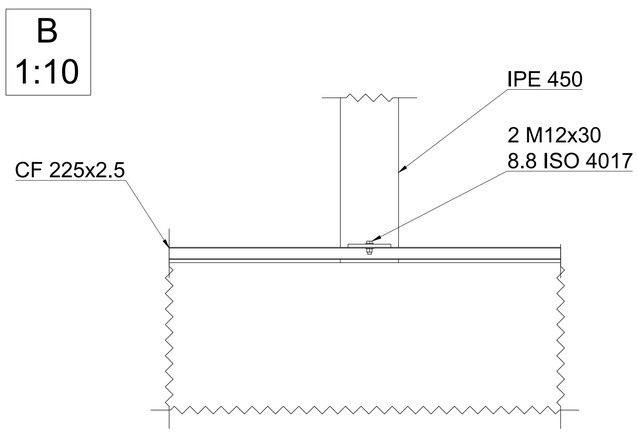
E
1:10



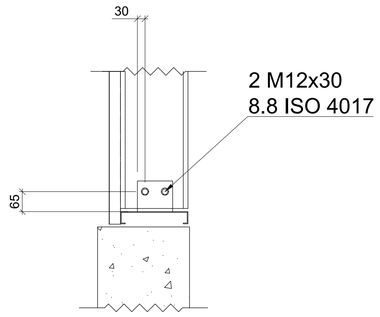
A
1:10



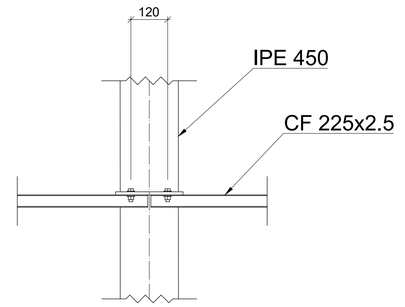
B
1:10

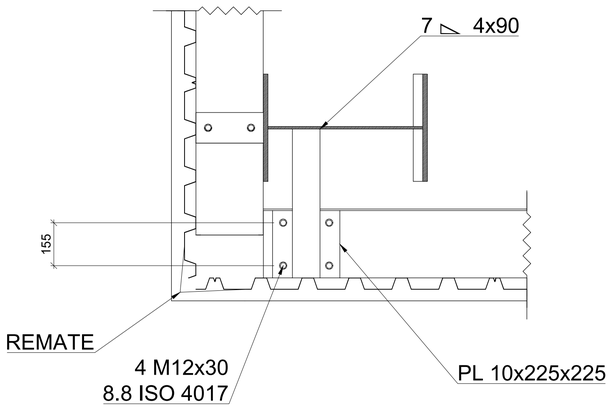


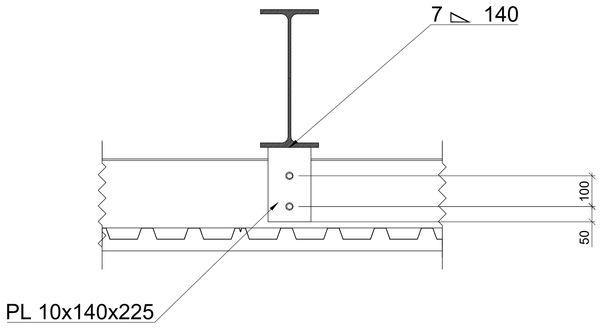
C
1:10

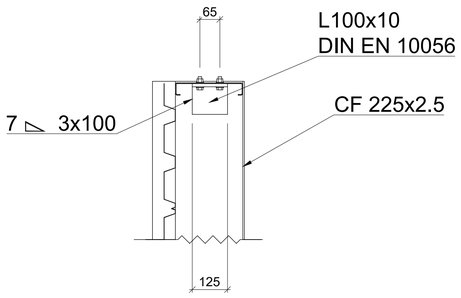


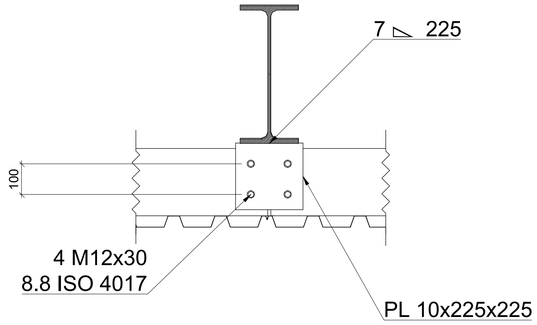
D
1:10



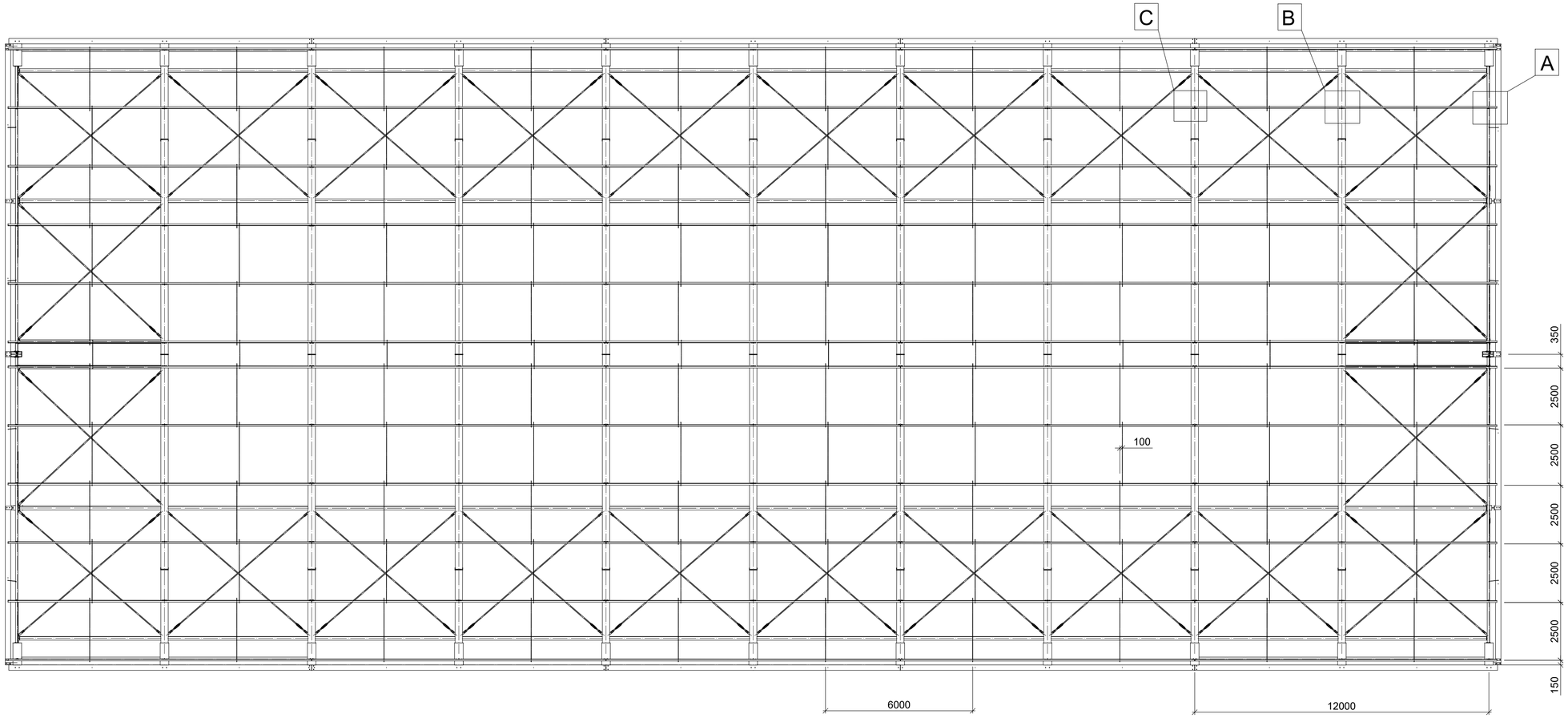




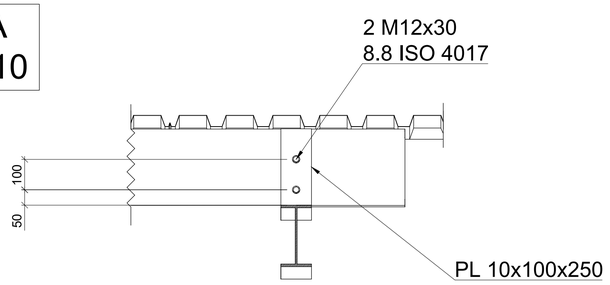


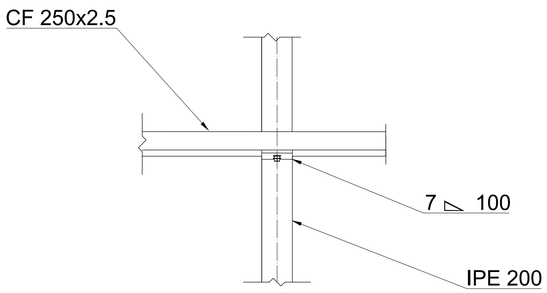


CÁLCULO Y DIMENSIONADO DE LA ESTRUCTURA DE UNA PLANTA INDUSTRIAL PARA ALMACENAMIENTO DE BOBINAS DE ACERO				Escuela de Ingeniería y Arquitectura Universidad Zaragoza
Dibujado	20/06/2022	Jorge Alonso Sanz	*Firma:*	
Titulo	CORREAS FACHADAS HASTIALES			*Grado en Ing. Mecánica*
				Escala 1:100
				Plano Nº 19

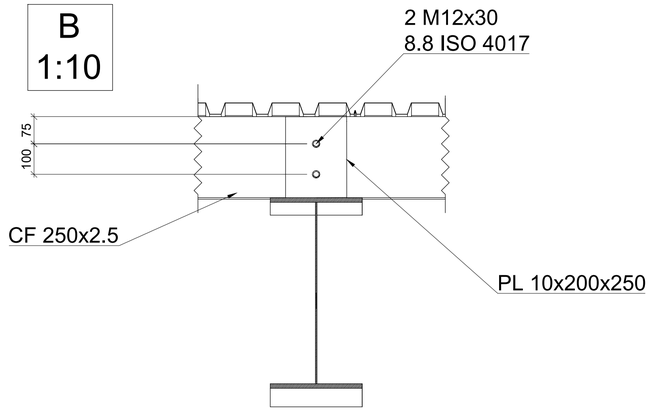


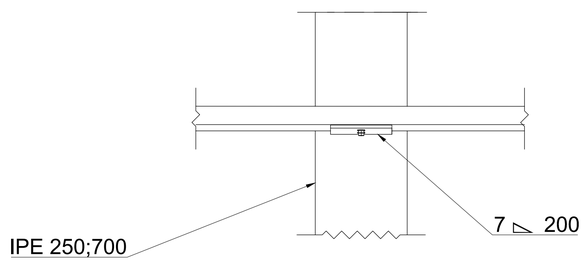
A
1:10



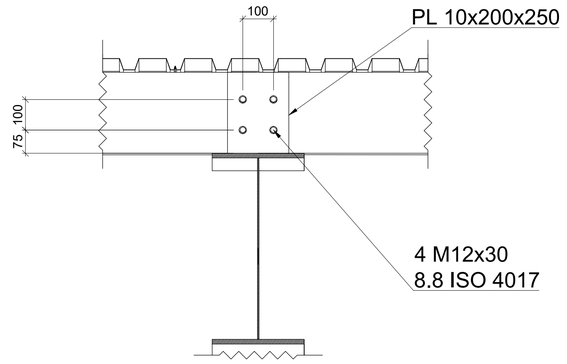


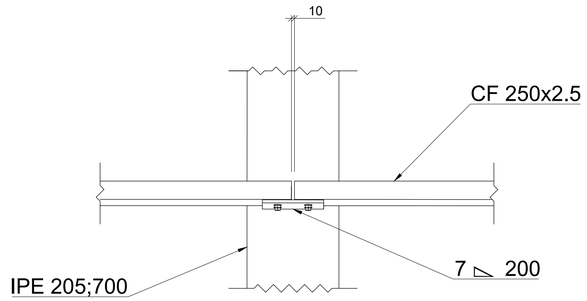
B
1:10



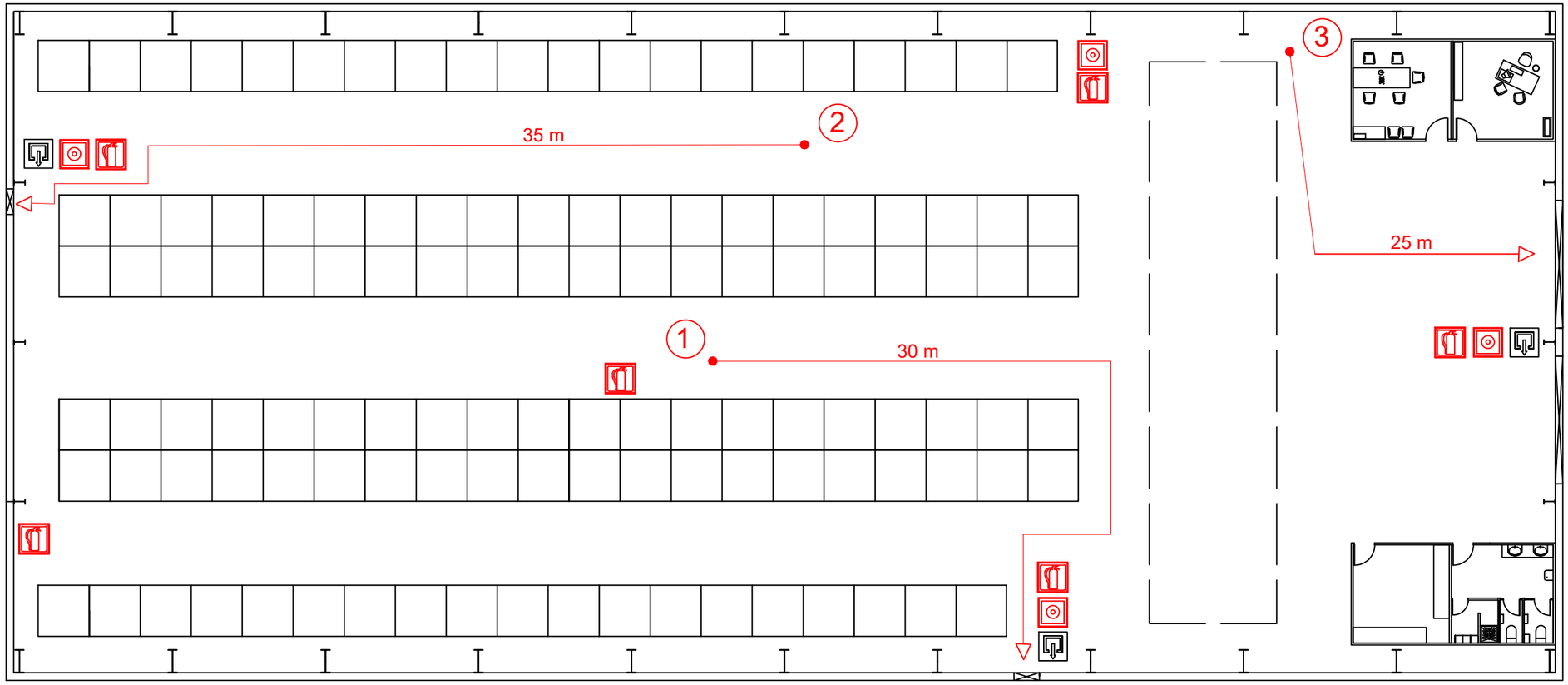


C
1:10





CÁLCULO Y DIMENSIONADO DE LA ESTRUCTURA DE UNA PLANTA INDUSTRIAL PARA ALMACENAMIENTO DE BOBINAS DE ACERO				Escuela de Ingeniería y Arquitectura Universidad Zaragoza
Dibujado	20/06/2022	Jorge Alonso Sanz	Firma:	Grado en Ing. Mecánica
Titulo: CORREAS DE CUBIERTA				Escala 1:100
				Plano Nº 20



EXTINTOR

PULSADOR DE ALARMA

SALIDA A EXTERIOR

RECORRIDO DE EVACUACIÓN

CÁLCULO Y DIMENSIONADO DE LA ESTRUCTURA DE UNA PLANTA INDUSTRIAL PARA ALMACENAMIENTO DE BOBINAS DE ACERO

Dibujado	20/06/2022	Jorge Alonso Sanz	*Firma:*

Titulo

PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS

Escuela de Ingeniería y Arquitectura Universidad Zaragoza

Grado en Ing. Mecánica

Escala 1:200

Plano Nº 21

A3

Universidad Zaragoza
1542

Trabajo Fin de Grado

Cálculo y dimensionado de la estructura de una planta industrial para el almacenamiento y distribución de bobinas de acero

PLIEGO DE CONDICIONES

Autor/es

Jorge Alonso Sanz

Director/es

Víctor Tabuenca Cintora

Grado en Ingeniería Mecánica

Escuela de Ingeniería y

Arquitectura de Zaragoza

2022

ÍNDICE

1. Introducción 1
2. Pliego de condiciones generales y económicas 2
   2.1. Agentes de la edificación: 2
   2.2. Responsabilidad civil de los agentes involucrados 10
   2.3. Trabajos, materiales y medios auxiliares 12
   2.4. Recepciones de edificios 16
   2.5. Aspectos económicos de la ejecución 19
   2.6. Obras por administración 23
   2.7. Valoración y abono de los trabajos 25
   2.8. Otros documentos 28
3. Pliego de condiciones técnicas y particulares 31
   3.1. Condiciones generales 31
   3.2. Materiales para hormigón, mortero y yeso 31
   3.3. Acero 33
   3.4. Productos Auxiliares de hormigones 33
   3.5. Material para cerramientos 34
   3.6. Materiales para solera y alicatados 34
   3.7. Carpintería metálica 35
   3.8. Movimiento de tierras 35
   3.9 Hormigones 36
   3.10 Solera 40
   3.11 Estructura metálica 40
   3.12 Pintura 41
   3.13 Criterios de aceptación y rechazo 43
   3.14 Cubiertas planas. Azoteas 44
   3.15 Saneamiento 46
   3.16 Fontanería 48
   3.17 Instalaciones eléctricas 48

1. Introducción

Artículo 1: Objeto del pliego.

El presente Pliego de Condiciones del Proyecto tiene por finalidad regular la ejecución de las obras fijando los niveles técnicos y de calidad exigibles, precisando las intervenciones que corresponden según el contrato y con arreglo a la legislación vigente, al promotor o dueño de la obra, al contratista o constructor de la misma, sus técnicos y encargados, así como las relaciones entre todos ellos y sus correspondientes obligaciones en orden al cumplimiento del contrato de obra.

En concreto, este pliego de condiciones se aplica al proyecto de construcción de una nave industrial para su posterior utilización como planta de almacén de bobinas de acero.

Artículo 2: Documentación del contrato de obra.

Integran el contrato los siguientes documentos relacionados por orden de prelación en cuanto al valor de sus especificaciones en caso de aparente contradicción:

1. Las condiciones fijadas en el propio documento de contrato.
2. El pliego de condiciones particulares.
3. El presente pliego general de condiciones
4. El resto de la documentación de proyecto (memoria, planos, mediciones y presupuestos).

El presente proyecto hace referencia a una obra de nueva construcción, siendo susceptible de ser entregada al uso a que se destina una vez finalizada la misma. Las órdenes e instrucciones de la Dirección Facultativa de las obras se incorporan al proyecto como interpretación, complemento o precisión de sus determinaciones.

En cada documento las especificaciones literales prevalecen sobre las gráficas, y en los planos la cota prevalece sobre la medida a escala.

El proyecto es el conjunto de documentos mediante los cuales se definen y determinan las exigencias técnicas de las obras contempladas en el artículo 2 de la Ley de la Edificación.

El proyecto habrá de justificar técnicamente las soluciones propuestas de acuerdo con las especificaciones requeridas por la normativa técnica aplicable. Cuando el proyecto se desarrolle o complete mediante proyectos parciales u otros documentos técnicos sobre tecnologías específicas o instalaciones del edificio, se mantendrá entre todos ellos la necesaria coordinación sin que se produzca una duplicidad en la documentación ni en los honorarios a percibir por los autores de los distintos trabajos indicados.

2. Pliego de condiciones generales y económicas

Artículo 3: Delimitación de funciones de los agentes intervinientes.

Ámbito de aplicación de la Ley de Ordenación de la Edificación.

La Ley de Ordenación de la Edificación (LOE) es de aplicación al proceso de la edificación, entendiendo por tal la acción y el resultado de construir un edificio de carácter permanente, público o privado cuyo uso principal está comprendido en el siguiente grupo de edificaciones destinadas a uso aeronáutico, agropecuario, de la energía, de la hidráulica, minero, de telecomunicaciones (referido a la ingeniería de las telecomunicaciones), del transporte terrestre; marítimo; fluvial y aéreo, forestal, industrial, naval, de la ingeniería de saneamiento e higiene y accesorio a las obras de ingeniería y su explotación.

De acuerdo a la Ley 38/99 de Ordenación de la Edificación, los agentes que intervienen con enumeración de sus funciones son:

2.1. Agentes de la edificación:

Concepto: son agentes de la edificación todas las personas físicas o jurídicas que intervienen en el proceso de la edificación. Sus obligaciones vendrán determinadas por lo dispuesto en esta Ley y demás disposiciones que sean de aplicación y por el contrato que origina su intervención.

El promotor: será considerado promotor cualquier persona física o jurídica, pública o privada que, individual o colectivamente decide, impulsa, programa y financia con recursos propios o ajenos las obras de edificación para sí o para su posterior enajenación, entrega o cesión a terceros bajo cualquier título. Son obligaciones del promotor:

a) Ostentar sobre el solar la titularidad de un derecho que le faculte para construir en él.
b) Facilitar la documentación e información previa necesaria para la redacción del proyecto, así como autorizar al director de obra las posteriores modificaciones del mismo.
c) Gestionar y obtener las preceptivas licencias y autorizaciones administrativas, así como suscribir el acta de recepción de la obra.
d) Entregar al adquiriente en su caso la documentación de obra ejecutada o cualquier otro documento exigible por las administraciones competentes.

El proyectista: es el agente que, por encargo del promotor y con sujeción a la normativa técnica y urbanística correspondiente, redacta el proyecto.

De forma coordinada con el autor del proyecto, otros técnicos podrán redactar secciones parciales del proyecto o partes de este que lo complementen.

Cuando el proyecto se desarrolle o complete mediante proyectos parciales u otros documentos técnicos según lo previsto en el apartado 2 del artículo 4 de esta Ley, cada proyectista asumirá la titularidad de su proyecto.

Artículo 4. Obligaciones del proyectista:

a) Estar en posesión de la titulación académica y profesional habilitante de director de obra, director de obra técnico, ingeniero o ingeniero técnico según corresponda, y cumplir las condiciones exigibles para el ejercicio de la profesión. En caso de personas jurídicas designar al técnico redactor del proyecto que tenga la titulación profesional habilitante. En todo caso, en los aspectos concretos correspondientes a sus especialidades y competencias específicas y en particular respecto de los elementos complementarios a que se refiere el apartado 3 del artículo 2, podrán asimismo intervenir otros técnicos titulados del ámbito de la arquitectura o de la ingeniería, suscribiendo los trabajos por ellos realizados y coordinados por el proyectista. Dichas intervenciones especializadas serán preceptivas si así lo establece la disposición legal reguladora del sector de actividad de que se trate.
b) Redactar el proyecto son sujeción a la normativa vigente y a lo que se haya establecidoen el contrato y entregarlo con los visados que en su caso fueran preceptivos.
c) Acordar en su caso con el promotor la contratación de colaboraciones parciales.

El constructor: es el agente que asume contractualmente ante el promotor el compromiso de ejecutar con medios humanos y materiales; propios o ajenos, las obras o parte de las mismas con sujeción al proyecto y al contrato.

Artículo 5. Obligaciones del constructor:

A) Ejecutar la obra con sujeción al proyecto, a la legislación aplicable y a las instrucciones del director de obra y del director de la ejecución de la obra, a fin de alcanzar la calidad exigida en el proyecto. Tener la titulación o capacitación profesional que habilita para el cumplimiento de las condiciones exigibles para actuar como constructor.

B) Designar al jefe de obra que asumirá la representación técnica del constructor en la obra y que por su titulación o experiencia deberá tener la capacitación adecuada de acuerdo con las características y la complejidad de la obra.

C) Asignar a la obra los medios humanos y materiales que su importancia requiera.

D) Formalizar las subcontrataciones de determinadas partes o instalaciones de la obra dentro de los límites establecidos en el contrato.

E) Firmar el acta de replanteo o de comienzo y el acta de recepción de la obra.

F) Facilitar al director de obra los datos necesarios para la elaboración de la documentación de la obra ejecutada.

G) Suscribir las garantías previstas en el artículo 19 de la LOE.

H) Organizar los trabajos de construcción, redactando los planes de obras que se precisen y proyectando o autorizando las instalaciones provisionales y medios auxiliares de la obra.

I) Elaborar, cuando se requiera, el Plan de Seguridad e Higiene de la obra en aplicación del estudio correspondiente y disponer en todo caso la ejecución de las medidas

preventivas, velando por su cumplimiento y por la observancia en concordancia de la normativa vigente actual en materia de seguridad e higiene en el trabajo.

J) Suscribir con el director de obra el acta de replanteo de la obra.

K) Ostentar la jefatura de todo el personal que intervenga en la obra y coordinar las intervenciones de los subcontratistas.

L) Asegurar la idoneidad de todos y cada uno de los materiales y elementos constructivos que se utilicen, comprobando los preparativos en obra y rechazando por iniciativa propia o por prescripción del aparejador o director de obra técnico, los suministros o prefabricados que no cuenten con las garantías o documentos de idoneidad requeridos por las normas de aplicación.

M) Custodiar el libro de órdenes y seguimiento de la obra y dar el enterado a las anotaciones que se practiquen en el mismo.

N) Facilitar al director de obra con la antelación suficiente los materiales precisos para el cumplimiento de su cometido.

O) Preparar las certificaciones parciales de obra y la propuesta de liquidación final.

P) Suscribir con el promotor las actas de recepción provisional y definitiva.

Q) Concertar los seguros de accidentes de trabajo y de daños a terceros durante la obra.

R) Deberá tener siempre a mano un número proporcionado de obreros a la extensión de los trabajos que se estén ejecutando según el nº.5 del Artículo 63 del vigente reglamento general de contratación del Estado.

El director de obra: es el agente que, formando parte de la Dirección Facultativa, dirige el desarrollo de la obra en los aspectos técnicos, estéticos, urbanísticos y medioambientales, de conformidad con el proyecto que la define, la licencia de edificación y demás autorizaciones preceptivas y las condiciones del contrato con el objeto de asegurar su adecuación al fin propuesto.

Podrán dirigir las obras de los proyectos parciales otros técnicos bajo la coordinación del director de obra.

Artículo 6. Obligaciones del director de obra:

A) Estar en posesión de la titulación académica y profesional habilitante de director de obra, director de obra técnico, ingeniero o ingeniero técnico según corresponda y cumplir las condiciones exigibles para el ejercicio de la profesión. En caso de personas jurídicas designar al técnico director de obra que tenga la titulación profesional habilitante.

B) Verificar el replanteo y la adecuación de la cimentación y de la estructura proyectada a las características geotécnicas del terreno.

C) Resolver las contingencias que se produzcan en la obra y consignar en el libro de órdenes y asistencias las instrucciones precisas para la correcta interpretación del proyecto.

D) Elaborar, a requerimiento del promotor o con su conformidad, eventuales modificaciones del proyecto que vengan exigidas por la marcha de la obra siempre que las mismas se adapten a las disposiciones normativas contempladas y observadas en la redacción del proyecto.

E) Suscribir el acta de replanteo o de comienzo de obra y el certificado final de obra, así como conformar las certificaciones parciales y la liquidación final de las unidades de obra ejecutadas con los visados que en su caso fueran preceptivos.

F) Elaborar y suscribir la documentación de la obra ejecutada para entregarla al promotor con los visados que en su caso fueran necesarios.

G) Las relacionadas en el artículo 1 en aquellos casos en los que el director de la obra y el director de la ejecución de la obra sea el mismo profesional, si fuera ésta la opción elegida, de conformidad con lo previsto en el apartado 2 a) del artículo 13.

Artículo 7. Corresponden al director de obra director, además de las funciones señaladas anteriormente:

A) Redactar los complementos o rectificaciones del proyecto que se precisen.

B) Asistir a las obras cuantas veces lo requiera su naturaleza y complejidad, a fin de resolver las contingencias que se produzcan e impartir las órdenes complementarias que sean precisas para conseguir la correcta solución ingenieril.

C) Coordinar la intervención en obra de otros técnicos que, en su caso, concurran a la dirección con función propia en aspectos parciales de su especialidad.

D) Aprobar las certificaciones parciales de obra, la liquidación final y asesorar al promotor en el acto de la recepción.

<u>El director de obra técnico:</u>

Artículo 8. Corresponden al director de obra técnico además de las funciones señaladas anteriormente:

A) Redactar el documento de estudios y análisis del Proyecto.

B) Planificar a la vista del proyecto arquitectónico, del contrato y de la normativa técnica de aplicación el control de calidad y económico de las obras.

C) Redactar cuando sea requerido el estudio de los sistemas adecuados a los riesgos del trabajo en la realización de la obra y aprobar el Plan de Seguridad e Higiene para la aplicación del mismo.

D) Efectuar el replanteo de la obra y preparar el acta correspondiente suscribiéndola en unión del director de obra y del constructor.

E) Comprobar las instalaciones provisionales, medios auxiliares y sistemas de seguridad e higiene en el trabajo, controlando su correcta ejecución.

F) Ordenar y dirigir la ejecución material con arreglo al proyecto, a las normas técnicas y a las reglas de la buena construcción.

G) Realizar o disponer las pruebas o ensayos de materiales, instalaciones y demás unidades de obra según las frecuencias de muestreo programadas en el plan de control, así como efectuar las demás comprobaciones que resulten necesarias para asegurar la calidad constructiva de acuerdo con el proyecto y la normativa técnica aplicable. De los resultados informará puntualmente al constructor, impartiéndole en su caso las órdenes oportunas, de no resolverse la contingencia adoptará las medidas que correspondan dando cuenta al director de obra.

H) Realizar las mediciones de obra ejecutada y dar conformidad según las relaciones establecidas a las certificaciones valoradas y a la liquidación de la obra.

I) Suscribir, en unión del director de obra, el certificado final de la obra.

El director de la ejecución de la obra: es el agente que, formando parte de la Dirección Facultativa, asume la función técnica de dirigir la ejecución material de la obra y de controlar cualitativa y cuantitativamente la construcción y la calidad de lo edificado.

Artículo 9. Son obligaciones del director de la ejecución de la obra:

A) Estar en posesión de la titulación académica y profesional habilitante y cumplir las condiciones exigibles para el ejercicio de la profesión. En caso de personas jurídicas, designar al técnico director de la ejecución de la obra que tenga la titulación profesional habilitante.

B) Verificar la recepción en obra de los productos de construcción, ordenando la realización de ensayos y pruebas precisas.

C) Dirigir la ejecución material de la obra comprobando los replanteos, los materiales, la correcta ejecución y disposición de los elementos constructivos y de las instalaciones de acuerdo con el proyecto y con las instrucciones del director de obra.

D) Consignar en el libro de órdenes y asistencias las instrucciones precisas.

E) Suscribir el acta de replanteo o de comienzo de obra y el certificado final de obra, así como elaborar y suscribir las certificaciones parciales y la liquidación final de las unidades de obra ejecutadas.

F) Colaborar con los restantes agentes en la elaboración de la documentación de la obra ejecutada, aportando los resultados del control realizado.

El coordinador de seguridad y salud:

El coordinador en materia de seguridad y salud durante la ejecución de la obra deberá desarrollar las siguientes funciones:

A) Coordinar la aplicación de los principios generales de prevención y de seguridad.

B) Coordinar las actividades de la obra para garantizar que los contratistas y, en su caso, los subcontratistas y los trabajadores autónomos apliquen de manera coherente y responsable los principios de la acción preventiva que se recogen en el artículo 15 de la Ley de Prevención de Riesgos Laborales durante la ejecución de la obra.

C) Aprobar el plan de seguridad y salud elaborado por el contratista y, en su caso, las modificaciones introducidas en el mismo.

D) Coordinar las acciones y funciones de control de la aplicación correcta de los métodos de trabajo.

E) Adoptar las medidas necesarias para que sólo las personas autorizadas puedan acceder a la obra. La Dirección Facultativa asumirá esta función cuando no fuera necesaria la designación de coordinador.

Las entidades y los laboratorios de control de calidad de la edificación:

Son entidades de control de calidad de la edificación aquellas capacitadas para prestar asistencia técnica en la verificación de la calidad del proyecto y la normativa aplicable.

Son laboratorios de ensayos para el control de calidad de la edificación los capacitados para prestar asistencia técnica, mediante la realización de ensayos o pruebas de servicio de los materiales, sistemas o instalaciones de una obra de edificación.

Artículo 10. Son obligaciones de las entidades y de los laboratorios de control de calidad:

A) Prestar asistencia técnica y entregar los resultados de su actividad al agente autor del encargo y, en todo caso, al director de la ejecución de las obras.

B) Justificar la capacidad suficiente de medios materiales y humanos necesarios para realizar adecuadamente los trabajos contratados, en su caso, a través de la correspondiente acreditación oficial otorgada por las Comunidades Autónomas con competencia en la materia.

Artículo 11. Verificación de los documentos del proyecto:

Antes de dar comienzo a las obras, el constructor consignará por escrito que la documentación aportada resulta suficiente para la comprensión de la totalidad de la obra contratada o, en caso contrario, solicitará las aclaraciones pertinentes.

El contratista se sujetará a las leyes, reglamentos y ordenanzas vigentes, así como a las que se dicten durante la ejecución de la obra

Artículo 12. Plan de seguridad e Higiene:

El constructor a la vista del proyecto de ejecución, conteniendo en su caso, el estudio de Seguridad e Higiene presentará el Plan de Seguridad e Higiene de la obra a la aprobación del Técnico de la Dirección Facultativa.

Artículo 13. Oficina en la obra:

El constructor habilitará en la obra una oficina en la que existirá una mesa o tablero adecuado, en el que puedan extenderse y consultarse los planos. En dicha oficina tendrá siempre el contratista a disposición de la Dirección Facultativa:

A) El proyecto de ejecución completo, incluidos los complementos que en su caso redacte el ingeniero.

B) La licencia de obras.

C) El libro de órdenes y asistencias.

D) El plan de seguridad y salud y su libro de incidencias si hay, para la obra.

E) El proyecto de control de calidad y su libro de registro si hay, para la obra.

F) El reglamento y ordenanza de seguridad y salud en el trabajo.

G) La documentación de los seguros suscritos por el constructor.

Artículo 14. Presencia del constructor en la obra:

El constructor viene obligado a comunicar a la propiedad la persona designada como delegado suyo en la obra, que tendrá carácter de jefe de esta, con dedicación plena y con facultades para representarle y adoptar en todo momento cuantas disposiciones competan a la contrata. Serán sus funciones las del constructor según especifica en el artículo 5º.

Artículo 15. Presencia del jefe de obra:

El jefe de la obra, por sí mismo o por medio de sus técnicos o encargados, estará presente durante la jornada legal de trabajo y acompañará al director de obra en las visitas que haga a las obras, poniéndose a su disposición para la práctica de los reconocimientos que se consideren necesarios y suministrándole los datos precisos para la comprobación de las mediciones y liquidaciones.

Artículo 16. Trabajos no estipulados expresamente:

Es obligación de la contrata el ejecutar cuanto sea necesario para la buena construcción y aspecto de las obras, aun cuando no se halle expresamente determinado en los documentos de proyecto, siempre que, sin separarse de su correcta interpretación, lo disponga el director de obra dentro de los límites de posibilidades que los presupuestos habiliten para cada unidad de obra y tipo de ejecución.

El contratista, de acuerdo con la Dirección Facultativa, entregará en el acto de la recepción provisional, los planos de todas las instalaciones ejecutadas en la obra, con las modificaciones o estado definitivo en que hayan quedado.

El contratista se compromete igualmente a entregar las autorizaciones que preceptivamente tienen que expedir las delegaciones provinciales de industria, sanidad etc., y autoridades locales, para la puesta en servicio de las referidas instalaciones.

Son también por cuenta del contratista, todos los arbitrios, licencias municipales, vallas, alumbrado, multas etc. que ocasionen las obras desde su inicio hasta su total terminación.

Artículo 17. Interpretaciones, aclaraciones y modificaciones de los documentos del proyecto:

Cuando se trate de aclarar, interpretar o modificar preceptos de los pliegos de condiciones o indicaciones de los planos o croquis, las órdenes e instrucciones correspondientes se comunicarán precisamente por escrito al constructor estando este, obligado a su vez a devolver los originales o las copias suscribiendo con su firma el enterado que figurará al pie de todas las órdenes, avisos o instrucciones que reciba del director de obra.

Cualquier reclamación que en contra de las disposiciones tomadas por éstos crea oportuna hacer el constructor, habrá de dirigirla, dentro precisamente del plazo de tres días, a quien la hubiera dictado, el cual dará al constructor el correspondiente recibo si este lo solicitase.

Artículo 18. El constructor podrá requerir del director de obra o del aparejador o director de obra técnico, según sus respectivos cometidos, las instrucciones o aclaraciones que se precisen para la correcta interpretación y ejecución de lo proyectado.

Artículo 19. Reclamaciones contra las órdenes de la Dirección Facultativa:

Las reclamaciones que el contratista quiera hacer contra las órdenes o instrucciones dimanadas de la Dirección Facultativa solo podrá presentarlas a través del director de obra, ante propiedad si son de orden económico y de acuerdo con las condiciones estipuladas en los pliegos de condiciones correspondientes. Contra disposiciones de orden técnico del director de obra, no se admitirá reclamación alguna, pudiendo el contratista salvar su responsabilidad, si lo estima oportuno, mediante exposición razonada dirigida al director de obra, el cual podrá limitar su contestación al acuse de recibo, que en todo caso será obligatoria para este tipo de reclamaciones.

Artículo 20. Recusación por el contratista del personal nombrado por el directo de obra:

El constructor no podrá recusar al director de obra o personal encargado por éstos de la vigilancia de las obras, ni pedir que por parte de la propiedad se designen otros facultativos para los reconocimientos y mediciones.

Cuando se crea perjudicado por la labor de éstos, procederá de acuerdo con lo estipulado en el artículo precedente, pero sin que por esta causa puedan interrumpirse ni perturbarse la marcha de los trabajos.

Artículo 21. Faltas del personal:

El director de obra, en los supuestos de desobediencia a sus instrucciones, manifieste incompetencia o negligencia grave que comprometan o perturben la marcha de los trabajos,

podrá requerir al contratista para que aparte de la obra a los dependientes u operarios causantes de la perturbación.

El contratista podrá subcontratar capítulos o unidades de obra a otros contratistas e industriales, con sujeción en su caso, a lo estipulado en el pliego de condiciones particulares y sin perjuicio de sus obligaciones como contratista general de la obra.

Artículo 22. Subcontratas:

El contratista podrá subcontratar capítulos o unidades de obra a otros contratistas e industriales, con sujeción en su caso, a lo estipulado en el pliego de condiciones particulares y sin perjuicio de sus obligaciones como contratista general de la obra.

2.2. Responsabilidad civil de los agentes involucrados

Artículo 23. Daños materiales:

Las personas físicas o jurídicas que intervienen en el proceso de la edificación responderán frente a los propietarios y los terceros adquirentes de los edificios o partes de estos, en el caso de que sean objeto de división, de los siguientes daños materiales ocasionados en el edificio dentro de los plazos indicados contados desde la fecha de recepción de la obra, sin reservas o desde la subsanación de éstas:

a) Durante 10 años, de los daños materiales causados en el edificio por vicios o defectos que afecten a la cimentación, los soportes, las vigas, los forjados, los muros de carga u otros elementos estructurales y que comprometan directamente la resistencia mecánica y la estabilidad del edificio.
b) Durante 3 años, de los daños materiales causados en el edificio por vicios o defectos delos elementos constructivos o de las instalaciones que ocasionen el incumplimiento de los requisitos de habitabilidad del artículo 3 de la LOE.

El constructor también responderá de los daños materiales por vicios o defectos de ejecución que afecten a elementos de terminación o acabado de las obras dentro del plazo de 1 año.

Artículo 24. Responsabilidad civil:

La responsabilidad civil será exigible en forma personal e individualizada, tanto por actos u omisiones de propios, como por actos u omisiones de personas por las que se deba responder.

No obstante, cuando pudiera individualizarse la causa de los daños materiales o quedase debidamente probada la concurrencia de culpas sin que pudiera precisarse el grado de intervención de cada agente en el daño producido, la responsabilidad se exigirá solidariamente.

En todo caso, el promotor responderá solidariamente con los demás agentes intervinientes ante los posibles adquirentes de los daños materiales en el edificio ocasionados por vicios o defectos de construcción.

Sin prejuicio de las medidas de intervención administrativas que en cada caso procedan, la responsabilidad del promotor que se establece en la LOE se extenderá a las personas físicas o jurídicas que, a tenor del contrato o de su intervención decisoria en la promoción, actúen como tales promotores bajo la forma de promotor o gestor de cooperativas o de comunidades de propietarios u otras figuras análogas.

Cuando el proyecto haya sido contratado juntamente con más de un proyectista, los mismos responderán solidariamente.

Los proyectistas que contraten los cálculos, estudios, dictámenes o informes de otros profesionales, serán directamente responsables de los daños que puedan derivarse de su insuficiencia, incorrección o inexactitud, sin perjuicio de la repetición que pudieran ejercer contra sus autores.

El constructor responderá directamente de los daños materiales causados en el edificio por vicios o defectos derivados de la impericia, falta de capacidad profesional o técnica, negligencia o incumplimiento de las obligaciones atribuidas al jefe de obra y demás personas físicas o jurídicas que de él dependan.

Cuando el constructor subcontrate con otras personas físicas o jurídicas la ejecución de determinadas partes o instalaciones de la obra, será directamente responsable de los daños materiales por vicios o defectos de su ejecución, sin perjuicio de la repetición a que hubiere lugar.

El director de obra y el director de la ejecución de la obra que suscriban el certificado final de obra serán responsables de la veracidad y exactitud de dicho documento.

Quien acepte la dirección de una obra cuyo proyecto no haya elaborado él mismo, asumirá las responsabilidades derivadas de las omisiones, deficiencias o imperfecciones del proyecto, sin perjuicio de la repetición que pudiere corresponderle frente al proyectista.

Cuando la dirección de obra se contrate de manera conjunta a más de un técnico, los mismos responderán solidariamente sin perjuicio de la distribución que entre ellos corresponda.

Las responsabilidades por daños no serán exigibles a los agentes que intervengan en el proceso de la edificación, si se prueba que aquellos fueron ocasionados por caso fortuito, fuerza mayor, acto de tercero o por el propio perjudicado por el daño.

Las responsabilidades a que se refiere este artículo se entienden sin perjuicio de las que alcanzan al vendedor de los edificios o partes edificadas frente al comprador conforme al contrato de compraventa suscrito entre ellos, a los artículos 14.84 y siguientes del Código Civil y demás legislación aplicable a la compraventa.

2.3. Trabajos, materiales y medios auxiliares

Artículo 25. Caminos y accesos:

El constructor dispondrá por su cuenta los accesos a la obra y el cerramiento o vallado de ésta. El director de obra podrá exigir su modificación o mejora.

Así mismo el constructor se obligará a la colocación en un lugar visible, a la entrada de la obra, de un cartel exento de panel metálico sobre estructura auxiliar donde se reflejarán los datos de la obra en relación con el título de la misma, entidad promotora y nombres de los técnicos competentes, cuyo diseño deberá ser aprobado previamente a colocación por la Dirección Facultativa.

Artículo 26. Replanteo:

El constructor iniciará las obras con el replanteo de estas en el terreno, señalando las referencias principales que mantendrá como base de ulteriores replanteos parciales, dichos trabajos se considerarán a cargo del contratista e incluidos en su oferta.

El constructor someterá el replanteo a la aprobación del director de obra y una vez este haya dado su conformidad preparará un acta acompañada de un plano que deberá ser aprobada por el director de obra, siendo responsabilidad del constructor la omisión de este trámite.

Artículo 27. Inicio de la obra. Ritmo de ejecución de los trabajos:

El constructor dará comienzo a las obras en el plazo marcado en el pliego de condiciones particulares, desarrollándolas en la forma necesaria para que dentro de los periodos parciales en aquél señalados queden ejecutados los trabajos correspondientes y, en consecuencia, la ejecución total se lleve a efecto dentro del plazo exigido en el contrato.

Obligatoriamente y por escrito, deberá el contratista dar cuenta al director de obra del comienzo de los trabajos al menos con tres días de antelación.

Artículo 28. Orden de los trabajos:

En general, la determinación del orden de los trabajos es facultad de la contrata, salvo en aquellos casos en los que, por circunstancias de orden técnico, estime conveniente su variación la Dirección Facultativa.

Artículo 29. Facilidades para otros contratistas:

De acuerdo con lo que requiera la Dirección Facultativa, el contratista general deberá dar todas las facilidades razonables para la realización de los trabajos que le sean encomendados a todos los demás contratistas que intervengan en la obra. Ello sin perjuicio de las compensaciones económicas a que haya lugar entre contratistas por utilización de medios auxiliares o suministros de energía u otros conceptos.

En caso de litigio, ambos contratistas estarán a lo que resuelva la Dirección Facultativa.

Artículo 30. Ampliación del proyecto por causas imprevistas o de fuerza mayor:

Cuando sea preciso por motivos imprevistos o por cualquier accidente ampliar el proyecto, no se interrumpirán los trabajos, continuándose según las instrucciones dadas por el director de obra en tanto se formulan o se tramita el proyecto reformado.

El constructor está obligado a realizar con su personal y sus materiales cuanto la dirección de las obras disponga para apeos, apuntalamientos, derribos, recalzos o cualquier otra obra de carácter urgente.

Artículo 31. Prórroga por causa de fuerza mayor:

Si por causa de fuerza mayor o independiente de la voluntad del constructor, éste no pudiese comenzar las obras o tuviese que suspenderlas o no le fuera posible terminarlas en los plazos prefijados, se le otorgará una prórroga proporcionada para el cumplimiento de la contrata, previo informe favorable del director de obra. Para ello el constructor expondrá en escrito dirigido al director de obra, la causa que impide la ejecución o la marcha de los trabajos y el retraso que por ello se originaría en los plazos acordados, razonando debidamente la prórroga que por dicha causa solicita.

Artículo 32. Responsabilidad de la Dirección Facultativa en el retraso de la obra:

El contratista no podrá excusarse de no haber cumplido los plazos de obra estipulados alegando como causa la carencia de planos u órdenes de la Dirección Facultativa, a excepción del caso en que habiéndolo solicitado por escrito no se le hubiesen proporcionado.

Artículo 33. Condiciones generales de ejecución de los trabajos:

Todos los trabajos se ejecutarán con estricta sujeción al proyecto, a las modificaciones de este que previamente hayan sido aprobadas y las órdenes e instrucciones que bajo su responsabilidad y por escrito entregue al director de obra al constructor, dentro de las limitaciones presupuestarias y de conformidad con lo especificado en el artículo 11º.

Artículo 34. Documentación de obras ocultas:

De todos los trabajos y unidades de obra que hayan de quedar ocultos a la terminación del edificio se levantarán los planos precisos para que queden perfectamente definidos; estos documentos se extenderán por triplicado siendo entregados: uno al director deobra, otro a la propiedad y el tercero al contratista, firmados todos ellos por los tres. Dichos planos que deberán ir suficientemente acotados, se considerarán documentos indispensables eirrecusables para efectuar mediciones.

Artículo 35. Trabajos defectuosos:

El constructor ha de emplear los materiales que cumplan las condiciones exigidas en las "condiciones generales y particulares de índole técnica" del pliego de condiciones y realizará todos y cada uno de los trabajos contratados de acuerdo con lo especificado también en dicho documento.

Para ello y hasta que tenga lugar la recepción definitiva del edificio es responsable de la ejecución de los trabajos que ha contratado y de las faltas y defectos que en estos puedan existir por su mala gestión o por la deficiente calidad de los materiales empleados o los aparatos colocados, sin que exima de la responsabilidad el control que compete al director de obra, ni tampoco el hecho de que los trabajos hayan sido valorados en las certificaciones parciales de obra, que siempre serán extendidas y abonadas a buena cuenta.

Como consecuencia de lo anteriormente expresado, cuando el director de obra advierta vicios o defectos en los trabajos citados, o que los materiales empleados o los aparatos colocados no reúnen las condiciones preceptuadas, ya sea en el curso de la ejecución de los trabajos o finalizados estos y para verificarse la recepción definitiva de la obra, podrá disponer de las partes defectuosas demolidas y reconstruidas de acuerdo con lo contratado, y todo ello a expensas de la contrata. Si esta no estimase justa la decisión y se negase a la demolición y construcción o ambas, se planteará la cuestión ante la propiedad, quien lo resolverá.

Artículo 36. Vicios ocultos:

Si el director de obra tuviese fundadas razones para creer en la existencia de vicios ocultos de construcción en las obras ejecutadas, ordenará efectuar en cualquier tiempo y antes de la recepción definitiva, los ensayos, destructivos o no, que crea necesarios para reconocer los trabajos que suponga defectuosos.

Los gastos que se observen serán de cuenta del constructor, siempre que los vicios existan realmente.

Artículo 37. Materiales y aparatos. Su procedencia:

El constructor tiene libertad de proveerse de los materiales y aparatos de todas clases en los puntos que le parezcan conveniente, excepto en los casos en que el pliego particular de condiciones técnicas preceptúe una procedencia determinada.

Obligatoriamente, y para proceder a su empleo o acopio, el constructor deberá presentar al aparejador o director de obra técnico una lista completa de los materiales y aparatos que vaya a utilizar en la que se indique todas las indicaciones sobre marcas, calidades, procedencia e idoneidad de cada uno de ellos.

Artículo 38. Presentación de muestras:

A petición del director de obra, el constructor le presentará las muestras de los materiales siempre con la antelación prevista en el calendario de la obra.

Artículo 39. Materiales no utilizables:

El constructor, a su costa, transportará y colocará, agrupándolos ordenadamente y en el lugar adecuado, los materiales procedentes de las excavaciones, derribos etc. que no sean utilizables en la obra. Se retirarán de esta o se llevarán al vertedero cuando así estuviese establecido en el pliego de condiciones particulares en la vigente obra.

Si no hubiese preceptuado nada sobre el particular, se retirarán de ella cuando así lo ordene el director de obra.

Artículo 40. Materiales y aparatos defectuosos:

Cuando los materiales, elementos de instalaciones o aparatos no fuesen de la calidad prescrita en este pliego o no tuvieran la preparación en él exigida o, en fin, cuando la falta de prescripciones formales de aquel se reconociera o demostrara que no eran adecuados para su objeto, el ingeniero dará orden al constructor de sustituirlos por otros que satisfagan las condiciones o llenen el objeto a que se destinen.

Si a los 15 días de recibir el constructor orden de que retire los materiales que no estén en condiciones no ha sido cumplida, podrá hacerlo la propiedad cargando los gastos a la contrata.

Si los materiales, elementos de instalaciones o aparatos fueran defectuosos, pero aceptables a juicio del director de obra, se recibirán, pero con la rebaja del precio que aquel determine a no ser que el constructor prefiera sustituirlos por otros en condiciones.

Artículo 41. Gastos ocasionados por pruebas y ensayos:

Todos los gastos originados por las pruebas y ensayos de materiales o elementos que intervengan en la ejecución de las obras serán por cuenta de la contrata.

Todo ensayo que no haya resultado satisfactorio o que no ofrezca las suficientes garantías podrán comenzarse de nuevo a cargo de este.

Artículo 42. Limpieza de las obras:

Es obligación del constructor mantener limpias las obras y sus alrededores, tanto de escombros como de materiales sobrantes, hacer desaparecer las instalaciones provisionales que no sean necesarias, así como adoptar las medidas y ejecutar todos los trabajos que sean necesarios para que la obra ofrezca un buen aspecto.

Artículo 43. Obras sin prescripciones:

En la ejecución de trabajos que entran en la construcción de las obras y para los cuales no existan prescripciones consignadas explícitamente en este pliego ni en la restante documentación del proyecto, el constructor se atendrá, en primer término, a las instrucciones que dicte la Dirección Facultativa de las obras y, en segundo lugar, a las reglas y prácticas en buena construcción.

2.4. Recepciones de edificios

Artículo 44. Terminación de la obra:

Treinta días antes de dar fin a las obras, comunicará el director de obra a la propiedad la proximidad de su terminación a fin de convenir la fecha para el acto de recepción provisional.

Esta se realizará con la intervención de un técnico designado por la propiedad, del constructor y del director de obra. Se convocará también a los restantes técnicos que, en su caso, hubiesen intervenido en la dirección con función propia en aspectos parciales o unidades especializadas.

Practicando un detenido reconocimiento de las obras, se extenderá un acta con tantos ejemplares como intervinientes y firmados por todos ellos.

Desde esta fecha empezará a correr el plazo de garantía, si las obras se hallasen en estado de ser admitidas. Seguidamente, los técnicos de la Dirección Facultativa extenderán el correspondiente certificado final de obra.

Si el constructor no hubiese cumplido, podrá declararse resuelto el contrato con pérdida de la fianza.

Al realizarse la recepción provisional de las obras, deberá presentar el contratista las pertinentes autorizaciones de los organismos oficiales de la provincia, para el uso y puesta en servicio de las instalaciones que así lo requiera. No se efectuará esa recepción provisional, ni como es lógico la definitiva si no se cumple este requisito.

Artículo 45. Acta de recepción:

La recepción deberá consignarse en un acta firmada, al menos, por el promotor y el constructor y en la misma se hará constar:

A) Las partes que intervienen.
B) La fecha del certificado final de la totalidad de la obra o de la fase completa y terminada de la misma.
C) El coste final de la ejecución material de la obra.
D) La declaración de la recepción de la obra con o sin reservas, especificando en su caso éstas de manera objetiva, y el plazo en que deberán quedar subsanados los defectos observados. Una vez subsanados los mismos se hará constar en un acta aparte, suscrita por los firmantes de la recepción.
E) Las garantías que, en su caso, se exijan al constructor para asegurar sus responsabilidades.
F) Se adjuntará el certificado final de obra suscrito por el director de obra (ingeniero) y el director de la ejecución de la obra (ingeniero) y la documentación justificativa del control de calidad realizado.

El promotor podrá rechazar la recepción de la obra por considerar que la misma no está terminada o que no se adecúa a las condiciones contractuales. En todo caso, el rechazo deberá ser motivado por escrito en el acta en la que se fijará el nuevo plazo para efectuar la recepción.

Salvo pacto expreso en contrario, la recepción de la obra tendrá lugar dentro de los 30 días siguientes a la fecha de su terminación, acreditada en el certificado final de obra, plazo que se

contará a partir de la notificación efectuada por escrito al promotor. La recepción se entenderá tácitamente producida si transcurridos 30 días desde la fecha indicada el promotor no hubiera puesto de manifiesto reservas o rechazo motivado por escrito.

Artículo 46. Recepción provisional:

Ésta se realizará con la intervención de la propiedad, del constructor, del director de obra y del director de la ejecución de la obra. Se convocará también a los restantes técnicos que, en su caso, hubiesen intervenido en la dirección con función propia en aspectos parciales o unidades especializadas.

Practicado un detenido reconocimiento de las obras, se extenderá un acta con tantos ejemplares como intervinientes y firmados por todos ellos. Desde esta fecha empezará a correr el plazo de garantía si las obras se hallasen en estado de ser admitidas.

Seguidamente, los técnicos de la Dirección Facultativa extenderán el correspondiente certificado de final de obra.

Cuando las obras no se hallen en estado de ser recibidas se hará constar en el acta y se darán al constructor las oportunas instrucciones para remediar los defectos observados, fijando un plazo para subsanarlos, expirado el cual, se efectuará un nuevo reconocimiento a fin de proceder a la recepción provisional de la obra.

Artículo 47. Documentación final:

El director de obra director facilitará a la propiedad la documentación final de las obras, con las especificaciones y contenido dispuesto por la legislación vigente y si se trata de viviendas, con lo que se establece en los párrafos 2, 3, 4 y 5 del apartado 2 del artículo 4º del Real Decreto 515/1989, de 21 de abril.

Artículo 48. Medición definitiva de los trabajos y liquidación provisional de la obra:

Recibidas provisionalmente las obras, se procederá inmediatamente por el director de obra a su medición definitiva, con precisa asistencia del constructor o de su representante.

Se extenderá la oportuna certificación por triplicado que, aprobada por el director de obra con su firma, servirá para el abono por la propiedad del saldo resultante salvo la cantidad retenida en concepto de fianza.

Artículo 49. Plazo de garantía:

El plazo de garantía será de doce meses, y durante este periodo el contratista corregirá los defectos observados, eliminará las obras rechazadas y reparará las averías que por esta causa se produjeran, todo ello por su cuenta y sin derecho a indemnización alguna, ejecutándose en caso de resistencia dichas obras por la propiedad con cargo a la fianza.

El contratista garantiza a la propiedad contra toda reclamación de tercera persona, derivada del incumplimiento de sus obligaciones económicas o disposiciones legales relacionadas con la obra. Una vez aprobada la recepción y liquidación definitiva de las obras, la administración tomará acuerdo respecto a la fianza depositada por el contratista.

Artículo 50. Conservación de las obras recibidas provisionalmente:

Los gastos de conservación durante el plazo de garantía comprendido entre las recepciones provisionales y definitivas correrán a cargo del contratista, por lo tanto, el contratista durante el plazo de garantía será el conservador del edificio, donde tendrá el personal suficiente para atender todas las averías y reparaciones que puedan presentarse, aunque el establecimiento fuese ocupado o utilizado por la propiedad antes de la recepción definitiva.

Artículo 51. Recepción definitiva:

La recepción definitiva se verificará después de transcurrido el plazo de garantía en igual forma y con las mismas formalidades que la provisional a partir de cuya fecha cesará la obligación del constructor de reparar a su cargo aquellos desperfectos inherentes a la norma de conservación de los edificios y quedarán solo subsistentes todas las responsabilidades que pudieran alcanzarle por vicios de la construcción.

Artículo 52. Prórroga del plazo de garantía:

Si al proceder al reconocimiento para la recepción definitiva de la obra no se encontrase ésta en las condiciones debidas se aplazará dicha recepción definitiva y el director de obra director marcará al constructor los plazos y formas en que deberán realizarse las obras necesarias y, de no efectuarse dentro de aquellos, podrá resolverse el contrato con pérdida de la fianza.

Artículo 53. Recepciones de trabajos cuya contrata haya sido rescindida:

En el caso de resolución del contrato el contratista vendrá obligado a retirar, en el plazo que fije el pliego de condiciones particulares; la maquinaria, medios auxiliares, instalaciones etc., a resolver los subcontratos que tuviese concertados y dejar la obra en condiciones de ser reanudadas por otra empresa.

2.5. Aspectos económicos de la ejecución

Artículo 54. Principio general:

Todos los que intervienen en el proceso de construcción tienen derecho a percibir puntualmente las cantidades devengadas por su correcta actuación con arreglo a las condiciones contractualmente establecidas.

Artículo 55.

La propiedad, el contratista y, en su caso, los técnicos pueden exigirse recíprocamente las garantías adecuadas al cumplimiento puntual de sus obligaciones de pago.

Fianzas:

Por lo que se refiere a las garantías, la ley de la edificación establece para los edificios de vivienda, la suscripción obligatoria por el constructor durante el plazo de un año, de un seguro de daños materiales o de caución o bien la retención por el promotor de un 5 por ciento del coste de la obra para hacer frente a los daños materiales ocasionados por una deficiente ejecución.

Concretamente, el constructor también responderá de los daños materiales por vicios o defectos de ejecución que afecten a elementos de terminación o acabado de las obras dentro del plazo de un año.

Se establece igualmente para los edificios de vivienda la suscripción obligatoria por el promotor de un seguro que cubra los daños materiales que se ocasionen en el edificio y que afecten a la seguridad estructural, durante el plazo de diez años.

Concretamente se asegurará durante diez años, de los daños materiales causados en el edificio por vicios o defectos que afecten a la cimentación, los soportes, las vigas, los forjados, los muros de carga u otros elementos estructurales y que comprometan directamente la resistencia mecánica y la estabilidad del edificio.

Artículo 56. El contratista presentará fianza con arreglo a alguno de los siguientes procedimientos según se estipule:

A) Depósito previo, en metálico o valores, o aval bancario.
B) Mediante retención en las certificaciones parciales o pagos a cuenta en igual proporción.

Artículo 57. Fianza en subasta pública:

En el caso de que la obra se adjudique por subasta pública, el depósito provisional para tomar parte en ella se especificará en el anuncio de la misma.

El contratista al que se haya adjudicado la ejecución de una obra o servicio para la misma deberá depositar en el punto y plazos fijados en el anuncio de la subasta o el que se determine en el

pliego de condiciones particulares del proyecto la fianza definitiva que se señale, fianza que puede constituirse en cualquiera de las formas especificadas en el apartado anterior.

Artículo 58. Ejecución de trabajos con cargo a la fianza:

Si el contratista se negase a hacer por su cuenta los trabajos precisos para ultimar la obra en las condiciones contratadas, el director de obra director en nombre y representación del propietario los ordenará ejecutar a un tercero o podrá realizarlos directamente por administración, abonando su importe con la fianza depositada sin perjuicio de las acciones a que tenga derecho el propietario en el caso de que el importe de la fianza no bastase para cubrir el importe de los gastos efectuados en las unidades de la obra que no fuesen de recibo.

Artículo 59. Devolución de fianzas:

La fianza retenida será devuelta al contratista una vez firmada el acta de recepción definitiva de la obra. La propiedad podrá exigir que el contratista le acredite la liquidación y finiquito de sus deudas causadas por la ejecución de la obra, tales como salarios, suministros, subcontrato, etc.

Artículo 60. Devolución de la fianza en el caso de efectuarse recepciones parciales:

Si la propiedad con la conformidad del director de obra director accediera a hacer recepciones parciales, tendrá derecho el contratista a que se le devuelva la parte proporcional de la fianza

Artículo 61. Composición de los precios unitarios:

El cálculo de los precios de las distintas unidades de la obra es el resultado de sumar los costes directos, los indirectos, los gastos generales y el beneficio industrial.

1. Costes directos:

    a) La mano de obra con sus pluses, cargas y seguros sociales que intervienen directamente en la ejecución de la unidad de obra.
    b) Los materiales a los precios resultantes a pie de obra que queden integrados en launidad de que se trate o que sean necesarios para su ejecución.
    c) Los equipos y sistemas técnicos de la seguridad e higiene para la prevención yprotección de accidentes y enfermedades profesionales.
    d) Los gastos de personal, combustible, energía etc. que tengan lugar por accionamiento o funcionamiento de la maquinaria e instalaciones utilizadas en la ejecución del a unidad de obras.
    e) Los gastos de amortización y conservación de la maquinaria, instalaciones, sistemasy equipos anteriormente citados.

2. Costes indirectos:

Los gastos de instalación de oficinas a pie de obra, comunicaciones, edificación de almacenes, talleres, pabellones temporales para obreros, laboratorios, seguros, etc. losdel

personal técnico y administrativo adscrito exclusivamente a la obra y los imprevistos.Todos estos gastos se cifrarán en un porcentaje de los costes directos.

3. Gastos generales:

Los gastos generales de empresa, gastos financieros, cargas fiscales y tasas de la administración legalmente establecidas. Se cifrarán como un porcentaje de la suma de los costes directos e indirectos.

4. Beneficio industrial:

El beneficio industrial del contratista se establece en el 6 por 100 sobre la suma de las anteriores partidas.

5. Precio de ejecución material:

Se denominará precio de ejecución material al resultado obtenido por la suma de los anteriores conceptos a excepción del beneficio industrial y los gastos generales.

6. Precio de contrata:

El precio de contrata es la suma de los costes directos, los indirectos, los gastos generales y el beneficio industrial.

El IVA se aplica sobre esta suma pero no integra el precio.

Artículo 62. Precios de contrata. Importe de contrata:

En el caso de que los trabajos a realizar en un edificio u obra aneja cualquiera se contrate a riesgo y ventura, se entiende por precio de contrata el que importa el coste total de la unidad de obra, es decir, el precio de ejecución material más el tanto por ciento sobre el último precio en concepto de gastos generales y beneficio industrial y del contratista. Los gastos generales se estiman normalmente en un 13 por ciento y el beneficio se estima normalmente en un 6 por ciento salvo que en las condiciones particulares se establezca otro destino.

Artículo 63. Precios contradictorios:

Se producirán precios contradictorios sólo cuando la propiedad por medio del director de obra decida introducir unidades o cambios de calidad en alguna de las previstas o cuando sea necesario afrontar alguna circunstancia imprevista. El contratista estará obligado a efectuar los cambios.

A falta de acuerdo, el precio se resolverá entre el director de obra y el contratista antes de comenzar la ejecución de los trabajos y en el plazo que determina el pliego de condiciones.

Si subsistiese la diferencia se acudirá en primer lugar al concepto análogo dentro del cuadro de precios del proyecto y en segundo lugar al banco de precios más frecuente en la localidad.

Los contradictorios que hubiere se referirán siempre a los precios unitarios de la fecha del contrato.

Artículo 64. Reclamación de aumento de precios:

Si el contratista antes de la firma del contrato no hubiese hecho la reclamación u observación oportuna, no podrá bajo ningún pretexto de error u omisión reclamar aumento de los precios fijados en el cuadro correspondiente del presupuesto que sirva de base para la ejecución de las obras.

Artículo 65. Formas tradicionales de medir o de aplicar los precios:

En ningún caso podrá alegar el contratista los usos y costumbres del país respecto de la aplicación de los precios o de forma de medir las unidades de obra ejecutadas, se estará a lo previsto en primer lugar al pliego general de condiciones técnicas, y, en segundo lugar, al pliego de condiciones particulares.

Artículo 66. Revisión de los precios contratados:

Contratándose las obras a riesgo y ventura, no se admitirá la revisión de los precios en tanto que el incremento no alcance en la suma de las unidades que falten por realizar de acuerdo con el calendario un montaje superior al cinco por ciento del importe total del presupuesto de contrato.

En caso de producirse variaciones en alza superiores a este porcentaje, se efectuarán las correspondientes revisiones de acuerdo con la fórmula establecida en el pliego de condiciones particulares, percibiendo el contratista la diferencia en más que resulte por la variación del IPC superior al 5 por 100.

No habrá revisión de precios de las unidades que puedan quedar fuera de los plazos fijados en el calendario de la oferta.

Artículo 67. Acopio de materiales:

El contratista queda obligado a ejecutar los acopios de materiales o aparatos de la obra que la propiedad ordena por escrito.

Los materiales acopiados una vez abonados por el propietario son de la exclusiva propiedad de éste, de su guarda y conservación será responsable el contratista.

2.6. Obras por administración

Artículo 68. Administración:

Se denominan "obras por administración" aquellas en las que las gestiones que se precisan para su realización las lleva directamente el propietario; bien por sí mismo o por un representante suyo o bien por mediación de un constructor.

Las obras por administración se clasifican en las dos modalidades siguientes:

- Obras por administración directa.
- Obras por administración delegada o indirecta.

Artículo 69. Obras por administración directa:

Se denominan "obras por administración directa" aquellas en las que el propietario por sí o por mediación de un representante suyo que puede ser el propio director de obra-director, expresamente autorizado a estos efectos lleve directamente las gestiones precisas para la ejecución de la obra, adquiriendo los materiales, contratando su transporte a la obra y, en suma, interviniendo directamente en todas las operaciones precisas para que al personal y los obreros contratados por él puedan realizarla; en estas obras el constructor, si lo hubiese, o el encargado de su realización, es un mero dependiente del propietario, ya sea como empleado suyo o como autónomo contratado por él, que es quien reúne en sí la doble personalidad de propietario y contratista.

Artículo 70. Obras por administración delegada o indirecta:

Se entiende por "obra por administración delegada o indirecta" la que convienen un propietario y un constructor para que éste, por cuenta de aquél y como delegado suyo realice las gestiones y los trabajos que se precisen y se convenga. Son por tanto características peculiares de la "obra por administración delegada o indirecta" las siguientes:

1. Por parte del propietario, la obligación de abonar directamente o por la mediación del constructor todos los gastos inherentes a la realización de los trabajos convenidos, reservándose el propietario la facultad de poder ordenar, bien por sí mismo o por medio del director de obra-director en su representación el orden y lamarcha de los trabajos, la elección de los materiales y aparatos que en los trabajos han de emplearse y, en suma, todos los elementos que crea preciso para regular la realización de los trabajos convenidos.

2. Por parte del constructor, la obligación de llevar la gestión práctica de los trabajos, aportando sus conocimientos constructivos, los medios auxiliares precisos y, en suma, todo lo que en armonía con su cometido se requiera para la ejecución de lostrabajos, percibiendo por ello del propietario un tanto por ciento prefijado sobre elimporte total de los gastos efectuados y abonados por el constructor.

Artículo 71. Liquidación de obras por administración:

Para la liquidación de los trabajos que se ejecuten por administración delegada o indirecta, regirán las normas que a tales fines se establezcan en las condiciones particulares de índole económica vigentes en la obra, a falta de ellas, las cuentas de administración las presentará el constructor al propietario en relación valorada a la que deberá acompañarse y agrupados en el orden que se expresan los documentos siguientes todos ellos conformados por el aparejador o director de obra técnico.

Las facturas originales de los materiales adquiridos para los trabajos y el documento adecuado que justifique el depósito o empleo de dichos materiales en la obra.

Las nóminas de los jornales abonadas a lo establecido en la legislación vigente, especificando el número de horas trabajadas en la obra por los operarios de cada oficio y su categoría, acompañando a dichas nóminas una relación numérica los encargados, capataces, jefes de equipo, oficiales y ayudantes de cada oficio, peones especializados y sueltos, listeros, guardas etc. que hayan trabajado en la obra durante el plazo de tiempo a que correspondan las nóminas que se presentan.

Las facturas originales de los transportes de materiales puestos en la obra o retirada de escombros.

A la suma de todos los gastos inherentes a la propia obra cuya gestión o pago haya intervenido el constructor se le aplicará, a falta de convenio especial, un quince por ciento, entendiéndose que en este porcentaje están incluidos los medios auxiliares y los de seguridad preventivos de accidentes, los gastos generales que al constructor originen los trabajos de administración que realiza y el beneficio industrial del mismo.

Artículo 72. Abono al constructor de las cuentas de administración delegada:

Salvo pacto distinto, los abonos al constructor de las cuentas de administración delegada los realizará el propietario mensualmente según los partes de trabajos realizados aprobados por el propietario o por su delegado representante.

Independientemente, el aparejador o director de obra técnico redactará con igual periodicidad, la medición de la obra realizada valorándola con arreglo al presupuesto aprobado. Estas valoraciones no tendrán efectos para los abonos al constructor salvo que se hubiese pactado lo contrario contractualmente.

Artículo 73. Normas para la adquisición de los materiales y aparatos:

No obstante, las facultades que en estos trabajos por administración delegada se reserva el propietario para la adquisición de los materiales y aparatos, si el constructor se le autoriza para gestionar y adquirirlos, deberá presentar al propietario, o en su representación al director de obra director, los precios y las muestras de los materiales y aparatos ofrecidos necesitando su previa aprobación antes de adquirirlos.

Artículo 74. Responsabilidad del constructor en el bajo rendimiento de los obreros:

Si de los partes mensuales de obra ejecutada que preceptivamente debe presentar el constructor al director de obra-director, éste advirtiese que los rendimientos de la mano de obra en todas o en algunas de las unidades de obra ejecutada fuesen notoriamente inferiores a los rendimientos normales generalmente admitidos para unidades de obra iguales o similares, se lo notificará por escrito al constructor con el fin de que este haga las gestiones precisas para aumentar la producción en la cuantía señalada por el director de obra-director.

Si hecha esta notificación al constructor, en los meses sucesivos los rendimientos no llegasen a los normales, el propietario queda facultado para resarcirse de la diferencia, rebajando su importe del quince por ciento que por los conceptos antes expresados correspondería abonarle al constructor en las liquidaciones quincenales que preceptivamente deben efectuársele. En caso de no llegar ambas partes a un acuerdo en cuanto a los rendimientos de la mano de obra, se someterá el caso a arbitraje.

Artículo 75. Responsabilidades del constructor:

En los trabajos de "obras por administración delegada" el constructor sólo será responsable de los defectos constructivos que pudieran tener los trabajos o unidades por él ejecutadas y también de los accidentes o perjuicios que pudieran sobrevenir a los obreros o a terceras personas por no haber tomado las medidas precisas que en las disposiciones legales se establecen.

En cambio, y salvo lo expresado en el artículo 63 precedente, no será responsable del mal resultado que pudiesen dar los materiales o aparatos elegidos con arreglo a las normas establecidas en dicho artículo. En virtud de lo anteriormente consignado, el constructor está obligado a reparar por su cuenta los trabajos defectuosos y a responder también de los accidentes o perjuicios expresados en el párrafo anterior.

2.7. Valoración y abono de los trabajos

Artículo 76. Formas de abono de las obras:

Según la modalidad elegida para la contratación de las obras y salvo que en pliego particular de condiciones económicas se preceptúe otra cosa, el abono de los trabajos se podrá efectuar de las siguientes formas:

1. Tipo fijo o tanto alzado total. Se abonará la cifra previamente fijada como base de la adjudicación, disminuida en su caso en el importe de la baja efectuada por el adjudicatario.
2. Tipo fijo o tanto alzado por unidad de obra, cuyo precio invariable se haya fijado de antemano, pudiendo variar solamente el número de unidades ejecutadas.

   Previa mediación y aplicando al total de las diversas unidades de obra ejecutadas, del precio invariable estipulado de antemano para cada una de ellas, se abonará al contratista el importe de las comprendidas en los trabajos ejecutados y ultimados con

arreglo y sujeción a los documentos que constituyen el proyecto, los que servirán de base para la mediación y valoración de las unidades.

3. Tanto variable por unidad de obra, según las condiciones en que se realice y los materiales diversos empleados en su ejecución de acuerdo con las órdenes del directorde obra director.
4. Por listas de jornales y recibos de materiales autorizados en la forma que el presente pliego general de condiciones económicas determina.
5. Por horas de trabajo, ejecutado en las condiciones determinadas del contrato.

Artículo 77. Relaciones valoradas y certificaciones:

En cada una de las épocas o fechas que se fijen en el contrato o en los pliegos de condiciones particulares que rijan en la obra, formará el contratista una relación valorada de las obras ejecutadas en los plazos previstos según la medición que habrá practicado el aparejador o director de obra técnico.

Lo ejecutado por el contratista en las condiciones preestablecidas se valorará aplicando el resultado de la medición general, cúbica, superficial, lineal, ponderal o numeral correspondiente a cada unidad de la obra y a los precios señalados en el presupuesto para cada una de ellas.

Al contratista, que podrá presenciar las mediciones necesarias para extender dicha relación se le facilitará por el aparejador o director de obra los datos correspondientes de la relación valorada, acompañándolos de una nota de envío, al objeto de que, dentro de diez días a partir de la fecha de recibo de dicha nota, pueda el contratista examinarlos o devolverlos firmados con su conformidad o hacer, en caso contrario, las observaciones o reclamaciones que considere oportunas.

Dentro de los diez días siguientes a su recibo, el director de obra-director aceptará o rechazará las reclamaciones de contratista si las hubiere, dando cuenta al mismo de su resolución, pudiendo éste, en el segundo caso, acudir ante el propietario contra la resolución del director de obra-director.

Tomando como base la relación valorada indicada en el párrafo anterior, expedirá el director de obra-director la certificación de las obras ejecutadas.

De su importe se deducirá el tanto por ciento que para la constitución de la fianza se haya preestablecido.

Las certificaciones se remitirán al propietario dentro del mes siguiente al periodo a que se refieren y tendrán el carácter de documento y entregas a buena cuenta, sujetas a las rectificaciones y variaciones que se deriven de la liquidación final, no suponiendo tampoco dichas certificaciones aprobación ni recepción de las obras que comprenden. Las relaciones valoradas contendrán solamente la obra ejecutada en el plazo a que la valoración se refiere. En caso de que el director de obra-director lo exigiera, las certificaciones se extenderán al origen.

Artículo 78. Mejoras de obras libremente ejecutadas:

Cuando el contratista, incluso con autorización del director de obra-director emplease materiales de más esmerada preparación o de mayor tamaño que el señalado en el proyecto o sustituyese una clase de fábrica con otra que tuviese asignado mayor precio, o ejecutase con mayores dimensiones cualquier parte de la obra o, en general, introdujese en ésta y sin pedírsela cualquier otra modificación que sea beneficiosa a juicio del director de obra director, no tendrá derecho, sin embargo, más que al abono de los que pudiera corresponderle en el caso de que hubiese construido la obra con estricta sujeción a la proyectada y contratada o adjudicada.

Artículo 79. Abono de trabajos presupuestados con partida alzada:

Salvo lo preceptuado en el pliego de condiciones particulares de índole económica, vigente en la obra, el abono de los trabajos presupuestados en partida alzada se expresa:

A) Si existen precios contratados para unidades de obra iguales, las presupuestadas mediante partida alzada se abonarán previa medición y aplicación del precio establecido.
B) Si existen precios contratados para unidades de obra similares, se establecerán los precios contradictorios para las unidades con partida alzada, deducidos de los similarescontratados.
C) Si no existen precios contratados para unidades de obra iguales o similares, la partida alzada se abonará íntegramente al contratista salvo el caso de que en el presupuesto dela obra se exprese que el importe de dicha partida debe justificarse, en cuyo caso el director de obra director indicará al contratista y con anterioridad a su ejecución el procedimiento que ha de seguirse para llevar dicha cuenta que en realidad será de administración, valorándose los materiales y jornales a los precios que figuren en el presupuesto aprobado o, en su defecto, a los que con anterioridad a la ejecución convengan las dos partes incrementándose su importe total con el porcentaje que se fije en el pliego de condiciones particulares en concepto de gastos generales y beneficioindustrial del contratista.

Artículo 80. Abono de agotamientos y otros trabajos especiales no contratados:

Cuando fuese preciso efectuar agotamientos, inyecciones u otra clase de trabajos de cualquier índole especial u ordinaria, tendrá el contratista la obligación de realizarlos y satisfacer los gastos de toda clase que ocasionen, siempre que la Dirección Facultativa lo considerara necesario parala seguridad y calidad de la obra.

Artículo 81. Pagos:

Los pagos se efectuarán por el propietario en los plazos previamente establecidos y su importe corresponderá precisamente al de las certificaciones de obra conformadas por el director de obra-director en virtud de las cuales se verifican aquellos.

Artículo 82. Abono de trabajos ejecutados durante el plazo de garantía:

Efectuada la recepción provisional y si durante el plazo de garantía se hubieran ejecutado trabajos cualesquiera, para su abono se procederá como sigue:

A) Si los trabajos que se realicen estuvieran especificados en el proyecto y sin causa justificada no se hubieran realizado por el contratista a su debido tiempo y el director de obra director exigiera su realización durante el plazo de garantía, serán valorados a los precios que figuren en el presupuesto y abonados de acuerdo con lo establecido en los pliegos particulares o en su defecto en los generales, en el caso de que dichos precios fuesen inferiores a los que rijan en la época de su realización, en caso contrario, se aplicarán estos últimos.

B) Si han ejecutado trabajos precisos para la reparación de desperfectos ocasionados por el uso del edificio por haber sido éste utilizado durante dicho plazo por el propietario, se valorarán y abonarán a los precios del día previamente acordados. Si se han ejecutado trabajos para la reparación de desperfectos ocasionados por deficiencia de la construcción o de la calidad de los materiales, nada se abonará por ellos al contratista.

2.8. Otros documentos

Artículo 83. Indemnización por retraso del plazo de terminación de las obras:

La indemnización por retraso en la terminación se establecerá en un tanto por mil del importe total de los trabajos contratados por cada día natural de retraso, contados a partir del día de terminación fijado en el calendario de obra. Las sumas resultantes se descontarán y retendrán con cargo a la fianza.

Artículo 84. Demora de los pagos por parte del propietario:

Se rechazará toda solicitud de resolución del contrato fundada en dicha demora de pagos cuando el contratista no justifique en la fecha el presupuesto correspondiente al plazo de ejecución que tenga señalado en el contrato.

Artículo 85. Mejoras, aumentos y/o reducciones de obra:

No se admitirán mejoras de obra más que en el caso en que al director de obra-director haya ordenado por escrito la ejecución de trabajos nuevos o que mejoren la calidad de los contratados, así como la de los materiales y aparatos previstos en el contrato. Tampoco se admitirán aumentos de obra en las unidades contratadas salvo caso de error en las mediciones del proyecto a menos que el director de obra-director ordene, también por escrito, la ampliación de las contratadas.

En todos estos casos será condición indispensable que ambas partes contratantes antes de su ejecución o empleo convengan por escrito los importes totales de las unidades mejoradas, los precios de los nuevos materiales o aparatos ordenados a emplear y los aumentos que todas estas mejoras o aumentos de obra supongan sobre el importe de las unidades contratadas.

Se seguirá el mismo criterio y procedimiento cuando el director de obra-director introduzca innovaciones que supongan una reducción apreciable en los importes de las unidades de obra contratada.

Artículo 86. Unidades de obra defectuosas pero aceptables:

Cuando por cualquier causa fuera menester valorar obra defectuosa pero aceptable a juicio del director de obra-director de las obras, éste determinará el precio o partida de abono después de oír al contratista el cual deberá conformarse con dicha resolución salvo el caso en que, estando dentro del plazo de ejecución prefiera demoler la obra y rehacerla con arreglo a condiciones, sin exceder de dicho plazo.

Artículo 87. Seguro de las obras:

El contratista estará obligado a asegurar la obra contratada durante todo el tiempo que dure su ejecución hasta la recepción definitiva, la cuantía del seguro coincidirá en cada momento con el valor que tengan por contrata los objetos asegurados.

El importe abonado por la sociedad aseguradora en el caso de siniestros se ingresará en cuenta a nombre del propietario, para que con cargo a ella se abone la obra que se construya y a medida que esta se vaya realizando el reintegro de dicha cantidad al contratista se efectuará por certificaciones como el resto de los trabajos de la construcción.

En ningún caso salvo conformidad expresa del contratista, hecho en documento público, el propietario podrá disponer de dicho importe para menesteres distintos del de reconstrucción de la parte siniestrada, la infracción de lo anteriormente expuesto será motivo suficiente para que el contratista pueda resolver el contrato, con devolución de fianza, abono completo de los gastos, materiales acopiados etc.

Y una indemnización equivalente a los daños causados al contratista por el siniestro y que no se hubiesen abonado, pero solo en proporción equivalente a lo que suponga la indemnización abonada por la compañía seguradora respecto al importe de los daños causados por el siniestro, que serán tasados a estos efectos por el director de obra-director. En las obras de reforma o reparación se fijará previamente la porción de edificio que deba ser asegurada y su cuantía, y si nada se prevé, se entenderá que el seguro ha de comprender toda la parte del edificio afectada por la obra.

Los riesgos asegurados y las condiciones que figuren en la póliza o pólizas de seguros, los pondrá el contratista antes de contratarlos en conocimiento del propietario, al objeto de recabar de éste su previa conformidad o reparos.

Artículo 88. Conservación de la obra:

Si el contratista, siendo su obligación, no atiende a la conservación de las obras durante el plazo de garantía en el caso de que el edificio no haya sido ocupado por el propietario antes de la recepción definitiva, el director de obra-director en representación del propietario podrá

disponer todo lo que sea preciso para que se atienda a la guarda, limpieza y todo lo que fuese menester para su buena conservación abonándose todo ello por cuenta de la contrata.

Al abandonar el contratista el edificio tanto por buena terminación de las obras como en el caso de resolución del contrato, está obligado a dejarlo desocupado y limpio en el plazo que el director de obra-director fije.

Después de la recepción provisional del edificio y en el caso de que la conservación del edificio corra a cargo del contratista, no deberá haber en él más que herramientas, útiles, materiales, muebles etc. que los indispensables para su guarda y limpieza y para los trabajos que fuese preciso ejecutar.

En todo caso, ocupado o no el edificio, está obligado el contratista a revisar la obra durante el plazo expresado procediendo en la forma prevista en el presente pliego de condiciones económicas.

Artículo 89. Uso por el contratista del edificio o bienes del propietario:

Cuando durante la ejecución de las obras ocupe el contratista con la necesaria y previa autorización del propietario edificios o haga uso de materiales o útiles pertenecientes al mismo, tendrá obligación de repararlos y conservarlos para hacer entrega de ellos a la terminación del contrato en perfecto estado de conservación reponiendo los que se hubiesen inutilizado, sin derecho a indemnización por esta reposición ni por las mejoras hechas en los edificios, propiedades o materiales que haya utilizado.

En el caso de que al terminar el contrato y hacer entrega del material, propiedades o edificaciones no hubiese cumplido el contratista con lo previsto en el párrafo anterior, lo realizará el propietario a costa de aquél y con cargo a la fianza.

Documentación de la obra adjuntada: De acuerdo al artículo 7 de la ley de la edificación, una vez finalizada la obra el proyecto con la incorporación, en su caso, de las modificaciones debidamente aprobadas será facilitado al promotor por el director de obra para la formalización de los correspondientes trámites administrativos.

A dicha documentación se adjuntará al menos el acta de recepción, la relación identificativa de los agentes que han intervenido durante el proceso de edificación, así como la relativa a las instrucciones de uso y mantenimiento del edificio y sus instalaciones, de conformidad con la normativa que le sea de aplicación.

Toda la documentación a que hacen referencia los apartados anteriores, que constituirá el libro del edificio, será entregada a los usuarios finales del edificio.

3. Pliego de condiciones técnicas y particulares

3.1. Condiciones generales

Calidad de los materiales:

Todos los materiales a emplear en la presente obra serán de primera calidad y reunirán las condiciones exigidas vigentes referentes a materiales y prototipos de construcción.

Pruebas y ensayos de materiales:

Todos los materiales a que este capítulo se refiere podrán ser sometidos a los análisis o pruebaspor cuenta de la contrata que se crean necesarios para acreditar su calidad. Cualquier otro quehaya sido especificado y sea necesario emplear, deberá ser aprobado por la dirección de las obras, bien entendido que será rechazado el que no reúna las condiciones exigidas por la buenapráctica de la construcción.

Materiales no consignados en proyecto:

Los materiales no consignados en proyecto que dieran lugar a precios contradictorios reunirán las condiciones de bondad necesarias a juicio de la Dirección Facultativa, no teniendo el contratista derecho a reclamación alguna por estas condiciones exigidas.

Condiciones generales de ejecución:

Todos los trabajos incluidos en el presente proyecto se ejecutarán esmeradamente con arreglo a las buenas prácticas de la construcción de acuerdo con las condiciones establecidas en el pliego de condiciones técnicas de la dirección general de arquitectura aprobado por el Consejo Superior de los Colegios de Ingenieros y cumpliendo estrictamente las instrucciones recibidas por la Dirección Facultativa, no pudiendo por tanto servir de pretexto al contratista la baja subasta.

3.2. Materiales para hormigón, mortero y yeso

Áridos:

La naturaleza de los áridos y su preparación serán tales que permitan garantizar la adecuada resistencia y durabilidad del hormigón, así como las restantes características que se exijan a éste en el pliego de prescripciones técnicas particulares.

Como áridos para la fabricación de hormigones pueden emplearse arenas y gravas existentes en yacimientos naturales, machacados u otros productos cuyo empleo se encuentre sancionado por la práctica o resulte aconsejable como consecuencia de estudios realizados en un laboratorio oficial. En cualquier caso, cumplirá las condiciones de la instrucción de hormigón estructural (EHE).

Cuando no se tengan antecedentes sobre la utilización de los áridos disponibles o se vayan a emplear para otras aplicaciones distintas de las ya sancionadas por la práctica, se realizarán ensayos de identificación mediante análisis mineralógicos, petrográficos, físicos o químicos según convengan en cada caso. En el caso de utilizar escorias siderúrgicas como árido, se comprobará previamente que son estables, es decir, que no contienen silicatos inestables ni compuestos ferrosos. Esta comprobación se efectuará con arreglo al método de ensayo UNE 7243. Se prohíbe el empleo de áridos que contengan sulfuros oxidables.

Se entiende por "arena" o "árido fino" el árido fracción del mismo que pasa por un tamiz de 5 mm de luz de malla (tamiz 5 UNE 7050); por "grava" o "árido grueso" el que resulta retenido por dicho tamiz; y por "árido total" (o simplemente "árido" cuando no hay lugar a confusiones), aquel que, de por sí o por mezcla, posee las proporciones de arena y grava adecuadas para fabricar el hormigón necesario en el caso particular que se considere.

Agua para amasado:

Habrá de cumplir las siguientes prescripciones:

- Acidez tal que el pH sea mayor de 5 según UNE 7234:71.
- Sustancias solubles menos de 15 gr/l, según UNE 7130:58.
- Sulfatos expresados en SO4 menos de 1 gr/l según ensayo UNE 7131:58.
- Ion cloro para hormigón con armaduras menos de 6 gr/l según UNE 7178:60.
- Grasas o aceites de cualquier clase menos de 15 gr/l según UNE 7235.
- Carencia absoluta de azúcares o carbohidratos según ensayo UNE 7132:58.
- Demás prescripciones de la EHE.

Aditivos:

Se definen como aditivos a emplear en hormigones y morteros aquellos productos sólidos o líquidos, excepto cemento, áridos o agua que mezclados durante el amasado modifican o mejoran las características del mortero u hormigón, en especial en lo referente al fraguado, endurecimiento, plasticidad e inclusión de aire.

Se establecen los siguientes límites:

- Si se emplea cloruro cálcico como acelerador, su dosificación será igual o menor del 2% del peso del cemento y si se trata de hormigonar con temperaturas muy bajas, del 3.5% del peso del cemento.
- Si se usan aireantes para hormigones normales su proporción será tal que la disminución de la resistencia a compresión producida por la inclusión del aireante sea inferior al 20%. En ningún caso la proporción de aireante será mayor del 4% del peso del cemento.
- En caso de empleo de colorantes la proporción será inferior al 10% del peso del cemento. No se emplearán colorantes orgánicos.
- Cualquier otro que se derive de la aplicación de la EHE.

Yeso:

Los sacos de yeso se almacenarán a cubierto y protegidos de la humedad. Si el yeso se recibe a granel se almacenará en silos.

Se exigirá al contratista la realización de ensayos que demuestren de modo satisfactorio que el yeso cumple las condiciones exigidas

Cemento:

Se entiende como tal un aglomerante hidráulico que responda a alguna de las definiciones de la instrucción para la recepción de cementos (RC-03, Real Decreto 956/2008, de 6 de junio).

Podrá almacenarse en sacos o a granel. En el primer caso el almacén protegerá contra la intemperie y la humedad tanto del suelo como de las paredes. Si se almacena a granel no podrán mezclarse en el mismo sitio cementos de distintas calidades y procedencias.

Se exigirá al contratista la realización de ensayos que demuestren de modo satisfactorio que los cementos cumplen las condiciones exigidas. Las partidas de cemento defectuoso serán retiradas de la obra en el plazo máximo de 8 días. Los métodos de ensayo serán los detallados en la RC-03. Se realizarán en laboratorios homologados.

Se tendrán en cuenta prioritariamente las determinaciones de la EHE.

3.3. Acero

Acero de alta adherencia en redondos para armaduras:

Se aceptarán aceros de alta adherencia que lleven el sello de conformidad CIETSID. Estos aceros vendrán marcados de fábrica con señales indelebles para evitar confusiones en su empleo. No presentarán ovalaciones, grietas, sopladuras ni mermas de sección superiores al 5%.

El módulo de elasticidad será igual o mayor que 21000 KN/cm2.

Entendiendo por límite elástico la mínima tensión capaz de producir una deformación permanente de 0.2%, se prevé el acero de límite elástico 42 KN/cm2 cuya carga de rotura no será inferior a 52.5 KN/cm2. Esta tensión de rotura es el valor de la ordenada máxima del diagrama tensión-deformación.

Se tendrán en cuenta prioritariamente las determinaciones de la EHE.

También se incluye en aceros de armaduras ya colocadas en piezas de hormigón prefabricado.

3.4. Productos Auxiliares de hormigones

Productos para curado de hormigones:

Se definen como productos para curado de hormigones hidráulicos los que, aplicados en forma de pintura pulverizada, depositan una película impermeable sobre la superficie del hormigón para impedir la pérdida de agua por evaporación.

El color de la capa protectora resultante será claro, preferiblemente blanco, para evitar la absorción del calor solar. Esta capa deberá ser capaz de permanecer intacta durante 7 días al menos después de una aplicación.

3.5. Material para cerramientos

Panel grecado:

El panel grecado será el encargado de las puertas de entrada y salida de material a la nave, será la pieza clave del sistema envolvente del mismo. El panel grecado seleccionado presentaráunas características óptimas en resistencia mecánica, térmica, acústica y contra incendios.

Cubierta:

Utilización de panel sándwich para la formación de las cubiertas planas con una pendiente del 1 al 10%.

3.6. Materiales para solera y alicatados

Baldosas y losas:

Se compondrán, como mínimo, de una capa de huella de hormigón o mortero de cemento, triturados de piedra o mármol y en general, colorantes y una capa base de mortero menos rico y árido más grueso.

Los áridos estarán limpios y desprovistos de arcilla y materia orgánica. Los colorantes no serán orgánicos y se ajustarán a la UNE 41060.

Las tolerancias en dimensiones serán:

- Para medidas superiores a 10 cm, cinco décimas de milímetro en más o en menos.
- Para medidas de 10 cm o menos, tres décimas de milímetro en más o en menos.
- El espesor medido en distintos puntos de su contorno no variará en más de 1.5 mm y noserá inferior a los valores indicados a continuación.
- Se entiende a estos efectos por lado el mayor del rectángulo si la baldosa es rectangular, y si es de otra forma el lado mínimo del cuadrado circunscrito.
- El espesor de la capa de la huella será uniforme y no menos en ningún punto de 7 mm y en las destinadas a soportar tráfico o en las losas no menor de 8 mm.
- La variación máxima admisible en los ángulos, medida sobre un arco de 20 cm de radio, será de ±0.5 mm.
- La flecha mayor de una diagonal no sobrepasará el 4‰ de la longitud, en más o en menos.
- El coeficiente de absorción de agua determinado según la UNE 7008 será menor o igual al 15%.
- El ensayo de desgaste se efectuará según la UNE 7015 con un recorrido de 250 metros en húmedo y con arena como abrasivo, el desgaste máximo admisible será de 4 mm y sin que aparezca la segunda capa tratándose de baldosas para interiores y de 3 mm en baldosas de aceras o destinadas a soportar tráfico.
- Las muestras para los ensayos se tomarán al azar, 20 unidades como mínimo del millar y 5 unidades por cada millar más, desechando y sustituyendo por otras las que tengan defectos visibles siempre que el número de desechadas no exceda del 5%.

Tabiquería:

- En la zona de vestuarios, los tabiques interiores de ladrillo de doble hueco irán revestidos mediante enfoscado maestreado y fratasado con mortero de cemento y posteriormente se alicatará con azulejos de color.

3.7. Carpintería metálica

Puertas interiores:

- Puerta de paso ciega normalizada, lisa hueca, de una hoja, de pino para pintar, para baños, oficina y zona de comedor.
- Puerta interior abatible, ciega, de una hoja, de tablero aglomerado, chapado con nogal, color negro, acabado brillante, en el almacén.

3.8. Movimiento de tierras

Explanación y préstamos:

Consiste en el conjunto de operaciones para excavar, evacuar, rellenar y nivelar el terreno, así como las zonas de préstamos que puedan necesitarse y el consiguiente transporte de los productos removidos a depósito o lugar de empleo.

La tierra vegetal que se encuentre en las excavaciones que no se hubiera extraído en el desbroce, se aceptará para su utilización posterior en protección de superficies erosionables.

En cualquier caso, la tierra vegetal extraída se mantendrá separada del resto de los productos excavados.

Todos los materiales que se obtengan de la excavación a excepción de la tierra vegetal se podrán utilizar en la formación de rellenos y demás usos fijados en este pliego y se transportarán directamente a las zonas previstas dentro del solar o vertedero si no tuvieran aplicación dentro de la obra.

En cualquier caso, no se desechará ningún material excavado sin previa autorización. Durante las diversas etapas de la construcción de la explanación las obras se mantendrán en perfectas condiciones de drenaje.

El material excavado no se podrá colocar de forma que represente un peligro para construcciones existentes por presión directa o por sobrecarga de los rellenos contiguos.

Las operaciones de desbroce y limpieza se efectuarán con las precauciones necesarias para evitar daño a las construcciones colindantes y existentes.

Todos los tocones y raíces mayores de 10 cm de diámetro serán eliminados hasta una profundidad no inferior a 50 cm por debajo de la rasante de excavación y no menor de 15 cm por debajo de la superficie natural del terreno.

Todos los huecos causados por la extracción de tocones y raíces se rellenarán con material análogo al existente compactándose hasta que su superficie se ajuste al nivel exigido.

La ejecución de estos trabajos se realizará produciendo las menores molestias posibles a las zonas habitadas próximas al terreno desbrozado.

Preparación de las cimentaciones:

La excavación de cimientos se profundizará hasta el límite indicado en el proyecto. Las corrientes o aguas pluviales o subterráneas que pudieran presentarse se cegarán o desviarán en la forma y empleando los medios necesarios.

Antes de proceder al vertido del hormigón y la colocación de las armaduras de cimentación, se dispondrá de una capa de hormigón de limpieza de 10 cm de espesor debidamente nivelada.

El importe de esta capa de hormigón se considera incluido en los precios unitarios de cimentación.

3.9 Hormigones

Dosificación de hormigones:

Corresponde al contratista efectuar el estudio granulométrico de los áridos, dosificación de agua y consistencia del hormigón de acuerdo con los medios y puesta en obra que emplee en cada caso y siempre cumpliendo lo prescrito en la EHE.

Fabricación de hormigones:

En la confección y puesta en obra de los hormigones se cumplirán las prescripciones generales de la EHE. Los áridos, el agua y el cemento deberán dosificarse automáticamente en peso.

Las instalaciones de dosificación, lo mismo que todas las demás para la fabricación y puesta en obra del hormigón, habrán de someterse a lo indicado en la normativa vigente. Las tolerancias admisibles en la dosificación serán del 2% para el agua y el cemento, 5% para los distintos tamaños de áridos y 2% para el árido total.

En la consistencia del hormigón se admitirá una tolerancia de 20 milímetros medida con el cono Abrams.

La instalación de hormigonado será capaz de realizar una mezcla regular de los componentes proporcionando un hormigón de color y consistencia uniforme.

En la hormigonera deberá colocarse una placa en la que se haga constar la capacidad y la velocidad en revoluciones por minuto recomendadas por el fabricante, las cuales nunca deberán sobrepasarse.

Antes de introducir el cemento y los áridos en el mezclador, éste se habrá cargado de una parte de la cantidad de agua requerida por la masa completándose la dosificación de este elemento en un periodo de tiempo que no deberá ser inferior a 5 segundos ni superior a la tercera parte del tiempo de mezclado contados a partir del momento en que el cemento y los áridos se hayan introducido en el mezclador. Antes de volver a cargar de nuevo la hormigonera se vaciará totalmente su contenido.

No se permitirá volver a amasar en ningún caso hormigones que hayan fraguado parcialmente, aunque se añadan nuevas cantidades de cemento, árido y agua.

Mezcla en obra:

La ejecución de la mezcla en obra se hará de la misma forma que la señalada para la mezcla en central.

Transporte de hormigón:

El transporte desde la hormigonera se realizará tan rápidamente como sea posible. En ningún caso se tolerará la colocación en obra de hormigones que acusen un principio de fraguado o presenten cualquier otra alteración.

Al cargar los elementos de transporte no debe formarse con las masas montones cónicos que favorecerían la segregación.

Cuando la fabricación de la mezcla se haya realizado en una instalación central, su transporte a obra deberá realizarse empleando camiones provistos de agitadores.

Puesta en obra del hormigón:

Como norma general no deberá transcurrir más de una hora entre la fabricación del hormigón, su puesta en obra y su compactación.

No se permitirá el vertido libre del hormigón desde alturas superiores a un (1) metro, quedando prohibido arrojarlo con palas a gran distancia o distribuirlo con rastrillo.

Al verter el hormigón se removerá enérgica y eficazmente para que las armaduras queden perfectamente envueltas cuidando especialmente los sitios en que se reúne gran cantidad de acero y procurando que se mantengan los recubrimientos y la separación entre las armaduras.

Compactación del hormigón:

La compactación de hormigones deberá realizarse por vibración. Los vibradores se aplicarán siempre de modo que su efecto se extienda a toda la masa sin que se produzcan segregaciones. Si se emplean vibradores internos deberán sumergirse longitudinalmente en la tongada subyacente y retirarse también longitudinalmente sin desplazarlos transversalmente mientras estén sumergidos en el hormigón.

La aguja se introducirá y retirará lentamente y a velocidad constante, recomendándose a este efecto que no se superen los 10 cm/s con cuidado de que la aguja no toque las armaduras.

La distancia entre los puntos sucesivos de inmersión no será superior a 75 centímetros y será la adecuada para producir en toda la superficie de la masa vibrada una humectación brillante, siendo preferible vibrar en pocos puntos prolongadamente.

No se introducirá el vibrador a menos de 10 centímetros de la pared del encofrado.

Curado de hormigón:

Durante el primer período de endurecimiento se someterá al hormigón a un proceso de curado según el tipo de cemento utilizado y las condiciones climatológicas del lugar.

En cualquier caso, deberá mantenerse la humedad del hormigón y evitarse todas las causas tanto externas como sobrecargo o vibraciones que puedan provocar la fisuración del elemento hormigonado. Una vez humedecido el hormigón se mantendrán húmedas sus superficies mediante arpilleras, esterillas de paja u otros tejidos análogos durante tres días.

Si el conglomerante empleado fuese cemento Portland I-35, aumentándose este plazo en el caso de que el cemento utilizado fuese de endurecimiento más lento.

Juntas en el hormigonado:

Las juntas en el hormigonado podrán ser de retracción, contracción o dilatación, debiendo cumplir lo especificado en los planos.

Se cuidará que las juntas creadas por las interrupciones en el hormigonado queden normales a la dirección de los máximos esfuerzos de compresión o donde sus efectos sean menos perjudiciales.

Cuando sean de temer los efectos debidos a la retracción, se dejarán juntas abiertas durante algún tiempo para que las masas contiguas puedan deformarse libremente.

El ancho de tales juntas deberá ser el necesario para que, en su día, puedan hormigonarse correctamente.

Al reanudar los trabajos se limpiará la junta de toda suciedad, lechada o árido que haya quedado suelto y se humedecerá su superficie sin exceso de agua aplicando en toda su superficie lechada de cemento antes de verter el nuevo hormigón. Se procurará alejar las juntas de hormigonado de las zonas en que la armadura esté sometida a fuertes tracciones.

Terminación de los paramentos vistos:

Si no se prescribe otra cosa, la máxima flecha o irregularidad que pueden presentar los paramentos planos medida respecto a una regla de dos metros de longitud aplicada en cualquier dirección será la siguiente:

- Superficies vistas: 6 mm.
- Superficies ocultas: 25 mm.

Limitaciones de ejecución:

El hormigonado se suspenderá, como norma general, en caso de lluvias, adoptándose las medidas necesarias para impedir la entrada de la lluvia a las masas de hormigón fresco o lavado de superficies. Si esto llegara a ocurrir se habrá de picar la superficie lavada, regarla y continuar el hormigonado después de aplicar lechada de cemento.

Antes de hormigonar:

- Replanteo de ejes, cotas de acabado.
- Colocación de armaduras.
- Limpieza y humedecido de los encofrados.

Durante el hormigonado:

- El vertido se realizará desde una altura máxima de un metro, salvo que se utilicen métodos de bombeo a distancia que impidan la segregación de los componentes del hormigón. Se realizará por tongadas de 30 centímetros. Se vibrará sin que las armaduras ni los encofrados experimenten movimientos bruscos o sacudidas cuidando de que no queden coqueras y se mantenga el recubrimiento adecuado.
- Se suspenderá el hormigonado cuando la temperatura descienda de 0°C o lo vaya a hacer en las próximas 48 horas. Se podrán utilizar medios especiales para esta circunstancia, pero bajo la autorización de la Dirección Facultativa.
- No se dejarán juntas horizontales, pero si a pesar de todo se produjesen, habrá que limpiarlas rascando o picando las superficies de contacto, vertiendo a continuación mortero rico en cemento y hormigonando seguidamente. Si hubiesen transcurrido más de 48 horas se tratará la junta con resinas epoxi.
- No se mezclarán hormigones de distintos tipos de cemento.

Después del hormigonado:

- El curado se realizará manteniendo húmedas las superficies de las piezas hasta que se alcance un 70% de su resistencia.
- Se procederá al desencofrado en las superficies verticales pasados siete días, y de las horizontales no antes de los veintiún días. Todo ello siguiendo las indicaciones de la Dirección Facultativa.

Medición y abono:

El hormigón se medirá y abonará por m3 realmente vertido en obra, midiendo entre caras interiores de encofrado de superficies vistas. En las obras de cimentación que no necesiten encofrado se medirá entre caras de terreno excavado.

En el caso de que en el cuadro de precios la unidad de hormigón se exprese por m2 como es el caso de soleras, forjados etc., se medirá de esta forma por m2 realmente ejecutado, incluyéndose en las mediciones todas las desigualdades o aumentos de espesor debidas a las diferencias de la capa inferior.

Si en el cuadro de precios se indicara que está incluido el encofrado, acero etc., siempre se considerará la misma medición del hormigón por m^3 o por m^2. En el precio van incluidos siempre los servicios y costos de curado de hormigón.

3.10 Solera

Solera:

La solera debe formar una superficie totalmente plana y horizontal, con perfecta alineación de sus juntas en todas direcciones. Colocando una regla de dos metros de longitud sobre el solado en cualquier dirección no deberán aparecer huecos mayores a cinco milímetros.

Se impedirá el tránsito por los solados hasta transcurridos 4 días como mínimo y en caso de ser éste indispensable, se tomarán las medidas precisas para que no se perjudique al solado.

Los pavimentos se medirán y abonarán por m2 de superficie de solado realmente ejecutada.

3.11 Estructura metálica

A continuación, se detallan las condiciones técnicas que han de tener los diferentes elementos metálicos a utilizar.

Acero laminado:

Todos los productos de acero laminado en caliente que se empleen en las estructuras de la edificación deberán cumplir las características y tolerancias determinadas en el EAE-2011. seguridad estructural acero (4. Materiales).

A la hora de recoger los materiales se debe comprobar que las marcas que deben llevar los productos laminados que garantizan las características mecánicas y la composición química del material son las que corresponden a la clase de acero especificado según determina el EAE-2011. Seguridad estructural. Acero. (4 Materiales).

Además, sobre cada lote compuesto por 20 toneladas o fracción, se determinarán las siguientes características según las normas de ensayo específicas.

- Resistencia a tracción, UNE EN 10025.
- Alargamiento de rotura, UNE EN 10025.
- Dimensiones, tolerancias, EAE-2011.
- Límite elástico, UNE EN 10025.

Además, el tamaño de las muestras para ensayos será de 1.50 metros

Tornillos de acero:

Todos los tornillos utilizados en el montaje de la estructura deberán cumplir las características y tolerancias geométricas determinadas en el EAE-2011. (tornillos, tuercas y arandelas).

Se acompañará del certificado de origen industrial.

Ejecución:

Los materiales deberán cumplir lo establecido en los dos apartados anteriores, además como condiciones generales, la estructura deberá ser en forma y dimensiones conforme a lo señalado en los planos del proyecto, el contratista no podrá modificar nada sin consultar antes con la

Dirección Facultativa y si subcontrata alguna parte de la ejecución de la obra, deberá demostrar que dicha subcontrata está capacitada técnicamente para realizar esa ejecución.

Las partes no definidas totalmente en los documentos deberán cumplir el CTE o las UNE que le afecten. La ejecución se realizará conforme a lo dispuesto en:

- El EAE-2011seguridad estructural. Acero (ejecución).
- Las normas UNE que deberán cumplir las distintas operaciones que conlleva la ejecución de las estructuras serán las relacionadas con el Anejo del EAE-2011 seguridad estructural. Acero, Anejo.
- Las tolerancias están recogidas en el EAE-2011. seguridad estructural. Acero
- Los operarios encargados de la realización de las soldaduras estarán cualificados de acuerdo con la norma UNE EN 287-1/2001.
- Los biselados de las piezas a unir se ejecutarán en máquina herramienta, plasma y oxicorte automático ajustándose a las determinaciones de la EHE.
- El contratista presentará a la Dirección Facultativa una memoria de soldeo en la quese indiquen las técnicas a utilizar y los tipos de materiales de aportación, y las inspecciones de las uniones soldadas se realizarán de acuerdo con la norma UNE 14044.
- A propuesta del contratista la Dirección Facultativa podrá autorizar el realizar empalmes en piezas de laminación de longitudes inferiores a las habituales para no producir un despunte excesivo. En ese caso figurará en los planos la zona de la piezaen donde puede efectuarse el empalme y el número máximo de las piezas que pueden ser empalmadas, pero en ningún caso se puede autorizar más de unempalme por pieza a no ser que sea estrictamente necesario.
- Nunca se cortarán las chapas o perfiles de forma que queden ángulos entrantes con arista viva. Cuando no se puedan eludir, se redondearán con el mayor radio posible. Todas las preparaciones de borde se efectuarán de acuerdo con la EHE, así como el orden de ejecución de los distintos cordones de soldadura.
- Se suspenderán los trabajos de soldadura de los trabajos de soldeo cuando la temperatura baje de los 0°C a no ser que la Dirección Facultativa indique que no pueden bajar de 5°C, adoptando medidas para evitar un enfriamiento rápido del metal depositado. La calidad de las soldaduras vendrá dada por la norma UNE 14001desde calidad 1 (soldadura perfecta) hasta 5 (soldadura muy mala). La clase designada por estos números vendrá determinada por los defectos de la soldaduradefinidos en dicha norma.
- Las superficies de las piezas a unir mediante tornillos deberán estar absolutamente planas y limpias.

3.12 Pintura

Condiciones generales de preparación del soporte:

La superficie que se va a pintar debe estar seca, desengrasada, sin óxido ni polvo, para lo cual se empleará cepillos, sopletes de arena, ácidos y alices cuando sean metales.

Los poros, grietas, desconchados etc. se llenarán con másticos o empastes para dejar las superficies lisas y uniformes. Se harán con un pigmento mineral y aceite de linaza o barniz y un cuerpo de relleno para las maderas. En los paneles se empleará yeso amasado con agua de cola y sobre los metales se utilizarán empastes compuesto de 60-70% de pigmento (albayalde), ocre,

óxido de hierro, litopón etc., y cuerpos de relleno (creta, caolín, tiza, espato pesado), 30-40% de barniz copal o ámbar y aceite de maderas.

Los másticos y empastes se emplearán con espátula en forma de masilla, los líquidos con brocha o pincel o con el aerógrafo o pistola de aire comprimido. Los empastes una vez secos se pasarán con papel de lija en paredes y se alisarán con piedra pómez, agua y fieltro sobre metales.

Antes de su ejecución se comprobará la naturaleza de la superficie a revestir, así como su situación interior y exterior y condiciones de exposición al roce o agentes atmosféricos, contenido de humedad y si existen juntas estructurales.

Estarán recibidos y montados todos los elementos que deben ir en el paramento como cerco de puertas, ventanas, canalizaciones, instalaciones etc.

Se comprobará que la temperatura ambiente no sea mayor de 28°C ni menor de 6°C

La superficie de aplicación estará nivelada y lisa.

En tiempo lluvioso se suspenderá la aplicación cuando el paramento no esté protegido

Al finalizar la jornada de trabajo se protegerán perfectamente los envases y se limpiarán los útiles de trabajo.

Aplicación de la pintura:

Las pinturas se podrán dar con pinceles y brocha, con aerógrafo, con pistola (pulverizando con aire comprimido) o con rodillos.

Las brochas y pinceles serán de pelo de diversos animales. Podrán ser redondos o planos, clasificándose por números o por los gramos de pelo que contienen. También pueden ser de nylon.

Los aerógrafos o pistolas constan de un recipiente que contiene la pintura con aire a presión (1-6 atmósferas), el compresor y el pulverizados con orificio que varía desde 0.2 mm hasta 7 mm, formándose un cono de 2 centímetros al metro de diámetro.

Dependiendo del tipo de soporte se realizarán una serie de trabajos previos con objeto de que al realizar la aplicación de la pintura o revestimiento consigamos una terminación de gran calidad.

Sistemas de preparación en función del tipo de soporte:

- Yesos y cementos, así como sus derivados: Se realizará un lijado de las pequeñas adherencias e imperfecciones. A continuación, se aplicará una mano de fondo impregnando los poros de la superficie del soporte. Posteriormente, se realizará un plastecido de faltas repasando las mismas con una mano de fondo. Se aplicará seguidamente el acabado final con un rendimiento no menor del especificado por el fabricante.

- Metales: Se realizará un rascado de óxidos mediante cepillo seguido inmediatamente de una limpieza manual esmerada de la superficie. A continuación, se aplicará una manode imprimación anticorrosiva con un rendimiento no inferior al especificado por el

fabricante.

Pasado el tiempo de secado se aplicarán dos manos de acabado de esmalte con un rendimiento no menor al especificado por el fabricante.

Medición y abono:

La pintura se medirá y abonará en general por m2 de superficie pintada, efectuándose la medición de la siguiente forma:

Pintura sobre muros, tabiques y techos: se medirá descontando los huecos. Las molduras se medirán por superficie desarrollada.

Pintura sobre carpintería: se medirá por las dos caras incluyéndose los tapajuntas. Pintura sobre ventanales metálicos: se medirá una cara.

En los precios respectivos está incluido el coste de todos los materiales y operaciones necesarias para obtener la perfecta terminación de las obras, incluso la preparación, lijado, limpieza, plastecido etc. y todos cuantos medios auxiliares sean precisos.

3.13 Criterios de aceptación y rechazo

Se aceptarán los materiales una vez realizados los ensayos de control de recepción especificadosen los diferentes apartados en el cumplimiento de las características técnicas en ellos exigibles.

Los criterios de aceptación y rechazo de ejecución se ajustarán a las tolerancias especificadas en CTE y norma UNE 76100 principalmente, así como del resto de normativa y condiciones mencionadas a continuación:

Para soldaduras: a lo largo de todo el proceso de fabricación el contratista dispondrá de los procedimientos de control adecuados en cada caso. Asimismo, habrá constancia de las soldaduras realizadas por cada soldador. Por parte de la Dirección Facultativa o inspector en que se delegue se efectuará una inspección visual de todas las soldaduras que se completará con métodos no destructivos de detección de fallos, generalmente rayos X. Para la inspección radiográfica se aplicarán las normas UNE 14604, 14602 y 14605. Para la calificación de las soldaduras, según los defectos observados, se aplicará la norma UNE 14011 y para la inspección ultrasónica se aplicarán las normas UNE 14611 y 14613. Como resultado de la aplicación de la anterior norma y de la inspección visual, la soldadura podrá ser calificada como correcta, aceptable o inaceptable tomando en cada caso las decisiones oportunas.

Para tornillos: se comprobará que todos los tornillos colocados en el taller son del mismo diámetro y calidad indicadas en el proyecto, que disponen de las arandelas precisas bajo cabeza y bajo tuerca y que la rosca asoma por lo menos en un filete por fuera de la tuerca. Asimismo, se comprobará que la superficie de todas las uniones a efectuar mediante tornillos de alta resistencia, trabajando a rozamiento han recibido el trabamiento indicado en los documentos del proyecto. El par de apriete será el indicado en el CTE DB SE-A. seguridad estructural acero (10.4 uniones atornillas).

Control dimensional: las tolerancias máximas admitidas en la estructura montada, así como en la obra de fábrica y otras partes adyacentes serán las que define la norma UNE 76100 "estructuras metálicas de edificios de varias alturas". Las tolerancias que se refieren a componentes y partes adyacentes deben ser consideradas como requisitos mínimos para asegurar el cumplimiento de las tolerancias de la estructura montada. Asimismo, se tendrán en cuenta las que define el CTE. En las tolerancias de la estructura montada indicadas en la norma UNE 76100, se considera que la estructura no está cargada. Es de reseñar que, como regla general, las operaciones de verificación deben limitarse únicamente a las desviaciones dimensionales que tengan importancia para la seguridad o para el montaje y que en la precisión de los aparatos de medida utilizados siempre estará en consonancia con el fin perseguido. Tratamientos de protección según lo especificado en CTE DB SE-A. Seguridad estructural, acero. 10.6 tratamientos de protección. Las superficies que vayan a quedar unidas mediante tornillos de alta resistencia trabajando a rozamiento no recibirán ninguna capa de protección.

Podemos concluir como resumen que las estructuras metálicas deberán cumplir en todo su ciclo de vida lo especificado en el CTE DB SE-A seguridad estructural. Acero, en particular lo referido en los apartados 10 (ejecución), 11 (tolerancias), 12 (control de calidad) y 13 (inspección y mantenimiento).

3.14 Cubiertas planas. Azoteas

Descripción:

Cubierta o techo exterior cuya pendiente está comprendida entre el 1 y 5% no transitables, sólo para trabajos de mantenimiento.

Condiciones previas:

- Planos acotados de obra con definición de la solución constructiva adoptada.
- Ejecución del último forjado o soporte, bajantes, petos perimetrales etc.
- Limpieza de forjado para el replanteo de faldones y elementos singulares.
- Acopio de materiales y disponibilidad de equipo de trabajo.

Componentes:

Los materiales empleados en la composición de estas cubiertas naturales o elaborados abarcan una gama muy amplia debido a las diversas variantes que pueden adoptarse tanto para la formación de pendientes, como para la ejecución de la membrana impermeabilizante, la aplicación de aislamiento, los solados o acabados superficiales, los elementos singulares etc.

Ejecución:

Siempre que se rompa la continuidad de la membrana de impermeabilización se dispondrán refuerzos. Si las juntas de dilatación no estuvieran definidas en proyecto se dispondrán éstas en consonancia con las estructurales, rompiendo la continuidad de éstas desde el último forjado hasta la superficie exterior.

Las limahoyas, canalones y cazoletas de recogida de agua pluvial tendrán la sección necesaria para evacuarla sobradamente, calculada en función de la superficie que recojan y la zona pluviométrica de enclave del edificio. Las bajantes de desagüe pluvial no distarán más de veinte metros entre sí.

La membrana impermeable puede colocarse independiente del soporte y de la protección (sistema no adherido o flotante). Cuando no se pueda garantizar su permanencia en la cubierta por succión de viento, erosiones de diversa índole o pendiente excesiva, la adherencia de la membrana será total. La membrana será monocapa.

Las láminas impermeabilizantes se colocarán empezando por el nivel más bajo, disponiéndose un solape mínimo de ocho centímetros entre ellas. Dicho solape de lámina, en las limahoyas, será de cincuenta centímetros y de diez centímetros en el encuentro con sumideros.

En este caso, se reforzará la membrana impermeabilizante con otra lámina colocada bajo ella que debe llegar hasta la bajante y debe solapar diez centímetros sobre la parte superior del sumidero.

La humedad del soporte al hacerse la aplicación deberá ser inferior al 5%, en otro caso pueden producirse humedades en la parte inferior del forjado.

La imprimación será del mismo material que la lámina impermeabilizante. En el caso de disponerláminas adheridas al soporte no quedarán bolsas de aire entre ambos.

Control:

El control de ejecución se llevará a cabo mediante inspecciones periódicas en las que se comprobarán espesores de capas, disposiciones constructivas, colocación de juntas, dimensiones de los solapes, humedad del soporte, humedad del aislamiento etc.

Acabada la cubierta, se efectuará una prueba de servicio consistente en la inundación de los paños hasta un nivel de cinco centímetros por debajo del borde de la impermeabilización en su entrega a paramentos. La presencia del agua no deberá constituir una sobrecarga superior a la de servicio de cubierta. Se mantendrá inundada durante veinticuatro horas, transcurridas las cuales no deberán aparecer humedades en la cara inferior del forjado.

Si no fuera posible la inundación, se regará continuamente la superficie durante cuarenta y ocho horas sin que tampoco en este caso deban aparecer humedades en la cara inferior del forjado.

Ejecutada la prueba se procederá a evacuar el agua, operación en la que se tomarán precauciones a fin de que no lleguen a producirse daños en las bajantes.

En cualquier caso, una vez evacuada el agua, no se admitirá la existencia de remansos o estancamientos.

Medición:

La medición y valoración se efectuará, generalmente, por m2 de azotea medida en su proyección horizontal incluso entrega a paramentos y parte proporcional de remantes, terminada y en condiciones de uso.

Se tendrán en cuenta, no obstante, los enunciados señalados para cada partida de la medición o presupuesto, en los que se definen los diversos factores que condicionan el precio descompuesto resultante.

Mantenimiento:

Las reparaciones a efectuar sobre las azoteas serán ejecutadas por personal especializado con materiales y solución constructiva análogos a los de la construcción original. No se recibirán sobre la azotea elementos que puedan perforar la membrana impermeabilizante como antenas, mástiles etc. o dificulten la circulación de las aguas y su deslizamiento hacia los elementos de evacuación.

El personal que tenga asignada la inspección, conservación o reparación deberá ir provisto de calzado con suela blanda. Similares disposiciones de seguridad regirán en los trabajos de mantenimiento que en los de construcción.

3.15 Saneamiento

Arquetas y pozos:

Las arquetas y los pozos de registro son aquellos elementos de unión, recogida y registro de los distintos elementos de las diferentes redes, tanto existentes como de nueva creación. Las arquetas se refieren a la red de drenaje, a la red de alcantarillado, a la red de acequias y conducciones, a la red de alumbrado público, etc.

Las arquetas y pozos de registro se construirán con fábrica de ladrillo cerámico y elementos de hormigón prefabricado, salvo decisión contraria del director de la obra. El hormigón será tipo HM-20 y las armaduras serán de acero B-500 S y cumplirán todo lo especificado en los artículos correspondientes a estos materiales.

Las tapas y bastidores serán de acero o de fundición según plano del proyecto y las rejillas serán de acero de las características definidas en los planos y su suministro y colocación están incluidas en la unidad de obra.

Estas unidades de obra se realizarán de acuerdo con lo especificado en el presente en cuanto se refiere a las excavaciones, hormigones, encofrado, armaduras de acero, tapas de fundición, rejillas, salidas y entradas de conducciones, etc.

Estas arquetas o pozos servirán sea cual fuere su altura o profundidad. En cuanto a sus dimensiones en planta, indicadas en cada caso, se entienden éstas como dimensiones máximas, pudiendo ser efectivamente menores que las reflejadas en los precios, según indique la dirección de las obras. Después de la terminación de cada una de las unidades reseñadas, se procederá a la limpieza total de las mismas, eliminando las acumulaciones de tierras, residuos o cualesquiera otras materias extrañas, que puedan haberse producido durante las obras y puedan dificultar su correcto funcionamiento.

El contratista no podrá reclamar indemnización económica alguna si las cotas y/o dimensiones de las arquetas fuesen modificadas en obra con el criterio y la definición de las mismas, que

proponga el director de las obras, que a su vez responderá a las necesidades, que puedan aparecer o surgir durante el propio desarrollo de los trabajos.

Tuberías de hormigón:

En el presente proyecto se definen como tuberías de hormigón a las formadas por tubos prefabricados de hormigón en masa o armado, según diámetros, que se emplean para la conducción de las aguas, tanto en lo que se refiere a los colectores para el drenaje de las obras, como para las acequias o para el alcantarillado.

La fabricación de los tubos se llevará a cabo a cubierto, es decir al abrigo de la intemperie, donde permanecerán al menos los tres primeros días. Los tubos estarán protegidos del sol y de las corrientes de aire y se mantendrán suficientemente húmedos, si es que no está prevista ninguna clase de curado especial. Los tubos serán uniformes y carecerán de irregularidades en su superficie. Las aristas de los extremos serán nítidas y las superficies frontales verticales al eje del tubo.

Los tubos no contendrán ningún defecto que pueda reducir su resistencia, su impermeabilidad o su durabilidad. Se rechazarán los tubos que, en el momento de utilizarse, presenten roturas en las pestañas de las juntas o cualquier otro defecto que pueda mermar su resistencia o estanqueidad.

Se realizarán ensayos de comprobación de resistencia al aplastamiento, ensayando, como mínimo, un tubo por cada 250 metros colocados.

El extremo de los tubos que conectan con arquetas deberá quedar enrasado con la cara interior de los mismos, de modo que no puedan producirse arrastres o pérdidas de agua por el punto de enchufe del tubo a la arqueta. La colocación de los tubos será siempre den sentido ascendente, cuidando su alineación y uniformidad en la pendiente.

Se evitará dañar o golpear los tubos durante su colocación. En el proceso de hormigonado se prestará especial cuidado en la inmovilización de los tubos.

Tuberías de PVC y polietileno:

Se definen como tuberías de PVC o polietileno las formadas por tubos circulares de uno de estosdos materiales, cuyo objetivo es conducir el agua a las zonas de evacuación, acometidas, colectores generales o conectar imbornales con estos últimos.

Los tubos a emplear en esta obra serán de PVC o polietileno con una resistencia circunferencialigual o mayor a SN-8.

3.16 Fontanería

La normativa que regula todo lo relativo al suministro de agua viene detallada en la sección HS5 del DB-HS del Código Técnico de la edificación (CTE).

Bajantes:

Las bajantes tanto de aguas pluviales como fecales serán de materiales plásticos que dispongan autorización de uso. No se admitirán bajantes de diámetro inferior a 90 mm.

Todas las uniones entre tubos y piezas especiales se realizarán mediante uniones Gibault.

Tubería de cobre:

Las designaciones, pesos, espesores de pared y tolerancias se ajustarán a las normas correspondientes de la citada empresa.

Las válvulas a las que se someterá a una presión de prueba superior en un 50% a la presión de trabajo serán de marca aceptada por la empresa suministradora con las características que ésta indique.

3.17 Instalaciones eléctricas

Normas:

Todos los materiales que se empleen en la instalación eléctrica tanto de alta como de baja tensión deberán cumplir las prescripciones técnicas que dictan las normas internacionales.

CBI, los reglamentos en vigor, así como las normas técnico-prácticas de la compañía suministradora de energía.

Conductores de baja tensión:

Los conductores de los cables serán de cobre desnudo recocido, normalmente con formación e hilo único hasta 6 mm2.

La cubierta será de policloruro de vinilo tratada convenientemente de forma que asegure mejor resistencia al frío, a la laceración, a la abrasión respecto al policloruro de vinilo normal (PVC).

La acción sucesiva del sol y de la humedad no debe provocar la más mínima alteración de la cubierta. El relleno que sirve para dar forma al cable aplicado por extrusión sobre las almas del cableado debe ser de material adecuado de manera que pueda ser fácilmente separado para la confección de los empalmes y terminales.

Los cables denominados de “instalación” normalmente alojados en tubería protectora serán de cobre con aislamiento de PVC. La tensión de servicio será de 750 V y la tensión de ensayo de 2000 V.

La sección mínima que se utilizará en los cables destinados tanto a circuitos de alumbrado como de fuerza será de 1.5 cm2.

Los ensayos de tensión y de resistencia de aislamiento se efectuarán con la tensión de prueba de 2000 V de igual forma que en los cables anteriores.

Aparatos de alumbrado interior:

Las luminarias se construirán con chasis de chapa de acero de calidad, con espesor o nervaduras suficientes para alcanzar la rigidez necesaria.

Los enchufes con toma de tierra tendrán esta toma dispuesta de forma que sea la primera en establecerse y la última en desaparecer y serán irreversibles sin posibilidad de error en la conexión.

Maquinaria y equipos:

Las características de la maquinaria y los diferentes equipos, así como su instalación se deberán exigir directamente al fabricante a fin de ser aprobadas.

Universidad Zaragoza
1542

Trabajo Fin de Grado

Cálculo y dimensionado de la estructura de una planta industrial para el almacenamiento y distribución de bobinas de acero

PRESUPUESTO

Autor/es

Jorge Alonso Sanz

Director/es

Víctor Tabuenca Cintora

Grado en Ingeniería Mecánica

Escuela de Ingeniería y Arquitectura de Zaragoza

2022

ÍNDICE

Mediciones..... **1**

Presupuestos **20**

Presupuesto de ejecución material.....**40**

Presupuesto de ejecución por contrata.....**41**

Presupuesto final.....**41**

MEDICIONES

Presupuesto parcial nº 1 Compra de la parcela

Nº	Ud	Descripción	Medición
1.1	Ud	Compra de la parcela del polígono	
		Total ud .....:	**1,000**

Presupuesto parcial nº 2 Movimiento de tierras

Nº	Ud	Descripción	Medición
2.1	M2	**Desbroce y limpieza superficial de terreno de monte bajo, incluyendo arbustos, por medios mecánicos hasta una profundidad de 15 cm., con carga y transporte de la tierra vegetal y de los productos resultantes a vertedero.**	
		Total m2 .....:	**4.000,000**
2.2	M3	**Desmonte en tierra a cielo abierto con medios mecánicos, incluso perfilado y carga sobre camión de los productos resultantes de la excavación.**	
		Total m3 .....:	**4.000,000**
2.3	M3	**Excavación en zanja y/o pozos en tierra, incluso carga sobre camión de los productos resultantes de la excavación.**	
		Total m3 .....:	**473,520**
2.4	M3	**Excavación en zanjas de saneamiento, en terrenos de consistencia floja, por medios mecánicos, con extracción de tierras a los bordes, y con posterior relleno y apisonado de las tierras procedentes de la excavación y con p.p. de medios auxiliares.**	
		Total m3 .....:	**234,500**
2.5	M2	**Compactación de terrenos a cielo abierto, por medios mecánicos, con aporte de tierras, incluso regado de los mismos, sin definir grado de compactación mínimo, y con p.p. de medios auxiliares.**	
		Total m2 .....:	**4.000,000**

Presupuesto parcial nº 3 Cimentación

Nº	Ud	Descripción	Medición
3.1	M3	**Relleno, extendido y apisonado de zahorras a cielo abierto, por medios mecánicos, en tongadas de 30 cm. de espesor, hasta conseguir un grado de compactación del 95% del proctor normal, incluso regado de las mismas y refino de taludes, y con p.p. de medios auxilares, considerando las zahorras a pie de tajo.**	
		Total m3 .....:	**66,160**
3.2	M3	**Hormigón en masa HM-20/B/40, de 5 N/mm2., consistencia blanda, Tmáx. 40 mm. elaborado en obra para limpieza y nivelado de fondos de cimentación, incluso vertido con grúa, vibrado y colocación. Según EHE.**	
		Total m3 .....:	**32,056**
3.3	M3	**Hormigón armado HA-25/B/40/IIa, de 25 N/mm2., consistencia blanda, Tmáx. 40 mm., para ambiente humedad alta, elaborado en central en relleno de zapatas y zanjas de cimentación, incluso armadura (40 kg/m3.), encofrado y desencofrado, vertido con grúa, vibrado, curado y colocado. Según EHE.**	
		Total m3 .....:	**236,760**

Presupuesto parcial nº 4 Muro

Nº	Ud	Descripción	Medición
4.1	M3	**Hormigón para armar HM-25/B/20/IIa, de 25 N/mm2., consistencia blanda, Tmáx. 20 mm., para ambiente humedad alta, elaborado en central en muros, incluso vertido con grúa, vibrado, curado y colocado. Según EHE.**	
		Total m3 .....:	**255,000**
4.2	M2	**Encofrado y desencofrado a dos caras, en muros con paneles metálicos modulares hasta 6 m. de altura y 20 posturas.**	
		Total m2 .....:	**680,000**

Presupuesto parcial nº 5 Solera

Nº	Ud	Descripción	Medición
5.1	M2	**Solera de hormigón armado de 20 cm. de espesor, realizada con hormigón HA-25/B/20/IIa, de central, vertido desde camión, curado, colocación y armado con # 20x20/8 de 5 mm. de diámetro B 500-S, p.p. de juntas, aserrado de las mismas y fratasado.**	
		Total m2 .....:	**1.874,000**

Presupuesto parcial nº 6 Estructura

Nº	Ud	Descripción	Medición
6.1	Kg	**Acero laminado E 275(A 42b), en perfiles laminados en caliente para vigas, pilares, zunchos y correas mediante uniones atornilladas; i/p.p. de tornillos calibrados A4T, cortes, piezas especiales, despuntes y dos manos de imprimación con pintura de minio de plomo, totalmente montado y colocado.**	
		Total kg .....:	**100.762,200**
6.2	Ud	**Placa de anclaje de acero E 275(A 42b) en perfil plano para atornillar en cimentación, de dimensiones 32x37x3,5 cm. con cuatro patillas de redondo corrugado B 500-S de 20 mm. de diámetro, con longitud total de 0,50 m. embutidos en el hormigón fresco, y atornillados con arandelas, tuerca y contratuerca una vez endurecido el hormigón del cimiento., i/taladro central, totalmente colocado. Incluso mortero autonivelante expansivo para relleno del espacio resultante entre el hormigón endurecido y la placa y protección anticorrosiva aplicada a las tuercas y extremos de los pernos.Según normas MV y EHE.**	
		Total ud .....:	**22,000**
6.3	Ud	**Placa de anclaje de acero E 275(A 42b) en perfil plano para atornillar en cimentación, de dimensiones 50x29x3,5 cm. con cuatro patillas de redondo corrugado B 500-S de 20 mm. de diámetro, con longitud total de 0,70 m. embutidos en el hormigón fresco, y atornillados con arandelas, tuerca y contratuerca una vez endurecido el hormigón del cimiento., i/taladro central, totalmente colocado. Incluso mortero autonivelante expansivo para relleno del espacio resultante entre el hormigón endurecido y la placa y protección anticorrosiva aplicada a las tuercas y extremos de los pernos.Según normas MV y EHE.**	
		Total ud .....:	**6,000**

Presupuesto parcial nº 7 Cerramientos

Nº	Ud	Descripción	Medición
7.1	M2	**Fachada ligera de panel grecado. Modelo CM 40/974 de la marca CURBIMETAL machihembrado de 6 mm de espesor. Fijado al soporte con tornillos autotaladrantes de cabeza avellanada, de acero cincado.** **Incluye: Preparación de la superficie soporte. Replanteo y corte de los paneles. Colocación y fijación. Sellado de juntas.**	
		Total m2 .....:	**1.731,250**
7.2	M.	**Vierteaguas de chapa plegada de acero prelacado, espesor 0,8 mm, desarrollo 300 mm y 5 pliegues, con goterón, empotrado en las jambas; fijación con tornillos autotaladrantes; y sellado de las juntas entre piezas y de las uniones con los muros con sellador adhesivo monocomponente.** **Incluye: Replanteo de las piezas. Corte de las piezas. Preparación y regularización del soporte. Colocación y fijación de las piezas metálicas, niveladas y aplomadas. Sellado de juntas y limpieza.**	
		Total m. .....:	**170,000**

Presupuesto parcial nº 8 Cubierta

Nº	Ud	Descripción	Medición
8.1	M2	**Fachada ligera de panel grecado. Modelo CM 40/974 de la marca CURBIMETAL machihembrado de 6 mm de espesor. Fijado al soporte con tornillos autotaladrantes de cabeza avellanada, de acero cincado.** **Incluye: Preparación de la superficie soporte. Replanteo y corte de los paneles. Colocación y fijación. Sellado de juntas.**	
		Total m2 .....:	**1.506,000**
8.2	M2	**Placa traslúcida plana de policarbonato celular, de 7500 mm de longitud, 1000 mm de anchura y 10 mm de espesor, con una trasnmisión de luminosidad del 55%, para cubierta inclinada.** **Incluye: replanteo y colocación de las piezas especiales sobre los paneles grecados. Fijación a los paneles grecados.**	
		Total m2 .....:	**150,000**
8.3	M.	**Remate de chapa plegada de acero prelacado, espesor 0,6 mm, desarrollo 150 mm y 2 pliegues; fijación con tornillos autotaladrantes de acero galvanizado.** **Incluye: Replanteo de las piezas. Corte de las piezas. Colocación, aplomado, nivelación y alineación. Resolución de encuentros y de puntos singulares.**	
		Total m. .....:	**230,000**

Presupuesto parcial nº 9 Sistema de acabados

Nº	Ud	Descripción	Medición
9.1	M2	Solado de baldosa de gres extrusionado flameado de 30x30 cm. con junta de 1 cm., recibido con mortero de cemento CEM II/B-M 32,5 R y arena de río 1/6 (M-40), i/cama de 2 cm. de arena de río, p.p. de rodapié del mismo material de 8x30 cm., rejuntado con lechada de cemento CEM II/B-M 32,5 R 1/2 y limpieza, medido en superficie realmente ejecutada.	
		Total m2 .....:	29,780
9.2	M2	Solado de baldosa de gres esmaltado de 30x30 cm., recibido con mortero de cemento CEM II/B-M 32,5 R y arena de río 1/6 (M-40), i/cama de 2 cm. de arena de río, rejuntado con lechada de cemento blanco BL-V 22,5 y limpieza, medido en superficie realmente ejecutada.	
		Total m2 .....:	29,790
9.3	M2	Tabicón aligerado de ladrillo hueco doble de 25x12x8 cm. recibido con mortero de cemento CEM II/B-M 32,5 R y arena de río 1/6, i/p.p. replanteo, roturas, humedecido de las piezas, limpieza y medios auxilaires, s/NBE-FL-90, medido a cinta corrida.	
		Total m2 .....:	156,000
9.4	M2	Falso techo de placas de escayola lisa de 100x60 cm., recibida con esparto y pasta de escayola, i/repaso de juntas, limpieza, montaje y desmontaje de andamios, medido deduciendo huecos.	
		Total m2 .....:	64,000
9.5	Ud	Puerta de paso ciega normalizada, serie económica, lisa hueca (CLH) de pino para pintar, con cerco directo de pino macizo 70x50 mm., tapajuntas lisos de DM rechapados de pino 70x10 mm. en ambas caras, y herrajes de colgar y de cierre latonados, totalmente montada, incluso p.p. de medios auxiliares.	
		Total ud .....:	3,000
9.6	Ud	Puerta interior abatible, ciega, de una hoja de 210x82,5x3,5 cm, de tablero aglomerado, chapado con nogal, barnizada en taller; precerco de pino país de 90x35 mm; galces de MDF, con rechapado de madera, de nogal de 90x20 mm; tapajuntas de MDF, con rechapado de madera, de nogal de 70x10 mm en ambas caras. Incluso bisagras, herrajes de colgar, de cierre y manivela sobre escudo largo de latón, color negro, acabado brillante, serie básica. Incluye: Presentación de la puerta. Colocación de los herrajes de colgar. Colocación de la hoja. Colocación de los herrajes de cierre. Colocación de accesorios. Ajuste final. Realización de pruebas de servicio.	
		Total ud .....:	1,000
9.7	M2	Pintura plástica lisa vinílica satinado medio, sobre paramentos horizontales y verticales, lavable dos manos, incluso imprimación con selladora acrílica, plastecido, lijado mecánico y dos manos de acabado.	
		Total m2 .....:	820,000
9.8		Puerta cancela metálica , basculante de preleva, dimensiones 5000x5000 mm. perfiles rectangulares en cerco zócalo inferior realizado con chapa grecada de 1,2 mm de espesor a dos caras, para acceso de vehículos. Apertura automática con equipo de automatismo recibido a obra para apertura y cierre automático de puerta (incluido en el precio). Incluso pórtico lateral de sustentación y tope de cierre, herrajes de seguridad y cierre, acabado con imprimación antioxidante y accesorios. Totalmente montada, conexionada y puesta en marcha, comprobación de su correcto funcionamiento. Incluye: Replanteo. Instalación de la puerta cancela. Montaje del sistema de apertura. Montaje del sistema de accionamiento. Conexionado eléctrico. Repaso y engrase de mecanismos y guías. Puesta en marcha.	
		Total .....:	2,000

Presupuesto parcial nº 10 Luminaria

Nº	Ud	Descripción	Medición
10.1	Ud	**Luminaria suspendida para montaje en línea continua, de 2960x80x40 mm, para 2 lámparas fluorescentes T5 de 49 W, con cuerpo de aluminio extruido de color RAL 9006; difusor acrílico opal; unión intermedia de perfiles; sistema de suspensión por caña de 50 cm de longitud; reflector de chapa de acero, acabado termoesmaltado, de color blanco; protección IP20 y aislamiento clase F. Incluso lámparas.** **Incluye: Replanteo. Montaje, conexionado y comprobación de su correcto funcionamiento.**	
		Total ud .....:	**20,000**
10.2	Ud	**Foco para empotrar con equipo fluorescente compacto de 10 W., reflector de policarbonato vaporizado de aluminio, con lámpara, equipo de arranque y condensador. Totalmente instalado incluyendo replanteo y conexionado.**	
		Total ud .....:	**20,000**

Presupuesto parcial nº 11 Urbanización

Nº	Ud	Descripción	Medición
11.1	M	**Vallado de parcela sobre muro de fábrica con pilastras intermedias, formado por verja tradicional compuesta de barrotes horizontales de cuadradillo de perfil macizo de acero laminado en caliente de 14x14 mm fijados con tornillos a las pilastras intermedias, barrotes verticales de cuadradillo de perfil macizo de acero laminado en caliente de 12x12 mm de 2 m de altura y postes del mismo material empotrados en muros de fábrica. Incluso mortero de cemento para recibido de los postes.** **Incluye: Replanteo. Preparación de los puntos de anclaje. Presentación de los tramos de verja. Aplomado y nivelación de los tramos. Fijación de los tramos mediante el anclaje de sus elementos.**	
		Total m .....:	**284,000**
11.2		**Puerta cancela metálica de carpintería metálica, de hoja corredera, dimensiones 8000x2000 mm, perfiles rectangulares en cerco zócalo inferior realizado con chapa grecada de 1,2 mm de espesor a dos caras, para acceso de vehículos. Apertura automática con equipo de automatismo recibido a obra para apertura y cierre automático de puerta (incluido en el precio). Incluso pórtico lateral de sustentación y tope de cierre, guía inferior con UPN 100 y cuadradillo macizo de 25x25 mm sentados con hormigón HM-25/B/20/I y recibidos a obra; ruedas para deslizamiento, con rodamiento de engrase permanente, material de conexionado eléctrico, elementos de anclaje, herrajes de seguridad y cierre, acabado con imprimación antioxidante y accesorios. Totalmente montada, conexionada y puesta en marcha por la empresa instaladora para la comprobación de su correcto funcionamiento.** **Incluye: Replanteo. Colocación y fijación de los perfiles guía. Instalación de la puerta cancela. Vertido del hormigón. Montaje del sistema de apertura. Montaje del sistema de accionamiento. Conexionado eléctrico. Repaso y engrase de mecanismos y guías. Puesta en marcha.**	
		Total .....:	**1,000**
11.3		**Puerta cancela metálica de carpintería metálica, de hoja corredera, dimensiones 4000x2000 mm, perfiles rectangulares en cerco zócalo inferior realizado con chapa grecada de 1,2 mm de espesor a dos caras, para acceso de vehículos. Apertura automática con equipo de automatismo recibido a obra para apertura y cierre automático de puerta (incluido en el precio). Incluso pórtico lateral de sustentación y tope de cierre, guía inferior con UPN 100 y cuadradillo macizo de 25x25 mm sentados con hormigón HM-25/B/20/I y recibidos a obra; ruedas para deslizamiento, con rodamiento de engrase permanente, material de conexionado eléctrico, elementos de anclaje, herrajes de seguridad y cierre, acabado con imprimación antioxidante y accesorios. Totalmente montada, conexionada y puesta en marcha por la empresa instaladora para la comprobación de su correcto funcionamiento.** **Incluye: Replanteo. Colocación y fijación de los perfiles guía. Instalación de la puerta cancela. Vertido del hormigón. Montaje del sistema de apertura. Montaje del sistema de accionamiento. Conexionado eléctrico. Repaso y engrase de mecanismos y guías. Puesta en marcha.**	
		Total .....:	**1,000**

Presupuesto parcial nº 12 Saneamiento

Nº	Ud	Descripción	Medición
12.1	Ud	Arqueta a pie de bajante registrable, de 50x50x65 cm. de medidas interiores, construida con fábrica de ladrillo macizo tosco de 1/2 pie de espesor, recibido con mortero de cemento, colocado sobre solera de hormigón en masa HM-10/B/40, enfoscada y bruñida por el interior con mortero de cemento, con codo de PVC de 45º, para evitar el golpe de bajada en la solera, y con tapa de hormigón armado prefabricada, totalmente terminada y con p.p. de medios auxiliares, sin incluir la excavación, ni el relleno perimetral posterior.	
		Total ud .....:	**12,000**
12.2	Ud	Arqueta enterrada no registrable, de 60x60x80 cm. de medidas interiores, construida con fábrica de ladrillo macizo tosco de 1/2 pie de espesor, recibido con mortero de cemento, colocado sobre solera de hormigón en masa HM-10/B/40, enfoscada y bruñida por el interior con mortero de cemento, y cerrada superiormente con un tablero de bardos machihembrados y losa de hormigón HM-15/B/20, ligeramente armada con mallazo, totalmente terminada y sellada con mortero de cemento y con p.p. de medios auxiliares, sin incluir la excavación, ni el relleno perimetral posterior.	
		Total ud .....:	**4,000**
12.3	M.	Canalón visto de chapa de aluminio prelacada, de sección cuadrada, con un desarrollo de 300 mm., fijado al alero mediante soportes lacados colocados cada 50 cm. y totalmente equipado, incluso con p.p. de piezas especiales y remates finales de aluminio prelacado, soldaduras y piezas de conexión a bajantes, completamente instalado.	
		Total m. .....:	**120,000**
12.4	M.	Bajante de PVC serie C, de 160 mm. de diámetro, con sistema de unión por enchufe con junta labiada, colocada con abrazaderas metálicas, totalmente instalada, incluso con p.p. de piezas especiales de PVC, funcionando.	
		Total m. .....:	**2,000**
12.5	M.	Bajante de PVC serie F, de 125 mm. de diámetro, con sistema de unión por enchufe con junta labiada, colocada con abrazaderas metálicas, totalmente instalada, incluso con p.p. de piezas especiales de PVC, funcionando.	
		Total m. .....:	**196,000**
12.6	Ud	Acometida domiciliaria de saneamiento a la red general municipal, hasta una distancia máxima de 8 m., formada por: rotura del pavimento con compresor, excavación manual de zanjas de saneamiento en terrenos de consistencia dura, colocación de tubería de hormigón en masa de enchufe de campana, con junta de goma de 20 cm. de diámetro interior, tapado posterior de la acometida y reposición del pavimento con hormigón en masa HM-15/B/40, sin incluir formación del pozo en el punto de acometida y con p.p. de medios auxiliares.	
		Total ud .....:	**2,000**
12.7	M.	Tubería enterrada de PVC liso de saneamiento, de unión en copa lisa pegada, de 200 mm. de diámetro exterior, espesor de pared 4'9 mm., colocado sobre cama de arena de río, con p.p. de piezas especiales, sin incluir la excavación ni el tapado posterior de las zanjas, y con p.p. de medios auxiliares.	
		Total m. .....:	**90,000**
12.8	M.	Tubería enterrada de PVC liso de saneamiento, de unión en copa lisa pegada, de 315 mm. de diámetro exterior, espesor de pared 7'7 mm., colocado sobre cama de arena de río, con p.p. de piezas especiales, sin incluir la excavación ni el tapado posterior de las zanjas, y con p.p. de medios auxiliares.	
		Total m. .....:	**40,000**
12.9	Ud	Red interior de evacuación para aseo con dotación para: inodoro, lavabo sencillo, ducha, realizada con tubo de PVC, serie B para la red de desagües que conectan la evacuación de los aparatos con el bote sifónico y con la bajante, con los diámetros necesarios para cada punto de servicio, y bote sifónico de PVC, de 110 mm de diámetro, con tapa ciega de acero inoxidable. Incluso líquido limpiador, adhesivo para tubos y accesorios de PVC, material auxiliar para montaje y sujeción a la obra, accesorios y piezas especiales. Incluye: Replanteo del recorrido de la tubería y de la situación de los elementos de sujeción. Presentación en seco de los tubos. Fijación del material auxiliar para montaje y sujeción a la obra. Colocación del bote sifónico. Montaje, conexionado y comprobación de su correcto funcionamiento. Realización de pruebas de servicio.	
		Total ud .....:	**1,000**

Presupuesto parcial nº 13 Fontanería

Nº	Ud	Descripción	Medición
13.1	Ud	**Instalación de fontanería para un aseo, dotado de lavabo, inodoro y ducha, realizada con tuberías de cobre para las redes de agua fría y caliente, y con tuberías de PVC serie C, para la red de desagües, con los diámetros necesarios para cada punto de servicio, con bote sifónico de PVC, incluso con p.p. de bajante de PVC de 110 mm. y manguetón para enlace al inodoro, terminada, y sin aparatos sanitarios. Las tomas de agua y los desagües, se entregan con tapones.**	
		Total ud .....:	**1,000**
13.2	Ud	**Acometida a la red general municipal de agua potable hasta una longitud máxima de 8 m., realizada con tubo de polietileno de 63 mm. de diámetro, de alta densidad y para 10 atmósferas de presión máxima con collarín de toma de fundición, p.p. de piezas especiales de polietileno y tapón roscado, incluso derechos y permisos para la conexión, totalmente terminada y funcionando, sin incluir la rotura del pavimento.**	
		Total ud .....:	**1,000**
13.3	Ud	**Contador general de agua de 2 1/2", colocado en la batería general y conexionado a ésta y al ramal de acometida, incluso instalación de dos llaves de corte de esfera, de 63 mm., juego de bridas, válvula de retención y demás material auxiliar, totalmente montado y funcionando, incluso timbrado del contador por el Ministerio de Industria, sin incluir la batería general, ni la acometida**	
		Total ud .....:	**1,000**
13.4	M.	**Tubería de polipropileno reticular sanitario, de 20 mm. de diámetro nominal, para 20 atmósferas de presión máxima, colocada en instalaciones interiores, para agua fría y caliente, con p.p. de piezas especiales de polipropileno, totalmente instalada y funcionando, en ramales de hasta 4 metros de longitud y sin protección superficial.**	
		Total m. .....:	**25,000**
13.5	Ud	**Suministro y colocación de grupo de presión completo, para un máximo de 5 viviendas, con capacidad de elevación del agua entre 6 y 9 metros, formado por electrobomba de 1 CV a 220 V, calderín de presión de acero galvanizado con manómetro, e instalación de válvula de retención de 1" y llaves de corte de esfera de 1", incluso con p.p. de tubos y piezas especiales de acero galvanizado de 1", entre los distintos elementos, totalmente instalado y funcionando, sin incluir el conexionado eléctrico de la bomba.**	
		Total ud .....:	**1,000**

Presupuesto parcial nº 14 Mobiliario

Nº	Ud	Descripción	Medición
14.1	Ud	Lavabo de porcelana vitrificada en color, de 56x47 cm., para colocar empotrado en encimera de mármol o similar (sin incluir), con grifo monomando cromado, con rompechorros, incluso válvula de desagüe de 32 mm., llaves de escuadra de 1/2" cromadas, y latiguillos flexibles de 20 cm. y de 1/2", totalmente instalado y funcionando.	
		Total ud .....:	2,000
14.2	Ud	Inodoro de porcelana vitrificada en color, de tanque bajo, colocado mediante tacos y tornillos al solado, incluso sellado con silicona y compuesto por: taza, tanque bajo con tapa y mecanismos y asiento con tapa lacados, con bisagras de acero, totalmente instalado, incluso con llave de escuadra de 1/2" cromada y latiguillo flexible de 20 cm. y de 1/2", funcionando. (El manguetón está incluido en las instalaciones de desagüe).	
		Total ud .....:	2,000
14.3	Ud	Plato de ducha de porcelana, de 75x75 cm., en color, con grifería mezcladora exterior monomando, con ducha teléfono, flexible de 150 cm. y soporte articulado, cromada, incluso válvula de desagüe sifónica, con salida horizontal de 40 mm., totalmente instalada y funcionando.	
		Total ud .....:	1,000
14.4	Ud	Suministro y colocación de secamanos eléctrico digital en baño, colocado mediante anclajes de fijación a la pared, y totalmente instalado.	
		Total ud .....:	1,000
14.5	Ud	Suministro y colocación de dosificador de toallas de papel en baño, colocado mediante anclajes de fijación a la pared, y totalmente instalado.	
		Total ud .....:	1,000
14.6	Ud	Suministro y colocación de dosificador de jabón líquido en baño, colocado mediante anclajes de fijación a la pared, y totalmente instalado.	
		Total ud .....:	1,000
14.7	Ud	Suministro y colocación de espejo para baño, de 82x100 cm., dotado de apliques para luz, con los bordes biselados, totalmente colocado, sin incluir las conexiones eléctricas.	
		Total ud .....:	2,000
14.8	Ud	Suministro y colocación de encimera de mármol nacional, de 200 cm. de largo, y 2 cm. de grueso, con faldón frontal de 15 cm. y regleta pulida y con los bordes biselados, incluso con agujero para la instalación posterior de un lavabo de 1 seno, totalmente montada con los anclajes precisos, y sellada con silicona.	
		Total ud .....:	1,000
14.9	Ud	Horno microondas de 18 litros de capacidad, con plato giratorio incorporado (amortizable en 5 usos).	
		Total ud .....:	1,000
14.10	Ud	Mesa de melamina para comedor de obra con capacidad para 6 personas.	
		Total ud .....:	1,000
14.11	Ud	Mesa angular para oficinas con cajonera y armario. Dimensiones Tablero Principal - Alto: 72 cm. / Ancho: 160 cm / Fondo: 66 cm. /Dimensiones Tablero auxiliar (con cajonera) - Alto: 72 cm. / Ancho: 160 cm / Fondo: 80 cm. Estructura metálica de acabado gris.Tablero de melamina en acabado bahía original.3 pasacables	
		Total ud .....:	1,000
14.12	Ud	Estantería para almacenaje de bobinas de dimensión 8x2x2 m. con una carga máxima de 15 toneladas por nivel. Diseñado para almacenar de forma directa y mecánica por medio de carretillas elevadoras o puente grúa.	
		Total ud .....:	120,000
14.13	Ud	Silla de conferencia y reunión.Material: Tejido 100% polipropileno. Patas de tubo metálico epoxi negro.Relleno: Densidad asiento y respaldo: 18 kg/m³. Medidas: Asiento: An. 46 x Fon. 42 cm x Alt. 46 cm. Alto respaldo: 35 cm.	
		Total ud .....:	10,000

Presupuesto parcial nº 15 Maquinaria de taller

Nº	Ud	Descripción	Medición
15.1		**Puente grúa birrail con carro giratorio. Máquina para el movimiento y la elevación de materiales pesados hasta un máximo de 20 toneladas.**	
		Total .....:	**1,000**
15.2		**Carretilla elevadora con doble tracción y capacidad máxima de 15000 kg. Altura máxima de elevación 4000 mm.**	
		Total .....:	**2,000**
15.3		**Zona óptica de detección de posición de bobinas con libertad de movimiento en 2 ejes y capacidad máxima de 17000 kg.**	
		Total .....:	**2,000**

Presupuesto parcial nº 16 Instalación contra incendios

Nº	Ud	Descripción	Medición
16.1	Ud	**Pulsador de alarma. Medida la unidad instalada.**	
		Total ud .....:	**4,000**
16.2	Ud	**Señalización de equipos contra incendios, señales de riesgo diverso, advertencia de peligro, prohibición, uso obligatorio, evacuación y salvamento, en poliestireno fotoluminiscente, de dimensiónes 297x420 mm. Medida la unidad instalada.**	
		Total ud .....:	**13,000**
16.3	Ud	**Extintor de polvo químico ABC polivalente antibrasa de eficacia 34A/233B, de 6 kg. de agente extintor, con soporte, manómetro comprobable y boquilla con difusor. Medida la unidad instalada.**	
		Total ud .....:	**6,000**
16.4	Ud	**Campana de alarma de bajo consumo, en 6". Medida la unidad instalada.**	
		Total ud .....:	**6,000**
16.5	Ud	**Conjunto montado en block para puerta de paso de 1 hoja, cortafuegos RF-30 de medidas normalizadas, compuesto de hoja construída con materiales ignífugos y rechapada de melanima, cerco de 70x30 mm. y tapajuntas de 70x16 mm. en ambas caras, ignífugos y recubiertos del mismo material de la hoja, herrajes de cuelgue (4 pernios dorados o cromados), y de seguridad (picaporte o cerradura), materiales fabricados con elementos ignífugos, totalmente montado el conjunto e incluso con p.p. de sellado de juntas con masilla incombustible, en las dos caras del block, y antes de colocar los tapajuntas, entre el precerco de obra y el cerco visto.**	
		Total ud .....:	**2,000**
16.6	Ud	**Luminaria de emergencia autónoma de 200 lúmenes, telemandable, autonomía superior a 1 hora, equipada con batería Ni.Cd estanca de alta temperatura.**	
		Total ud .....:	**10,000**

Presupuesto parcial nº 17 Seguridad y salud

Nº	Ud	Descripción	Medición
17.1	Ud	Tapa provisional para arquetas de 60x60 cm., huecos de forjado o asimilables, formada mediante tablones de madera de 20x5 cms. armados mediante clavazón, incluso colocación, (amortizable en dos usos).	
		Total ud .....:	4,000
17.2	Ud	Tapa provisional para arquetas de 50x50 cm., huecos de forjado o asimilables, formada mediante tablones de madera de 20x5 cms. armados mediante clavazón, incluso colocación, (amortizable en dos usos).	
		Total ud .....:	12,000
17.3	M.	valla realizada con paneles prefabricados de 3.50x2,00 m. de altura, enrejados de 80x150 mm. y D=8 mm. de espesor, soldado a tubos de D=40 mm. y 1,50 mm. de espesor, todo ello galvanizado en caliente, sobre soporte de hormigón prefabricado separados cada 3,50 m., incluso accesorios de fijación, p.p. de portón, considerando un tiempo mínimo de 12 meses de alquiler, incluso montaje y desmontaje. s/ R.D. 486/97.	
		Total m. .....:	300,000
17.4	M2	Protección de paso de vehículos sobre zanjas abiertas en calzada, mediante plataforma de chapa de acero de 10 mm de espesor, amortizable en 150 usos, apoyada sobre manta antirroca como material amortiguador. Incluso cemento rápido para evitar la vibración de la chapa al paso de los vehículos.	
		Total m2 .....:	40,000
17.5	M2	Sistema S de red de seguridad fija, colocada horizontalmente, formado por: red de seguridad UNE-EN 1263-1 S A2 M100 D M, de poliamida de alta tenacidad, anudada, de color blanco, para cubrir huecos horizontales de superficie comprendida entre 250 y 500 m². Incluso cuerda de unión de polipropileno, para unir las redes y pletinas y ganchos de acero galvanizado, para atar la cuerda perimetral de las redes a un soporte adecuado.	
		Total m2 .....:	1.500,000
17.6	Ud	Extintor de polvo químico ABC polivalente antibrasa de eficacia 34A/233B, de 6 kg. de agente extintor, con soporte, manómetro comprobable y boquilla con difusor. Medida la unidad instalada. s/ R.D. 486/97.	
		Total ud .....:	8,000
17.7	Ms	Mes de alquiler (min. 12 meses) de caseta prefabricada para almacén de obra de 4,53x2,30x2,30 m. de 10,40 m2. Estructura de acero galvanizado. Cubierta y cerramiento lateral de chapa galvanizada trapezoidal de 0,6 mm. reforzada con perfiles de acero, interior prelacado. Suelo de aglomerado hidrófugo de 19 mm. puerta de acero de 1mm., de 0,80x2,00 m. pintada con cerradura. Ventana fija de cristal de 6 mm., recercado con perfil de goma. Con transporte a 50 km.(ida). Entrega y recogida del módulo con camión grúa. Según R.D. 486/97.	
		Total ms .....:	4,000
17.8	Ms	Mes de alquiler (min. 12 meses) de caseta prefabricada para aseo en obra de 3,25x1,90x2,30 m. Estructura y cerramiento de chapa galvanizada pintada, aislamiento de poliestireno expandido. Ventana de 0,84x0,80 m. de aluminio anodizado, corredera, con reja y luna de 6 mm., termo eléctrico de 50 l.; placa turca, placa de ducha y lavabo de tres grifos, todo de fibra de vidrio con terminación de gel-coat blanco y pintura antideslizante, suelo contrachapado hidrófugo con capa fenolítica antideslizante y resistente al desgaste , puerta madera en turca, cortina en ducha. Tubería de polibutileno aislante y resistente a incrustaciones, hielo y corrosiones, instalación eléctrica monofásica a 220 V. con automático. Con transporte a 50 km.(ida). Entrega y recogida del módulo con camión grúa. Según R.D. 486/97.	
		Total ms .....:	2,000
17.9	Ud	Ejecución de caseta para vestuario provisional de obra para 10 trabajadores de 20 m2. de superficie formada por: Preparación del terreno, excavación de zanjas, cimentación de hormigón armado, solera de 10 cm. sobre encachado de piedra, cerramiento de bloque de hormigón gris 40x20x20 a una cara vista enfoscado en su interior con mortero de cemento 1/4, distribución de aseos y ducha con tabicón de L.H.D., alicatado de azulejo blanco 15x15, falso techo de placas aislantes, cubierta de placa de fibrocemento g.o. gris sobre perfilería metálica, puertas en madera enrasada pintadas, 2 ventanas correderas de aluminio natural con luna de 6 mm. i. pintura, instalación eléctrica, fontanería y saneamiento para lavabo, inodoro y plato de ducha, p.p. de desmontaje, demolición y ayudas de albañilería, totalmente terminada. Según R.D. 486/97.	
		Total ud .....:	1,000

Nº	Ud	Descripción	Medición
17.10	Ms	**Mes de alquiler (min. 12 meses) de caseta prefabricada para dos despachos de oficina en obra de 6,00x2,33x2,30 m. de 14,00 m2. Estructura y cerramiento de chapa galvanizada pintada, aislamiento de poliestireno expandido autoextinguible, interior con tablero melaminado en color. Cubierta en arco de chapa galvanizada ondulada reforzada con perfil de acero; fibra de vidrio de 60 mm., interior con tablex lacado. Suelo de aglomerado revestido con PVC continuo de 2 mm., y poliestireno de 50 mm. con apoyo en base de chapa galvanizada de sección trapezoidal. Puerta de 0,8x2 m., de chapa galvanizada de 1 mm., reforzada y con poliestireno de 20 mm., picaporte y cerradura. Ventana aluminio anodizado corredera, contraventana de acero galvanizado. Instalación eléctrica a 220 V., toma de tierra, automático, 2 fluorescentes de 40 W., enchufes para 1500 W. y punto luz exterior de 60 W. Con transporte a 50 km.(ida). Entrega y recogida del módulo con camión grúa. Según R.D. 486/97.**	
		Total ms .....:	**4,000**
17.11	Ud	**Chaleco de obras reflectante. Amortizable en 5 usos. Certificado CE. s/ R.D. 773/97.**	
		Total ud .....:	**25,000**
17.12	Ud	**Semi-mascarilla antipolvo un filtro, (amortizable en 3 usos). Certificado CE. s/ R.D. 773/97.**	
		Total ud .....:	**100,000**
17.13	Ud	**Par de botas de seguridad con puntera metálica para refuerzo y plantillas de acero flexibles, para riesgos de perforación, (amortizables en 3 usos). Certificado CE; s/ R.D. 773/97.**	
		Total ud .....:	**25,000**
17.14	Ud	**Par guantes de goma látex-anticorte. Certificado CE; s/ R.D. 773/97.**	
		Total ud .....:	**100,000**
17.15	Ud	**Par de guantes para soldador, (amortizables en 3 usos). Certificado CE; s/ R.D. 773/97.**	
		Total ud .....:	**10,000**
17.16	Ud	**Gafas protectoras contra impactos, incoloras, homologadas, (amortizables en 3 usos). Certificado CE. s/ R.D. 773/97.**	
		Total ud .....:	**25,000**
17.17	Ud	**Casco de seguridad con arnés de adaptación, homologado. Certificado CE. s/ R.D. 773/97.**	
		Total ud .....:	**25,000**
17.18	Ud	**Juego de tapones antiruido de silicona ajustables. Certificado CE. s/ R.D. 773/97.**	
		Total ud .....:	**100,000**
17.19	Ud	**Par de polainas para soldador, (amortizables en 3 usos). Certificado CE; s/ R.D. 773/97.**	
		Total ud .....:	**10,000**
17.20	Ud	**Botiquín de urgencia para obra con contenidos mínimos obligatorios, colocado.**	
		Total ud .....:	**5,000**
17.21	Ud	**Camilla portátil para evacuaciones. (amortizable en 10 usos).**	
		Total ud .....:	**2,000**
17.22	Ud	**Percha para aseos o duchas en aseos de obra, colocada.**	
		Total ud .....:	**15,000**
17.23	Ud	**Portarollos industrial con cerradura de seguridad, colocado, (amortizable en 3 usos).**	
		Total ud .....:	**2,000**
17.24	Ud	**Dosificador de jabón de uso industrial de 1 l. de capacidad, con dosificador de jabón colocada (amortizable en 3 usos).**	
		Total ud .....:	**2,000**
17.25	Ud	**Secamanos eléctrico por aire, colocado (amortizable en 3 usos).**	
		Total ud .....:	**2,000**
17.26	Ud	**Banco de madera con capacidad para 5 personas, (amortizable en 2 usos).**	
		Total ud .....:	**2,000**

Presupuesto parcial nº 17 Seguridad y salud

Nº	Ud	Descripción	Medición
17.27	Ud	Cubo para recogida de basuras. (amortizable en 2 usos).	
		Total ud .....:	1,000
17.28	Ud	Mono de trabajo de una pieza de poliéster-algodón. Amortizable en un uso. Certificado CE; s/ R.D. 773/97.	
		Total ud .....:	25,000
17.29	Ud	Mandil de cuero para soldador, (amortizable en 3 usos). Certificado CE; s/ R.D. 773/97.	
		Total ud .....:	10,000
17.30	Ud	Pantalla de seguridad para soldador, con fijación en cabeza, (amortizable en 5 usos). Certificado CE. s/ R.D. 773/97.	
		Total ud .....:	10,000
17.31	Ud	Cinturón de seguridad de suspensión con 2 puntos de amarre, (amortizable en 4 usos). Certificado CE; s/ R.D. 773/97.	
		Total ud .....:	15,000
17.32	Ud	Arnés de seguridad con amarre dorsal y torsal fabricado con cintura ligera de cierre rectangular con cincha de nylon de 45 mm. y elementos metálicos de acero inoxidable, incluso dispositivo anticaídas de cierre y apertura de doble seguridad, deslizamiento manual y bloqueo automático, equipado con cuerda de nylon D=15,5 mm. y 20 m. de longitud, mosquetón de amarre de 24 mm., homologado CE. Amortizable en 5 obras. Recomendado para trabajos en pendiente con amarre fijo; s/ R.D. 773/97.	
		Total ud .....:	15,000
17.33	Ud	Toma de tierra para una resistencia de tierra R</=80 Ohmios y una resistividad R=100 Oh.m. formada por arqueta de ladrillo macizo de 38x38x30 cm., tapa de hormigón armado, tubo de PVC de D=75 mm., electrodo de acero cobrizado 14,3 mm. y 100 cm., de profundidad hincado en el terreno, línea de t.t. de cobre desnudo de 35 mm2., con abrazadera a la pica, totalmente instalado. MI BT 039.	
		Total ud .....:	1,000
17.34	Ud	Transformador de seguridad con primario para 220 V. y secundario de 24 V. y 1000 W., totalmente instalado, (amortizable en 5 usos). s/ R.D. 486/97.	
		Total ud .....:	1,000
17.35	M.	Barandilla de protección de perímetros de andamios tubulares, compuesta por pasamanos y travesaño intermedio formado por tubo 50 mm. (amortizable en 20 usos), pintado en amarillo y negro, y rodapié de madera de pino de 15x5 cm. (amortizable en 3 usos), incluso colocación y desmontaje. s/ R.D. 486/97.	
		Total m. .....:	100,000
17.36	Ud	Placa señalización-información en PVC serigrafiado de 50x30 cm., fijada mecanicamente, amortizable en 3 usos, incluso colocación y desmontaje. s/ R.D. 485/97.	
		Total ud .....:	50,000
17.37	Ud	Cono de balizamiento reflectante irrompible de 50 cm. de diámetro, (amortizable en cinco usos). s/ R.D. 485/97.	
		Total ud .....:	30,000

PRESUPUESTOS

Presupuesto parcial nº 1 Compra de la parcela

Nº	Ud	Descripción	Medición	Precio	Importe
1.1	Ud	Compra de la parcela del polígono			
		Total ud .....:	1,000	369.873,00	369.873,00
		Total presupuesto parcial nº 1 Compra de la parcela :			**369.873,00**

Presupuesto parcial nº 2 Movimiento de tierras

Nº	Ud	Descripción	Medición	Precio	Importe
2.1	M2	Desbroce y limpieza superficial de terreno de monte bajo, incluyendo arbustos, por medios mecánicos hasta una profundidad de 15 cm., con carga y transporte de la tierra vegetal y de los productos resultantes a vertedero.			
		Total m2 .....:	4.000,000	0,63	2.520,00
2.2	M3	Desmonte en tierra a cielo abierto con medios mecánicos, incluso perfilado y carga sobre camión de los productos resultantes de la excavación.			
		Total m3 .....:	4.000,000	1,58	6.320,00
2.3	M3	Excavación en zanja y/o pozos en tierra, incluso carga sobre camión de los productos resultantes de la excavación.			
		Total m3 .....:	473,520	1,93	913,89
2.4	M3	Excavación en zanjas de saneamiento, en terrenos de consistencia floja, por medios mecánicos, con extracción de tierras a los bordes, y con posterior relleno y apisonado de las tierras procedentes de la excavación y con p.p. de medios auxiliares.			
		Total m3 .....:	234,500	8,36	1.960,42
2.5	M2	Compactación de terrenos a cielo abierto, por medios mecánicos, con aporte de tierras, incluso regado de los mismos, sin definir grado de compactación mínimo, y con p.p. de medios auxiliares.			
		Total m2 .....:	4.000,000	8,78	35.120,00
		Total presupuesto parcial nº 2 Movimiento de tierras :			**46.834,31**

Presupuesto parcial nº 3 Cimentación

Nº	Ud	Descripción	Medición	Precio	Importe
3.1	M3	**Relleno, extendido y apisonado de zahorras a cielo abierto, por medios mecánicos, en tongadas de 30 cm. de espesor, hasta conseguir un grado de compactación del 95% del proctor normal, incluso regado de las mismas y refino de taludes, y con p.p. de medios auxilares, considerando las zahorras a pie de tajo.**			
		Total m3 .....:	**66,160**	**9,07**	**600,07**
3.2	M3	**Hormigón en masa HM-20/B/40, de 5 N/mm2., consistencia blanda, Tmáx. 40 mm. elaborado en obra para limpieza y nivelado de fondos de cimentación, incluso vertido con grúa, vibrado y colocación. Según EHE.**			
		Total m3 .....:	**32,056**	**63,11**	**2.023,05**
3.3	M3	**Hormigón armado HA-25/B/40/IIa, de 25 N/mm2., consistencia blanda, Tmáx. 40 mm., para ambiente humedad alta, elaborado en central en relleno de zapatas y zanjas de cimentación, incluso armadura (40 kg/m3.), encofrado y desencofrado, vertido con grúa, vibrado, curado y colocado. Según EHE.**			
		Total m3 .....:	**236,760**	**164,84**	**39.027,52**
		Total presupuesto parcial nº 3 Cimentación :			**41.650,64**

Presupuesto parcial nº 4 Muro

Nº	Ud	Descripción	Medición	Precio	Importe
4.1	M3	**Hormigón para armar HM-25/B/20/IIa, de 25 N/mm2., consistencia blanda, Tmáx. 20 mm., para ambiente humedad alta, elaborado en central en muros, incluso vertido con grúa, vibrado, curado y colocado. Según EHE.**			
		Total m3 .....:	255,000	66,04	16.840,20
4.2	M2	**Encofrado y desencofrado a dos caras, en muros con paneles metálicos modulares hasta 6 m. de altura y 20 posturas.**			
		Total m2 .....:	680,000	16,46	11.192,80
		Total presupuesto parcial nº 4 Muro :			**28.033,00**

Presupuesto parcial nº 5 Solera

Nº	Ud	Descripción	Medición	Precio	Importe
5.1	M2	**Solera de hormigón armado de 20 cm. de espesor, realizada con hormigón HA-25/B/20/IIa, de central, vertido desde camión, curado, colocación y armado con # 20x20/8 de 5 mm. de diámetro B 500-S, p.p. de juntas, aserrado de las mismas y fratasado.**			
		Total m2 .....:	1.874,000	16,66	31.220,84
		Total presupuesto parcial nº 5 Solera :			**31.220,84**

Presupuesto parcial nº 6 Estructura

Nº	Ud	Descripción	Medición	Precio	Importe
6.1	Kg	**Acero laminado E 275(A 42b), en perfiles laminados en caliente para vigas, pilares, zunchos y correas mediante uniones atornilladas; i/p.p. de tornillos calibrados A4T, cortes, piezas especiales, despuntes y dos manos de imprimación con pintura de minio de plomo, totalmente montado y colocado.**			
		Total kg .....:	**100.762,200**	**2,32**	**233.768,30**
6.2	Ud	**Placa de anclaje de acero E 275(A 42b) en perfil plano para atornillar en cimentación, de dimensiones 32x37x3,5 cm. con cuatro patillas de redondo corrugado B 500-S de 20 mm. de diámetro, con longitud total de 0,50 m. embutidos en el hormigón fresco, y atornillados con arandelas, tuerca y contratuerca una vez endurecido el hormigón del cimiento., i/taladro central, totalmente colocado. Incluso mortero autonivelante expansivo para relleno del espacio resultante entre el hormigón endurecido y la placa y protección anticorrosiva aplicada a las tuercas y extremos de los pernos.Según normas MV y EHE.**			
		Total ud .....:	**22,000**	**52,85**	**1.162,70**
6.3	Ud	**Placa de anclaje de acero E 275(A 42b) en perfil plano para atornillar en cimentación, de dimensiones 50x29x3,5 cm. con cuatro patillas de redondo corrugado B 500-S de 20 mm. de diámetro, con longitud total de 0,70 m. embutidos en el hormigón fresco, y atornillados con arandelas, tuerca y contratuerca una vez endurecido el hormigón del cimiento., i/taladro central, totalmente colocado. Incluso mortero autonivelante expansivo para relleno del espacio resultante entre el hormigón endurecido y la placa y protección anticorrosiva aplicada a las tuercas y extremos de los pernos.Según normas MV y EHE.**			
		Total ud .....:	**6,000**	**54,17**	**325,02**
		Total presupuesto parcial nº 6 Estructura :			**235.256,02**

Presupuesto parcial nº 7 Cerramientos

Nº	Ud	Descripción	Medición	Precio	Importe
7.1	M2	**Fachada ligera de panel grecado. Modelo CM 40/974 de la marca CURBIMETAL machihembrado de 6 mm de espesor. Fijado al soporte con tornillos autotaladrantes de cabeza avellanada, de acero cincado.** **Incluye: Preparación de la superficie soporte. Replanteo y corte de los paneles. Colocación y fijación. Sellado de juntas.**			
		Total m2 .....:	**1.731,250**	**15,11**	**26.159,19**
7.2	M.	**Vierteaguas de chapa plegada de acero prelacado, espesor 0,8 mm, desarrollo 300 mm y 5 pliegues, con goterón, empotrado en las jambas; fijación con tornillos autotaladrantes; y sellado de las juntas entre piezas y de las uniones con los muros con sellador adhesivo monocomponente.** **Incluye: Replanteo de las piezas. Corte de las piezas. Preparación y regularización del soporte. Colocación y fijación de las piezas metálicas, niveladas y aplomadas. Sellado de juntas y limpieza.**			
		Total m. .....:	**170,000**	**17,07**	**2.901,90**
		Total presupuesto parcial nº 7 Cerramientos :			**29.061,09**

Presupuesto parcial nº 8 Cubierta

Nº	Ud	Descripción	Medición	Precio	Importe
8.1	M2	**Fachada ligera de panel grecado. Modelo CM 40/974 de la marca CURBIMETAL machihembrado de 6 mm de espesor. Fijado al soporte con tornillos autotaladrantes de cabeza avellanada, de acero cincado.** **Incluye: Preparación de la superficie soporte. Replanteo y corte de los paneles. Colocación y fijación. Sellado de juntas.**			
		Total m2 .....:	**1.506,000**	**15,11**	**22.755,66**
8.2	M2	**Placa traslúcida plana de policarbonato celular, de 7500 mm de longitud, 1000 mm de anchura y 10 mm de espesor, con una trasnmisión de luminosidad del 55%, para cubierta inclinada.** **Incluye: replanteo y colocación de las piezas especiales sobre los paneles grecados. Fijación a los paneles grecados.**			
		Total m2 .....:	**150,000**	**36,21**	**5.431,50**
8.3	M.	**Remate de chapa plegada de acero prelacado, espesor 0,6 mm, desarrollo 150 mm y 2 pliegues; fijación con tornillos autotaladrantes de acero galvanizado.** **Incluye: Replanteo de las piezas. Corte de las piezas. Colocación, aplomado, nivelación y alineación. Resolución de encuentros y de puntos singulares.**			
		Total m. .....:	**230,000**	**30,12**	**6.927,60**
		Total presupuesto parcial nº 8 Cubierta :			**35.114,76**

Presupuesto parcial nº 9 Sistema de acabados

Nº	Ud	Descripción	Medición	Precio	Importe
9.1	M2	Solado de baldosa de gres extrusionado flameado de 30x30 cm. con junta de 1 cm., recibido con mortero de cemento CEM II/B-M 32,5 R y arena de río 1/6 (M-40), i/cama de 2 cm. de arena de río, p.p. de rodapié del mismo material de 8x30 cm., rejuntado con lechada de cemento CEM II/B-M 32,5 R 1/2 y limpieza, medido en superficie realmente ejecutada.			
		Total m2 .....:	29,780	27,90	830,86
9.2	M2	Solado de baldosa de gres esmaltado de 30x30 cm., recibido con mortero de cemento CEM II/B-M 32,5 R y arena de río 1/6 (M-40), i/cama de 2 cm. de arena de río, rejuntado con lechada de cemento blanco BL-V 22,5 y limpieza, medido en superficie realmente ejecutada.			
		Total m2 .....:	29,790	27,17	809,39
9.3	M2	Tabicón aligerado de ladrillo hueco doble de 25x12x8 cm. recibido con mortero de cemento CEM II/B-M 32,5 R y arena de río 1/6, i/p.p. replanteo, roturas, humedecido de las piezas, limpieza y medios auxilaires, s/NBE-FL-90, medido a cinta corrida.			
		Total m2 .....:	156,000	9,04	1.410,24
9.4	M2	Falso techo de placas de escayola lisa de 100x60 cm., recibida con esparto y pasta de escayola, i/repaso de juntas, limpieza, montaje y desmontaje de andamios, medido deduciendo huecos.			
		Total m2 .....:	64,000	10,29	658,56
9.5	Ud	Puerta de paso ciega normalizada, serie económica, lisa hueca (CLH) de pino para pintar, con cerco directo de pino macizo 70x50 mm., tapajuntas lisos de DM rechapados de pino 70x10 mm. en ambas caras, y herrajes de colgar y de cierre latonados, totalmente montada, incluso p.p. de medios auxiliares.			
		Total ud .....:	3,000	154,22	462,66
9.6	Ud	Puerta interior abatible, ciega, de una hoja de 210x82,5x3,5 cm, de tablero aglomerado, chapado con nogal, barnizada en taller; precerco de pino país de 90x35 mm; galces de MDF, con rechapado de madera, de nogal de 90x20 mm; tapajuntas de MDF, con rechapado de madera, de nogal de 70x10 mm en ambas caras. Incluso bisagras, herrajes de colgar, de cierre y manivela sobre escudo largo de latón, color negro, acabado brillante, serie básica. Incluye: Presentación de la puerta. Colocación de los herrajes de colgar. Colocación de la hoja. Colocación de los herrajes de cierre. Colocación de accesorios. Ajuste final. Realización de pruebas de servicio.			
		Total ud .....:	1,000	294,14	294,14
9.7	M2	Pintura plástica lisa vinílica satinado medio, sobre paramentos horizontales y verticales, lavable dos manos, incluso imprimación con selladora acrílica, plastecido, lijado mecánico y dos manos de acabado.			
		Total m2 .....:	820,000	5,96	4.887,20
9.8		Puerta cancela metálica , basculante de preleva, dimensiones 5000x5000 mm. perfiles rectangulares en cerco zócalo inferior realizado con chapa grecada de 1,2 mm de espesor a dos caras, para acceso de vehículos. Apertura automática con equipo de automatismo recibido a obra para apertura y cierre automático de puerta (incluido en el precio). Incluso pórtico lateral de sustentación y tope de cierre, herrajes de seguridad y cierre, acabado con imprimación antioxidante y accesorios. Totalmente montada, conexionada y puesta en marcha, comprobación de su correcto funcionamiento. Incluye: Replanteo. Instalación de la puerta cancela. Montaje del sistema de apertura. Montaje del sistema de accionamiento. Conexionado eléctrico. Repaso y engrase de mecanismos y guías. Puesta en marcha.			
		Total .....:	2,000	4.207,68	8.415,36
		Total presupuesto parcial nº 9 Sistema de acabados :			**17.768,41**

Presupuesto parcial nº 10 Luminaria

Nº	Ud	Descripción	Medición	Precio	Importe
10.1	Ud	**Luminaria suspendida para montaje en línea continua, de 2960x80x40 mm, para 2 lámparas fluorescentes T5 de 49 W, con cuerpo de aluminio extruido de color RAL 9006; difusor acrílico opal; unión intermedia de perfiles; sistema de suspensión por caña de 50 cm de longitud; reflector de chapa de acero, acabado termoesmaltado, de color blanco; protección IP20 y aislamiento clase F. Incluso lámparas.** **Incluye: Replanteo. Montaje, conexionado y comprobación de su correcto funcionamiento.**			
		Total ud .....:	**20,000**	**162,45**	**3.249,00**
10.2	Ud	**Foco para empotrar con equipo fluorescente compacto de 10 W., reflector de policarbonato vaporizado de aluminio, con lámpara, equipo de arranque y condensador. Totalmente instalado incluyendo replanteo y conexionado.**			
		Total ud .....:	**20,000**	**51,96**	**1.039,20**
		Total presupuesto parcial nº 10 Luminaria :			**4.288,20**

Presupuesto parcial nº 11 Urbanización

Nº	Ud	Descripción	Medición	Precio	Importe
11.1	M	**Vallado de parcela sobre muro de fábrica con pilastras intermedias, formado por verja tradicional compuesta de barrotes horizontales de cuadradillo de perfil macizo de acero laminado en caliente de 14x14 mm fijados con tornillos a las pilastras intermedias, barrotes verticales de cuadradillo de perfil macizo de acero laminado en caliente de 12x12 mm de 2 m de altura y postes del mismo material empotrados en muros de fábrica. Incluso mortero de cemento para recibido de los postes.** **Incluye: Replanteo. Preparación de los puntos de anclaje. Presentación de los tramos de verja. Aplomado y nivelación de los tramos. Fijación de los tramos mediante el anclaje de sus elementos.**			
		Total m .....:	**284,000**	**137,66**	**39.095,44**
11.2		**Puerta cancela metálica de carpintería metálica, de hoja corredera, dimensiones 8000x2000 mm, perfiles rectangulares en cerco zócalo inferior realizado con chapa grecada de 1,2 mm de espesor a dos caras, para acceso de vehículos. Apertura automática con equipo de automatismo recibido a obra para apertura y cierre automático de puerta (incluido en el precio). Incluso pórtico lateral de sustentación y tope de cierre, guía inferior con UPN 100 y cuadradillo macizo de 25x25 mm sentados con hormigón HM-25/B/20/I y recibidos a obra; ruedas para deslizamiento, con rodamiento de engrase permanente, material de conexionado eléctrico, elementos de anclaje, herrajes de seguridad y cierre, acabado con imprimación antioxidante y accesorios. Totalmente montada, conexionada y puesta en marcha por la empresa instaladora para la comprobación de su correcto funcionamiento.** **Incluye: Replanteo. Colocación y fijación de los perfiles guía. Instalación de la puerta cancela. Vertido del hormigón. Montaje del sistema de apertura. Montaje del sistema de accionamiento. Conexionado eléctrico. Repaso y engrase de mecanismos y guías. Puesta en marcha.**			
		Total .....:	**1,000**	**7.916,32**	**7.916,32**
11.3		**Puerta cancela metálica de carpintería metálica, de hoja corredera, dimensiones 4000x2000 mm, perfiles rectangulares en cerco zócalo inferior realizado con chapa grecada de 1,2 mm de espesor a dos caras, para acceso de vehículos. Apertura automática con equipo de automatismo recibido a obra para apertura y cierre automático de puerta (incluido en el precio). Incluso pórtico lateral de sustentación y tope de cierre, guía inferior con UPN 100 y cuadradillo macizo de 25x25 mm sentados con hormigón HM-25/B/20/I y recibidos a obra; ruedas para deslizamiento, con rodamiento de engrase permanente, material de conexionado eléctrico, elementos de anclaje, herrajes de seguridad y cierre, acabado con imprimación antioxidante y accesorios. Totalmente montada, conexionada y puesta en marcha por la empresa instaladora para la comprobación de su correcto funcionamiento.** **Incluye: Replanteo. Colocación y fijación de los perfiles guía. Instalación de la puerta cancela. Vertido del hormigón. Montaje del sistema de apertura. Montaje del sistema de accionamiento. Conexionado eléctrico. Repaso y engrase de mecanismos y guías. Puesta en marcha.**			
		Total .....:	**1,000**	**3.596,86**	**3.596,86**
		Total presupuesto parcial nº 11 Urbanización :			**50.608,62**

Presupuesto parcial nº 12 Saneamiento

Nº	Ud	Descripción	Medición	Precio	Importe
12.1	Ud	Arqueta a pie de bajante registrable, de 50x50x65 cm. de medidas interiores, construida con fábrica de ladrillo macizo tosco de 1/2 pie de espesor, recibido con mortero de cemento, colocado sobre solera de hormigón en masa HM-10/B/40, enfoscada y bruñida por el interior con mortero de cemento, con codo de PVC de 45º, para evitar el golpe de bajada en la solera, y con tapa de hormigón armado prefabricada, totalmente terminada y con p.p. de medios auxiliares, sin incluir la excavación, ni el relleno perimetral posterior.			
		Total ud .....:	12,000	59,44	713,28
12.2	Ud	Arqueta enterrada no registrable, de 60x60x80 cm. de medidas interiores, construida con fábrica de ladrillo macizo tosco de 1/2 pie de espesor, recibido con mortero de cemento, colocado sobre solera de hormigón en masa HM-10/B/40, enfoscada y bruñida por el interior con mortero de cemento, y cerrada superiormente con un tablero de bardos machihembrados y losa de hormigón HM-15/B/20, ligeramente armada con mallazo, totalmente terminada y sellada con mortero de cemento y con p.p. de medios auxiliares, sin incluir la excavación, ni el relleno perimetral posterior.			
		Total ud .....:	4,000	53,57	214,28
12.3	M.	Canalón visto de chapa de aluminio prelacada, de sección cuadrada, con un desarrollo de 300 mm., fijado al alero mediante soportes lacados colocados cada 50 cm. y totalmente equipado, incluso con p.p. de piezas especiales y remates finales de aluminio prelacado, soldaduras y piezas de conexión a bajantes, completamente instalado.			
		Total m. .....:	120,000	31,64	3.796,80
12.4	M.	Bajante de PVC serie C, de 160 mm. de diámetro, con sistema de unión por enchufe con junta labiada, colocada con abrazaderas metálicas, totalmente instalada, incluso con p.p. de piezas especiales de PVC, funcionando.			
		Total m. .....:	2,000	23,68	47,36
12.5	M.	Bajante de PVC serie F, de 125 mm. de diámetro, con sistema de unión por enchufe con junta labiada, colocada con abrazaderas metálicas, totalmente instalada, incluso con p.p. de piezas especiales de PVC, funcionando.			
		Total m. .....:	196,000	12,26	2.402,96
12.6	Ud	Acometida domiciliaria de saneamiento a la red general municipal, hasta una distancia máxima de 8 m., formada por: rotura del pavimento con compresor, excavación manual de zanjas de saneamiento en terrenos de consistencia dura, colocación de tubería de hormigón en masa de enchufe de campana, con junta de goma de 20 cm. de diámetro interior, tapado posterior de la acometida y reposición del pavimento con hormigón en masa HM-15/B/40, sin incluir formación del pozo en el punto de acometida y con p.p. de medios auxiliares.			
		Total ud .....:	2,000	154,91	309,82
12.7	M.	Tubería enterrada de PVC liso de saneamiento, de unión en copa lisa pegada, de 200 mm. de diámetro exterior, espesor de pared 4'9 mm., colocado sobre cama de arena de río, con p.p. de piezas especiales, sin incluir la excavación ni el tapado posterior de las zanjas, y con p.p. de medios auxiliares.			
		Total m. .....:	90,000	14,14	1.272,60
12.8	M.	Tubería enterrada de PVC liso de saneamiento, de unión en copa lisa pegada, de 315 mm. de diámetro exterior, espesor de pared 7'7 mm., colocado sobre cama de arena de río, con p.p. de piezas especiales, sin incluir la excavación ni el tapado posterior de las zanjas, y con p.p. de medios auxiliares.			
		Total m. .....:	40,000	25,03	1.001,20
12.9	Ud	Red interior de evacuación para aseo con dotación para: inodoro, lavabo sencillo, ducha, realizada con tubo de PVC, serie B para la red de desagües que conectan la evacuación de los aparatos con el bote sifónico y con la bajante, con los diámetros necesarios para cada punto de servicio, y bote sifónico de PVC, de 110 mm de diámetro, con tapa ciega de acero inoxidable. Incluso líquido limpiador, adhesivo para tubos y accesorios de PVC, material auxiliar para montaje y sujeción a la obra, accesorios y piezas especiales. Incluye: Replanteo del recorrido de la tubería y de la situación de los elementos de sujeción. Presentación en seco de los tubos. Fijación del material auxiliar para montaje y sujeción a la obra. Colocación del bote sifónico. Montaje, conexionado y comprobación de su correcto funcionamiento. Realización de pruebas de servicio.			
		Total ud .....:	1,000	226,95	226,95
		Total presupuesto parcial nº 12 Saneamiento :			**9.985,25**

Presupuesto parcial nº 13 Fontanería

Nº	Ud	Descripción	Medición	Precio	Importe
13.1	Ud	**Instalación de fontanería para un aseo, dotado de lavabo, inodoro y ducha, realizada con tuberías de cobre para las redes de agua fría y caliente, y con tuberías de PVC serie C, para la red de desagües, con los diámetros necesarios para cada punto de servicio, con bote sifónico de PVC, incluso con p.p. de bajante de PVC de 110 mm. y manguetón para enlace al inodoro, terminada, y sin aparatos sanitarios. Las tomas de agua y los desagües, se entregan con tapones.**			
		Total ud .....:	**1,000**	**176,72**	**176,72**
13.2	Ud	**Acometida a la red general municipal de agua potable hasta una longitud máxima de 8 m., realizada con tubo de polietileno de 63 mm. de diámetro, de alta densidad y para 10 atmósferas de presión máxima con collarín de toma de fundición, p.p. de piezas especiales de polietileno y tapón roscado, incluso derechos y permisos para la conexión, totalmente terminada y funcionando, sin incluir la rotura del pavimento.**			
		Total ud .....:	**1,000**	**277,50**	**277,50**
13.3	Ud	**Contador general de agua de 2 1/2", colocado en la batería general y conexionado a ésta y al ramal de acometida, incluso instalación de dos llaves de corte de esfera, de 63 mm., juego de bridas, válvula de retención y demás material auxiliar, totalmente montado y funcionando, incluso timbrado del contador por el Ministerio de Industria, sin incluir la batería general, ni la acometida**			
		Total ud .....:	**1,000**	**699,34**	**699,34**
13.4	M.	**Tubería de polipropileno reticular sanitario, de 20 mm. de diámetro nominal, para 20 atmósferas de presión máxima, colocada en instalaciones interiores, para agua fría y caliente, con p.p. de piezas especiales de polipropileno, totalmente instalada y funcionando, en ramales de hasta 4 metros de longitud y sin protección superficial.**			
		Total m. .....:	**25,000**	**4,72**	**118,00**
13.5	Ud	**Suministro y colocación de grupo de presión completo, para un máximo de 5 viviendas, con capacidad de elevación del agua entre 6 y 9 metros, formado por electrobomba de 1 CV a 220 V, calderín de presión de acero galvanizado con manómetro, e instalación de válvula de retención de 1" y llaves de corte de esfera de 1", incluso con p.p. de tubos y piezas especiales de acero galvanizado de 1", entre los distintos elementos, totalmente instalado y funcionando, sin incluir el conexionado eléctrico de la bomba.**			
		Total ud .....:	**1,000**	**552,97**	**552,97**
		Total presupuesto parcial nº 13 Fontanería :			**1.824,53**

Presupuesto parcial nº 14 Mobiliario

Nº	Ud	Descripción	Medición	Precio	Importe
14.1	Ud	Lavabo de porcelana vitrificada en color, de 56x47 cm., para colocar empotrado en encimera de mármol o similar (sin incluir), con grifo monomando cromado, con rompechorros, incluso válvula de desagüe de 32 mm., llaves de escuadra de 1/2" cromadas, y latiguillos flexibles de 20 cm. y de 1/2", totalmente instalado y funcionando.			
		Total ud .....:	2,000	133,32	266,64
14.2	Ud	Inodoro de porcelana vitrificada en color, de tanque bajo, colocado mediante tacos y tornillos al solado, incluso sellado con silicona y compuesto por: taza, tanque bajo con tapa y mecanismos y asiento con tapa lacados, con bisagras de acero, totalmente instalado, incluso con llave de escuadra de 1/2" cromada y latiguillo flexible de 20 cm. y de 1/2", funcionando. (El manguetón está incluido en las instalaciones de desagüe).			
		Total ud .....:	2,000	232,69	465,38
14.3	Ud	Plato de ducha de porcelana, de 75x75 cm., en color, con grifería mezcladora exterior monomando, con ducha teléfono, flexible de 150 cm. y soporte articulado, cromada, incluso válvula de desagüe sifónica, con salida horizontal de 40 mm., totalmente instalada y funcionando.			
		Total ud .....:	1,000	200,80	200,80
14.4	Ud	Suministro y colocación de secamanos eléctrico digital en baño, colocado mediante anclajes de fijación a la pared, y totalmente instalado.			
		Total ud .....:	1,000	209,10	209,10
14.5	Ud	Suministro y colocación de dosificador de toallas de papel en baño, colocado mediante anclajes de fijación a la pared, y totalmente instalado.			
		Total ud .....:	1,000	41,60	41,60
14.6	Ud	Suministro y colocación de dosificador de jabón líquido en baño, colocado mediante anclajes de fijación a la pared, y totalmente instalado.			
		Total ud .....:	1,000	21,31	21,31
14.7	Ud	Suministro y colocación de espejo para baño, de 82x100 cm., dotado de apliques para luz, con los bordes biselados, totalmente colocado, sin incluir las conexiones eléctricas.			
		Total ud .....:	2,000	131,51	263,02
14.8	Ud	Suministro y colocación de encimera de mármol nacional, de 200 cm. de largo, y 2 cm. de grueso, con faldón frontal de 15 cm. y regleta pulida y con los bordes biselados, incluso con agujero para la instalación posterior de un lavabo de 1 seno, totalmente montada con los anclajes precisos, y sellada con silicona.			
		Total ud .....:	1,000	205,91	205,91
14.9	Ud	Horno microondas de 18 litros de capacidad, con plato giratorio incorporado (amortizable en 5 usos).			
		Total ud .....:	1,000	26,75	26,75
14.10	Ud	Mesa de melamina para comedor de obra con capacidad para 6 personas.			
		Total ud .....:	1,000	52,55	52,55
14.11	Ud	Mesa angular para oficinas con cajonera y armario. Dimensiones Tablero Principal - Alto: 72 cm. / Ancho: 160 cm / Fondo: 66 cm. /Dimensiones Tablero auxiliar (con cajonera) - Alto: 72 cm. / Ancho: 160 cm / Fondo: 80 cm. Estructura metálica de acabado gris.Tablero de melamina en acabado bahía original.3 pasacables			
		Total ud .....:	1,000	307,97	307,97
14.12	Ud	Estantería para almacenaje de bobinas de dimensión 8x2x2 m. con una carga máxima de 15 toneladas por nivel. Diseñado para almacenar de forma directa y mecánica por medio de carretillas elevadoras o puente grúa.			
		Total ud .....:	120,000	1.769,99	212.398,80
14.13	Ud	Silla de conferencia y reunión.Material: Tejido 100% polipropileno. Patas de tubo metálico epoxi negro.Relleno: Densidad asiento y respaldo: 18 kg/m³. Medidas: Asiento: An. 46 x Fon. 42 cm x Alt. 46 cm. Alto respaldo: 35 cm.			
		Total ud .....:	10,000	31,83	318,30

Presupuesto parcial nº 14 Mobiliario

Nº	Ud	Descripción	Medición	Precio	Importe
		Total presupuesto parcial nº 14 Mobiliario :			**214.778,13**

Presupuesto parcial nº 15 Maquinaria de taller

Nº	Ud	Descripción	Medición	Precio	Importe
15.1		**Puente grúa birrail con carro giratorio. Máquina para el movimiento y la elevación de materiales pesados hasta un máximo de 20 toneladas.**			
		Total .....:	**1,000**	**86.435,00**	**86.435,00**
15.2		**Carretilla elevadora con doble tracción y capacidad máxima de 15000 kg. Altura máxima de elevación 4000 mm.**			
		Total .....:	**2,000**	**67.980,00**	**135.960,00**
15.3		**Zona óptica de detección de posición de bobinas con libertad de movimiento en 2 ejes y capacidad máxima de 17000 kg.**			
		Total .....:	**2,000**	**12.828,00**	**25.656,00**
		Total presupuesto parcial nº 15 Maquinaria de taller :			**248.051,00**

Presupuesto parcial nº 16 Instalación contra incendios

Nº	Ud	Descripción	Medición	Precio	Importe
16.1	Ud	Pulsador de alarma. Medida la unidad instalada.			
		Total ud .....:	4,000	36,49	145,96
16.2	Ud	Señalización de equipos contra incendios, señales de riesgo diverso, advertencia de peligro, prohibición, uso obligatorio, evacuación y salvamento, en poliestireno fotoluminiscente, de dimensiónes 297x420 mm. Medida la unidad instalada.			
		Total ud .....:	13,000	21,26	276,38
16.3	Ud	Extintor de polvo químico ABC polivalente antibrasa de eficacia 34A/233B, de 6 kg. de agente extintor, con soporte, manómetro comprobable y boquilla con difusor. Medida la unidad instalada.			
		Total ud .....:	6,000	56,40	338,40
16.4	Ud	Campana de alarma de bajo consumo, en 6". Medida la unidad instalada.			
		Total ud .....:	6,000	65,36	392,16
16.5	Ud	Conjunto montado en block para puerta de paso de 1 hoja, cortafuegos RF-30 de medidas normalizadas, compuesto de hoja construída con materiales ignífugos y rechapada de melanima, cerco de 70x30 mm. y tapajuntas de 70x16 mm. en ambas caras, ignífugos y recubiertos del mismo material de la hoja, herrajes de cuelgue (4 pernios dorados o cromados), y de seguridad (picaporte o cerradura), materiales fabricados con elementos ignífugos, totalmente montado el conjunto e incluso con p.p. de sellado de juntas con masilla incombustible, en las dos caras del block, y antes de colocar los tapajuntas, entre el precerco de obra y el cerco visto.			
		Total ud .....:	2,000	285,09	570,18
16.6	Ud	Luminaria de emergencia autónoma de 200 lúmenes, telemandable, autonomía superior a 1 hora, equipada con batería Ni.Cd estanca de alta temperatura.			
		Total ud .....:	10,000	84,89	848,90
		Total presupuesto parcial nº 16 Instalación contra incendios :			**2.571,98**

Presupuesto parcial nº 17 Seguridad y salud

Nº	Ud	Descripción	Medición	Precio	Importe
17.1	Ud	Tapa provisional para arquetas de 60x60 cm., huecos de forjado o asimilables, formada mediante tablones de madera de 20x5 cms. armados mediante clavazón, incluso colocación, (amortizable en dos usos).			
		Total ud .....:	4,000	14,85	59,40
17.2	Ud	Tapa provisional para arquetas de 50x50 cm., huecos de forjado o asimilables, formada mediante tablones de madera de 20x5 cms. armados mediante clavazón, incluso colocación, (amortizable en dos usos).			
		Total ud .....:	12,000	8,14	97,68
17.3	M.	valla realizada con paneles prefabricados de 3.50x2,00 m. de altura, enrejados de 80x150 mm. y D=8 mm. de espesor, soldado a tubos de D=40 mm. y 1,50 mm. de espesor, todo ello galvanizado en caliente, sobre soporte de hormigón prefabricado separados cada 3,50 m., incluso accesorios de fijación, p.p. de portón, considerando un tiempo mínimo de 12 meses de alquiler, incluso montaje y desmontaje. s/ R.D. 486/97.			
		Total m. .....:	300,000	2,85	855,00
17.4	M2	Protección de paso de vehículos sobre zanjas abiertas en calzada, mediante plataforma de chapa de acero de 10 mm de espesor, amortizable en 150 usos, apoyada sobre manta antirroca como material amortiguador. Incluso cemento rápido para evitar la vibración de la chapa al paso de los vehículos.			
		Total m2 .....:	40,000	3,66	146,40
17.5	M2	Sistema S de red de seguridad fija, colocada horizontalmente, formado por: red de seguridad UNE-EN 1263-1 S A2 M100 D M, de poliamida de alta tenacidad, anudada, de color blanco, para cubrir huecos horizontales de superficie comprendida entre 250 y 500 m². Incluso cuerda de unión de polipropileno, para unir las redes y pletinas y ganchos de acero galvanizado, para atar la cuerda perimetral de las redes a un soporte adecuado.			
		Total m2 .....:	1.500,000	12,66	18.990,00
17.6	Ud	Extintor de polvo químico ABC polivalente antibrasa de eficacia 34A/233B, de 6 kg. de agente extintor, con soporte, manómetro comprobable y boquilla con difusor. Medida la unidad instalada. s/ R.D. 486/97.			
		Total ud .....:	8,000	48,67	389,36
17.7	Ms	Mes de alquiler (min. 12 meses) de caseta prefabricada para almacén de obra de 4,53x2,30x2,30 m. de 10,40 m2. Estructura de acero galvanizado. Cubierta y cerramiento lateral de chapa galvanizada trapezoidal de 0,6 mm. reforzada con perfiles de acero, interior prelacado. Suelo de aglomerado hidrófugo de 19 mm. puerta de acero de 1mm., de 0,80x2,00 m. pintada con cerradura. Ventana fija de cristal de 6 mm., recercado con perfil de goma. Con transporte a 50 km.(ida). Entrega y recogida del módulo con camión grúa. Según R.D. 486/97.			
		Total ms .....:	4,000	237,80	951,20
17.8	Ms	Mes de alquiler (min. 12 meses) de caseta prefabricada para aseo en obra de 3,25x1,90x2,30 m. Estructura y cerramiento de chapa galvanizada pintada, aislamiento de poliestireno expandido. Ventana de 0,84x0,80 m. de aluminio anodizado, corredera, con reja y luna de 6 mm., termo eléctrico de 50 l.; placa turca, placa de ducha y lavabo de tres grifos, todo de fibra de vidrio con terminación de gel-coat blanco y pintura antideslizante, suelo contrachapado hidrófugo con capa fenolítica antideslizante y resistente al desgaste , puerta madera en turca, cortina en ducha. Tubería de polibutileno aislante y resistente a incrustaciones, hielo y corrosiones, instalación eléctrica monofásica a 220 V. con automático. Con transporte a 50 km.(ida). Entrega y recogida del módulo con camión grúa. Según R.D. 486/97.			
		Total ms .....:	2,000	196,60	393,20
17.9	Ud	Ejecución de caseta para vestuario provisional de obra para 10 trabajadores de 20 m2. de superficie formada por: Preparación del terreno, excavación de zanjas, cimentación de hormigón armado, solera de 10 cm. sobre encachado de piedra, cerramiento de bloque de hormigón gris 40x20x20 a una cara vista enfoscado en su interior con mortero de cemento 1/4, distribución de aseos y ducha con tabicón de L.H.D., alicatado de azulejo blanco 15x15, falso techo de placas aislantes, cubierta de placa de fibrocemento g.o. gris sobre perfilería metálica, puertas en madera enrasada pintadas, 2 ventanas correderas de aluminio natural con luna de 6 mm. i. pintura, instalación eléctrica, fontanería y saneamiento para lavabo, inodoro y plato de ducha, p.p. de desmontaje, demolición y ayudas de albañilería, totalmente terminada. Según R.D. 486/97.			
		Total ud .....:	1,000	7.724,16	7.724,16

Nº	Ud	Descripción	Medición	Precio	Importe
17.10	Ms	Mes de alquiler (min. 12 meses) de caseta prefabricada para dos despachos de oficina en obra de 6,00x2,33x2,30 m. de 14,00 m2. Estructura y cerramiento de chapa galvanizada pintada, aislamiento de poliestireno expandido autoextinguible, interior con tablero melaminado en color. Cubierta en arco de chapa galvanizada ondulada reforzada con perfil de acero; fibra de vidrio de 60 mm., interior con tablex lacado. Suelo de aglomerado revestido con PVC continuo de 2 mm., y poliestireno de 50 mm. con apoyo en base de chapa galvanizada de sección trapezoidal. Puerta de 0,8x2 m., de chapa galvanizada de 1 mm., reforzada y con poliestireno de 20 mm., picaporte y cerradura. Ventana aluminio anodizado corredera, contraventana de acero galvanizado. Instalación eléctrica a 220 V., toma de tierra, automático, 2 fluorescentes de 40 W., enchufes para 1500 W. y punto luz exterior de 60 W. Con transporte a 50 km.(ida). Entrega y recogida del módulo con camión grúa. Según R.D. 486/97.			
		Total ms .....:	4,000	279,00	1.116,00
17.11	Ud	Chaleco de obras reflectante. Amortizable en 5 usos. Certificado CE. s/ R.D. 773/97.			
		Total ud .....:	25,000	3,55	88,75
17.12	Ud	Semi-mascarilla antipolvo un filtro, (amortizable en 3 usos). Certificado CE. s/ R.D. 773/97.			
		Total ud .....:	100,000	2,33	233,00
17.13	Ud	Par de botas de seguridad con puntera metálica para refuerzo y plantillas de acero flexibles, para riesgos de perforación, (amortizables en 3 usos). Certificado CE; s/ R.D. 773/97.			
		Total ud .....:	25,000	6,17	154,25
17.14	Ud	Par guantes de goma látex-anticorte. Certificado CE; s/ R.D. 773/97.			
		Total ud .....:	100,000	1,85	185,00
17.15	Ud	Par de guantes para soldador, (amortizables en 3 usos). Certificado CE; s/ R.D. 773/97.			
		Total ud .....:	10,000	1,99	19,90
17.16	Ud	Gafas protectoras contra impactos, incoloras, homologadas, (amortizables en 3 usos). Certificado CE. s/ R.D. 773/97.			
		Total ud .....:	25,000	0,69	17,25
17.17	Ud	Casco de seguridad con arnés de adaptación, homologado. Certificado CE. s/ R.D. 773/97.			
		Total ud .....:	25,000	2,06	51,50
17.18	Ud	Juego de tapones antiruido de silicona ajustables. Certificado CE. s/ R.D. 773/97.			
		Total ud .....:	100,000	1,02	102,00
17.19	Ud	Par de polainas para soldador, (amortizables en 3 usos). Certificado CE; s/ R.D. 773/97.			
		Total ud .....:	10,000	2,22	22,20
17.20	Ud	Botiquín de urgencia para obra con contenidos mínimos obligatorios, colocado.			
		Total ud .....:	5,000	83,89	419,45
17.21	Ud	Camilla portátil para evacuaciones. (amortizable en 10 usos).			
		Total ud .....:	2,000	10,01	20,02
17.22	Ud	Percha para aseos o duchas en aseos de obra, colocada.			
		Total ud .....:	15,000	4,84	72,60
17.23	Ud	Portarollos industrial con cerradura de seguridad, colocado, (amortizable en 3 usos).			
		Total ud .....:	2,000	8,18	16,36
17.24	Ud	Dosificador de jabón de uso industrial de 1 l. de capacidad, con dosificador de jabón colocada (amortizable en 3 usos).			
		Total ud .....:	2,000	10,87	21,74
17.25	Ud	Secamanos eléctrico por aire, colocado (amortizable en 3 usos).			
		Total ud .....:	2,000	37,90	75,80
17.26	Ud	Banco de madera con capacidad para 5 personas, (amortizable en 2 usos).			
		Total ud .....:	2,000	51,94	103,88

Presupuesto parcial nº 17 Seguridad y salud

Nº	Ud	Descripción	Medición	Precio	Importe
17.27	Ud	Cubo para recogida de basuras. (amortizable en 2 usos).			
		Total ud .....:	1,000	28,26	28,26
17.28	Ud	Mono de trabajo de una pieza de poliéster-algodón. Amortizable en un uso. Certificado CE; s/ R.D. 773/97.			
		Total ud .....:	25,000	11,33	283,25
17.29	Ud	Mandil de cuero para soldador, (amortizable en 3 usos). Certificado CE; s/ R.D. 773/97.			
		Total ud .....:	10,000	4,44	44,40
17.30	Ud	Pantalla de seguridad para soldador, con fijación en cabeza, (amortizable en 5 usos). Certificado CE. s/ R.D. 773/97.			
		Total ud .....:	10,000	2,06	20,60
17.31	Ud	Cinturón de seguridad de suspensión con 2 puntos de amarre, (amortizable en 4 usos). Certificado CE; s/ R.D. 773/97.			
		Total ud .....:	15,000	8,24	123,60
17.32	Ud	Arnés de seguridad con amarre dorsal y torsal fabricado con cintura ligera de cierre rectangular con cincha de nylon de 45 mm. y elementos metálicos de acero inoxidable, incluso dispositivo anticaídas de cierre y apertura de doble seguridad, deslizamiento manual y bloqueo automático, equipado con cuerda de nylon D=15,5 mm. y 20 m. de longitud, mosquetón de amarre de 24 mm., homologado CE. Amortizable en 5 obras. Recomendado para trabajos en pendiente con amarre fijo; s/ R.D. 773/97.			
		Total ud .....:	15,000	30,54	458,10
17.33	Ud	Toma de tierra para una resistencia de tierra R</=80 Ohmios y una resistividad R=100 Oh.m. formada por arqueta de ladrillo macizo de 38x38x30 cm., tapa de hormigón armado, tubo de PVC de D=75 mm., electrodo de acero cobrizado 14,3 mm. y 100 cm., de profundidad hincado en el terreno, línea de t.t. de cobre desnudo de 35 mm2., con abrazadera a la pica, totalmente instalado. MI BT 039.			
		Total ud .....:	1,000	93,17	93,17
17.34	Ud	Transformador de seguridad con primario para 220 V. y secundario de 24 V. y 1000 W., totalmente instalado, (amortizable en 5 usos). s/ R.D. 486/97.			
		Total ud .....:	1,000	33,56	33,56
17.35	M.	Barandilla de protección de perímetros de andamios tubulares, compuesta por pasamanos y travesaño intermedio formado por tubo 50 mm. (amortizable en 20 usos), pintado en amarillo y negro, y rodapié de madera de pino de 15x5 cm. (amortizable en 3 usos), incluso colocación y desmontaje. s/ R.D. 486/97.			
		Total m. .....:	100,000	4,30	430,00
17.36	Ud	Placa señalización-información en PVC serigrafiado de 50x30 cm., fijada mecanicamente, amortizable en 3 usos, incluso colocación y desmontaje. s/ R.D. 485/97.			
		Total ud .....:	50,000	3,37	168,50
17.37	Ud	Cono de balizamiento reflectante irrompible de 50 cm. de diámetro, (amortizable en cinco usos). s/ R.D. 485/97.			
		Total ud .....:	30,000	2,96	88,80
		Total presupuesto parcial nº 17 Seguridad y salud :			**34.098,34**

Presupuesto de ejecución material

1 Compra de la parcela	**369.873,00**
2 Movimiento de tierras	**46.834,31**
3 Cimentación	**41.650,64**
4 Muro	**28.033,00**
5 Solera	**31.220,84**
6 Estructura	**235.256,02**
7 Cerramientos	**29.061,09**
8 Cubierta	**35.114,76**
9 Sistema de acabados	**17.768,41**
10 Luminaria	**4.288,20**
11 Urbanización	**50.608,62**
12 Saneamiento	**9.985,25**
13 Fontanería	**1.824,53**
14 Mobiliario	**214.778,13**
15 Maquinaria de taller	**248.051,00**
16 Instalación contra incendios	**2.571,98**
17 Seguridad y salud	**34.098,34**
Total .....:	**1.401.018,12**

Asciende el presupuesto de ejecución material a la expresada cantidad de UN MILLÓN CUATROCIENTOS UN MIL DIECIOCHO EUROS CON DOCE CÉNTIMOS.

Resumen de presupuesto

Proyecto: PRESUPUESTOS_TFG

Capítulo	Importe	%
Capítulo 1 Compra de la parcela	369.873,00	26,40
Capítulo 2 Movimiento de tierras	46.834,31	3,34
Capítulo 3 Cimentación	41.650,64	2,97
Capítulo 4 Muro	28.033,00	2,00
Capítulo 5 Solera	31.220,84	2,23
Capítulo 6 Estructura	235.256,02	16,79
Capítulo 7 Cerramientos	29.061,09	2,07
Capítulo 8 Cubierta	35.114,76	2,51
Capítulo 9 Sistema de acabados	17.768,41	1,27
Capítulo 10 Luminaria	4.288,20	0,31
Capítulo 11 Urbanización	50.608,62	3,61
Capítulo 12 Saneamiento	9.985,25	0,71
Capítulo 13 Fontanería	1.824,53	0,13
Capítulo 14 Mobiliario	214.778,13	15,33
Capítulo 15 Maquinaria de taller	248.051,00	17,71
Capítulo 16 Instalación contra incendios	2.571,98	0,18
Capítulo 17 Seguridad y salud	34.098,34	2,43
Presupuesto de ejecución material	**1.401.018,12**	
13% de gastos generales	182.132,36	
6% de beneficio industrial	84.061,09	
Suma	1.667.211,57	
21% IVA	350.114,43	
Presupuesto de ejecución por contrata	**2.017.326,00**	

Honorarios de Proyectista

Proyecto	5,00% sobre PEM	70.050,91
IVA	21% sobre honorarios de Proyecto	14.710,69
	Total honorarios de Proyecto	84.761,60
Dirección de obra	3,00% sobre PEM	42.030,54
IVA	21% sobre honorarios de Dirección de obra	8.826,41
	Total honorarios de Dirección de obra	50.856,95
	Total honorarios de Proyectista	**135.618,55**
	Total honorarios	**135.618,55**
	Total presupuesto general	**2.152.944,55**

Asciende el presupuesto general a la expresada cantidad de DOS MILLONES CIENTO CINCUENTA Y DOS MIL NOVECIENTOS CUARENTA Y CUATRO EUROS CON CINCUENTA Y CINCO CÉNTIMOS.

Universidad Zaragoza
1542

Trabajo Fin de Grado

Cálculo y dimensionado de la estructura de una planta industrial para el almacenamiento y distribución de bobinas de acero

ESTUDIO DE SEGURIDAD Y SALUD

Autor/es

Jorge Alonso Sanz

Director/es

Víctor Tabuenca Cintora

Grado en Ingeniería Mecánica

Escuela de Ingeniería y

Arquitectura de Zaragoza

2022

ÍNDICE

1. Memoria 1
   1.1. Objeto de este estudio 1
   1.2. Trabajos previos 1
   1.3. Ejecución de la obra 5
      1.3.1. Seguridad en la obra civil 5
      1.3.2. Seguridad en la estructura metálica 6
      1.3.3. Seguridad en acabados 7
      1.3.4. Seguridad en instalaciones 9
   1.4. Medios auxiliares 11
   1.5. Maquinaria y herramienta de obra 13
   1.6. Medios de protección colectiva 22
      1.6.1. Condiciones generales 22
      1.6.2. Condiciones técnicas de instalación y uso de las protecciones colectivas 23
   1.7. Medios de protección individual 24
   1.8. Control de entrega de los EPI's 24
   1.9. Seguridad en caso de incendio y evacuación 25
   1.10. Trabajos posteriores 25
   1.11. Documentación de seguridad en obra 26
      1.11.1. Libro de incidencias 26
      1.11.2. Seguros de responsabilidad civil 26
      1.11.3. Formación e información a los trabajadores 26
   1.12. Servicios de higiene y primeros auxilios 27
   1.13. Accesos a la obra 27
   1.14. Toma eléctrica provisional de obra 28
2. Pliego de condiciones 31
   2.1. Objeto de la obra 31
   2.2. Legislación 31
   2.3. Obligaciones de las partes implicadas 34
      2.3.1. Coordinador 35
      2.3.2. Contratista y subcontratistas 36
      2.3.3. Trabajadores autónomos 37
      2.3.4. Trabajadores 37
   2.4. Seguro de responsabilidad civil y todo riesgo 38

2.5. Condiciones técnicas 39
2.5.1. Maquinaria 39
2.5.2. Instalaciones provisionales de obra 39
2.5.3. Servicios de higiene y bienestar 42
2.6. Medios de protección 44
2.6.1. Comienzo de las obras 44
2.6.2. Protecciones colectivas 44
2.6.3. Protecciones individuales 47
2.6.4. Señalización 50
2.7. Normas de certificación y seguridad 52
2.7.1. Valoraciones económicas 52
2.7.2. Certificaciones 52
3. Mediciones 31
4. Presupuestos 53
5. Planos 61

1. MEMORIA

1. Memoria

1.1. Objeto de este estudio

Según el artículo 4 del RD. 1627/97, el Promotor estará obligado en fase de redacción del Proyecto de ejecución de obra a que se elabore un Estudio Básico de Seguridad y Salud. Este estudio establece las previsiones respecto a prevención de riesgos y accidentes laborales, así como las instalaciones preceptivas de Higiene y Salud de los operarios.

Servirá para dar directrices básicas a las empresas constructoras, para llevar a cabo sus obligaciones en el campo de la Prevención de Riesgos Laborales facilitando el desarrollo del plan de seguridad y salud o de los planes de seguridad y salud de la obra, bajo el control del coordinador de seguridad o de la Dirección Técnica de acuerdo con el RD. 1627/97 del 24 de octubre de 1997 por el que se establecen las disposiciones mínimas de Seguridad y Salud en las obras de construcción.

Las características de la obra se exponen en la memoria descriptiva inicial que forma parte del documento Memoria.

1.2. Trabajos previos

Instalación eléctrica temporal de obra:

Las instalaciones existentes antes del comienzo de la obra deberán estar localizadas,verificadas y señalizadas claramente.

Cuando existan líneas de tendido eléctrico que puedan afectar a la seguridad en la obra será necesario desviarlas fuera del recinto de la obra o dejarlas sin tensión. Si esto no fuera posible se colocarán barreras o avisos para que el personal las pueda divisar sin problemas.

Las instalaciones deberán proyectarse, realizarse y utilizarse de manera que no entrañen peligro de incendio y/o explosión y de manera que las personas estén debidamente protegidas contra los riesgos de electrocución por contacto directo o indirecto.

La instalación eléctrica de los lugares de trabajo en las obras deberá ajustarse a lo dispuesto en su normativa específica, siendo de aplicación el REBT (Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión).

Todas las líneas estarán formadas por cables unipolares con conductores de cobre y aislados con goma o policloruro de vinilo, para una tensión nominal de 1000 voltios.

Se realizará una derivación de la red de suministro hasta la caja general de protección que estará dotada de fusibles correspondientemente calibrados. El grado de protección será de tipo intemperie IP 55.

Los aparatos a instalar son los siguientes:

- Un interruptor general automático magnetotérmico de corte omnipolar que permita

suaccionamiento manual, para cada servicio.

- Dispositivos de protección contra sobrecargas y cortocircuitos. Estos dispositivos son interruptores automáticos magnetotérmicos de corte omnipolar con curva térmica de corte.
- Dispositivos de protección contra contactos indirectos que al haberse optado por sistemas de clase B, son los interruptores diferenciales sensibles a la intensidad de defecto. Estos dispositivos se complementarán con la unión a una misma toma de tierra.Los interruptores diferenciales se instalarán entre el interruptor general de cada servicio y los dispositivos de protección contra sobrecargas y cortocircuitos.
- Cable de cobre y picas de tierra.
- En los interruptores de los distintos cuadros se colocarán placas indicadoras de los circuitos a que pertenecen, así como dispositivos de mando y protección para cada unade las líneas generales de distribución y alimentación directa a los receptores.
- Todos los cables que presenten defectos superficiales u otros no particularmente visibles serán rechazados.
- Los tubos constituidos de PVC o polietileno deberán soportar sin deformación alguna una temperatura de hasta 60°C.

Protección frente a contactos eléctricos directos:

- Alejamiento de partes activas.
- Interposición de obstáculos.
- Recubrimiento de partes activas.
- Utilización de pequeñas tensiones de seguridad.
- Uso de dispositivos diferenciales de alta sensibilidad.

Protección frente a contactos eléctricos indirectos:

Clase A (destinados a suprimir el riesgo):

-Empleo de pequeñas tensiones de seguridad.

-Separación de circuitos.

-Recubrimiento de las masas con aislamiento de protección.

Clase B (consiste en la puesta a tierra de las masas de los aparatos, asociándola a un dispositivo de corte automático que origine la desconexión del aparato defectuoso):

-Diferenciales de sensibilidad adecuada.

Protección frente a riesgos eléctricos generales:

- Mantenimiento periódico de la instalación

  -Revisar el estado de las tomas a tierra, enchufes, mangueras etc.

- Comprobadores de ausencia de tensión:

-Pincha-cables que sirven para verificar la ausencia de tensión en cables o conductores aislados.

- Magnetotérmicos:

  -Interrumpen el paso de la corriente cuando hay cortocircuitos o sobrecargas en la red. Actúa produciendo un corte en el suministro eléctrico de la instalación.

- Diferenciales:

  -Dispositivos que actúan desconectando el suministro de electricidad a la instalación cuando se produce un contacto con un equipo con defecto eléctrico.Se debe comprobar periódicamente su funcionamiento a través del botón“TEST”.

- Tomas a tierra:

  -Su objetivo es evitar que cualquier equipo descargue potencial eléctrico a tierra a través del cuerpo del usuario.

- Normas de prevención para tipos para cables:

  -Todos los conductores utilizados serán aislados de tensión nominal de 1000 V como mínimo y sin defectos apreciables (rasgones, repelones y similares). No seadmitirán tramos defectuosos.

  -El tendido de cables y mangueras se realizará a una altura mínima de 2 metrosen los lugares peatonales y de 5 metros en los de vehículos, medidos sobre el nivel del pavimento.

  -Los empalmes provisionales entre mangueras se ejecutarán mediante conexiones normalizadas estancas antihumedad.

- Normas de prevención tipo para interruptores:

  -Se ajustarán expresamente a lo especificado en el Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión.

  -Los interruptores se instalarán en el interior de cajas normalizadas provistas de puerta de entrada con cerradura de seguridad y estarán señalizadas.

- Normas de prevención tipo para cuadros eléctricos:

  -Serán metálicos o de PVC de tipo para la intemperie con puerta y cerrojo de seguridad (con llave), según la norma UNE-20324.

  -Pese a ser de tipo para la intemperie se protegerán del agua de lluvia medianteviseras Eficaces como protección adicional.

  -Los cuadros eléctricos metálicos tendrán la carcasa conectada a tierra.

  -Poseerán tomas de corriente para conexiones normalizadas blindadas para intemperie, en número determinado según el cálculo realizado (grado de protección recomendable IP. 447).

-Las tomas de corriente irán provistas de interruptores de corte omnipolar quepermita dejarlas sin tensión cuando no hayan de ser utilizadas.

-Los circuitos generales estarán protegidos con interruptores automáticos o magnetotérmicos y disyuntores diferenciales de 300mA (para maquinaria) y 30mA (alumbrado).

- Normas de prevención tipo para las tomas de tierra:

-La red general de tierra deberá ajustarse a las especificaciones detalladas en la instrucción MIBT.039 del vigente REBT así como todos aquellos aspectos especificados en la instrucción MIBT.023 mediante los cuales pueda mejorarse la instalación.

-Las partes metálicas de todo equipo eléctrico dispondrán de toma de tierra.

-El neutro de la instalación estará puesto a tierra.

-La toma de tierra en una primera fase se efectuará a través de una pica o placaa ubicar junto al cuadro general.

-El hilo de toma de tierra siempre estará protegido con macarrón en coloresamarillo y verde. Se prohíbe expresamente utilizarlo para otros usos.

-Únicamente podrá utilizarse conductor o cable de cobre desnudo de 35 mm de sección como mínimo en los tramos enterrados horizontalmente y que serán considerados como electrodo artificial de la instalación.

- Normas de prevención tipo para la instalación de alumbrado:

-Las zonas de paso de la obra estarán permanentemente iluminadas evitando rincones oscuros.

-Normas de seguridad tipo, de aplicación durante el mantenimiento y reparaciones de la instalación eléctrica provisional de obra.

-El personal de mantenimiento de la instalación será electricista y en posesión de carnetprofesional de instalador autorizado por la administración.

-Toda la maquinaria eléctrica se revisará periódicamente y en especial, en el momento en el que se detecte un fallo, momento en el que se la declarará “fuera de servicio” mediante desconexión eléctrica y el cuelgue del rótulo correspondiente en el cuadro demanipulación.

-Se prohíbe totalmente las revisiones o reparaciones bajo corriente. Antes de iniciar una reparación se desconectará la máquina de la red eléctrica, instalando en el lugar de conexión un letrero visible en el que se lea: “NO CONECTAR, HOMBRES TRABAJANDO EN LA RED”.

-La ampliación o modificación de líneas, cuadros y asimilables solo la efectuarán loselectricistas.

1.3. Ejecución de la obra

1.3.1. Seguridad en la obra civil

Los riesgos más frecuentes resultan:

-Caídas de personas al mismo nivel.

-Caída de objetos sobre las personas.

-Golpes y cortes con objetos y herramientas manuales.

-Dermatosis por contactos con el cemento.

-Partículas en los ojos.

-Los derivados de los trabajos realizados en ambientes pulverulentos.

-Sobreesfuerzos.

-Electrocución.

-Los derivados del uso de medios auxiliares como escaleras o andamios.

Sistema de protección colectiva (SPC):

-Los huecos existentes en el suelo permanecerán protegidos para la prevención de caídas con tablones de madera y mallazo.

-Los huecos de una vertical serán destapados para el aplomado correspondiente, concluido el cual, se comenzará el cerramiento definitivo del hueco en prevención de los riesgos por ausencia generalizada o parcial de protecciones en el suelo.

-Todas las zonas en las que haya que trabajar estarán suficientemente iluminadas.

-Las zonas de trabajo serán limpiadas de escombro periódicamente.

-Los escombros y cascotes se evacuarán diariamente mediante trompas de vertido montadas al efecto para evitar el riesgo de pisadas sobre materiales, ubicándose aquellas según plano.

-Se prohíbe el uso de borriquetas en balcones, terrazas y bordes de forjados si antes no se ha procedido a instalar una protección sólida contra posibles caídas.

Equipos de protección individual (EPIs):

-Casco de polietileno certificado.

-Guantes de cuero, de PVC o de goma.

-Botas de seguridad.

-Cinturón de seguridad de clases A y C.

-Trajes para tiempo lluvioso.

-Gafas antiproyecciones.

-Cascos auditivos o tapones para oídos para trabajos con ruido.

1.3.2. Seguridad en la estructura metálica

Los riesgos más frecuentes resultan:

-Caídas de personas a distinto nivel.

-Caída de objetos sobre las personas.

-Golpes y cortes con objetos y herramientas manuales.

-Quemaduras.

-Partículas en los ojos.

-Contactos eléctricos directos e indirectos.

-Inhalación de humos y gases.

-Sobreesfuerzos.

-Los derivados del uso de medios auxiliares como eslingas o cadenas.

Sistemas y medidas de protección colectiva (SPC):

-Orden y limpieza en las zonas de trabajo.

-Andamios de protección.

-Barandillas.

-Carcasas y resguardos de protección de maquinaria.

-Redes de seguridad.

-Acotamiento y señalización del área de trabajo para evitar el paso de personas bajo cargas suspendidas o con riesgo de caída de objetos.

-Todas las zonas en las que haya que trabajar estarán suficientemente iluminadas.

-En zonas de paso obligatorio de personal en el que haya riesgo de caída de objetos seinstalarán marquesinas o viseras de protección.

-Mantenimiento periódico de las barandillas, andamios y demás elementos deseguridad.

-Izado de perfiles suspendidos en dos puntos para una permanencia estable dela carga.

Equipos de protección individual (EPIs)

-Casco de polietileno.

-Cinturones de seguridad clase A o C.

-Guantes de cuero.

-Botas de goma o PVC.

-Trajes para tiempo lluvioso.

-Gafas de seguridad antiproyecciones.

-Cinturón portaherramientas.

-Arnés de seguridad.

-Polainas y mandiles de cuero.

1.3.3. Seguridad en acabados

Solados

Los riesgos más frecuentes resultan:

-Golpes por manejo de objetos o herramientas manuales.

-Cortes por manejo de objetos con aristas cortantes o herramientas manuales.

-Caídas al mismo nivel.

-Cortes en los pies por pisadas sobre cascotes y materiales con aristas cortantes.

-Cuerpos extraños en los ojos.

-Dermatitis por contacto con el cemento.

-Sobreesfuerzos.

Sistema de protección colectiva (SPC):

-Los tajos se limpiarán de recortes y desperdicios de pasta.

-Los andamios sobre borriquetas a utilizar tendrán siempre plataformas de trabajo deanchura no inferior a los 60 cm y barandilla de protección de 90 cm.

-Se prohíbe utilizar a modo de borriquetas para formar andamios; bidones, cajas demateriales, bañeras etc.

-Las zonas de trabajo tendrán una iluminación mínima de 100 lux a una altura sobre elsuelo en torno a los 2 metros.

-Se prohíbe el conexionado de cables eléctricos a los cuadros de alimentación sin la utilización de las clavijas macho-hembra en prevención del riesgo eléctrico.

-Las cajas de plaqueta en acopio nunca se dispondrán de forma que obstaculicen loslugares de paso, para evitar accidentes por tropiezo.

Equipos de protección individual (EPIs):

-Casco certificado.

-Botas de seguridad.

-Gafas antiproyecciones.

-Guantes de goma.

Pinturas y barnizados

Los riesgos más frecuentes resultan:

-Caídas de personas al mismo nivel.

-Caídas de personas a distinto nivel.

-Caída de personas al vacío (pintura de fachadas y asimilables).

-Cuerpos extraños en los ojos (gotas de pintura, motas de pigmentos).

-Los derivados de los trabajos realizados en atmósferas nocivas (intoxicaciones).

-Los derivados de la rotura de las mangueras de los compresores.

-Contactos con electricidad.

Sistemas de protección colectiva (SPC):

-Todos los productos se almacenarán en lugares bien ventilados.

-Se instalará un extintor de polvo químico seco al lado del almacén.

-Se prohíbe almacenar pinturas susceptibles de emanar vapores inflamables con losrecipientes mal o incompletamente cerrados.

-Se evitará la formación de atmósferas nocivas manteniendo adecuada ventilación.

-Se tenderán cables de seguridad amarrados a los puntos fuertes de la obra, de los queamarrar el fiador del cinturón de seguridad en las situaciones de riesgo de caída desde altura.

-Los andamios para pintar tendrán una superficie de trabajo de una anchura mínima de60 centímetros (tres tablones trabados).

-Se prohíbe la utilización de las escaleras de mano en los balcones, sin haber puesto previamente los medios de protección colectiva (barandillas superiores, redes etc.).

-La iluminación mínima en las zonas de trabajo será de 100 lux, medidos a una altura sobre el pavimento en torno a los 2 metros.

-Se prohíbe el conexionado de cables eléctricos a los cuadros de suministro de energía sin la utilización de las clavijas macho-hembra.

-Las escaleras de mano a utilizar serán de tipo "tijera" dotadas con zapatas antideslizantes y cadenilla limitadora de apertura.

-Se prohíbe fumar o comer en las estancias en las que se pinte con pinturas que contengan disolventes orgánicos o pigmentos tóxicos.

-Se advertirá al personal encargado de manejar disolventes orgánicos (o pigmentos tóxicos) de la necesidad de una profunda higiene personal (manos y cara) antes de realizar cualquier tipo de ingesta.

-Se prohíbe realizar trabajos de soldadura y oxicorte en lugares próximos.

Equipos de protección individual (EPIs):

-Casco de polietileno (para desplazamientos por la obra).

-Guantes de PVC largos (para remover pinturas a brazo).

-Mascarilla con filtro mecánico especifico recambiable (para ambientes pulverulentos).

-Mascarilla con filtro químico específico recambiable (para atmósferas tóxicas por disolventes orgánicos).

-Gafas de seguridad (antipartículas y gotas).

-Calzado antideslizante.

-Mono de trabajo.

1.3.4. Seguridad en instalaciones

Electricidad

Los riesgos más frecuentes resultan:

-Golpes contra objetos.

-Heridas en extremidades superiores.

-Electrocuciones por falta de atención.

-Caídas al mismo nivel por uso indebido de escaleras.

-Pisadas sobre objetos punzantes o materiales.

Sistema de protección colectiva (SPC):

-Orden y limpieza, revisión de las escaleras de mano.

-Realizar las conexiones sin tensión.

-Realizar las pruebas con tensión solo una vez acabada la instalación.

-La iluminación de los tajos no será inferior a 100 lux, medidos a 2 m. del suelo.

-Utilizar cinturones portaherramientas siempre que se trabaje en andamios o plataformas tubulares.

-Revisión periódica de herramientas y máquinas, sustituyendo aquellas que tengan deteriorado el aislamiento.

-Correcto aislamiento en máquinas portátiles.

-Las zonas de trabajo estarán siempre limpias, en orden y perfectamente iluminadas.

-Colocación de letreros de "NO CONECTAR, HOMBRES TRABAJANDO EN LA RED" durantelas pruebas de las instalaciones.

-Escaleras, plataformas y andamios en perfectas condiciones, teniendo barandillas resistentes y rodapiés.

-Escaleras dotadas de suela antideslizante; las de tijera llevarán tirantes para evitar suapertura.

-Toda la maquinaria auxiliar eléctrica se mantendrá en perfecto estado y estará dotadade toma a tierra.

Equipos de protección individual (EPIs):

-Mono de trabajo.

-Casco certificado de seguridad.

-Botas aislantes de la electricidad.

-Cinturón de seguridad.

-Guantes aislantes.

-Comprobadores de tensión.

-Herramientas aislantes.

Incendios

Los riesgos más frecuentes resultan:

-Quemaduras por la llama del soplete.

-Explosiones e incendios con la soldadura.

Sistemas de protección colectiva (SPC):

-Orden y limpieza, revisión de las escaleras de mano, conexiones eléctricas y tomas de tierra de los aparatos en todos los oficios.

-El material sanitario se transportará directamente de su lugar de acopio a su lugar de emplazamiento, procediendo a su inmediato montaje.

-El transporte de tramos de tubería a hombro por un solo hombre se realizará inclinandola carga hacia atrás, de tal forma que el extremo que va por delante supere la altura de un hombre, en evitación de golpes y tropiezos con otros operarios en lugares poco iluminados o iluminados a contraluz.

-Las tuberías pesadas serán transportadas por un mínimo de dos operarios guiados porun tercero en las maniobras de cambios de dirección y ubicación.

-Alejar las botellas de gas de las fuentes de calor, utilizar siempre carros porta botellas,no inclinar las botellas para agotarlas y comprobar periódicamente el estado de las mangueras sumergiéndolas bajo presión en un recipiente con agua.

-La iluminación de los tajos de fontanería será de un mínimo de 100 lux, medidos a unaaltura sobre el nivel del pavimento en torno a los 2 metros.

-Las zonas de trabajo estarán siempre limpias, en orden y perfectamente iluminadas.

-Escaleras, plataformas y andamios en perfectas condiciones, teniendo barandillas resistentes y rodapiés, y escaleras dotadas de suela antideslizante.

-Toda la maquinaria auxiliar eléctrica se mantendrá en perfecto estado y estará dotadade toma de tierra.

Equipos de protección individual (EPIs):

-Casco certificado.

-Mono de trabajo.

-Gafas antipolvo.

-Mascarilla de soldadura.

-Guantes de cuero.

-Botas normalizadas.

1.4. Medios auxiliares

Andamios elevadores

Los riesgos más frecuentes resultan:

-Caídas a distinto nivel.

-Caídas al mismo nivel.

-Desplome del andamio.

-Desplome o caída de objetos.

-Golpes y atrapamientos por objetos o herramientas.

Equipos de protección individual (EPIs):

-Casco certificado.

-Cinturón de seguridad.

-Batas de puntera metálica.

-Guantes de cuero.

Escaleras

Los riesgos más frecuentes resultan:

-Caídas a distinto nivel.

-Deslizamiento por incorrecto apoyo.

-Vuelco lateral por apoyo irregular.

-Rotura de peldaños por defectos ocultos.

-Los derivados de los usos inadecuados o de los montajes peligrosos: empalme deescaleras, formación de plataformas de trabajo etc.

Sistemas de protección colectiva (SPC):

-Los largueros serán de una sola pieza y estarán sin deformaciones o abolladuras que puedan mermar su seguridad.

-Las escaleras metálicas no estarán suplementadas con uniones soldadas.

-Las escaleras de tijera estarán dotadas en su articulación superior de topes de seguridad de apertura y hacia la mitad de su altura dispondrán de una cadenilla.

-Las escaleras de tijera se utilizarán montadas siempre sobre pavimentos horizontales.

-Las escaleras de mano estarán dotadas en su extremo inferior de zapatas antideslizantes de seguridad.

-Las escaleras de mano estarán firmemente amarradas en su extremo superior al objeto o estructura al que dan acceso y sobrepasarán en 1 metro la altura a salvar.

-Las escaleras de mano se instalarán de tal forma que su apoyo inferior diste de la proyección vertical del superior, ¼ de la longitud del larguero entre apoyos.

-No apoyar la base de las escaleras de mano sobre lugares u objetos poco firmes, escombros o huecos protegidos con maderas que puedan mermar la estabilidad de este medio auxiliar.

Equipos de protección individual (EPIs):

-Casco de polietileno certificado.

-Botas de seguridad.

-Calzado antideslizante.

-Guantes de cuero.

-Cinturón de seguridad según los casos.

1.5. Maquinaria y herramienta de obra

Todas las máquinas cumplirán lo establecido en el RD 1495/86, en el que se aprueba el Reglamento de la Seguridad en las Máquinas, y el RD 1215/97 sobre utilización de equipos de trabajo.

Todo equipo de trabajo y máquina irá acompañado de:

-Instrucciones de uso extendidas por el fabricante.

-Normas de seguridad de la maquinaria.

-Instrucciones técnicas complementarias.

-Placa de identificación.

-Contraseña del marcado "CE" y certificación de seguridad.

-El mantenimiento y reparación de las máquinas será a cargo del personal cualificado que seguirá siempre las instrucciones de las máquinas. Las operaciones de instalación y mantenimiento se registrarán en los libros de registro de cada máquina, en caso de no existir dichos libros, antes de su utilización se someterán a una inspección por parte del personal competente.

Las instalaciones, máquinas y equipos (incluidas las herramientas manuales o sin motor) deberán:

-Estar bien proyectados teniendo en cuenta los principios de ergonomía.

-Mantenerse en buen estado operativo.

-Utilizarse exclusivamente por personal cualificado.

-Utilizarse exclusivamente para los trabajos para los que han sido diseñadas.

Los riesgos más frecuentes resultan:

-Vuelcos.

-Hundimientos.

-Choques.

-Formación de atmósferas agresivas o molestas.

-Explosiones e incendios.

-Atropellos y atrapamientos.

-Cortes.

-Golpes y proyecciones.

-Contactos con electricidad

Sistemas de protección colectiva (SPC) para:

Herramientas manuales:

-Doble aislamiento eléctrico de seguridad.

-Motores cubiertos por carcasas.

-Transmisiones cubiertas por malla metálica.

-Máquinas eléctricas con enchufe e interruptor estancos y toma de tierra.

-Extintor manual conveniente.

-Situar en zonas ventiladas maquinaria que produzca polvo.

A continuación, se van a señalar las medidas preventivas para cada herramienta que se prevé su uso en la obra, además de cumplir con unos requisitos específicos cada una de ellas, todas tendrán en común que deberán ser de buena calidad, adecuada para cada tipo de trabajo y se deberán conservar en buen estado.

Martillo de obra:

-El mango debe ser de madera dura, resistente y elástica. Su superficie debe estar limpia y sin barnizar. Si bien puede estar cubierto por una funda plástica adherido a este que en ningún momento puede moverse con respecto al mango que protege.

-La cabeza y mango deben estar rígidamente encajados. El eje del mango tiene que quedar perpendicular a la cabeza.

Cinceles y cortafríos:

-No deben tener rebabas en la cabeza y sus filos deberán estar bien definidos. Si surgieran rebabas se deberán eliminar esmerilando la cabeza hasta dejarla en buenas condiciones de trabajo.

-Evitar que durante el afilado o esmerilado se calienten excesivamente para no afectar al temple de la herramienta.

Destornilladores:

-No utilizar destornilladores como punzón, cuña o palanca.

-No usarlos oblicuamente.

-Sostener la pieza a atornillar con herramienta adecuada, nunca con las manos

-Elegir un tipo de destornillador proporcional al tamaño del tornillo.

-No portarlos en los bolsillos.

Alicates:

-Diseñados para realizar operaciones de agarre y corte.

-No emplearlos como sustitutos de llaves.

Retroexcavadora con martillo neumático

-Deberá estar provista de un extintor de polvo ABC que pasará las debidas inspecciones y estará ubicado en la cabina y será de fácil acceso. No se permitirá el acceso a personas no formadas convenientemente y se deberá limpiar la suciedad adherida al calzado antes de operarla para evitar que resbalen sobre los pedales.

Medidas preventivas:

-Realizar inspecciones diarias buscando anomalías en el correcto funcionamiento.

-Contar con certificado de homologación CE.

-En ninguna circunstancia realizar mantenimiento o reparaciones con la máquina en marcha.

-Realizar el cambio de aceite de motor y sistema hidráulico con la máquina en frío para evitar posibles quemaduras.

-Verificar que la presión de neumáticos es la recomendada por el fabricante.

-No fumar mientras se reposta de combustible.

-Comunicar inmediatamente cualquier anomalía al encargado.

-La cabina deberá contar con medidas de protección en todo su perímetro.

-Limpiar salpicaduras de aceite o combustible antes de arrancar la máquina para evitar riesgo de incendio.

-Acceder siempre a la cabina de la máquina utilizando los peldaños destinados a tal fin, nunca a través de llantas, cubiertas o guardabarros.

-Garantizar que las puertas de cabina quedan completamente cerradas y garantizar que no se puedan abrir de manera accidental durante el trabajo.

-En ninguna circunstancia se podrán transportar o izar personas.

-La cantidad de carga de la cuchara no rebosará y su peso no podrá ser en ningún caso superior a la carga máxima admisible.

-Se comprobará la estabilidad de los taludes cercanos a la zona de trabajo antes de comenzar a trabajar, en caso de que estos no sean estables se paralizarán los trabajos hasta que se garantice la seguridad y la zona esté estabilizada.

-Durante el proceso de trabajo los calzos de seguridad se apoyarán en tableros con los medios indicados por el fabricante.

-Todas las máquinas dispondrán de cabina antivuelco (ROPS) y anti impacto (FOPS).

-Nunca se deberá trabajar en pendientes superiores al 50%.

-En extracciones de material se trabajará siempre de cara a la pendiente.

-El conductor poseerá la correcta cualificación, experiencia y dominio de la máquina.

-Durante las operaciones de mantenimiento y reparación se bloquearán las ruedas, brazos y cualquier parte móvil.

-Antes del abandono de la cabina el maquinista dejará la máquina en reposo, con el freno de mano accionado y el motor parado, quitando la llave de contacto para evitar riesgos por fallos del sistema hidráulico.

-La velocidad de circulación se realizará siempre prudencialmente según indicaciones de los encargados de seguridad.

-Nunca se podrá abandonar la pala estando cargada.

Dumper

-Se recomienda regar con agua la zona de trabajo cuando exista exceso de polvo ambiental sin que llegue a producirse fango, dispondrá de señal acústica de marcha atrás y contará con extintor de incendios en perfectas condiciones de mantenimiento.

Medidas preventivas:

-Informar diariamente de los trabajos a realizar que puedan suponer riesgo en el entorno de trabajo (huecos, zanjas etc.).

-Estará homologado y dispondrá de los elementos de seguridad y señalización necesarios.

-Solo se trabajará en lugares cerrados cuando se asegure una buena ventilación.

-Mantener las manos secas y las suelas del calzado limpias.

-Adecuar la velocidad a las condiciones de trabajo y al estado del terreno sin sobrepasar en ningún momento la velocidad máxima establecida para la obra.

-Emplear únicamente los dispositivos de enganche para remolque facilitados por el fabricante, no usar nunca cables o cuerdas.

-Como norma general se deberá cargar la tolva con el 25% de la carga máxima admisible indicada por el fabricante sin que el peso remolcado pueda exceder ese valor.

-Las palancas para mover la tolva solo se manejarán desde el puesto del operador.

-No accionar la tolva mientras se esté en circulación.

-Cuando se realice la carga no se deberá permanecer en el puesto de conducción si este no dispone de cabina anti impacto.

-Se deberán extremar las precauciones cuando se estén descargando materiales que pudieran quedar adheridos a la tolva.

-Estacionar en una superficie nivelada, en caso contrario se deberán colocar calzos en las ruedas.

-No estacionar a menos de 3 metros del borde de excavaciones.

-No abandonar la máquina mientras el motor esté en funcionamiento.

-No utilizar el freno de estacionamiento más que para el estacionamiento de la máquina una vez esta esté totalmente parada.

-Retirar la llave de contacto para evitar la utilización por personal no autorizado.

-Comprobar el correcto estado y funcionamiento de todos los dispositivos de seguridad y protección.

-Verificar la presión de los neumáticos, niveles de combustible, aceites y líquido refrigerante.

-Verificar dispositivos luminosos y acústicos.

-Mantener estribos y asideros limpios.

-Mantener retrovisores y parabrisas limpio.

-Verificar el cinturón de seguridad y su anclaje, así como la regulación del asiento.

-Mantener limpias y en buen estado las placas de información y advertencia

-Suspender el trabajo en caso de escasa visibilidad debido a condiciones meteorológicas.

-Disponer de sistema de iluminación adecuado para trabajar cuando no haya luz solar.

-No trabajar cuando el material cargado impida la visibilidad frontal.

-Mantener la distancia de seguridad con otras máquinas.

-Colocar rampas que soporten el peso del dumper en el caso de que sea necesario subir o bajar bordillos.

-Cuando se tenga que descender con carga por pendientes superiores al 10% se hará siempre marcha atrás.

-No circular nunca en dirección transversal a la pendiente.

-No fumar ni permanecer sobre el vehículo mientras se esté realizando el repostaje.

-Evitar la proximidad de operaciones que generen foco de calor.

-No guardar trapos grasientos o aceitosos o materiales inflamables cerca del motor o tubo de escape

Grúa móvil

-Las cargas suspendidas se manejarán mediante cuerdas-guía para la ubicación de la carga en el lugar deseado y se deberá disponer de extintor de incendios en perfectas condiciones de mantenimiento.

Medidas preventivas:

-Se comprobará que la pluma no interfiera con estructuras, líneas u otras grúas.

-No se utilizará la grúa para arrastrar piezas ni arrancar objetos.

-No se apoyará nada en los escapes de gases ni partes calientes de la máquina.

-Estará prohibido fumar durante las operaciones de repostaje.

-En el caso que se produzcan fugas de líquidos inflamables se deberán limpiar inmediatamente.

-Queda totalmente prohibido elevar personas.

-Las partes móviles de los equipos dispondrán de dispositivos que protejan las zonas accesibles.

-En el caso de líneas eléctricas se deberá verificar la altura de estas, de la carga y de la grúa, si sucediera que la distancia fuera inferior a 5 metros se solicitará la descarga de la línea.

-En caso de contacto con la línea eléctrica, el operador deberá permanecer en todo momento en la cabina hasta que la línea se ponga fuera de servicio. Si fuera absolutamente necesario abandonar la cabina, se deberá hacer saltando lo más lejos posible siempre con los pies juntos.

-Respetar la tabla de cargas proporcionada por el fabricante.

-Si la velocidad del viento supera la velocidad límite específica de la grúa no se realizarán izados.

-Deberá trabajar con los estabilizadores hidráulicos totalmente extendidos sobre lasplacas de reparto.

-Mantener una distancia mínima de seguridad de 2 metros a los bordes de taludes.

-No deberá haber ningún operario dentro del radio de acción de la pluma.

-Evitar el balanceo de la carga.

-Desalojar la zona de influencia del vehículo cuando este se esté trasladando.

-Dispondrá de avisador acústico de retroceso.

-Inspeccionar el material de izado para comprobar que no existen fallos, sustituyendo inmediatamente aquel que presente alguna anomalía.

-El pestillo de seguridad del gancho deberá estar en perfectas condiciones para su funcionamiento.

-Si existen aristas vivas se utilizarán cantoneras para evitar el desgaste de los estrobos.

-No depositar ningún objeto encima de las cargas a izar.

-Comprobar en todo momento el limitador de carga.

-Si no se conoce el peso de la carga a elevar habrá que realizar la operación de forma muy lenta en todo momento comprobando las reacciones que se produzcan y deteniendo la operación si se produjese cualquier anomalía.

-No se pueden elevar cargas sobre personas.

-Comprobar que todos los sistemas de seguridad están en perfecto estado.

Camión hormigonera

-Se exigirá que tenga todas las revisiones de mantenimiento en vigor, marcado CE y documentación legal en regla, en caso de que el camionero abandone la cabina, este deberá llevar puesto casco, botas de seguridad y guantes si fuera necesario. Se comprobará el estado de los frenos, dirección, dispositivos de señalización y demás elementos de interés del vehículo.

Medidas preventivas:

-Los operarios que manejen las canaletas desde la parte superior de las zanjas evitarán en lo posible permanecer a una distancia inferior a medio metro del borde de la zanja.

-Totalmente prohibido que cualquier persona se suba a la tolva de la cuba mientras el camión está en marcha.

-Limpiarse el calzado antes de subir a la cabina para evitar resbalones y caídas.

-Está prohibido estacionar y desplazar el camión a una distancia inferior a 2 metros del borde de las zanjas. En caso de que fuera necesaria una aproximación inferior, se deberá usar un tope firme y resistente para la rueda trasera del camión.

-Maniobrar con precaución asegurándose que el camino está libre.

-Respetar las normas generales de la obra, así como las de circulación, señalización y estacionamiento.

-No detenerse en curvas o zonas de poca visibilidad y en caso de que fuera necesario hacerlo, señalizar adecuadamente la presencia del camión.

-Las rampas de acceso a los tajos se procurarán de tal forma que sean uniformes y no superen una pendiente del 20%.

-No se limpiará la cuba y canaletas en la proximidad de los tajos.

-Retirar la canaleta de vertido antes de circular con el camión.

-Queda prohibido efectuar operaciones de mantenimiento y reparación con la cuba en marcha.

-No llenar en exceso la cuba para evitar vertidos innecesarios en el transporte del hormigón.

Equipos de soldar

-Los porta electrodos se deben almacenar donde no puedan entrar en contacto con los trabajadores, combustibles, humedades o posibles fugas de gas comprimido.

-Si se trabaja en lugares poco ventilados se deberá insuflar continuamente aire fresco (nunca oxígeno) para eliminar gases, vapores y humos. Si esto no fuera posible se utilizarán equipos de protección respiratoria con aporte de aire.

-Con condiciones meteorológicas adversas se paralizarán los trabajos de soldadura.

-Se evitará soldar en lugares que haya almacenados productos inflamables, en caso de tener que hacerlo se ventilará el local hasta conseguir una atmósfera interior adecuada que evite el riesgo de incendio o explosión.

-Si se realiza soldadura eléctrica con arco como genera gran cantidad de humos se recurrirá al uso de extracción localizada de humo.

-Antes de realizar la soldadura se deberá comprobar que la pantalla o careta no tiene rendijas que dejen pasar la luz y que el cristal contra radiaciones es adecuado a la intensidad de soldadura.

-La ropa de trabajo será de lana o algodón ignífugo. Las mangas serán largas con los puños ceñidos a la muñeca y en caso necesario se llevará un collarín que proteja el cuello. Si se llevan bolsillos se tendrán que cerrar herméticamente y los pantalones no deberán llevar dobladillo ya que pueden retener las chispas.

Medidas preventivas:

-Los trabajos de soldadura únicamente podrán realizarlo aquellos operarios que posean el certificado correspondiente para ello.

-Realizar un mantenimiento preventivo del equipo.

-Todos los conductores del equipo deberán estar debidamente protegidos durante su transporte.

-Los cables del equipo deberán enrollarse para transportarse y nunca se tirará de ellos para mover la máquina.

-Repararse y notificarse de inmediato cualquier cable o elemento dañado.

-En trabajos de altura se utilizará un cinturón de seguridad especial para evitar que las chispas lo quemen.

-El porta-electrodo se deberá sujetar con una mano mientras que la soldadura se ejecute con la otra.

-Las tomas a tierra se deberán hacer según las instrucciones del fabricante.

-Disponer de protección frente a contactos directos e indirectos, protección de elementos en tensión y protección diferencial y tomas a tierra apropiadas.

-Utilizar conexiones estancas y adecuadas según el reglamento de baja tensión.

-La toma de corriente y el casquillo que une el puesto de soldadura a la fuente de alimentación deben estar limpios y sin humedad. Antes de conectarlos hay que cortar la corriente y una vez conectada ha de alejarse. Cuando no se trabaje se deben cubrir con capuchones de seguridad.

-Los bornes de conexión deben estar aislados y protegidos y la superficie exterior de los porta-electrodos ha de estar aislada en la zona de contacto con la mano.

-La pinza de masa o retorno debe estar rígidamente fijada a la pieza a soldar minimizándose la distancia entre el punto a soldar y la pinza.

-Instalar el interruptor principal cerca del puesto de soldadura para poder cortar la corriente en caso de necesidad.

-Reemplazar cualquier cable de soldadura que presente algún tipo de desperfecto. No utilizar tornillos para fijar conductores trenzados ya que se acaban desapretando.

-Alejar hilos de soldadura de los cables eléctricos principales para prevenir el contacto accidental con el de alta tensión, así como cubrir los bornes para evitar un posible cortocircuito causado por algún objeto metálico.

-Alejar los hilos de soldadura de los cables eléctricos para prevenir el contacto accidental con el de alta tensión, así como cubrir los bornes para evitar cortocircuitos causados por objetos metálicos.

-La toma de tierra no debe unirse a cadenas, cables, tuberías de gas, líquidos inflamables o conducciones que contengan cables eléctricos.

-Si el lugar sobre el que se va a soldar está mojado o húmedo secarlo antes de comenzara trabajar.

-No someter a corrientes por encima de su capacidad nominal ningún cable ni enrollarse estos sobre el cuerpo.

-Retirar los electrodos de la porta electrodos cuando no se esté trabajando y desconectar la máquina de la fuente de alimentación.

-No utilizar electrodos que les queden menos de 38 mm. para evitar que se pueda dañarlos aislantes de la porta electrodos.

-Los electrodos y porta electrodos deben guardarse en lugares bien secos.

-Cambiar la polaridad con la corriente cortada, nunca mientras la máquina esté en funcionamiento o conectada a corriente.

-Evitar tensiones superiores a 50 voltios cuando se esté trabajando en lugares muy conductores de la electricidad.

-El puesto de soldadura ha de protegerse de la exposición a gases corrosivos, partículas incandescentes provocadas por la soldadura o el exceso de polvo.

-Disponer de un extintor adecuado en las proximidades de la zona de trabajo.

-La escoria depositada en las piezas después de soldarlas deber picarse con un martillo especial eliminando previamente cualquier posible material combustible que pudiera haber adherido para evitar inflamaciones al picar.

-Delimitar y proteger las zonas en las que exista riesgo de proyecciones de partículas, quemaduras, incendios o explosiones con los medios necesarios.

-Para cualquier trabajo de cepillado y picado deberán protegerse los ojos con una pantalla protectora o gafas de seguridad.

Equipos de protección individual (EPIs):

-Casco de polietileno.

-Ropa de trabajo adecuada.

-Botas de seguridad con protección para chispas.

-Guantes de cuero.

-Gafas de seguridad anti proyecciones.

1.6. Medios de protección colectiva

1.6.1. Condiciones generales

En esta memoria de seguridad y salud ya se han definido los medios de protección colectiva necesarios.

El Contratista es el responsable de que en la obra se cumplan todos ellos, con las siguientes condiciones generales:

-La protección colectiva de esta obra se muestra en los planos de seguridad y salud.

-El plan de seguridad y salud los respetará fidedignamente o podrá modificarlos justificadamente debiéndose aprobar antes por el Coordinador de Seguridad y Salud durante la ejecución de la obra.

-Las posibles propuestas alternativas que puedan surgir requieren una representación técnica de calidad en forma de planos de ejecución de obra.

-Todas las protecciones colectivas estarán a su disposición para uso inmediato con antelación a la fecha decidida para su montaje según lo previsto en el plan de ejecuciónde la obra.

-Todas las protecciones serán nuevas a estrenar, vigilando siempre la fecha de caducidad si estas las tuvieran.

-Antes de ser necesario su uso, estarán en la obra con las condiciones idóneas de almacenamiento. El Contratista velará para que su calidad se corresponda con la definida en el Plan de Seguridad y Salud.

-Serán instaladas previamente antes de cualquier trabajo que requiera su montaje. Queda totalmente prohibido el comienzo de trabajos que requieran protección colectiva si estas no están instaladas.

-El Contratista está obligado a incluir y suministrar en el plan de ejecución de la obra la fecha de montaje, mantenimiento, cambio de ubicación y retirada de cada una de las protecciones colectivas del presente estudio de seguridad y salud.

-Serán desmontadas de inmediato las protecciones colectivas en las que se observe cualquier deterioro y serán sustituidas por otras que cumplan todos los requisitos de calidad y seguridad, mientras dure esta reparación se suspenderán todos los trabajos protegidos por dicha medida de protección y se señalizará la zona para evitar accidentes. Estas operaciones de mantenimiento y reparación se realizarán siempre con los debidos equipos de protección individual.

-Si durante la realización de la obra es necesario variar el modo o disposición en que se encuentra algún SPC se señalizará dicha modificación en los planos de seguridad y salud, que deberán ser aprobados por el Coordinador en materia de seguridad y salud durante la ejecución de la obra.

-Todas las protecciones colectivas están destinadas a la protección de los riesgos de todos los trabajadores y visitantes de la obra (operarios del contratista, empresas subcontratistas, colaboradoras, trabajadores autónomos etc.).

-El contratista de acuerdo a la legislación vigente está obligado al montaje, mantenimiento y retirada de las protecciones colectivas respondiendo según las cláusulas penalizadoras del contrato de adjudicación de obra y del pliego de condiciones técnicas y particulares del proyecto.

-No se admitirá el cambio de uso de protección colectiva por el de equipos de protección individual.

-En caso de fallo se procederá según las normas legales vigentes avisando sin demora tras los hechos al Coordinador en materia de Seguridad y Salud durante la obra y al Director de Obra.

1.6.2. Condiciones técnicas de instalación y uso de las protecciones colectivas

-Dentro del apartado correspondiente de cada protección colectiva se especifican las condiciones técnicas de instalación y uso, junto con su calidad, definición técnica de

la unidad y las normas de obligado cumplimiento para que sean cumplidas por los trabajadores que deben montarlas, mantenerlas y repararlas, cambiarlas de posición y retirarlas.

-El Contratista recogerá obligatoriamente en su plan de seguridad y salud las condiciones técnicas y demás especificaciones, si presenta alternativas a las previstas, lo hará con idéntica composición y formato para facilitar su entendimiento y aprobación en su caso.

1.7. Medios de protección individual

Como norma general todos los EPIs elegidos son ergonómicos y deberán cumplir las siguientescondiciones generales:

-Tendrán la marca CE según las normas EPI.

-Todos los EPIs tienen autorizado su uso durante su periodo de vigencia, llegada la fecha de caducidad serán sustituidos por otros en vigor, los desechados serán revisor por el coordinador en materia de seguridad y salud para que autorice su eliminación de la obra.

-Los equipos de protección individual en uso que estén rotos serán reemplazados de inmediato, dando constancia por escrito en la oficina de obra el motivo del cambio, nombre de la empresa y persona que recibe el nuevo equipo con el fin de dar seriedad y buen uso a la utilización de estas protecciones.

-Las normas de utilización de los equipos de protección individual se atenderán a lo previsto en la reglamentación vigente.

1.8. Control de entrega de los EPI's

El contratista incluirá en su plan de seguridad y salud un modelo de parte de entrega de equipos de protección individual que contendrá como mínimo los siguientes datos:

-Número del parte.

-Identificación del Contratista.

-Empresa afectada por el control.

-Nombre del trabajador que recibe los equipos de protección individual.

-Oficio o empleo que desempeña.

-Categoría profesional.

-Listado de los equipos de protección individual que recibe el trabajador.

-Motivo por el que solicita el equipo.

-Firma del trabajador que recibe el equipo de protección individual.

-Firma y sello de la empresa.

Estos partes se realizarán por duplicado quedando el original en poder del encargado de seguridad y salud mientras que la copia será para el coordinador de seguridad y salud durante la obra.

1.9. Seguridad en caso de incendio y evacuación

Se deberán seguir las siguientes normas generales para poder actuar con mayor rapidez en caso de incendio:

-Conocer la ubicación de todos los extintores en la obra.

-Saber para qué tipo de fuego sirve cada tipo de extintor.

-Leer los rótulos identificativos de cada extintor para conocer sus características y usos.

-Los extintores han de estar perfectamente visibles y no se podrá colgar de ellos cualquier prenda u objeto que impida la localización de este.

Cuando se vayan a utilizar frente a fuego se deberán seguir las siguientes normas generales:

-Identificar de qué tipo de incendio se trata y emplear el extintor adecuado más cercano.

-Si se produjese un incendio con riesgo eléctrico se cortará la tensión eléctrica de la zona afectada.

-Atacar al incendio en la misma dirección de su desplazamiento y desde su comienzo.

-Dirigir el chorro del agente extintor siempre a la base de las llamas en forma de zigzag, apagándolo por franjas y no avanzando nunca hasta asegurarse que se ha apagado la anterior.

-Siempre que sea posible se actuará con varios extintores y siempre en la misma dirección para evitar posibles interferencias.

-Si se tratase de un incendio con gases tóxicos se retrocederá de inmediato para evitar la exposición a estos que puedan generar mareos o dificultades de respiración.

1.10. Trabajos posteriores

En el periodo de construcción de la nave y a la finalización de esta, se contemplarán también, en las condiciones de seguridad y salud necesarias, las previsiones y las informaciones útiles para efectuar en su día los previsibles trabajos posteriores que tendrán que asegurar su correcto funcionamiento.

Se tendrá en cuenta la reglamentación vigente de ámbito estatal, autonómico y local, relativa a la ejecución de los trabajos que deben realizarse para llevar a cabo los cuidados, manutención,

repasos y reparaciones durante el proceso de explotación de la obra de, así como las correspondientes condiciones de seguridad y salud a tener en cuenta en estas actividades.

1.11. Documentación de seguridad en obra

1.11.1. Libro de incidencias

Deberá de existir un libro de incidencias en cada centro de trabajo con la finalidad de realizar un control y un seguimiento del Plan de Seguridad y Salud.

El libro de incidencias, el cual permanecerá siempre en la obra, será controlado por el Coordinador de Seguridad y Salud durante el transcurso de la misma o, cuando este no fuese necesario, por la dirección facultativa. Efectuada una anotación en el Libro de Incidencias, el coordinador de Seguridad y Salud durante el transcurso de la obra estará obligado a remitir una copia a la Inspección de Trabajo de la provincia en la que se realice la obra en un plazo de veinticuatro horas.

1.11.2. Seguros de responsabilidad civil

Los Técnicos responsables de la obra deberán disponer de cobertura en materia de responsabilidad civil profesional.

El Contratista y todos los Subcontratistas también deberán de disponer de cobertura de responsabilidad civil en el ejercicio de su actividad industrial, cubriendo el riesgo inherente a su actividad industrial como constructores por los daños a terceras personas de los que pueda resultar responsabilidad civil extracontractual a su cargo, por hechos nacidos de culpa o por negligencia, imputables al mismo o a las respectivas subcontratas.

El contratista Principal deberá de contratar un seguro en la modalidad de todo riesgo a la construcción durante el plazo de ejecución de la obra.

1.11.3. Formación e información a los trabajadores

Todo el personal que se encargue de la realización de la obra le será impartido un curso en materia de Seguridad y Salud en el trabajo, según la Ley de prevención de riesgos laborales, dentro del convenio colectivo del sector de la construcción.

Esta formación será impartida por los Delegados de Prevención y permitirá a los trabajadores conocer los riesgos a los que se exponen y poder así tomar las medidas preventivasy correctoras necesarias para evitar los riesgos.

1.12. Servicios de higiene y primeros auxilios

En cuanto a los servicios de higiene, se deberá disponer de agua potable en la obra, así como de aseos y vestuarios con una superficie de 2 m^2 por trabajador en los cuales debe de haber duchas y lavabos necesarios según la normativa, siendo como mínimo 1 ducha y 1 lavabo por cada 10 trabajadores y 1 retrete y 1 urinario por cada 25 trabajadores que trabajen en una misma jornada.

También se dispondrá de un comedor con iluminación natural y artificial adecuada y perfectamente dotado para que cumpla satisfactoriamente su función.

En cuanto a los primeros auxilios, el contratista y el resto de las empresas participantes demostraran, a través de su Plan de Seguridad y Salud, que disponen de las medidas para garantizar la evacuación, a fin de recibir cuidados médicos, de los trabajadores accidentados o afectados por una indisposición repentina. Se dispondrá asimismo de un botiquín de primeros auxilios en los vestuarios.

En caso de que el accidentado necesitara atención especializada, los centros médicos más cercanos son:

- Hospital MAZ Zaragoza
- Hospital Universitario Miguel Servet
- Hospital Clínico Universitario Lozano Blesa

1.13. Accesos a la obra

Siempre que se prevea interferencia entre los trabajos y las zonas de circulación de peatones o vehículos, el circuito de vertido de hormigón y el control de sus salpicaduras así como el traslado de palets y el posible desprendimiento de piezas sueltas, estará adecuadamente apantallado mediante marquesina o toldo, o en su defecto, se ordenará y controlará por personal auxiliar debidamente adiestrado que vigile y dirija la operación.

La parcela permanecerá cerrada para impedir el acceso a personas externas, existirán varias entradas para el personal de obra, referenciadas en el plano anexo, estarán debidamente señalizadas las zonas de paso de los vehículos que deban acceder a la obra, tales como camiones hormigonera y maquinaria de mantenimiento o servicio de la misma.

El paso de vehículos en el sentido de entrada se señalizará con limitación de velocidad a 10 o 20 Km/h y ceda el paso. Se obligará la detención con una señal de STOP en lugar visible del acceso en sentido de salida. Se dispondrá en obra, para proporcionar en cada caso el equipo indispensable para el que el operario que ayuda al transportista del camión hormigonera, disponga de una provisión suficiente de palas, rastrillos, escobas de brezo, azadores, picos, tablones, bridas, cables, ganchos y lonas de plástico etc.., para garantizar la limpieza de las inmediaciones a la canal de derrame, así como los accesos a la obra.

Establecer un sistema eficaz de iluminación provisional de las zonas de trabajo y paso, de forma que queden apoyados los puntos de luz sobre bases aislantes. Jamás se utilizará una espera de

armadura a modo de báculo para el soporte de los focos de iluminación. La zona de trabajo se encontrará limpia de puntas, armaduras, maderas y escombros.

1.14. Toma eléctrica provisional de obra

Definición:

Conjunto de trabajos de construcción relativos a acopios, premontaje, transporte, montaje, puesta en obra y ajuste de elementos para la conducción de energía eléctrica de baja tensión, destinada a cubrir las necesidades de este fluido cuando la construcción esté en servicio.

Recursos considerados:

a) Materiales:
   - Cables, mangueras eléctricas y accesorios.
   - Tubos de conducción (corrugados, rígidos, etc.).
   - Cajetines, regletas, anclajes, prensacables, bandejas, soportes.
   - Grapas, abrazaderas y tornillería.
   - Siliconas, Cementos químicos.

b) Energías y fluidos:
   - Electricidad.
   - Esfuerzo Humano.

c) Mano de obra:
   - Responsable técnico a pie de obra.
   - Mando intermedio.
   - Oficiales electricistas.
   - Peones especialistas.

d) Maquinaria:
   - Motores eléctricos.
   - Sierra de metales.
   - Grúa, cabrestante.

e) Medios auxiliares:
   - Andamios de estructura tubular móvil.
   - Andamio colgante.
   - Andamio de caballete.
   - Banqueta aislante.
   - Alfombra aislante
   - Lona aislante de apantallamiento
   - Puntales, caballetes.
   - Redes, cuerdas.
   - Escaleras de mano.
   - Cestas.
   - Señales de seguridad, vallas y balizas de advertencia e indicación de riesgos.
   - Letreros de advertencia a terceros.

f) Herramientas:

- Eléctricas portátiles.
- Esmeriladora radial.
- Taladradora.
- Martillo picador eléctrico.
- Multímetro.
- Chequeador portátil de la instalación.
- Herramientas de combustión.
- Pistola fijadora de clavos.
- Lamparilla (Equipo de soldadura de propano o butano).
- Herramientas de mano.
- Cuchilla.
- Tijeras.
- Destornilladores, martillos.
- Pelacables.
- Cizalla cortacables.
- Sierra de arco para metales.
- Caja completa de herramientas dieléctricas homologadas.
- Reglas, escuadras, nivel.
- Herramientas de tracción.
- Térnales, trócolas y poleas.

Sistemas de transporte y/o manutención:

- Contenedores de recortes.
- Bateas, Cestas.
- Cuerdas de izado, eslingas.
- Grúa, carretillas elevadoras cabrestante

Riesgos más frecuentes:

- Caída al mismo nivel.
- Caída a distinto nivel.
- Caída de objetos.
- Afecciones en la piel.
- Contactos eléctricos directos e indirectos.
- Caída o colapso de andamios.
- Contaminación acústica.
- Lumbalgia por sobresfuerzo.
- Lesiones en manos.
- Lesiones en pies.
- Quemaduras por partículas incandescentes.
- Quemaduras por contacto con objetos calientes.
- Choques o golpes contra objetos.
- Cuerpos extraños en los ojos.
- Incendio.
- Explosión.

Equipo de protección individual:

- Casco homologado con barbuquejo.
- Pantalla facial de policarbonato con atalaje de material aislante.
- Protectores antiruido.
- Gafas anti-impacto con ocular filtrante de color verde DIN-2, ópticamente neutro, en previsión de cebado del arco eléctrico.
- Gafas tipo cazoleta, de tipo totalmente estanco, para trabajar con esmeriladora portátil radial.
- Guantes "tipo americano", de piel flor y lona, de uso general.
- Guantes de precisión (taponero) con manguitos largos, en piel curtida al cromo.
- Guantes dieléctricos homologados (1000 V).
- Botas de seguridad dieléctrica, con refuerzo en puntera de "Akulón".
- Botas de seguridad sin refuerzos para trabajos en tensión.
- Cinturón de seguridad anticaídas con arnés y dispositivo de anclaje y retención.
- Ropa de trabajo cubriendo la totalidad de cuerpo y que como norma general cumplirá los requisitos mínimos siguientes:
- Será de tejido ligero y flexible, que permita una fácil limpieza y desinfección. Se ajustará bien al cuerpo sin perjuicio de su comodidad y facilidad de movimientos. Se eliminará en todo lo posible, los elementos adicionales como cordones, botones, partes vueltas hacia arriba, a fin de evitar que se acumule la suciedad y el peligro de enganches. Dado que los electricistas están sujetos al riesgo de contacto eléctrico su ropa de trabajo no debe tener ningún elemento metálico, ni utilizará anillos, relojes o pulseras.

2. PLIEGO DE CONDICIONES

2. Pliego de condiciones

2.1. Objeto de la obra

Este pliego tiene por objeto fijar las condiciones generales y económicas que regirán la ejecuciónde las obras del presente proyecto. Las condiciones son las siguientes:

-Exponer las obligaciones del contratista, subcontratista y trabajadores autónomos con respecto a este Estudio de Seguridad y Salud.

-Exigir al contratista que incorpore a su Plan de Seguridad y Salud los procedimientos que son propios de esta obra.

-Definir el sistema de evaluación de las alternativas o propuestas hechas por el Plan de Seguridad y Salud.

-Fijar unos determinados niveles de calidad de toda la prevención que se prevé utilizar, con el fin de garantizar su éxito.

-Definir las formas de controlar dentro de la obra y la forma de hacerlo.

-Realizar un programa formativo e informativo en materia de Seguridad y Salud, que sirva para implantar con éxito la prevención diseñada, para todos los trabajadores de dentro de la obra.

2.2. Legislación

La ejecución de la obra, objeto del presente estudio de seguridad y salud estará regulada por la Normativa de obligada aplicación que a continuación se cita, siendo de obligado cumplimiento por las partes implicadas.

Esta relación de dichos textos legales no es exclusiva ni excluyente respecto de otra Normativa específica que pudiera encontrarse en vigor, y de la que se haría mención en los correspondientes particulares del proyecto.

Real Decreto 39/1997 de 17 de enero.

Por el que se aprueba el Reglamento de los Servicios de Prevención en su mueva óptica en torno a la planificación de la misma, a partir de la evaluación inicial de los riesgos inherentes al trabajo y a la consiguiente adopción de las medidas adecuadas a la naturaleza de los riesgos detectados.

La necesidad de que tales aspectos reciban tratamiento específico por la vía normativa adecuada aparece prevista en el Artículo e apartado 1, párrafos d y e de la Ley de Prevención de Riesgos Laborales.

Orden del 27 de junio de 1997.

Por el que se desarrolla el R.D. 39/1997 de 17 de Enero, en relación con las condiciones de acreditación de las entidades especializadas como Servicios de Prevención ajenos a la empresa; de autorización de las personas o entidades especializadas que pretendan desarrollar la actividad de auditoría del sistema de prevención de las empresas; de autorización de las

entidades públicas o privadas para desarrollar y certificar actividades formativas en materia de Riesgos Laborales.

Real Decreto 1627/1997 del 24 de octubre.

Por el que se establecen disposiciones mínimas de seguridad y salud en las obras de construcción en el marco de la Ley 31/1995 de 8 de noviembre de Prevención de Riesgos Laborales.

Este Real Decreto define las obligaciones del Promotor, Proyectista, Contratista, Subcontratista y Trabajadores Autónomos e introduce las figuras del Coordinador de seguridad y salud durante la elaboración del proyecto y durante la ejecución de las obras.

El R.D. establece los mecanismos específicos para la aplicación de la Ley de Prevención de Riesgos Laborales y del R.D. 39/1997 de 17 de Enero, por el que se aprueba el Reglamento de los Servicios de Prevención.

Ley 31/1995 de 8, de noviembre de Prevención de Riesgos Laborales.

Por el que se tiene por objeto promover la seguridad y salud de los trabajadores, mediante la aplicación de medidas y el desarrollo de las actividades necesarias para la prevención de riesgos derivados del trabajo.

A tales efectos esta Ley establece los principios generales relativos a la prevención de los riesgos profesionales para la protección de la seguridad y salud, la eliminación o disminución de los riesgos derivados del trabajo, la información, la consulta, la participación equilibrada y la formación de los trabajadores en materia preventiva, en los términos señalados en la presente disposición.

Para el cumplimiento de dichos fines, la presente Ley, regula las actuaciones a desarrollar por las Administraciones Públicas, así como los empresarios, los trabajadores y sus respectivas organizaciones representativas.

Ley 54/2003 de 12 de diciembre de reforma del marco formativo de la prevención de riesgos laborales.

Real Decreto 171/2004 de 30 de enero por el que se desarrolla el artículo 24 de la Ley 31/1995 de 8 de noviembre de prevención de riesgos laborales.

Ley 32/2006, de 18 de octubre, reguladora de la subcontratación en el Sector de la Construcción.

Por la que se establecen las garantías para evitar situaciones objetivas de riesgo para laseguridad y salud de los trabajadores. Dichas garantías se materializan:

- Condicionando a que las subcontrataciones que se realicen a partir del tercer nivel de subcontratación respondan a causas objetivas, con el fin de prevenir prácticas que den lugar a riesgos para la seguridad y salud en el trabajo.
- Exigiendo requisitos de calidad o solvencia a las empresas, entre los cuales se encuentra la acreditación de la formación en prevención de riesgos laborales de sus recursos humanos.
- Introduciendo mecanismos de transparencia en las obras de construcción, mediante sistemas documentales y aumento de la participación de los trabajadores de las empresas que intervienen en la obra.

Real Decreto 1109/2007, de 24 de agosto, por el que se desarrolla la Ley 32/2006, de 18 de octubre, reguladora de la subcontratación en el Sector de la Construcción.

El desarrollo reglamentario se estructura en:

- Regulación del régimen de funcionamiento de los Registros de Empresas Acreditadas dependientes de las autoridades laborales autonómicas: formato y contenido de la solicitud, procedimientos de inscripción, renovación y cancelación. Para ello se configuran procedimientos administrativos en los que prima la agilidad y la simplificación de los trámites.
- Regulación del cómputo de los trabajadores contratados con carácter indefinido y de las previsiones mínimas de formación de los recursos humanos, necesarias para las inscripciones en el registro.
- Regulación del Libro de Subcontratación, determinando su formato, habilitación por la autoridad laboral y su régimen de funcionamiento.

En todo lo que no se oponga a la Legislación anteriormente mencionada:

Convenio Colectivo General del Sector de la Construcción, aprobado por resolución del 4 de mayo de 1992 de la Dirección General de Trabajo, en todo lo referente a Seguridad e Higiene en el trabajo

Pliego General de Condiciones Técnicas de la Dirección General de Arquitectura.

Real Decreto 485/1997 de 14 de abril, sobre disposiciones mínimas en materia de señalización en la seguridad y salud en el trabajo.

Real Decreto 486/1997 de 14 de abril, sobre disposiciones mínimas de seguridad y salud en los lugares de trabajo. Real Decreto 1627/1997 de 24 de octubre Anexo IV.

Real Decreto 487/1997 de 14 de abril, sobre manipulación individual de cargas que entrañe riesgos, en particular dorso-lumbares para los trabajadores.

Real Decreto 949/ 1997 de 20 de junio, sobre certificado profesional de prevencionistas de riesgos laborales.

Real Decreto 952/1997, sobre residuos tóxicos y peligrosos.

Real Decreto 1215/1997 de 18 de julio, sobre la utilización por los trabajadores de equipos de trabajo.

Real Decreto 1/1995 de 24 de marzo. Estatuto de los Trabajadores - Texto refundido Capítulo II, sección II. Derechos y deberes derivados del contrato Art.19.

Decreto 842/2002, de 2 de agosto, por el que se aprueba el Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión (REBT).

Resto de disposiciones oficiales relativas a la seguridad y salud que afecten a los trabajos que se han de realizar.

2.3. Obligaciones de las partes implicadas

El R.D. 1627/1997 de 24 de octubre, se ocupa de las obligaciones del Promotor, reflejadas en los artículos 3, 4, del Contratista en los artículos 7, 11,15, y 16, Subcontratistas, en el artículo 11,15, y 16 y Trabajadores Autónomos en el artículo 12.

Para aplicar los principios de la acción preventiva, el Empresario designará uno o varios trabajadores para ocuparse de dicha actividad, constituirá un Servicio de Prevención o concertará dicho servicio con una entidad especializada ajena a la Empresa.

La definición de estos Servicios, así como la dependencia a determinar una de las opciones que hemos indicado para su desarrollo, está regulado en la Ley de Prevención de Riesgos Laborales 31/1995 en sus artículos 30 y 31, así como en la Orden del 27 de junio de 1997 y R.D. 39/1997 de 17 de enero.

Si sucediera algún tipo de incumplimiento por los empresarios con respecto a sus obligaciones en materia de prevención de riesgos laborales, repercutirá en responsabilidades que están reguladas en el artículo 42 de dicha Ley.

El Empresario deberá elaborar y conservar a disposición de la autoridad laboral, la documentación establecida en el artículo 23 de la Ley de Prevención de Riesgos Laborales 31/1995.

El Empresario deberá consultar a los trabajadores, la adopción de las decisiones relacionadas en el Artículo 33 de la Ley de Prevención de Riesgos Laborales 31/1995.

Los Trabajadores estarán representados por los Delegados de Prevención, ateniéndose a los Artículos 35 y 36 de la Ley de Prevención de Riesgos Laborales.

Se deberá de constituir un Comité de seguridad y salud según se dispone en los Artículos 38 y 39 de la Ley de Prevención de Riesgos Laborales.

La Ley 32/2006, de 18 de octubre, establece los requisitos exigibles a los contratistas y subcontratistas, regulando la subcontratación y mejorando, como consecuencia, las condiciones de seguridad y salud de los trabajadores. El incumplimiento de las obligaciones previstas en la mencionada ley, dará lugar a las responsabilidades previstas en su artículo 11.

El Real Decreto 1109/2007, de 24 de agosto desarrolla reglamentariamente la ley del párrafo anterior.

2.3.1. Coordinador

Cuyas funciones son las siguientes:

a) La elección del emplazamiento de los puestos y áreas de trabajo, teniendo en cuenta sus condiciones de acceso, y la determinación de las vías o zonas de desplazamiento o circulación.
b) La manipulación de los distintos materiales y la utilización de los medios auxiliares.
c) El mantenimiento, el control previo a la puesta en servicio y el control periódico de las instalaciones y dispositivos necesarios para la ejecución de la obra, con objeto de corregir los defectos que pudieran afectar a la seguridad y salud de los trabajadores.
d) La delimitación y el acondicionamiento de las zonas de almacenamiento y depósito de los distintos materiales, en particular si se trata de materias o sustancias peligrosas.
e) La recogida de los materiales peligrosos utilizados.
f) El almacenamiento y la eliminación o evacuación de residuos y escombros.
g) La adaptación, en función de la evolución de la obra, del período de tiempo efectivo que habrá de dedicarse a los distintos trabajos o fases de trabajo.
h) La cooperación entre los contratistas, subcontratistas y trabajadores autónomos.
i) Las interacciones e incompatibilidades con cualquier otro tipo de trabajo o actividad que se realice en la obra o cerca del lugar de la obra.
j) Aprobar el plan de seguridad y salud elaborado por el contratista y, en su caso, las modificaciones al mismo.
k) Organizar la coordinación de actividades empresariales prevista en el artículo 24 de la LPRL.
l) Coordinar las acciones y funciones de control de la aplicación correcta de los métodos de trabajo.
m) Adoptar las medidas necesarias para que sólo las personas autorizadas puedan acceder a la obra.

Un eventual incumplimiento de sus obligaciones por parte del coordinador en materia de seguridad y salud durante la ejecución de la obra dará lugar a responsabilidad contractual frente al promotor que le haya designado, responsabilidad que puede ser de tipo laboral, si fuera ésta la naturaleza del vínculo que les liga, aunque lo normal, por tratarse de profesionales liberales en la generalidad de los casos, será la responsabilidad civil por daños y perjuicios derivados del incumplimiento.

La que no existe es la responsabilidad administrativa del coordinador, dado que, en materia de prevención de riesgos dicha responsabilidad es exclusiva del empresario, a tenor de lo dispuesto en el artículo 45, apartado 1, de la LPRL.

En cuanto a la responsabilidad penal, dependerá del alcance que los órganos jurisdiccionales competentes en el orden penal den a lo dispuesto en los artículos 316 y 318 del Código Penal, en cuanto a los posibles sujetos de imputación del delito de riesgo por incumplimiento de la normativa de prevención de riesgos laborales, aunque lo cierto es que el coordinador no tiene legalmente atribuido el deber de protección de los trabajadores, deber que corresponde en exclusiva al empresario, a tenor de lo dispuesto en el artículo 14.1 de la LPRL.

2.3.2. Contratista y subcontratistas

Estarán obligados a:

a) Aplicar los principios de la acción preventiva que se recogen en el artículo 15 de la LPRL,antes relacionados, en particular al desarrollar las tareas o actividades indicadas en el subapartado precedente.
b) Cumplir y hacer cumplir a su personal lo establecido en el plan de seguridad y salud.
c) Cumplir la normativa en materia de prevención de riesgos laborales, teniendo en cuenta las actividades de coordinación de actividades empresariales previstas en el artículo 24de la LPRL, así como cumplir las disposiciones mínimas establecidas en el anexo IV del RDDMSC (disposiciones sustantivas de seguridad y salud material que deben aplicarse en las obras), durante la ejecución de la obra.
d) Informar y proporcionar las instrucciones adecuadas a los trabajadores autónomos sobre todas las medidas que hayan de adoptarse en lo que se refiere a su seguridad y salud en la obra.
e) Atender las indicaciones y cumplir las instrucciones del coordinador en materia de seguridad y de salud durante la ejecución de la obra o, en su caso, de la dirección facultativa.
f) Acreditar que disponen de recursos humanos, en su nivel directivo y productivo, que cuentan con la formación necesaria en prevención de riesgos laborales, así como de una organización preventiva adecuada a la Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de Prevención de Riesgos Laborales.
g) Estar inscritos en el Registro de Empresas Acreditadas, que depende de la Comunidad Autónoma donde radique el domicilio social de la empresa contratista o subcontratista.
h) Vigilar el cumplimiento de la Ley 32/2006, de 18 de octubre, por las empresas subcontratistas y trabajadores autónomos con que contraten, en particular en lo que se refiere a las obligaciones de acreditación y registro reguladas en el artículo 4.2 y al régimen de la subcontratación regulado en el artículo 5 de la citada ley.
i) Las empresas subcontratistas deberán comunicar o trasladar al contratista, a través de sus respectivas empresas comitentes en caso de ser distintas a aquél, toda la información o documentación que afecte al contenido del capítulo II de la Ley 32/2006,de 18 de octubre.
j) El contratista deberá comunicar al coordinador de seguridad y salud y a los representantes de los trabajadores de las empresas incluidas en el ámbito de ejecución de su contrato que figuren en el Libro de Subcontratación, la subcontratación excepcional prevista en el artículo 5.3. de la Ley 32/2006, de 18 de agosto.
k) Cada contratista debe disponer de un Libro de Subcontratación, que permanecerá en todo momento en la obra.
l) Cada empresa debe disponer de la documentación o título que acredite la posesión de la maquinaria que utiliza y de cuanta documentación exija la legislación vigente.

2.3.3. Trabajadores autónomos

Estarán obligados a:

a) Aplicar los principios de la acción preventiva que se recogen en el artículo 15 de la LPRL, en particular al desarrollar las tareas o actividades relacionadas en el subapartado dedicado a las obligaciones del coordinador en materia de seguridad y salud durante laejecución de la obra, al que nos remitimos.
b) Cumplir las disposiciones mínimas de seguridad y salud establecidas en el Anexo IV del RDDMSC durante la ejecución de la obra.
c) Cumplir las obligaciones en materia de prevención de riesgos que establece para los trabajadores el artículo 29, apartados 1 y 2, de la LPRL. Se trata, en concreto, de usar adecuadamente las máquinas, aparatos, herramientas, sustancias peligrosas, equipos de transporte y, en general, cualesquiera otros medios con los que desarrollen su actividad y utilizar correctamente los medios y equipos de protección facilitados por el empresario, de acuerdo con las instrucciones recibidas de éste.
d) Ajustar su actuación en la obra conforme a los deberes de coordinación de actividades empresariales establecidos en el artículo 24 de la LPRL, debiendo participar en cualquier medida de actuación coordinada que se hubiera establecido.
e) Utilizar equipos de trabajo que se ajusten a lo dispuesto en el Real Decreto 1215/1997,de 18 de julio, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud para la utilización por los trabajadores de los equipos de trabajo.
f) Elegir y utilizar equipos de protección individual en los términos previstos en el Real Decreto 773/1997, de 30 de mayo, sobre disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas a la utilización por los trabajadores de equipos de protección individual.
g) Atender las indicaciones y cumplir las instrucciones del coordinador en materia de seguridad y de salud durante la ejecución de la obra o, en su caso, de la dirección facultativa.
h) Cumplir lo establecido en el plan de seguridad y salud.

2.3.4. Trabajadores

Los contratistas y subcontratistas deberán garantizar que los trabajadores reciban una información adecuada y comprensible de todas las medidas que hayan de adoptarse en lo que se refiere a su seguridad y su salud en la obra.

Una copia del Plan de seguridad y salud y de sus posibles modificaciones, a los efectos de su conocimiento y seguimiento, será facilitada por el contratista a los representantes de los trabajadores en el centro de trabajo.

Los trabajadores están obligados a seguir las indicaciones especificadas en el plan, así como el uso de las medidas de protección que se les proporcione, debiendo pedir aquella protección que consideren necesaria y no se les ha facilitado.

2.4. Seguro de responsabilidad civil y todo riesgo

Será preceptivo en la obra, que los técnicos responsables dispongan de cobertura de responsabilidad civil profesional; asimismo el contratista deberá disponer de cobertura de responsabilidad civil en el ejercicio de su actividad industrial, cubriendo el riesgo inherente a su actividad como constructor, por los daños a terceras personas de los que pueda resultar responsabilidad civil extracontractual a su cargo, por los hechos nacidos de culpa o negligencia, imputables al mismo o a personas de las que deba responder, se entiende que esta responsabilidad civil debe quedar ampliada al campo de la responsabilidad civil patronal.

El Contratista viene obligado a la contratación de su seguro en la modalidad de todo riesgo a la construcción durante el plazo de ejecución de la obra con ampliación de un periodo de mantenimiento de un año, contado a partir de la fecha de terminación definitiva de la obra.

2.5. Condiciones técnicas

2.5.1. Maquinaria

- Cumplirán las condiciones establecidas en el Anexo IV, Parte C, Puntos 6, 7 y 8 del Real Decreto 1627/1997.
- La maquinaria de todos los accesorios de prevención establecidos, será manejada por personal especializado, se mantendrán en buen uso, para lo cual se someterán a revisiones periódicas y en caso de averías o mal funcionamiento se paralizarán hasta su reparación.
- El uso, mantenimiento y conservación de la maquinaria se harán siguiendo las instrucciones del fabricante.
- Los elementos de protección, tanto personales como colectivos deberán ser revisados periódicamente para que puedan cumplir eficazmente su función.
- Las operaciones de instalación y mantenimiento, deberán registrarse documentalmente en los libros de registro pertinentes de cada máquina. De no existir estos libros, para aquellas máquinas utilizadas con anterioridad en otras obras, antes de su utilización, deberán ser revisadas en profundidad por personal competente, asignándoles el mencionado libro de registro de incidencias.
- Especial atención requerirá la instalación de las grúas torre, cuyo montaje se realizará por personal autorizado, quien emitirá el correspondiente certificado de «puesta en marcha de la grúa» siéndoles de aplicación la Orden de 28 de junio de 1988 o Instrucción Técnica Complementaria MIE-AEM 2 del Reglamento de aparatoselevadores, referente a grúas torre para obras.
- Las máquinas con ubicación variable, tales como circular, vibrador, soldadura, etc., serán revisadas por personal experto antes de su uso en obra, quedando a cargo de la Jefatura de la obra, con la ayuda del Vigilante de Seguridad, la realización del mantenimiento de las máquinas según las instrucciones proporcionadas por el fabricante.
- El personal encargado del uso de las máquinas empleadas en obra, deberá estar debidamente autorizado para ello, por parte de la Jefatura de la obra, proporcionándole las instrucciones concretas de uso.

2.5.2. Instalaciones provisionales de obra

2.5.2.1. Instalación eléctrica

Cumplirá el vigente Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión y las siguientes condiciones particulares.

1. <u>Cuadros eléctricos:</u>
   - Los cuadros de distribución eléctrica serán construidos con materiales incombustibles e inalterables por los agentes atmosféricos. Serán de construcción estanca al agua.
   - La tapa del cuadro permanecerá siempre cerrada y se abrirá exclusivamente

por personal competente y autorizado para ello.

- Las líneas generales de fuerza deberán ir encabezadas por un disyuntor diferencial de 300 mA de sensibilidad.
- Se comprobará que, al accionar el botón de prueba del diferencial, cosa que se deberá realizar periódicamente, éste se desconecta y en caso contrario es absolutamente obligatorio proceder a la revisión del diferencial por personal especializado y en último caso sustituirlo por uno nuevo.
- El cuadro general deberá ir provisto de interruptor general de corte omnipolar que deje toda la obra sin servicio, totalmente aislado en todas sus partes activas.
- Los cuadros de distribución eléctrica deberán tener todas sus partes metálicas, así como los envolventes metálicos, perfectamente conectadas a tierra.
- Los enchufes y tomas de corriente serán de material aislante, doble aislamiento,disponiendo de uno de los polos para la toma de tierra.
- Todos los elementos eléctricos, como fusibles, cortacircuitos, interruptores, etc., deberán ser de equipo completamente cerrado que imposibiliten, en cualquier caso, el contacto fortuito de personas o cosas.
- Todos los bornes de las diferentes conexiones deberán estar provistas de protectores adecuados que impidan un contacto directo con las mismas.

2. Lámparas eléctricas portátiles

Tal y como exige la Ordenanza General de Seguridad e Higiene en el Trabajo, estosequipos reunirán las siguientes condiciones mínimas:

- Tendrán mango aislante.
- Dispondrán de un dispositivo protector de la lámpara, de suficiente resistencia mecánica.
- Su tensión de alimentación será de 24 V o bien estar alimentadas por medio deun transformador de separación de circuitos.
- Las tomas de corriente y prolongadores utilizados en estas instalaciones NO serán intercambiables con otros elementos iguales utilizados en instalaciones de voltaje superior.

3. Conductores eléctricos

- Todas las máquinas accionadas por energía eléctrica deberán disponer de conexión a tierra, siendo la resistencia máxima permitida de los electrodos o placas, de 5 a 10 ohmios.
- Los cables de conducción eléctrica, se emplearán con doble aislamiento impermeable, y preferentemente, de cubierta exterior resistente a los rocesy golpes.
- Se evitará discurran por el suelo disponiéndose a una altura mínima de 2,5m sobre el mismo.
- No estarán deteriorados, para evitar zonas bajo tensión.
- Las mangueras para conectar a las máquinas, llevarán además de los hilos de alimentación eléctrica correspondientes, uno para la conexión al polo detierra del enchufe.

- Las mangueras eléctricas que estén colocadas sobre el suelo, deberán ser enterradas convenientemente. Por ningún motivo se podrán almacenar objetos metálicos, punzantes, etc. sobre estas zonas que pudieran provocarla perforación del aislamiento y descarga accidentales por esta causa.
- En caso de que estas mangueras eléctricas, no puedan ser enterradas, se colocarán de forma elevada o aérea.

4. Instalación eléctrica para corriente de baja tensión

No hay que olvidar que está demostrado estadísticamente que el mayor número de accidentes eléctricos se produce por la corriente alterna de baja tensión. Por ello, los trabajadores se protegerán de la corriente de baja tensión por todos los medios que siguen:

- No acercándose a ningún elemento con baja tensión, manteniéndose a unadistancia de 0,50 m, si no es con las protecciones adecuadas, gafas de protección, casco, guantes aislantes y herramientas precisamente protegidas para trabajar a baja tensión. Si se sospechase que el elemento está bajo alta tensión, mientras el contratista adjudicatario averigua oficial y exactamente la tensión a que está sometido, se obligará con señalización adecuada, a los trabajadores y las herramientas por ellos utilizadas, a mantenerse a una distancia no menor de 4 m, se prohíbe todo trabajo que esté en tensión, se ha de asegurarse que antes de trabajar se tomen las medidas de seguridad necesarias.
- Caso de que la obra se interfiriera con una línea aérea de baja tensión y no se pudiera retirar ésta, se montarán los correspondientes pórticos de protección, manteniéndose el dintel del pórtico en todas las direcciones a una distancia mínima de los conductores de 0,50 m.
- Las protecciones contra contactos indirectos se conseguirán combinando adecuadamente las Instrucciones Técnicas Complementarias ITC-BT 018, 021 y 044 del Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión (esta última citada se corresponde con la norma UNE 20383-75).
- Se combina, en suma, la toma de tierra de todas las masas posibles con los interruptores diferenciales, de tal manera que, en el ambiente exterior de la obra, posiblemente húmedo en ocasiones, ninguna masa tome nunca unatensión igual o superior a 24 V.
- La tierra se obtiene mediante una o más picas de acero recubierto de cobre,de diámetro mínimo 14 milímetros y longitud mínima 2 metros. Caso de varias picas, la distancia entre ellas será, como mínimo, vez y media su longitud, y siempre sus cabezas quedarán 50 centímetros por debajo del suelo en una perforación y rellenada con arena. Si son varias, estarán unidas en paralelo. El conductor será cobre de 35 milímetros cuadrados de sección. La toma de tierra así obtenida tendrá una resistencia inferior a los 20 ohmios. Se conectará a las tomas de tierras de todos los cuadros generalesde obra de baja tensión. Todas las masas posibles deberán quedar conectadas a tierra.

2.5.2.2. Instalación contra incendios

Serán instalados extintores de polvo polivalente de acuerdo con la Norma UNE-23010, serán revisados anualmente y recargados si es necesario. Además, se instalarán en los lugares de más riesgo a la altura de 1,5 m del suelo y se señalizarán de forma reglamentaria.

2.5.2.3. Almacenamiento y señalización de productos

Los productos, tales como disolventes, pinturas, barnices, adhesivos, etc. y otros productosde riesgo se almacenarán en lugares limpios y ventilados con los envases debidamente cerrados, alejados de focos de ignición y perfectamente señalizados. El carácter específico yla toxicidad de cada producto peligroso, estará indicado por la señal de peligro característica.

2.5.3. Servicios de higiene y bienestar

Tal como se ha indicado en la Memoria de este estudio de Seguridad y salud, se dispondrá de instalaciones de vestuarios, servicios higiénicos y comedor para los trabajadores, dotados comosigue:

- El vestuario estará provisto de bancos o asientos y de taquillas individuales, con llave, para guardar la ropa y el calzado.
- Los aseos dispondrán de un lavabo con agua corriente, provisto de jabón por cada diez empleados o fracción de esta cifra y de un espejo de dimensiones adecuadas, en la misma proporción.
- Se dotarán los aseos de secaderos de aire caliente o toallas de papel, existiendo, eneste último caso, recipientes adecuados para depositar las usadas.
- Al realizar trabajos marcadamente sucios, se facilitará los medios especiales de limpieza.
- Existirán retretes con descarga automática de agua corriente y papel higiénico. Existiendo, al menos, un inodoro por cada veinticinco hombres o fracción de esta cifra. Los retretes no tendrán comunicación directa con comedores y con vestuarios.
- Las dimensiones mínimas de las cabinas serán 1 metro por 1,20 de superficie y 2,30metros de altura.
- Las puertas impedirán totalmente la visibilidad desde el exterior y estarán provistasde cierre interior y de una percha.
- Se instalará una ducha de agua fría y caliente, por cada diez trabajadores o fracciónde esta cifra.
- Las duchas estarán aisladas, cerradas en compartimentos individuales, con puertasdotadas de cierre interior.
- Los suelos, paredes y techos de los retretes, duchas, sala de aseo y vestuario serán continuos, lisos e impermeables, realizados con materiales sintéticos preferiblemente, en tonos claros, y estos materiales permitirán el lavado con líquidos desinfectantes o antisépticos con la frecuencia necesaria.
- Todos sus elementos, tales como grifos, desagües y alcachofas de duchas, estarán siempre en perfecto estado de funcionamiento y las taquillas y bancos aptos para su utilización.

- Análogamente los pisos, paredes y techos de comedor, serán lisos y susceptibles defácil limpieza, tendrán una iluminación, ventilación y temperaturas adecuadas y la altura mínima de techo será de 2,60 metros.
- Se dispondrá de un fregadero con agua potable para la limpieza de utensilios.
- El comedor dispondrá de mesas y asientos, calienta comidas y un recipiente de cierre hermético para desperdicios.
- Los locales de higiene y bienestar dispondrán de calefacción.
- Para la limpieza y conservación de estos locales en las condiciones pedidas, se dispondrá de un trabajador con la dedicación necesaria.

2.6. Medios de protección

2.6.1. Comienzo de las obras

Antes de comenzar las obras, deben supervisarse las prendas y los elementos de protección individual y colectiva para ver si su estado de conservación y sus condiciones de utilización son óptimas. En caso contrario se desecharán adquiriendo, otros nuevos.

Todos los medios de protección personal se ajustarán a las normas de homologación de la C.E. y se ajustarán a las disposiciones mínimas recogidas en el R.D. 773/1997, de 30 de mayo.

Además, y antes de comenzar las obras, el área de trabajo debe mantenerse libre de obstáculos e incluso, si han de producirse excavaciones, regarla ligeramente para evitar la producción de polvo.

Cuando se ejerciten trabajos nocturnos debe instalarse una iluminación suficiente.

Cuando no se ejerciten trabajos durante la noche, deberá mantenerse al menos una iluminación mínima en el conjunto, con objeto de detectar posibles peligros y observar correctamente las señales de aviso y de protección.

De no ser así, deben señalizarse todos los obstáculos indicando claramente sus características, como la tensión de una línea eléctrica, la importancia del tráfico de una carretera, etc. Especialmente el personal que maneja la maquinaria de obra debe tener muy advertido el peligro que representan las líneas eléctricas y que en ningún caso podrá acercarse con ningún elemento de las máquinas a menos de 3 m (si la línea es superior a los 50.000 V., la distancia mínima será de 5 m).

Todos los cruces subterráneos y muy especialmente los de energía eléctrica y los de gas, deben quedar perfectamente señalizados sin olvidar su cota de profundidad.

2.6.2. Protecciones colectivas

2.6.2.1. Tapa de madera

Está bien sujeto y fijo al suelo. Su solape con los bordes resistentes del hueco y su grosor y naturaleza son tales que la tapa resiste el máximo peso del personal o la carga que pueden circular por esa zona, sin flecha aparente ni roturas. Se indica con una señal el riesgo de caída al mismo nivel.

2.6.2.2. Barandillas de protección de zanjas

Las barandillas de la obra están formadas por:

- Barandilla: Barra superior, sin asperezas, destinada a proporcionar sujeción utilizando la mano. Es de madera o hierro, a 90 cm del plano de apoyo, y su resistencia es de 150 kg / m.
- Listón intermedio: Elemento situado entre el rodapié y la barandilla, que impide

quepase el cuerpo de una persona entre ambos.

- Rodapié Elemento: apoyado sobre el suelo que impide la caída de objetos. Está formado por un elemento plano y resistente (por ejemplo, una tabla de madera) dealtura entre los 15 y 30 cm

Montante: Elemento vertical que soporta el conjunto guardacuerpos y lo ancla al borde del desnivel a proteger. Todos los elementos fijados al montante van sujetosde forma rígida por su parte interior.

2.6.2.3. Valla portátil

Está bien sujeta y fija al suelo para que el viento o los golpes de personal o máquinas no la desplacen ni tumben. No tienen misión resistente alguna: no sirven como elementos de protección de bordes contra el riesgo de caída a distinto nivel.

2.6.2.4. Toma de tierra

Todos los aparatos, mecanismos y cajas metálicos que tienen conexiones eléctricas están conectados a tierra mediante un conductor sin interrupción alguna, desde cada toma de corriente y desde cada carcasa, hasta una conexión eléctrica eficaz con el terreno, generalmente formada por una pica de acero chapado de cobre, con una clema a la que se conecta el conductor. La pica se hinca en el terreno > 60 cm. La conexión debe lograr una resistencia del terreno la más próxima a cero que sea posible medida con un telurómetro.

Si la conexión no obtiene la conductividad suficiente:

- Se usa una pica más profunda, o se clava en terreno húmedo, o varias picas enparalelo lo más separadas posible.
- Se añade al terreno alrededor de la pica un agregado de sales simples o en gel, decoque o carbón vegetal.

Se aplica una inyección de bentonita o de resinas sintéticas al terreno, alrededor de la pica.

2.6.2.5. Transformador

Las instalaciones provisionales de obra necesitan transformador siempre que su acometida tenga que realizarse desde líneas de media tensión (500 V, 3.000 V o más).

Un técnico competente decide el modelo del transformador, sus características (potencia en kVA), las bobinas que han de emplearse en función de las tensiones de entrada y salida y el aislamiento y características de los circuitos de entrada y salida.

El transformador se calienta como efecto secundario de su misión, por lo que dispone de sistemas de refrigeración (aletas, baño de aceite) que se mantienen activos, siguiendo las instrucciones del fabricante o del técnico competente.

Los bornes de conexión del circuito de alimentación, y el transformador en su conjunto, quedan fuera del alcance de contactos involuntarios o accidentales, protegiéndolos con redes metálicas a suficiente distancia, o situándolos en altura, fuera del recorrido (no sólo del previsto, sino de cualquiera posible) de máquinas o herramientas (escaleras portátiles, pértigas).

Las bobinas secundarias que no se emplean se ponen en cortocircuito y se conectan a tierrapara evitar las altas tensiones inducidas que se producirán si sus bornes quedan abiertos.

Se comprueba que:

- Los aisladores están en buen estado, sin golpes, fisuras ni roturas.
- El nivel del aceite de refrigeración es el indicado y la ausencia de fugas y machas deaceite.
- La caja de bornes secundarios es estanca, para que no entre agua de lluvia.

Todas las conexiones e inspecciones del transformador se realizan previa desconexión del circuito de entrada.

La elevación del transformador se hace suspendiéndolo de las anillas previstas, nunca de las aletas de refrigeración, los bornes de conexión ni los aisladores.

2.6.2.6. Extintor portátil

La rapidez es esencial en la extinción, por lo que el extintor debe estar en lugar visible, conocido y al alcance de todos.

Todos deben saber usarlo. Los extintores deben reflejar el tipo de incendio que se prevea en la obra y contar con gráficos bien visibles que enseñen a manejarlo en una rápida ojeada.Están en buenas condiciones de uso, por lo que deben ser revisados con la frecuencia adecuada.

- Extintores de polvo seco: Son considerados el retardador de incendios universal. Contra fuegos de papel, madera, plásticos, basura o tejidos (clase A), líquidos inflamables, como lubricantes industriales, combustible y pinturas (clase B), y equipo eléctrico (clase C).
- Extintores de productos químicos húmedos: Para apagar aceites comestibles o grasas, pero no derivados del petróleo y fuegos de la clase A.
- Extintores de dióxido de carbono: Contra casi todo tipo de fuegos, menos los de gases inflamables. Pero si el combustible sigue caliente, en cuanto se despeja el dióxido de carbono y se renueva el aire, puede volver a arder espontáneamente. Puede asfixiar en espacios cerrados: es importante salir del recinto y cerrar la puertatan pronto como se haya extinguido el fuego.

2.6.2.7. Red cubierta de anclaje

Se compone de una malla de polietileno alta densidad. Protege contra las caídas de altura de personas y objetos.

Debe ir sujeta a un soporte metálico fijado a la estructura del edificio.

Se dejará un espacio de seguridad entre la red y el suelo, o entre la red y cualquier obstáculo,en razón de la elasticidad de la misma.

2.6.2.8. Trompa de vertido de escombros

Acumulación y transporte de escombros: En cada planta hay un depósito para la recogida de escombros y materiales sobrantes. Los escombros se recogen y descargan de planta en planta,

o se vierten a través de trompas. Los escombros de cada planta se vierten diariamente en el depósito general de la obra.

Cuando el vertido se realiza por bajante, se cubre todo el perímetro del contenedor o la superficie no ocupada por la bajante. Nunca se arrojan escombros directamente desde los andamios. Cada trabajador es responsable del orden y la limpieza de su puesto de trabajo y del recinto de la obra. Las empuñaduras de las carretillas tienen salvamanos.

Hay rampas que permiten y facilitan la circulación de las carretillas. No se abandonan materiales o herramientas en accesos, lugares de paso o sobre los andamios. Las tablas y tablones con clavos se almacenan en un lugar específico en el que se les retirarán los clavos.La zona de vertido de los escombros tiene protección de barandillas, con listón intermedio y rodapié, y está señalizada la prohibición del paso.

Cuando se produce un derrame de carburante, grasa u otros líquidos, los charcos se limpiany se cubren con arena. Se riegan los escombros para evitar polvaredas.

El transporte de materiales sobrantes de las plantas al depósito general se hace con sacos, canaletas, espuertas, etcétera. Hay cubos para diferentes materiales y reciclajes (desperdicios, papeles, botellas, etc.) en los comedores y locales de descanso.

2.6.3. Protecciones individuales

2.6.3.1. Conformidad de los equipos de protección individual

Es el Real Decreto 1407/1992 el que, en función de la categoría asignada por el fabricante del EPI, establece el trámite necesario para la comercialización del mismo dentro del ámbitode la Comunidad Europea.

Declaración de conformidad

Los modelos de EPI clasificados como categoría I por el fabricante pueden ser fabricados y comercializados cumpliendo los siguientes requisitos:

- El fabricante, o su mandatario establecido en la Comunidad Económica Europea (CEE), habrá de reunir la documentación técnica del equipo, a fin de someterla, si así le fuese solicitado, a la Administración competente.
- El fabricante elaborará una declaración de conformidad, a fin de poderla presentar,si así le fuese solicitado, a la Administración competente.
- El fabricante estampará en cada EPI y su embalaje de forma visible, legible e indeleble, durante el período de duración previsible de dicho EPI, la marca CE.

Cuando por las dimensiones reducidas de un EPI o componente de EPI no se pueda inscribirtoda o parte de la marca necesaria, habrá de mencionarla en el embalaje y en el folleto informativo del fabricante.

Documentación técnica del fabricante

La documentación deberá incluir todos los datos de utilidad sobre los medios aplicados porel fabricante con el fin de lograr la conformidad de los EPI a las exigencias esenciales

correspondientes. Deberá incluir:

- Un expediente técnico de fabricación formado por:
  - Los planos de conjunto y de detalle del EPI, acompañados, si fuera necesario, delas notas de los cálculos y de los resultados de ensayos de prototipos dentro delos límites de lo que sea necesario para comprobar que se han respetado las exigencias esenciales.
  - La lista exhaustiva de las exigencias esenciales de seguridad y de sanidad, y de las normas armonizadas y otras especificaciones técnicas que se han tenido en cuenta en el momento de proyectar el modelo.
- La descripción de los medios de control y de prueba realizados en el lugar defabricación.
- Un ejemplar del folleto informativo del EPI.

2.6.3.2. Marcado CE en los equipos de protección individual

La Directiva 89/686/CEE y el Real Decreto 1407/1992, de 20 de noviembre establecen en el Anexo II unos Requisitos Esenciales de Seguridad que deben cumplir los Equipos de Protección Individual según les sea aplicable, para garantizar que ofrecen un nivel adecuadode seguridad según los riesgos para los que están destinados a proteger.

El marcado «CE» se colocará y permanecerá colocado en cada uno de los EPI fabricados de manera visible, legible e indeleble, durante el período de duración previsible o de vida útil del EPI; no obstante, si ello no fuera posible debido a las características del producto, el marcado «CE» se colocará en el embalaje.

A continuación, se presenta el listado con los posibles equipos de protección individual utilizados en la obra, siendo posible su ampliación a criterio del coordinador de seguridad y salud y/o las necesidades del proyecto.

2.6.3.3. Casco de seguridad con arnés de adaptación, homologado. Certificado CE. s/ R.D. 773/97.

2.6.3.4. Pantalla manual de seguridad para soldador, con fijación en cabeza. Certificado CE. s/ R.D. 773/97.

2.6.3.5. Gafas protectoras contra impactos, incoloras, homologadas. Certificado CE. s/ R.D. 773/97.

2.6.3.6. Gafas antipolvo antiempañables, panorámicas. Certificado CE. s/R.D. 773/97. 2.6.3.7 Semi-mascarilla antipolvo un filtro. Certificado CE. s/ R.D. 773/97.

2.6.3.7. Filtro recambio de mascarilla para polvo y humos, homologado. Certificado CE. s/ R.D. 773/97.

2.6.3.8. Protectores auditivos con arnés a la nuca. Certificado CE. s/ R.D.773/97.

2.6.3.9. Mono de trabajo de una pieza de poliéster-algodón. Amortizable en un uso. Certificado CE; s/R.D. 773/97.

2.6.3.10. Traje impermeable de trabajo, 2 piezas de PVC. Amortizable en un uso. Certificado CE; s/ R.D.773/97.

2.6.3.11. Peto reflectante de seguridad personal en colores amarillo y rojo. Certificado CE; s/ R.D. 773/97.

2.6.3.12. Arnés de seguridad con amarre dorsal, torsal y lateral fabricado con cincha de nylon de 45mm. y elementos metálicos de acero inoxidable, homologado CE. Amortizable en 5 obras; s/R.D. 773/97.

2.6.3.13. Cinturón de seguridad de sujeción, homologado. Certificado CE; s/R.D. 773/97.

2.6.3.14. Par de guantes de uso general de lona y serraje. Certificado CE; s/ R.D. 773/97. 2.6.3.16 Par de guantes para soldador. Certificado CE; s/ R.D. 773/97.

2.6.3.15. Par de botas de seguridad con puntera metálica para refuerzo y plantillas de acero flexibles, para riesgos de perforación. Certificado CE; s/ R.D. 773/97.

2.6.3.16. Par de botas altas de agua. Certificado CE; s/ R.D. 773/97.

2.6.4. Señalización

A pesar de la existencia de una norma reglamentaria específica previa como era el RD 1403/1986, de 9 de mayo, lo cierto era que esta normativa era deficiente tanto en contenido como en aplicación práctica, por ello, esta situación se intenta paliar con el RD 485/1997, de 14 de abril sobre disposiciones mínimas en Materia de Señalización de seguridad y salud en el Trabajo, que deroga el RD 1403/1986, y que es aplicable a todos los lugares de trabajo, incluidas obras de construcción siendo fruto de la transposición de la Directiva 92/58/CEE que establece las disposiciones mínimas en materia de señalización, esta normativa se completa con la Guía Técnica que elaborará el Instituto de seguridad y salud en el Trabajo

El RD fija las medidas que deben adoptarse para garantizar que en los lugares de trabajo existe una adecuada señalización de Seguridad y salud, y que serán adoptados obligatoriamente siempre que los riesgos no puedan evitarse o limitarse suficientemente a través de los medios técnicos de protección colectiva, o de medidas o procedimientos de organización del trabajo.

La señalización de seguridad y salud se define como «la señalización que, referida a un objeto, actividad o situación determinadas, proporcione una indicación o una obligación relativa a la seguridad o la salud en el trabajo mediante una señal en forma de panel, un color, una señal luminosa o acústica, una comunicación verbal o una gestual según proceda».

Hay señales de prohibición, de obligación, de salvamento o de socorro, señales indicativas, en forma de panel, señales adicionales (que son utilizadas junto a otras),símbolos o pictogramas, señales luminosas, acústicas, comunicación verbal y señales gestuales.

Quedan excluidos del ámbito del RD

- La señalización prevista por la normativa sobre comercialización de productos y equipos y sobre sustancias y preparados peligrosos, salvo disposición expresa en contrario
- La señalización utilizada para la regulación del tráfico por carretera, ferroviario, fluvial, marítimo y aéreo, salvo que dichos tráficos se efectúen en los lugares de trabajo, y la utilizada por buques, vehículos y aeronaves militares

También se establece la obligación de que exista en los lugares de trabajo una señalización de seguridad y salud que cumpla lo establecido en los Anexos del RD, obligación que recae con carácter general en el empresario.

Además, se establecen los criterios para el empleo de la señalización de seguridad y salud, la cual deberá utilizarse siempre que, por el análisis de riesgos existentes, de las situaciones de emergencia previsibles y de las medidas preventivas adoptadas sea necesario:

- Llamar la atención del trabajador sobre la existencia de determinados riesgos, prohibiciones u obligaciones.
- Alertar a los trabajadores cuando se produzca una determinada situación de

emergencia que requiera medidas urgentes de protección o evacuación.
- Facilitar a los trabajadores la localización e identificación de determinados medios o instalaciones de protección, evacuación, emergencia o primeros auxilios.
- Orientar o guiar a los trabajadores que realicen determinadas maniobras peligrosas.

La señalización no es una medida sustitutoria de las medidas técnicas y organizativas de protección colectiva que el empresario debe obligatoriamente establecer en los lugares de trabajo, debiendo ser utilizada cuando por medio de estas medidas no haya sido posible eliminar o reducir suficientemente los riesgos. De la misma manera, la señalización tampoco es una medida sustitutoria de la formación e información a los trabajadores en materia de seguridad y salud en el trabajo.

El empresario tiene la obligación de informar y de formar a los trabajadores en materia de señalización de seguridad y salud en el trabajo, todo ello sin perjuicio de lo establecido en la LPRL a este respecto. La información que reciban los trabajadores se referirá a las medidas a tomar con relación a la utilización de dicha señalización de seguridad y salud.

Por otra parte, la formación que se imparta a los trabajadores deberá ser adecuada, haciendo especial hincapié en el significado de las señales, con especial atención a los mensajes verbales y gestuales, y en los comportamientos que los trabajadores deben adoptar en función de dichas señales.

Listado de señalizaciones:

- Materias comburentes
- Materias corrosivas
- Materias explosivas
- Materias inflamables
- Materias nocivas o irritante
- Materias tóxicas
- Riesgo eléctrico
- Caídas de objetos
- Maquinaria pesada
- Protección obligatoria de la cabeza
- Protección obligatoria de la cara
- Protección obligatoria de la vista
- Protección obligatoria de las manos
- Protección obligatoria de las vías respiratorias
- Protección obligatoria de los pies
- Protección obligatoria del cuerpo
- Vía obligatoria para peatones
- Prohibido fumar Señal: Prohibido fumar y encender fuego
- Prohibida la entrada a toda persona ajena a la obra
- Extintor

2.7. Normas de certificación y seguridad

2.7.1. Valoraciones económicas

La valoración económica del plan de seguridad y salud en el trabajo no podrá implicar disminución del importe total del estudio de seguridad adjudicado, según expresa el RD. 1627/1997 en su artículo 7, punto 1, segundo párrafo.

En el supuesto de que existan errores presupuestarios, se justificarán ante el Coordinador en materia de seguridad y salud durante la ejecución de la obra y se procederá conforme a las normas establecidas para las liquidaciones de obra.

2.7.2. Certificaciones

El Coordinador de seguridad y salud o la Dirección Facultativa en su caso, serán los encargados de revisar y aprobar las certificaciones correspondientes al Plan de seguridad y salud y serán presentadas a la propiedad para su abono.

Una vez al mes se extenderá la valoración de las partidas que, en materia de seguridad se hubiesen realizado en la obra; la valoración se hará de acuerdo con los precios contratados por la Propiedad; esta valoración será visada y aprobada por la Dirección Facultativa y sin este requisito no podrá ser abonada por la Propiedad.

El abono de las certificaciones expuestas en el párrafo anterior, se hará conforme se estipule en el contrato de obra.

En caso de ejecutar en obra unidades no previstas en el presente presupuesto, se definirán total y correctamente las mismas y se les adjudicará el precio correspondiente procediéndose para su abono, tal y como se indica en los apartados anteriores.

Las partidas presupuestarias de seguridad y salud son parte integrante del proyecto de ejecución por definición expresa de la legislación vigente.

3.MEDICIONES

Presupuesto parcial nº 17 Seguridad y salud

Nº	Ud	Descripción	Medición
17.1	Ud	Tapa provisional para arquetas de 60x60 cm., huecos de forjado o asimilables, formada mediante tablones de madera de 20x5 cms. armados mediante clavazón, incluso colocación, (amortizable en dos usos).	
		Total ud .....:	4,000
17.2	Ud	Tapa provisional para arquetas de 50x50 cm., huecos de forjado o asimilables, formada mediante tablones de madera de 20x5 cms. armados mediante clavazón, incluso colocación, (amortizable en dos usos).	
		Total ud .....:	12,000
17.3	M.	valla realizada con paneles prefabricados de 3.50x2,00 m. de altura, enrejados de 80x150 mm. y D=8 mm. de espesor, soldado a tubos de D=40 mm. y 1,50 mm. de espesor, todo ello galvanizado en caliente, sobre soporte de hormigón prefabricado separados cada 3,50 m., incluso accesorios de fijación, p.p. de portón, considerando un tiempo mínimo de 12 meses de alquiler, incluso montaje y desmontaje. s/ R.D. 486/97.	
		Total m. .....:	300,000
17.4	M2	Protección de paso de vehículos sobre zanjas abiertas en calzada, mediante plataforma de chapa de acero de 10 mm de espesor, amortizable en 150 usos, apoyada sobre manta antirroca como material amortiguador. Incluso cemento rápido para evitar la vibración de la chapa al paso de los vehículos.	
		Total m2 .....:	40,000
17.5	M2	Sistema S de red de seguridad fija, colocada horizontalmente, formado por: red de seguridad UNE-EN 1263-1 S A2 M100 D M, de poliamida de alta tenacidad, anudada, de color blanco, para cubrir huecos horizontales de superficie comprendida entre 250 y 500 m². Incluso cuerda de unión de polipropileno, para unir las redes y pletinas y ganchos de acero galvanizado, para atar la cuerda perimetral de las redes a un soporte adecuado.	
		Total m2 .....:	1.500,000
17.6	Ud	Extintor de polvo químico ABC polivalente antibrasa de eficacia 34A/233B, de 6 kg. de agente extintor, con soporte, manómetro comprobable y boquilla con difusor. Medida la unidad instalada. s/ R.D. 486/97.	
		Total ud .....:	8,000
17.7	Ms	Mes de alquiler (min. 12 meses) de caseta prefabricada para almacén de obra de 4,53x2,30x2,30 m. de 10,40 m2. Estructura de acero galvanizado. Cubierta y cerramiento lateral de chapa galvanizada trapezoidal de 0,6 mm. reforzada con perfiles de acero, interior prelacado. Suelo de aglomerado hidrófugo de 19 mm. puerta de acero de 1mm., de 0,80x2,00 m. pintada con cerradura. Ventana fija de cristal de 6 mm., recercado con perfil de goma. Con transporte a 50 km.(ida). Entrega y recogida del módulo con camión grúa. Según R.D. 486/97.	
		Total ms .....:	4,000
17.8	Ms	Mes de alquiler (min. 12 meses) de caseta prefabricada para aseo en obra de 3,25x1,90x2,30 m. Estructura y cerramiento de chapa galvanizada pintada, aislamiento de poliestireno expandido. Ventana de 0,84x0,80 m. de aluminio anodizado, corredera, con reja y luna de 6 mm., termo eléctrico de 50 l.; placa turca, placa de ducha y lavabo de tres grifos, todo de fibra de vidrio con terminación de gel-coat blanco y pintura antideslizante, suelo contrachapado hidrófugo con capa fenolítica antideslizante y resistente al desgaste , puerta madera en turca, cortina en ducha. Tubería de polibutileno aislante y resistente a incrustaciones, hielo y corrosiones, instalación eléctrica monofásica a 220 V. con automático. Con transporte a 50 km.(ida). Entrega y recogida del módulo con camión grúa. Según R.D. 486/97.	

Nº	Ud	Descripción	Medición
		Total ms .....:	**2,000**
17.9	**Ud**	**Ejecución de caseta para vestuario provisional de obra para 10 trabajadores de 20 m2. de superficie formada por: Preparación del terreno, excavación de zanjas, cimentación de hormigón armado, solera de 10 cm. sobre encachado de piedra, cerramiento de bloque de hormigón gris 40x20x20 a una cara vista enfoscado en su interior con mortero de cemento 1/4, distribución de aseos y ducha con tabicón de L.H.D., alicatado de azulejo blanco 15x15, falso techo de placas aislantes, cubierta de placa de fibrocemento g.o. gris sobre perfilería metálica, puertas en madera enrasada pintadas, 2 ventanas correderas de aluminio natural con luna de 6 mm. i. pintura, instalación eléctrica, fontanería y saneamiento para lavabo, inodoro y plato de ducha, p.p. de desmontaje, demolición y ayudas de albañilería, totalmente terminada. Según R.D. 486/97.**	
		Total ud .....:	**1,000**
17.10	**Ms**	**Mes de alquiler (min. 12 meses) de caseta prefabricada para dos despachos de oficina en obra de 6,00x2,33x2,30 m. de 14,00 m2. Estructura y cerramiento de chapa galvanizada pintada, aislamiento de poliestireno expandido autoextinguible, interior con tablero melaminado en color. Cubierta en arco de chapa galvanizada ondulada reforzada con perfil de acero; fibra de vidrio de 60 mm., interior con tablex lacado. Suelo de aglomerado revestido con PVC continuo de 2 mm., y poliestireno de 50 mm. con apoyo en base de chapa galvanizada de sección trapezoidal. Puerta de 0,8x2 m., de chapa galvanizada de 1 mm., reforzada y con poliestireno de 20 mm., picaporte y cerradura. Ventana aluminio anodizado corredera, contraventana de acero galvanizado. Instalación eléctrica a 220 V., toma de tierra, automático, 2 fluorescentes de 40 W., enchufes para 1500 W. y punto luz exterior de 60 W. Con transporte a 50 km.(ida). Entrega y recogida del módulo con camión grúa. Según R.D. 486/97.**	
		Total ms .....:	**4,000**
17.11	**Ud**	**Chaleco de obras reflectante. Amortizable en 5 usos. Certificado CE. s/ R.D. 773/97.**	
		Total ud .....:	**25,000**
17.12	**Ud**	**Semi-mascarilla antipolvo un filtro, (amortizable en 3 usos). Certificado CE. s/ R.D. 773/97.**	
		Total ud .....:	**100,000**
17.13	**Ud**	**Par de botas de seguridad con puntera metálica para refuerzo y plantillas de acero flexibles, para riesgos de perforación, (amortizables en 3 usos). Certificado CE; s/ R.D. 773/97.**	
		Total ud .....:	**25,000**
17.14	**Ud**	**Par guantes de goma látex-anticorte. Certificado CE; s/ R.D. 773/97.**	
		Total ud .....:	**100,000**
17.15	**Ud**	**Par de guantes para soldador, (amortizables en 3 usos). Certificado CE; s/ R.D. 773/97.**	
		Total ud .....:	**10,000**
17.16	**Ud**	**Gafas protectoras contra impactos, incoloras, homologadas, (amortizables en 3 usos). Certificado CE. s/ R.D. 773/97.**	
		Total ud .....:	**25,000**
17.17	**Ud**	**Casco de seguridad con arnés de adaptación, homologado. Certificado CE. s/ R.D. 773/97.**	
		Total ud .....:	**25,000**

Nº	Ud	Descripción	Medición
17.18	Ud	Juego de tapones antiruido de silicona ajustables. Certificado CE. s/ R.D. 773/97.	
		Total ud .....:	100,000
17.19	Ud	Par de polainas para soldador, (amortizables en 3 usos). Certificado CE; s/ R.D. 773/97.	
		Total ud .....:	10,000
17.20	Ud	Botiquín de urgencia para obra con contenidos mínimos obligatorios, colocado.	
		Total ud .....:	5,000
17.21	Ud	Camilla portátil para evacuaciones. (amortizable en 10 usos).	
		Total ud .....:	2,000
17.22	Ud	Percha para aseos o duchas en aseos de obra, colocada.	
		Total ud .....:	15,000
17.23	Ud	Portarollos industrial con cerradura de seguridad, colocado, (amortizable en 3 usos).	
		Total ud .....:	2,000
17.24	Ud	Dosificador de jabón de uso industrial de 1 l. de capacidad, con dosificador de jabón colocada (amortizable en 3 usos).	
		Total ud .....:	2,000
17.25	Ud	Secamanos eléctrico por aire, colocado (amortizable en 3 usos).	
		Total ud .....:	2,000
17.26	Ud	Banco de madera con capacidad para 5 personas, (amortizable en 2 usos).	
		Total ud .....:	2,000
17.27	Ud	Cubo para recogida de basuras. (amortizable en 2 usos).	
		Total ud .....:	1,000
17.28	Ud	Mono de trabajo de una pieza de poliéster-algodón. Amortizable en un uso. Certificado CE; s/ R.D. 773/97.	
		Total ud .....:	25,000
17.29	Ud	Mandil de cuero para soldador, (amortizable en 3 usos). Certificado CE; s/ R.D. 773/97.	
		Total ud .....:	10,000
17.30	Ud	Pantalla de seguridad para soldador, con fijación en cabeza, (amortizable en 5 usos). Certificado CE. s/ R.D. 773/97.	

Nº	Ud	Descripción	Medición
		Total ud .....:	**10,000**
17.31	**Ud**	**Cinturón de seguridad de suspensión con 2 puntos de amarre, (amortizable en 4 usos). Certificado CE; s/ R.D. 773/97.**	
		Total ud .....:	**15,000**
17.32	**Ud**	**Arnés de seguridad con amarre dorsal y torsal fabricado con cintura ligera de cierre rectangular con cincha de nylon de 45 mm. y elementos metálicos de acero inoxidable, incluso dispositivo anticaídas de cierre y apertura de doble seguridad, deslizamiento manual y bloqueo automático, equipado con cuerda de nylon D=15,5 mm. y 20 m. de longitud, mosquetón de amarre de 24 mm., homologado CE. Amortizable en 5 obras. Recomendado para trabajos en pendiente con amarre fijo; s/ R.D. 773/97.**	
		Total ud .....:	**15,000**
17.33	**Ud**	**Toma de tierra para una resistencia de tierra R</=80 Ohmios y una resistividad R=100 Oh.m. formada por arqueta de ladrillo macizo de 38x38x30 cm., tapa de hormigón armado, tubo de PVC de D=75 mm., electrodo de acero cobrizado 14,3 mm. y 100 cm., de profundidad hincado en el terreno, línea de t.t. de cobre desnudo de 35 mm2., con abrazadera a la pica, totalmente instalado. MI BT 039.**	
		Total ud .....:	**1,000**
17.34	**Ud**	**Transformador de seguridad con primario para 220 V. y secundario de 24 V. y 1000 W., totalmente instalado, (amortizable en 5 usos). s/ R.D. 486/97.**	
		Total ud .....:	**1,000**
17.35	**M.**	**Barandilla de protección de perímetros de andamios tubulares, compuesta por pasamanos y travesaño intermedio formado por tubo 50 mm. (amortizable en 20 usos), pintado en amarillo y negro, y rodapié de madera de pino de 15x5 cm. (amortizable en 3 usos), incluso colocación y desmontaje. s/ R.D. 486/97.**	
		Total m. .....:	**100,000**
17.36	**Ud**	**Placa señalización-información en PVC serigrafiado de 50x30 cm., fijada mecanicamente, amortizable en 3 usos, incluso colocación y desmontaje. s/ R.D. 485/97.**	
		Total ud .....:	**50,000**
17.37	**Ud**	**Cono de balizamiento reflectante irrompible de 50 cm. de diámetro, (amortizable en cinco usos). s/ R.D. 485/97.**	
		Total ud .....:	**30,000**

4.Presupuestos

Presupuesto parcial nº 17 Seguridad y salud

Nº	Ud	Descripción	Medición	Precio	Importe
17.1	Ud	Tapa provisional para arquetas de 60x60 cm., huecos de forjado o asimilables, formada mediante tablones de madera de 20x5 cms. armados mediante clavazón, incluso colocación, (amortizable en dos usos).			
		Total ud .....:	4,000	14,85	59,40
17.2	Ud	Tapa provisional para arquetas de 50x50 cm., huecos de forjado o asimilables, formada mediante tablones de madera de 20x5 cms. armados mediante clavazón, incluso colocación, (amortizable en dos usos).			
		Total ud .....:	12,000	8,14	97,68
17.3	M.	valla realizada con paneles prefabricados de 3.50x2,00 m. de altura, enrejados de 80x150 mm. y D=8 mm. de espesor, soldado a tubos de D=40 mm. y 1,50 mm. de espesor, todo ello galvanizado en caliente, sobre soporte de hormigón prefabricado separados cada 3,50 m., incluso accesorios de fijación, p.p. de portón, considerando un tiempo mínimo de 12 meses de alquiler, incluso montaje y desmontaje. s/ R.D. 486/97.			
		Total m. .....:	300,000	2,85	855,00
17.4	M2	Protección de paso de vehículos sobre zanjas abiertas en calzada, mediante plataforma de chapa de acero de 10 mm de espesor, amortizable en 150 usos, apoyada sobre manta antirroca como material amortiguador. Incluso cemento rápido para evitar la vibración de la chapa al paso de los vehículos.			
		Total m2 .....:	40,000	3,66	146,40
17.5	M2	Sistema S de red de seguridad fija, colocada horizontalmente, formado por: red de seguridad UNE-EN 1263-1 S A2 M100 D M, de poliamida de alta tenacidad, anudada, de color blanco, para cubrir huecos horizontales de superficie comprendida entre 250 y 500 m². Incluso cuerda de unión de polipropileno, para unir las redes y pletinas y ganchos de acero galvanizado, para atar la cuerda perimetral de las redes a un soporte adecuado.			
		Total m2 .....:	1.500,000	12,66	18.990,00
17.6	Ud	Extintor de polvo químico ABC polivalente antibrasa de eficacia 34A/233B, de 6 kg. de agente extintor, con soporte, manómetro comprobable y boquilla con difusor. Medida la unidad instalada. s/ R.D. 486/97.			
		Total ud .....:	8,000	48,67	389,36
17.7	Ms	Mes de alquiler (min. 12 meses) de caseta prefabricada para almacén de obra de 4,53x2,30x2,30 m. de 10,40 m2. Estructura de acero galvanizado. Cubierta y cerramiento lateral de chapa galvanizada trapezoidal de 0,6 mm. reforzada con perfiles de acero, interior prelacado. Suelo de aglomerado hidrófugo de 19 mm. puerta de acero de 1mm., de 0,80x2,00 m. pintada con cerradura. Ventana fija de cristal de 6 mm., recercado con perfil de goma. Con transporte a 50 km.(ida). Entrega y recogida del módulo con camión grúa. Según R.D. 486/97.			
		Total ms .....:	4,000	237,80	951,20
17.8	Ms	Mes de alquiler (min. 12 meses) de caseta prefabricada para aseo en obra de 3,25x1,90x2,30 m. Estructura y cerramiento de chapa galvanizada pintada, aislamiento de poliestireno expandido. Ventana de 0,84x0,80 m. de aluminio anodizado, corredera, con reja y luna de 6 mm., termo eléctrico de 50 l.; placa turca, placa de ducha y lavabo de tres grifos, todo de fibra de vidrio con terminación de gel-coat blanco y pintura antideslizante, suelo contrachapado hidrófugo con capa fenolítica antideslizante y resistente al desgaste , puerta madera en turca, cortina en ducha. Tubería de polibutileno aislante y resistente a incrustaciones, hielo y corrosiones, instalación eléctrica monofásica a 220 V. con automático. Con transporte a 50 km.(ida). Entrega y recogida del módulo con camión grúa. Según R.D. 486/97.			
		Total ms .....:	2,000	196,60	393,20

Presupuesto parcial nº 17 Seguridad y salud

Nº	Ud	Descripción	Medición	Precio	Importe
17.9	Ud	**Ejecución de caseta para vestuario provisional de obra para 10 trabajadores de 20 m2. de superficie formada por: Preparación del terreno, excavación de zanjas, cimentación de hormigón armado, solera de 10 cm. sobre encachado de piedra, cerramiento de bloque de hormigón gris 40x20x20 a una cara vista enfoscado en su interior con mortero de cemento 1/4, distribución de aseos y ducha con tabicón de L.H.D., alicatado de azulejo blanco 15x15, falso techo de placas aislantes, cubierta de placa de fibrocemento g.o. gris sobre perfilería metálica, puertas en madera enrasada pintadas, 2 ventanas correderas de aluminio natural con luna de 6 mm. i. pintura, instalación eléctrica, fontanería y saneamiento para lavabo, inodoro y plato de ducha, p.p. de desmontaje, demolición y ayudas de albañilería, totalmente terminada. Según R.D. 486/97.**			
		Total ud .....:	**1,000**	**7.724,16**	**7.724,16**
17.10	Ms	**Mes de alquiler (min. 12 meses) de caseta prefabricada para dos despachos de oficina en obra de 6,00x2,33x2,30 m. de 14,00 m2. Estructura y cerramiento de chapa galvanizada pintada, aislamiento de poliestireno expandido autoextinguible, interior con tablero melaminado en color. Cubierta en arco de chapa galvanizada ondulada reforzada con perfil de acero; fibra de vidrio de 60 mm., interior con tablex lacado. Suelo de aglomerado revestido con PVC continuo de 2 mm., y poliestireno de 50 mm. con apoyo en base de chapa galvanizada de sección trapezoidal. Puerta de 0,8x2 m., de chapa galvanizada de 1 mm., reforzada y con poliestireno de 20 mm., picaporte y cerradura. Ventana aluminio anodizado corredera, contraventana de acero galvanizado. Instalación eléctrica a 220 V., toma de tierra, automático, 2 fluorescentes de 40 W., enchufes para 1500 W. y punto luz exterior de 60 W. Con transporte a 50 km.(ida). Entrega y recogida del módulo con camión grúa. Según R.D. 486/97.**			
		Total ms .....:	**4,000**	**279,00**	**1.116,00**
17.11	Ud	**Chaleco de obras reflectante. Amortizable en 5 usos. Certificado CE. s/ R.D. 773/97.**			
		Total ud .....:	**25,000**	**3,55**	**88,75**
17.12	Ud	**Semi-mascarilla antipolvo un filtro, (amortizable en 3 usos). Certificado CE. s/ R.D. 773/97.**			
		Total ud .....:	**100,000**	**2,33**	**233,00**
17.13	Ud	**Par de botas de seguridad con puntera metálica para refuerzo y plantillas de acero flexibles, para riesgos de perforación, (amortizables en 3 usos). Certificado CE; s/ R.D. 773/97.**			
		Total ud .....:	**25,000**	**6,17**	**154,25**
17.14	Ud	**Par guantes de goma látex-anticorte. Certificado CE; s/ R.D. 773/97.**			
		Total ud .....:	**100,000**	**1,85**	**185,00**
17.15	Ud	**Par de guantes para soldador, (amortizables en 3 usos). Certificado CE; s/ R.D. 773/97.**			
		Total ud .....:	**10,000**	**1,99**	**19,90**
17.16	Ud	**Gafas protectoras contra impactos, incoloras, homologadas, (amortizables en 3 usos). Certificado CE. s/ R.D. 773/97.**			
		Total ud .....:	**25,000**	**0,69**	**17,25**

Nº	Ud	Descripción	Medición	Precio	Importe
17.17	Ud	Casco de seguridad con arnés de adaptación, homologado. Certificado CE. s/ R.D. 773/97.			
		Total ud .....:	25,000	2,06	51,50
17.18	Ud	Juego de tapones antiruido de silicona ajustables. Certificado CE. s/ R.D. 773/97.			
		Total ud .....:	100,000	1,02	102,00
17.19	Ud	Par de polainas para soldador, (amortizables en 3 usos). Certificado CE; s/ R.D. 773/97.			
		Total ud .....:	10,000	2,22	22,20
17.20	Ud	Botiquín de urgencia para obra con contenidos mínimos obligatorios, colocado.			
		Total ud .....:	5,000	83,89	419,45
17.21	Ud	Camilla portátil para evacuaciones. (amortizable en 10 usos).			
		Total ud .....:	2,000	10,01	20,02
17.22	Ud	Percha para aseos o duchas en aseos de obra, colocada.			
		Total ud .....:	15,000	4,84	72,60
17.23	Ud	Portarollos industrial con cerradura de seguridad, colocado, (amortizable en 3 usos).			
		Total ud .....:	2,000	8,18	16,36
17.24	Ud	Dosificador de jabón de uso industrial de 1 l. de capacidad, con dosificador de jabón colocada (amortizable en 3 usos).			
		Total ud .....:	2,000	10,87	21,74
17.25	Ud	Secamanos eléctrico por aire, colocado (amortizable en 3 usos).			
		Total ud .....:	2,000	37,90	75,80
17.26	Ud	Banco de madera con capacidad para 5 personas, (amortizable en 2 usos).			
		Total ud .....:	2,000	51,94	103,88
17.27	Ud	Cubo para recogida de basuras. (amortizable en 2 usos).			
		Total ud .....:	1,000	28,26	28,26
17.28	Ud	Mono de trabajo de una pieza de poliéster-algodón. Amortizable en un uso. Certificado CE; s/ R.D. 773/97.			
		Total ud .....:	25,000	11,33	283,25
17.29	Ud	Mandil de cuero para soldador, (amortizable en 3 usos). Certificado CE; s/ R.D. 773/97.			
		Total ud .....:	10,000	4,44	44,40

Presupuesto parcial nº 17 Seguridad y salud

Nº	Ud	Descripción	Medición	Precio	Importe
17.30	Ud	Pantalla de seguridad para soldador, con fijación en cabeza, (amortizable en 5 usos). Certificado CE. s/ R.D. 773/97.			
		Total ud .....:	10,000	2,06	20,60
17.31	Ud	Cinturón de seguridad de suspensión con 2 puntos de amarre, (amortizable en 4 usos). Certificado CE; s/ R.D. 773/97.			
		Total ud .....:	15,000	8,24	123,60
17.32	Ud	Arnés de seguridad con amarre dorsal y torsal fabricado con cintura ligera de cierre rectangular con cincha de nylon de 45 mm. y elementos metálicos de acero inoxidable, incluso dispositivo anticaídas de cierre y apertura de doble seguridad, deslizamiento manual y bloqueo automático, equipado con cuerda de nylon D=15,5 mm. y 20 m. de longitud, mosquetón de amarre de 24 mm., homologado CE. Amortizable en 5 obras. Recomendado para trabajos en pendiente con amarre fijo; s/ R.D. 773/97.			
		Total ud .....:	15,000	30,54	458,10
17.33	Ud	Toma de tierra para una resistencia de tierra R</=80 Ohmios y una resistividad R=100 Oh.m. formada por arqueta de ladrillo macizo de 38x38x30 cm., tapa de hormigón armado, tubo de PVC de D=75 mm., electrodo de acero cobrizado 14,3 mm. y 100 cm., de profundidad hincado en el terreno, línea de t.t. de cobre desnudo de 35 mm2., con abrazadera a la pica, totalmente instalado. MI BT 039.			
		Total ud .....:	1,000	93,17	93,17
17.34	Ud	Transformador de seguridad con primario para 220 V. y secundario de 24 V. y 1000 W., totalmente instalado, (amortizable en 5 usos). s/ R.D. 486/97.			
		Total ud .....:	1,000	33,56	33,56
17.35	M.	Barandilla de protección de perímetros de andamios tubulares, compuesta por pasamanos y travesaño intermedio formado por tubo 50 mm. (amortizable en 20 usos), pintado en amarillo y negro, y rodapié de madera de pino de 15x5 cm. (amortizable en 3 usos), incluso colocación y desmontaje. s/ R.D. 486/97.			
		Total m. .....:	100,000	4,30	430,00
17.36	Ud	Placa señalización-información en PVC serigrafiado de 50x30 cm., fijada mecanicamente, amortizable en 3 usos, incluso colocación y desmontaje. s/ R.D. 485/97.			
		Total ud .....:	50,000	3,37	168,50
17.37	Ud	Cono de balizamiento reflectante irrompible de 50 cm. de diámetro, (amortizable en cinco usos). s/ R.D. 485/97.			
		Total ud .....:	30,000	2,96	88,80
		Total presupuesto parcial nº 17 Seguridad y salud :			**34.098,34**

5. Planos

9

VALLADO PERIMETRAL DE OBRA

VESTUARIOS

ALMACENES

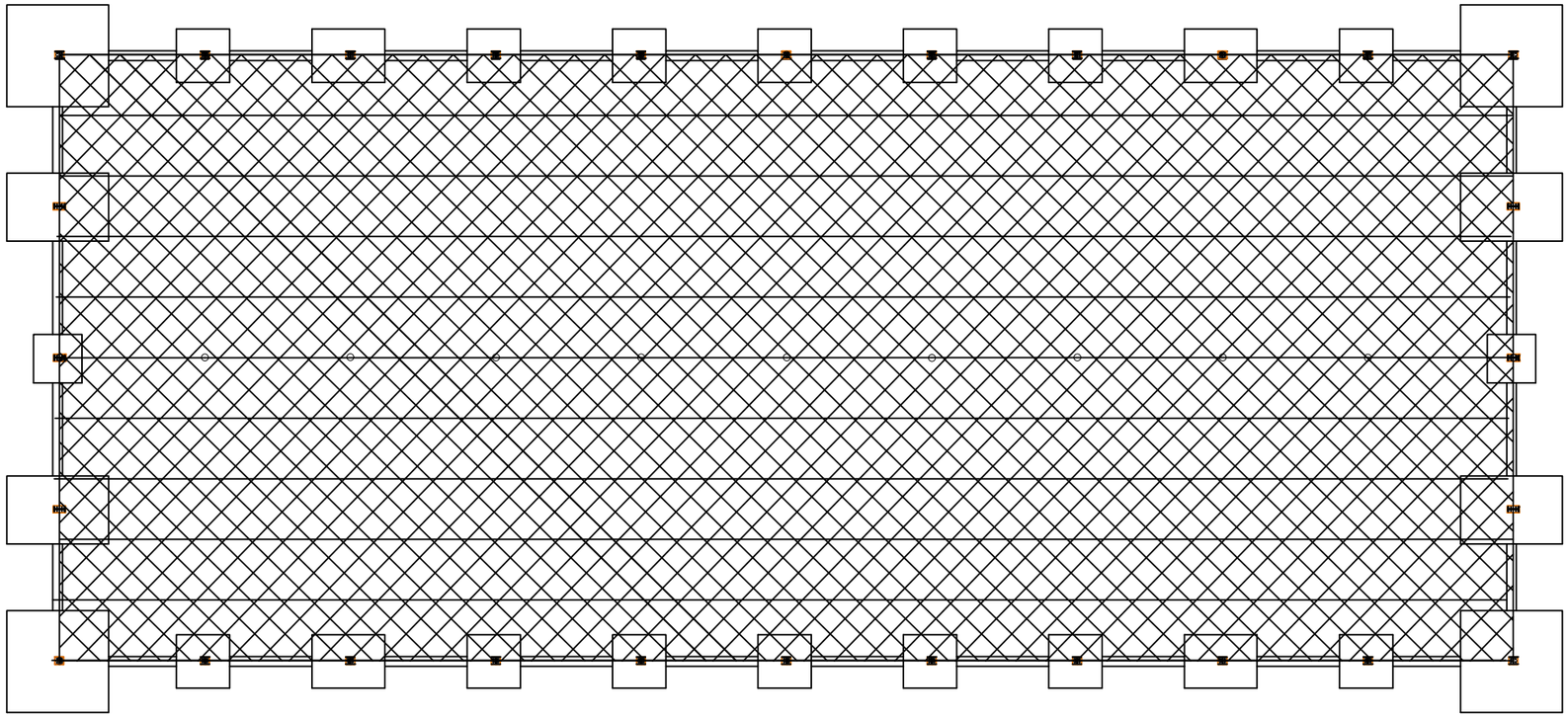
ASEOS

OFICINAS / SALAS COMEDOR

4

CÁLCULO Y DIMENSIONADO DE LA ESTRUCTURA DE UNA PLANTA INDUSTRIAL PARA ALMACENAMIENTO DE BOBINAS DE ACERO				Escuela de Ingeniería y Arquitectura Universidad Zaragoza
Dibujado	20/06/2022	Jorge Alonso Sanz	*Firma:*	
Titulo INSTALACIONES PROVISIONALES				*Grado en Ing. Mecánica*
				Escala 1:250
				Plano Nº 22.1

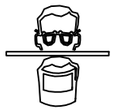
A2



CÁLCULO Y DIMENSIONADO DE LA ESTRUCTURA DE UNA PLANTA INDUSTRIAL PARA ALMACENAMIENTO DE BOBINAS DE ACERO				Escuela de Ingeniería y Arquitectura Universidad Zaragoza
Dibujado	20/06/2022	Jorge Alonso Sanz	*Firma:*	*Grado en Ing. Mecánica*
Titulo REDES DE PROTECCIÓN				*Escala* **1:250**
				Plano Nº **22.2**

A3

SEÑALES DE OBLIGACION

SIGNIFICADO DE LA SEÑAL	SIMBOLO	COLORES			SE AL DE SEGURIDAD
		DEL SIMBOLO	DE SEGURIDAD	DE CONTRASTE	
USO OBLIGATORIO DE CINTUROS DE SEGURIDAD		BLANCO	AZUL	BLANCO	
USO OBLIGATORIO DE GAFAS O PANTALLA		BLANCO	AZUL	BLANCO	
OBLIGACION DE LAVARSE LAS MANOS		BLANCO	AZUL	BLANCO	
USO OBLIGATORIO DE CALZAADO ANTIESTATICO		BLANCO	AZUL	BLANCO	
EMPUJAR NO ARRASTRAR		BLANCO	AZUL	BLANCO	
USO OBLIGATORIO OBLIGATORIO DE PANTALLA		BLANCO	AZUL	BLANCO	
USO OBLIGATORIO DE PROTECTOR AJUSTABLE		BLANCO	AZUL	BLANCO	

SIGNIFICADO DE LA SEÑAL	SIMBOLO	COLORES			SEÑAL DE SEGURIDAD
		DEL SIMBOLO	DE SEGURIDAD	DE CONTRASTE	
PROTECCION OBLIGATORIA DE VIAS RESPIRATORIAS		BLANCO	AZUL	BLANCO	
PROTECCION OBLIGATORIA DE LA CABEZA		BLANCO	AZUL	BLANCO	
PROTECCION OBLIGATORIA DEL OIDO		BLANCO	AZUL	BLANCO	
PROTECCION OBLIGATORIA DE LA VISTA		BLANCO	AZUL	BLANCO	
PROTECCION OBLIGATORIA DE LAS MANOS		BLANCO	AZUL	BLANCO	
PROTECCION OBLIGATORIA DE LOS PIES		BLANCO	AZUL	BLANCO	
USO OBLIGATORIO OBLIGATORIO DE PANTALLA		BLANCO	AZUL	BLANCO	
USO OBLIGATORIO OBLIGATORIO DE PROTECTOR AJUSTABLE		BLANCO	AZUL	BLANCO	

CÁLCULO Y DIMENSIONADO DE LA ESTRUCTURA DE UNA PLANTA INDUSTRIAL PARA ALMACENAMIENTO DE BOBINAS DE ACERO

Dibujado	20/06/2022	Jorge Alonso Sanz	*Firma:*

Titulo

SEÑALIZACIÓN

Escuela de Ingeniería y Arquitectura
Universidad Zaragoza
1542

Grado en Ing. Mecánica

Escala **1:250**

Plano Nº **22.3**

A3