

CUEVA DE ZUGARRAMURDI

MEJORA DE ACCESIBILIDAD

ANEJO Nº 1 CÁLCULO DE ESTRUCTURAS

1	OBJETO.....	1
2	CALCULOS ESTUCTURALES	1
3	CONCLUSIÓN	2

1 OBJETO

El objeto del Anejo nº1 es la comprobación estructural de las soluciones de pasarelas adoptadas en el Proyecto de mejora de accesibilidad de la Cueva de Zugarramurdi.

2 CALCULOS ESTUCTURALES

Se presenta a continuación el estudio estructural.

Anejo de cálculo estructural

1.	INTRODUCCIÓN.....	2
2.	PASARELA	3
2.1.	FORJADO COLABORANTE: HORMIGÓN Y CHAPA DE ACERO	3
2.1.1.	SOBRECARGAS ESTÁTICAS QUE AGUANTA.....	3
2.1.2.	ARMADO CON MALLAZO	4
2.1.3.	PESO PROPIO Y VOLUMEN DEL FORJADO COLABORANTE	4
2.1.4.	RESUMEN DE CARACTERÍSTICAS DEL FORJADO COLABORANTE	4
2.1.5.	HIPÓTESIS DE CÁLCULO.....	5
2.1.6.	CÁLCULOS ESTRUCTURALES.....	6
2.1.6.1.	DURANTE LA EJECUCIÓN.....	6
2.1.6.2.	EN ESTADO ENDURECIDO.....	6
2.1.7.	CONCLUSIÓN	7
3.	VIGAS BAJO FORJADO	8
3.1.	TIPO DE VIGA.....	8
3.2.	CARGAS	9
3.3.	CÁLCULO ESTRUCTURAL	9
3.3.1.	MOMENTO FLECTOR	9
3.3.2.	DEFORMACIÓN	9
3.4.	CONCLUSIÓN	10
4.1.	DATOS INICIALES	10
4.2.	CONSIDERACIONES	10
4.3.	CÁLCULO ESTRUCTURAL	11
4.3.1.	CARGA APLICADA	11
4.3.2.	PROPIEDADES GEOMÉTRICAS	12
4.3.3.	CÁLCULO DE ESFUERZOS.....	12
4.3.3.1.	ESFUERZO MÁXIMO ADMISIBLE	12
4.3.3.2.	MOMENTO FLECTOR MÁXIMO (M)	12
4.3.3.3.	FLECHA MÁXIMA.....	12
4.4.	CONCLUSIÓN	13
5.	LISTADOS E IMÁGENES CYPE3D	13
6.	CONCLUSIONES	14

1. INTRODUCCIÓN

Se ha optado por el tubo estructural por las ventajas que en este proyecto puede tener, especialmente pensando en una fabricación mayoritaria en taller y un montaje sencillo en obra.

Son tubos soldados conformados en frío y sin tratamiento térmico posterior.

El uso de **perfiles tubulares de acero proporciona estructuras sólidas y ligeras**, además de rentables.

Éstas facilitan la creación de **diseños estéticamente muy atractivos**, con múltiples aplicaciones posibles.

El **tubo estructural laminado en frío y sin tratamiento térmico posterior** se realiza en base a la norma EN 10219.

Las características mecánicas de los perfiles tubulares para construcción de acero no aleado son:

Designación de acero Désignation d'acier Steel designation	Límite elástico mínimo Limite d'élasticité minimum Minimum yield strength N/mm ²	Resistencia a la tracción Résistance á la traction Tensile strength N/mm ²		Alargamiento mínimo Allongement minimum Minimum elongation %	Resistencia a la flexión por choque Résistance á la flexion par choc Impact properties	
	Espesor nominal Épaisseur nominale Nominal thickness	Espesor nominal Épaisseur nominale Nominal thickness		Espesor nominal Épaisseur nominale Nominal thickness	Temperatura de ensayo Température d'essai Test temperature	Energía media min. absorbida para las probetas normalizadas Energie moyenne min. absorbée pour des éprouvettes normalisées Minimum average absorbed energy for standard test pieces
	T ≤ 16 mm	T < 3 mm	3 mm ≤ T ≤ 40 mm	T ≤ 40 mm	°C	J
S 275 J0H	275	430-580	410-560	20 (a)	0	27
S 355 J2H	355	510-680	470-630	20 (a)	-20	27
S 235 JRH	235	360-510	360-510	24 (b)	20	27

- Para tamaños de perfil $D/T < 15$ (sección circular) y $(B+H) / 2T < 12,5$ (sección cuadrada y rectangular) el alargamiento mínimo se reduce a la mitad.
- Para espesores > 3 mm y tamaños de perfil $D/T < 15$ (sección circular) y $(B+H) / 2T < 12,5$ (sección cuadrada y rectangular), el alargamiento mínimo se reduce a la mitad.

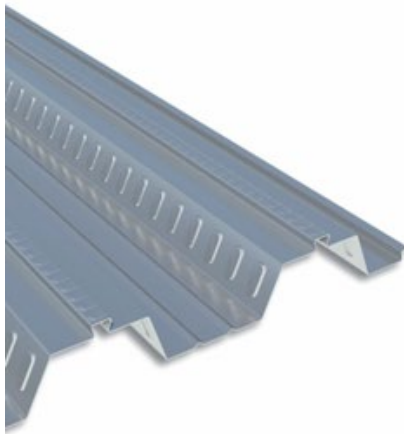
Para espesores ≤ 3 mm, el valor del alargamiento mínimo es del 17%.

El **tubo galvanizado por inmersión** se realiza bajo la norma **EN 10240** y el **granallado** se realiza bajo la norma **EN 10238** de grado **SA 2 1/2 con o sin imprimación**. Certificado: 3.1 de la norma EN 10204:2005.

2. PASARELA

2.1. FORJADO COLABORANTE: HORMIGÓN Y CHAPA DE ACERO

Chapa colaborante MT-76 + Hormigón HA-25



MATERIA PRIMA:
Acero

ESPESTORES (mm)
0.75 hasta 1.2

ACABADO
Galvanizado

ANCHO ÚTIL: 880 mm

	ESPESOR (mm)			
	0.75	0.80	1.00	1.20
P (kg/m ²)	8,36	8,92	11,15	13,38
I (cm ⁴ /m)	75,58	89,00	111,10	133,00
W (cm ³ /m)- fibra superior	24,01	27,30	33,80	40,50
A _p (mm ² /m)	998	1.135,30	1.411,80	1.694,10

P=peso perfil por metro cuadrado I=inercia perfil por metro lineal W=módulo resistente perfil por metro lineal
A_p=sección útil de acero por lineal

P=peso perfil por metro cuadrado I=inercia perfil por metro lineal W=módulo resistente perfil por metro lineal
A_p=sección útil de acero por lineal

2.1.1. SOBRECARGAS ESTÁTICAS QUE AGUANTA

MT-76 - DISPOSICIÓN 1 VANO - 2 APOYOS

SOBRECARGAS ESTÁTICAS (daN/m²) **ESPESOR 0.75mm**

		H [cm]																
		10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	
Luz [m]	2,00	1340	1537	1733	1929	2126	2322	2518	2714	2911	3059	3191	3321	3448	3573	3696	3816	
	2,20	1126	1291	1455	1620	1785	1950	2115	2280	2445	2610	2775	2540	2683	2827	2970	3113	
	2,40	961	1102	1243	1383	1524	1665	1806	1634	1753	1872	1991	2110	2230	2349	2468	2587	
	2,60	802	938	1074	971	1071	1171	1272	1372	1472	1572	1673	1773	1873	1973	2074	2174	
	2,80	670	652	737	822	907	992	1077	1162	1247	1333	1418	1503	1588	1673	1758	1843	
	3,00	482	555	628	701	773	846	919	992	1065	1137	1210	1283	1356	1429	1501	1574	
	3,20	413	476	538	601	663	726	789	851	914	976	1039	1102	1164	1227	1289	1352	
	3,40	355	409	463	517	571	625	679	734	788	842	896	950	1004	1058	1112	1166	
	3,60	306	353	400	446	493	540	587	634	681	728	775	822	869	916	962	1009	
	3,80	264	305	345	386	427	468	509	549	590	631	672	712	753	794	835	876	
	4,00	228	263	299	334	370	405	441	476	512	547	583	618	654	689	725	760	
	4,20	182	227	258	289	320	351	382	413	444	475	506	537	568	598	629	660	
	4,40	135	196	223	250	277	304	331	358	385	411	438	465	492	519	546	573	
	4,60	96	156	192	215	239	262	286	309	332	356	379	403	426	449	473	496	
	4,80	63	113	164	185	205	225	246	266	286	306	327	347	367	388	408	428	
	5,00	35	76	130	158	175	193	210	228	245	263	280	298	315	333	350	368	

2.1.2. ARMADO CON MALLAZO

Su misión principal es la de hacer frente a los esfuerzos de retracción generados por el secado del hormigón, evitando su fisuración. Contribuye además a la distribución de pequeñas cargas puntuales actuantes sobre el forjado. Se debe colocar a una profundidad de 20 mm respecto a la cara superior del forjado, cubriendo enteramente su superficie.

MALLAZO ANTIFISURACIÓN EN CAPA DE COMPRESIÓN FORJADO (mm)

		H (cm)															
Mallazo	MT-76	200x200x4	-	-	✓	✓	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		200x200x5	-	-	-	-	✓	✓	✓	✓	✓	✓	-	-	-	-	-
		200x200x6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	✓	✓	✓	✓	✓

2.1.3. PESO PROPIO Y VOLUMEN DEL FORJADO COLABORANTE

VALORES DE PESO PROPIO DEL FORJADO COLABORANTE [kN/m²]

		H (cm)															
Perfil	MT-76 e=0.75mm	-	-	2,28	2,52	2,76	3	3,24	3,48	3,72	3,96	4,2	4,44	4,68	4,92	5,16	5,4
	MT-76 e=0.8mm	-	-	2,28	2,52	2,76	3	3,24	3,48	3,72	3,96	4,2	4,44	4,68	4,92	5,16	5,4
	MT-76 e=1.0mm	-	-	2,3	2,54	2,78	3,02	3,26	3,5	3,74	3,98	4,22	4,46	4,7	4,94	5,18	5,42
	MT-76 e=1.2mm	-	-	2,33	2,57	2,8	3,04	3,28	3,52	3,76	4	4,24	4,48	4,72	4,96	5,2	5,44

VOLUMEN DE HORMIGÓN POR UNIDAD DE SUPERFICIE [m³/m²]

		H (cm)															
Perfil	MT-76 e=0.75mm	-	-	0,092	0,102	0,112	0,122	0,132	0,142	0,152	0,162	0,172	0,182	0,192	0,202	0,212	0,222
	MT-76 e=0.8mm	-	-	0,092	0,102	0,112	0,122	0,132	0,142	0,152	0,162	0,172	0,182	0,192	0,202	0,212	0,222
	MT-76 e=1.0mm	-	-	0,092	0,102	0,112	0,122	0,132	0,142	0,152	0,162	0,172	0,182	0,192	0,202	0,212	0,222
	MT-76 e=1.2mm	-	-	0,092	0,102	0,112	0,122	0,132	0,142	0,152	0,162	0,172	0,182	0,192	0,202	0,212	0,222

2.1.4. RESUMEN DE CARACTERÍSTICAS DEL FORJADO COLABORANTE

Por tanto, el forjado de chapa colaborante es MT-76, espesor de 0,75 mm, que pesa 8,36 Kg/m² y tiene un modulo resistente de 24,01 cm³/ml. La sobrecarga estática para 1 vano/2 apoyos de 2 m (es 1,80 m) de luz y un espesor de 12 cm es de 1733 da N/m² (17,330 N/m² y 1,765 kg/m²).

El Peso Propio del forjado de hormigón armado con chapa colaborante es de 2,28 kN/m² o aprox. 232,5 kg/m². Siendo el volumen de HA-25 de 0,092 m³/m².

Para evitar fisuración, mallazo 200*200 ϕ 4 mm.

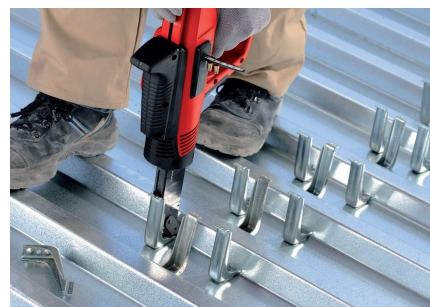
El comportamiento al Fuego del forjado se mide mediante el factor R, que es la capacidad portante de un forjado colaborante en situación de incendio.

Según el Eurocódigo 4 Parte 1.2, para este tipo de soluciones será de 30 minutos (R-30).

Este dato no necesita ninguna comprobación, mientras el cálculo del forjado colaborante se haya hecho de acuerdo con las especificaciones del Eurocódigo 4 Parte 1.1.

El perfil para forjado colaborante se une a la estructura metálica por medio de los **conectores**, siendo una parte de la estructura portante, dejando de ser un elemento monolítico cuyo peso es soportado por las vigas y pilares sobre los que apoya.

Funciona como capa de compresión de la sección resistente, que de esta manera ve su resistencia notablemente incrementada. Esto permite considerar en los cálculos, la suma de las secciones resistentes de la viga metálica y el forjado.



Estos conectores pueden ser soldados a través de la chapa de forjado a la estructura de soporte o mejor fijados mecánicamente por disparo.

En cuanto a los remates, se aplicará este en los bordes del forjado.

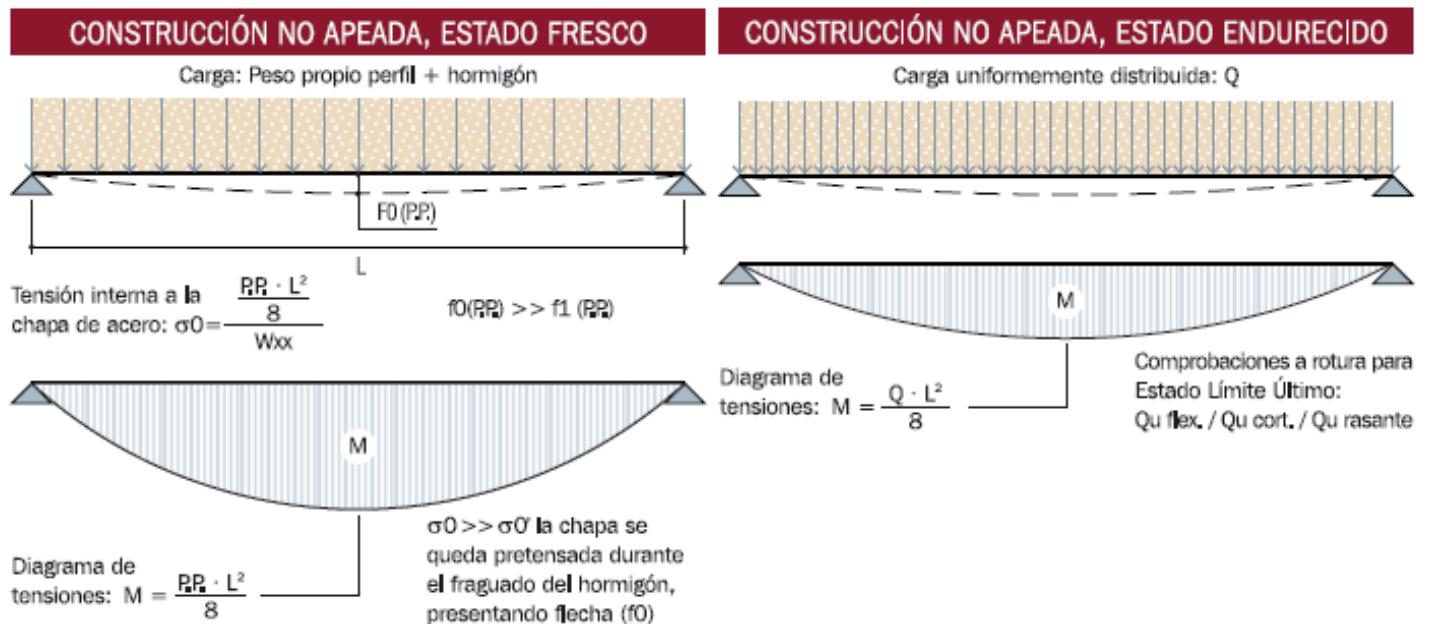
2.1.5. HIPÓTESIS DE CÁLCULO

Los resultados que figuran en las tablas de sobrecarga estática, obtenidos según el procedimiento establecido por la Normativa EC4 y EC3, parten de las siguientes hipótesis de cálculo:

- Las cargas que actúan sobre el forjado son distribuidas y predominantemente estáticas.
- Las luces del forjado se sitúan en la dirección de los nervios de la chapa.
- Para el estudio de las losas en fase de servicio se usa el análisis elástico, para la comprobación tensional a flexión se considera la teoría plástica.
- Los resultados de las tablas se refieren a un forjado colaborante sin conectores, es decir, no describen el comportamiento de la solución de viga mixta.
- El hormigón considerado en el cálculo es un HA-25 [*].
- El límite elástico considerado en el cálculo del acero del perfil MT-60 es 220 MPa [*], y el coeficiente parcial de seguridad para Estados Límites Últimos del acero del perfil es 1,10.
- El modelo de cálculo empleado considera los siguientes estados límites: en fase de ejecución la flexión representa el estado límite último, y la deformación el estado límite de servicio. En fase de servicio los estados límites últimos son representados por la flexión, los esfuerzos rasantes, los cortantes verticales, mientras que el estado límite último es la deformación.
- Criterio de flecha cuando la chapa de acero nervada actúa como encofrado: $f < l/250$ ó $f < 20$ mm[*], con L = luz libre entre apoyos. En el cálculo de estas deformaciones se considera el peso de la chapa y del hormigón fresco, pero no se consideran las cargas de ejecución, puesto que son temporales.
- Criterio de flecha en fase de servicio: $f < l/250$ [*] en cualquier caso contemplado en las tablas.
- Coeficientes de mayoración de las cargas empleados en los cálculos:
 - Coeficiente de mayoración de pesos propios: 1.35.
 - Coeficiente de mayoración de cargas permanentes: 1.35.
 - Coeficiente de mayoración de cargas de uso: 1.50.
- Los valores de las "Tablas de carga de Servicio para el Perfil MT-60" han sido calculados de acuerdo con las especificaciones del EC4 parte 1.1 en fase de construcción del forjado, y como losa mixta en fase de servicio.

- Las tablas hacen referencia a una tipología genérica de forjado definida en los puntos anteriores.
- Los valores de sobrecarga estática que figuran en las tablas son los valores de sobrecarga máxima admisible en servicio, donde las cargas representan la suma de las cargas permanentes y de las sobrecargas de uso actuantes sobre el forjado.
- El peso propio del forjado compuesto ya ha sido tenido en cuenta en los cálculos.

Resumiendo, en una estructura no apeada, como es este caso, es lícito añadir el peso propio del forjado al valor de sobrecarga de uso registrado, debido a que la estructura ya había asumido esta carga [el peso propio] antes de fraguar: la flecha f_0 representa la deformación correspondiente a la tensión interna de la chapa generada por el vertido del hormigón.



2.1.6. CÁLCULOS ESTRUCTURALES

2.1.6.1. DURANTE LA EJECUCIÓN

Tensión interna en la chapa colaborante: $P_a * P_h = 2,28 + 0,092 * 2500 = 232,28 \text{ Kg/m}^2$, $L=1,80 \text{ m}$ y W_{76} modulo resistente de $24,01 \text{ cm}^3/\text{ml}$

Tensión interna en la chapa colaborante $\rightarrow (232,28 * 1,8^2) / 8 / (24,01/100)^3 = 6.797 \text{ Kg/m}^2 = 6,8 \text{ Tn/m}$

Diagrama de tensiones, $M = (232,28 * 1,8^2) / 8 = 94,07 \text{ Kg}$

2.1.6.2. EN ESTADO ENDURECIDO

$M = Q \text{ uniforme} * 1,8^2 / 8$

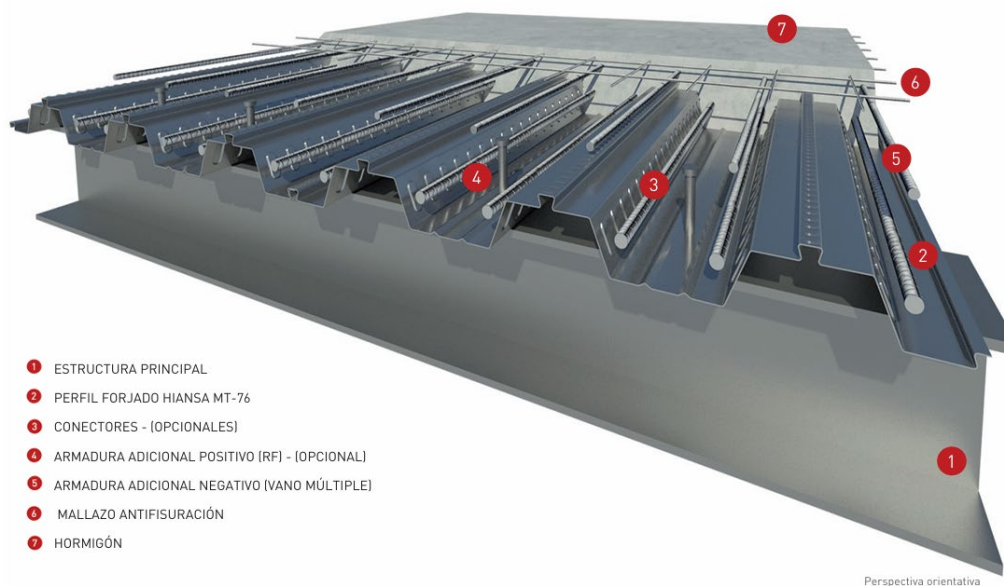
$Q_{\text{uniforme}} = \text{Peso del forjado } 232,28 \text{ Kg/m}^2 + \text{Sobrecarga de Uso } 400 \text{ Kg/m}^2 + \text{Sobrecarga uso puntual de vehículo } 250 \text{ Kg/m}^2 = 882,28 \text{ Kg/m}^2 \rightarrow \text{redondeo a } 900 \text{ Kg/m}^2$

Diagrama de tensiones $M = 364,5 \text{ Kg}$

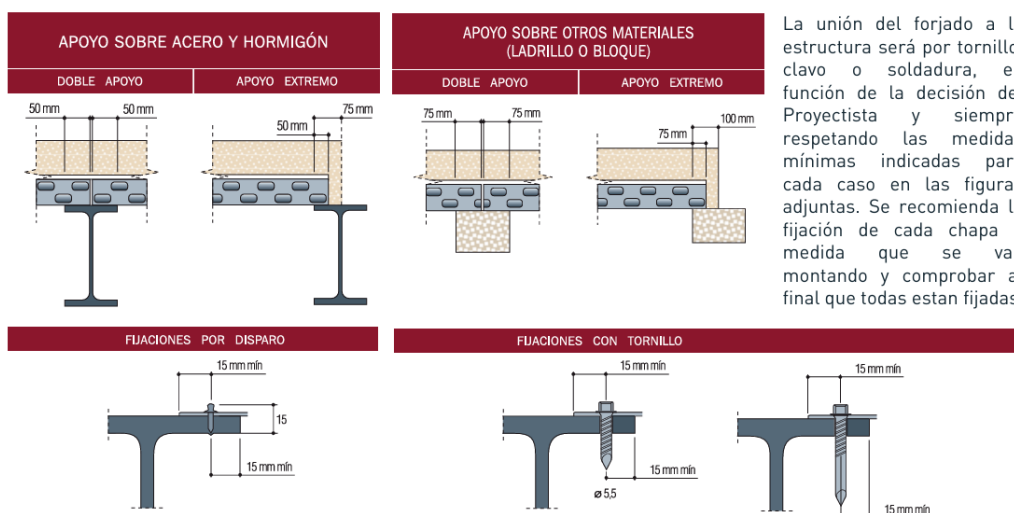
2.1.7. CONCLUSIÓN

La sobrecarga estática para 1 vano/2 apoyos de 2 m (es 1,80 m) de luz y un espesor de 12 cm es de 1733 que es capaz de aguantar este forjado es de $1,765 \text{ kg/m}^2 > 900 \text{ kg/m}^2$.

Por lo que el forjado es adecuado para esta pasarela.



Sección tipo de forjado colaborante MT-76, en el que aparecen indicadas todas las armaduras que se pueden llegar a colocar en función de los requisitos de cálculo marcados por el Proyectista. Incluso los conectores que soldados o atornillados serán necesarios cuando se requiera que el forjado trabaje solidariamente con la viga metálica de soporte.



3. VIGAS BAJO FORJADO

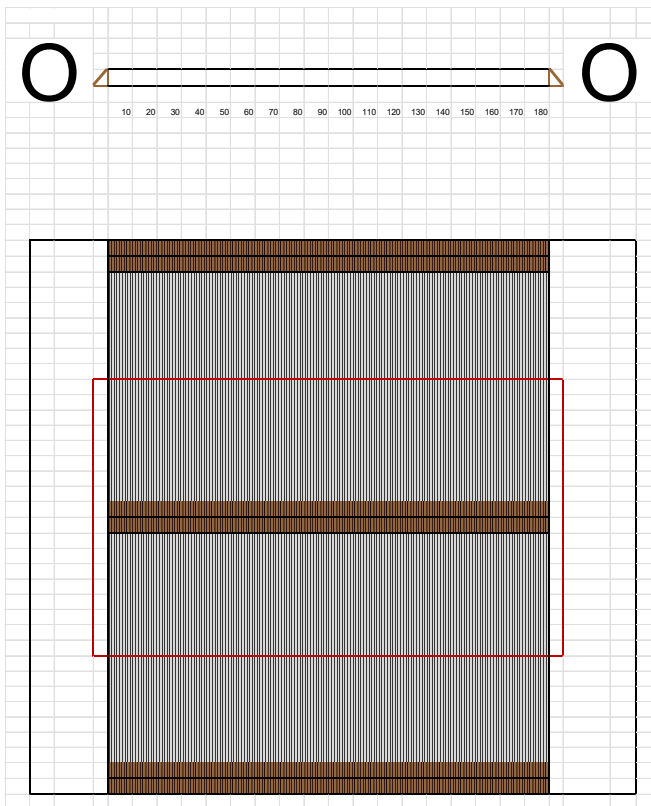
3.1. TIPO DE VIGA

Las vigas son tubulares de acero de diámetro de 100 mm * 100 mm y de espesor 3,5 mm.

3.2. CARGAS

Sobrecarga y PP forjado = 900 Kg/m²

Cada viga soporta una carga uniforme de 900 Kg/m² * 2 m = 1.800 Kg/m



Vamos a usar los datos estándar de un tubo cuadrado de acero 100x100x3,5 mm:

Propiedad	Valor aprox.
Área A	12,88 cm ² = 1,288×10 ⁻⁴ m ²
Inercia I	5,85×10 ⁶ mm ⁴ = 5,85×10 ⁻⁶ m ⁴
Módulo W	1,17×10 ⁵ mm ³ = 1,17×10 ⁻⁴ m ³
Radio de giro i	21,4 mm = 0,021 m

Para una viga biempotrada con carga uniforme:

$$M_{máx} = \frac{q \cdot L^2}{12} = \frac{17,66 \cdot (1,8)^2}{12} \approx 4,77 \text{ kNm}$$

3.3. CÁLCULO ESTRUCTURAL

3.3.1. MOMENTO FLECTOR

El momento resistente es:

$$M_{res} = \frac{f_y \cdot W}{\gamma_M}$$

Con:

- $f_y = 275 \text{ MPa} = 275 \text{ N/mm}^2$
- $W = 1,17 \times 10^5 \text{ mm}^3$
- $\gamma_M = 1,0$ (Eurocódigo para diseño elástico, sin pandeo local relevante)

$$M_{res} = \frac{275 \cdot 1,17 \cdot 10^5}{10^6} = 32,17 \text{ kNm}$$

➔ **Cumple** que los momentos máximos originados por las cargas consideradas son mucho menores que los momentos que resisten las vigas de arriostramiento y bajo forjado.

$$M_{máx} = 4,77 \text{ kNm} \ll M_{res} = 32,17 \text{ kNm}$$

3.3.2. DEFORMACIÓN

Aunque la viga está empotrada, conviene ver la deformación.

Para viga biempotrada con carga uniforme:

$$\delta_{máx} = \frac{q \cdot L^4}{384 \cdot E \cdot I}$$

Donde:

- $E = 210.000 \text{ MPa}$
- $I = 5,85 \times 10^6 \text{ mm}^4$

$$\delta_{máx} = \frac{17,66 \cdot (1,8)^4}{384 \cdot 210 \cdot 10^3 \cdot 5,85 \cdot 10^6} \approx 0,72 \text{ mm}$$

➔ **Cumple** los límites óptimos (L/500 o L/400 que se aplicará en las vigas grandes de las pasarelas): 0,72 mm < L/500 = 3,6 mm

3.4. CONCLUSIÓN

Las vigas bajo forjado, tubulares de acero de 100*100 y 3,5 mm de espesor y luces de 1,80 m, empotradas con soldadura a las vigas de perfiles metálicos tubulares de Ø324x8 mm (y de 5 mm en el caso de los módulos de 4 y 2 m), pueden soportar una carga uniforme de 1.800 Kg/m con holgura.

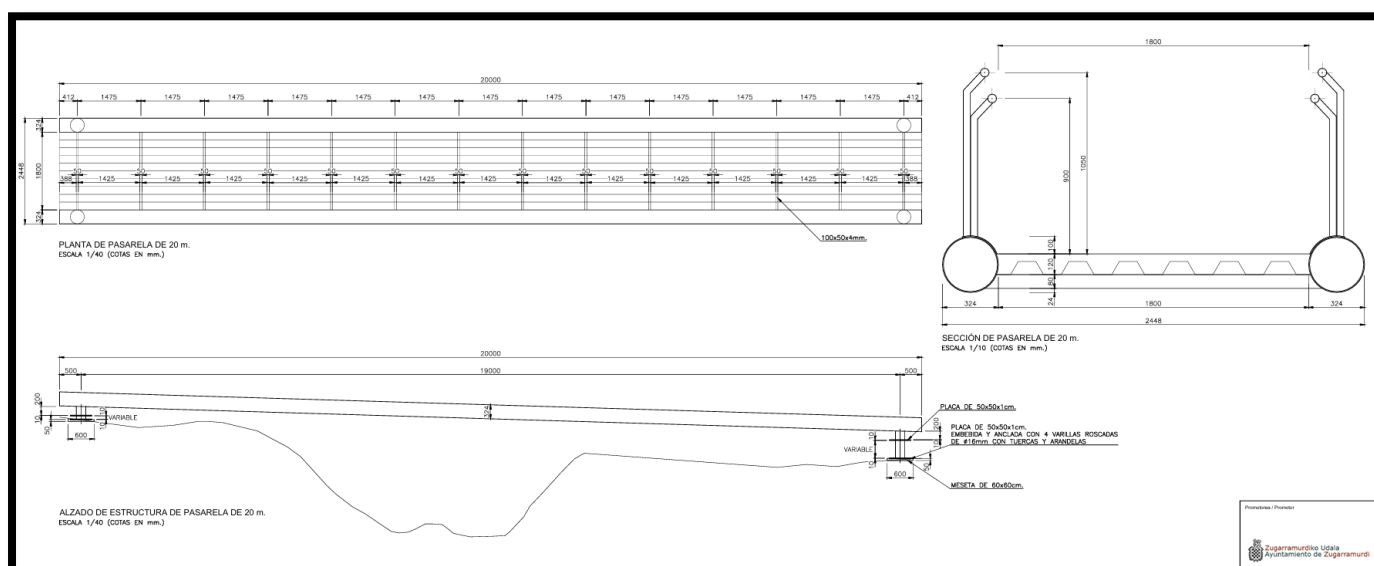
Cumpliendo con el Eurocódigo 3 y el Código estructural español en lo referente a al momento flector máximo y a las deformaciones o flechas máximas.

No existe riesgo de pandeo local para esta sección con esta luz pequeña.

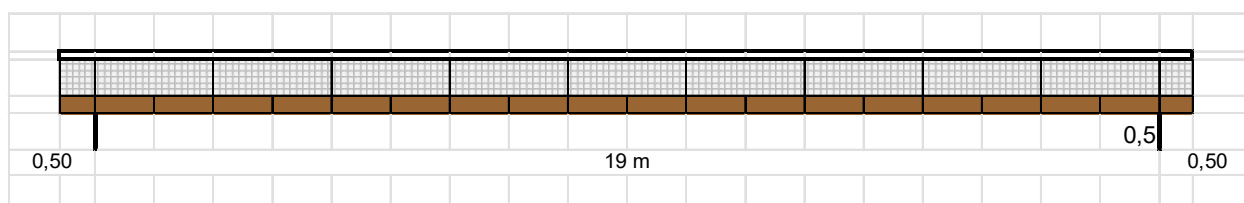
4. VIGAS DE LAS PASARELAS

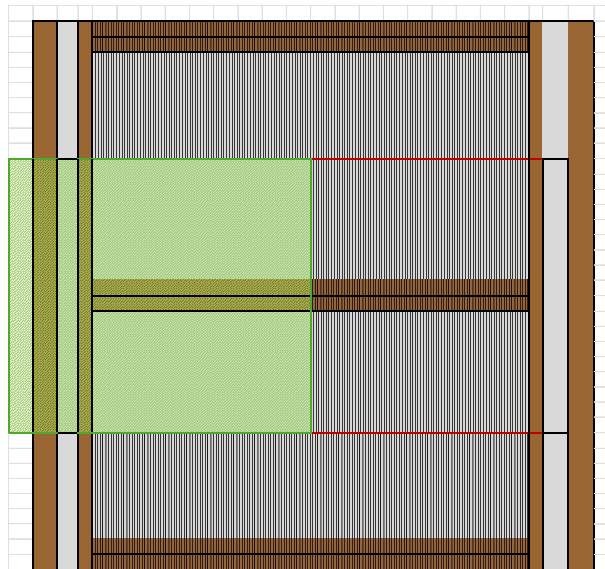
4.1. DATOS INICIALES

- **Tipo de perfil:** Tubo circular
- **Diámetro exterior (D):** 324 mm
- **Espesor (e):** 8 mm
- **Material:** Acero estructural S355J2H
- **Longitud de la viga (L):** 19 m (0,5 + 19 + 0,5)



4.2. CONSIDERACIONES





$Q_{\text{uniforme}} = \text{Peso del forjado } 232,28 \text{ Kg/m}^2 + \text{Sobrecarga de Uso } 400 \text{ Kg/m}^2 + \text{Sobrecarga uso puntual de vehículo } 250 \text{ Kg/m}^2 = 882,28 \text{ Kg/m}^2 \rightarrow \text{redondeo a } \mathbf{900 \text{ Kg/m}^2}$

Pero le llega a través de la viga bajo forjado que le transmite $900 \text{ Kg/m}^2 * 0,90 * 2 = 1.620 \text{ Kg}$ de forma puntual más el peso de la mitad de la viga:

$0,9 * 0,10 * 4 * 0,0035 * 7.850 = 9,89 \text{ Kg} \rightarrow 1.630 \text{ Kg}$, redondeando.

Y lo que sí es lineal es el peso de la barandilla:

$2 * 1\text{m} * (0,1+0,10+0,05+0,05) * 0,004 * 7850 + 0,0337 * \pi * 0,003 * 7850 * 2 * 2 = 2 * 9,2 + 2 * 0,5 = 19,40 \text{ Kg}$

Más la malla de doble torsión: $2 * 0,60 * 1,5 \text{ Kg/m}^2 = 1,80 \text{ Kg}$

La carga uniforme es $21,2 \text{ Kg/ml}$ más el peso propio.

Perfil $323,9 \text{ mm}$ y espesor $8 \text{ ml} \rightarrow \text{PP} = 64,91 \text{ Kg/ml}$

$Q_u = 86,11 \text{ Kg/ml}$.

4.3. CÁLCULO ESTRUCTURAL

4.3.1. CARGA APLICADA

- Cargas **puntuales de 1630 kg**
cada 2 metros ($\approx 16 \text{ kN}$ cada 2 m)
- Sobrecarga **uniforme**
adicional de 86 kg/m
($\approx 0,843 \text{ kN}$)

4.3.2. PROPIEDADES GEOMÉTRICAS

- **Diámetro interior (d)** = $D - 2e = 308 \text{ mm}$
- **Área (A)** = $\pi/4 \times (D^2 - d^2) \approx 7.94 \times 10^{-4} \text{ m}^2$
- **Módulo resistente (W)** $\approx 1.28 \times 10^{-4} \text{ m}^3$
- **Momento de inercia (I)** $\approx 2.07 \times 10^{-6} \text{ m}^4$
-

4.3.3. CÁLCULO DE ESFUERZOS

4.3.3.1. ESFUERZO MÁXIMO ADMISIBLE

- **Esfuerzo normal admisible:** $\sigma \leq f_y / \gamma_M = 275 \text{ MPa} / 1.1 \approx 250 \text{ MPa}$

Distribución de cargas compleja

⇒ Se realiza una **estimación**

conservadora suponiendo viga

simplemente apoyada:

Esfuerzo máximo (σ) = $M / W \rightarrow$ verificar que $\sigma \leq 250 \text{ MPa}$

Nota: $1 \text{ MPa} = 1,000,000 \text{ N/m}^2 = 1000 \text{ KN/m}^2$

$$288,2 \text{ KNm} / 1.28 \times 10^{-4} \text{ m}^3 = 2,252 \times 10^6 \text{ KN/m}^2 \rightarrow \mathbf{2,252 \text{ MPa} < 250 \text{ MPa}}$$

4.3.3.2. MOMENTO FLECTOR MÁXIMO (M)

- $q = 0,843 \text{ kN/m}$
- **Momento máximo:**

$$M_q = \frac{q \cdot L^2}{8} = \frac{0,843 \cdot 19^2}{8} \approx 38,2 \text{ kNm}$$

$$M_{total} \approx 250 + 38,2 = 288,2 \text{ kNm}$$

Momento resistente

$$M_{res} = \frac{f_y \cdot W}{\gamma_M} = \frac{275 \cdot 2,067 \cdot 10^{-3}}{1,0} = 568,4 \text{ kNm}$$

$$M_{total} = 288,2 \text{ kNm} < M_{res} = 568,4 \text{ kNm}$$

→ **Cumple**

4.3.3.3. FLECHA MÁXIMA

- **Flecha admisible:** $L / 200 = 95 \text{ mm}$

Pero adoptamos un valor más típico como es $L/400 = 4,75 \text{ mm}$

- **Flecha calculada:** $f = (5qL^4) / (384EI) \rightarrow$ comprobar que $f \leq 4,74 \text{ mm}$

Para una viga simplemente
apoyada bajo carga distribuida:

$$\delta_{m\acute{a}x} = \frac{q \cdot L^4}{384 \cdot E \cdot I}$$

Con:

- $q = 0,843 \text{ kN/m}$
- $L = 19 \text{ m}$
- $E = 210.000 \text{ MPa}$
- $I = 3,34 \times 10^{-4} \text{ m}^4$

Nota: Las unidades (dimensional) $\rightarrow$ flecha o deformación, al aplicar la fórmula su unidad es mm:

$$\frac{\text{kN/m} \cdot \text{m}^4}{\text{MPa} \cdot \text{m}^4}$$

$$\frac{\text{MPa} \cdot \text{m}^4}{\text{MPa} \cdot \text{m}^4}$$

$$\text{KN/m} / \text{MPa} = \text{KN/m} / 1000 \text{ KN/m}^2 = 0,0001 \text{ m} = 1 \text{ mm}$$

Por tanto, la flecha máxima, que es la deformación máxima que se vería en el centro de la viga, cuando un vehículo de 1 Tn de peso pasase o estuviese aparcado en dicho centro de la viga (circunstancia poco probable) es de:

$$f_{\text{máx}} = 4,08 \text{ mm} \leq 4,74 \text{ mm} \rightarrow \text{Cumple}$$

4.4. CONCLUSIÓN

Las vigas que conforman la pasarela de 19 m de luz (y con más razón la de 10 m de luz y los módulos de 4 y 2 m, etc.) de perfiles metálicos tubulares de Ø324x8 mm y 19 m de luz, con los pilares y cimentaciones directas que empotran (hasta cierto grado, pues la estructura metálica puede dilatarse y contraerse) cumplen con los requisitos de resistencia y deformación para las condiciones de carga especificadas, respetando los valores límite de momento, de esfuerzo máximo y de flecha máxima, que establece tanto el Eurocódigo 4, como el código estructural español.

5. LISTADOS E IMÁGENES CYPE3D

Si bien el cálculo se ha resumido en las páginas anteriores, por su interés se realiza un extracto de los listados del software CYPE3D y una selección de imágenes del modelo creado.

ÍNDICE

1. DATOS DE OBRA.....	2
1.1. Normas consideradas.....	2
1.2. Estados límite.....	2
1.2.1. Situaciones de proyecto.....	2
1.2.2. Combinaciones.....	3
2. ESTRUCTURA.....	3
2.1. Geometría.....	3
2.1.1. Nudos.....	3
2.1.2. Barras.....	4



1. DATOS DE OBRA

1.1. Normas consideradas

Aceros laminados y armados: Eurocódigos 3 y 4

1.2. Estados límite

E.L.U. de rotura. Acero laminado	EC Nieve: Altitud inferior o igual a 1000 m
Desplazamientos	Acciones características

1.2.1. Situaciones de proyecto

Para las distintas situaciones de proyecto, las combinaciones de acciones se definirán de acuerdo con los siguientes criterios:

- Con coeficientes de combinación

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{Gj} G_{kj} + \gamma_P P_k + \gamma_{Q1} \Psi_{p1} Q_{k1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Qi} \Psi_{ai} Q_{ki}$$

- Sin coeficientes de combinación

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{Gj} G_{kj} + \gamma_P P_k + \sum_{i \geq 1} \gamma_{Qi} Q_{ki}$$

- Donde:

G_k Acción permanente

P_k Acción de pretensado

Q_k Acción variable

γ_G Coeficiente parcial de seguridad de las acciones permanentes

γ_P Coeficiente parcial de seguridad de la acción de pretensado

$\gamma_{Q,1}$ Coeficiente parcial de seguridad de la acción variable principal

$\gamma_{Q,i}$ Coeficiente parcial de seguridad de las acciones variables de acompañamiento

$\Psi_{p,1}$ Coeficiente de combinación de la acción variable principal

$\Psi_{a,i}$ Coeficiente de combinación de las acciones variables de acompañamiento

Para cada situación de proyecto y estado límite los coeficientes a utilizar serán:

E.L.U. de rotura. Acero laminado: Eurocódigos 3 y 4

Persistente o transitoria				
	Coeficientes parciales de seguridad (γ)		Coeficientes de combinación (ψ)	
	Favorable	Desfavorable	Principal (ψ_p)	Acompañamiento (ψ_a)
Carga permanente (G)	1.000	1.350	-	-

**Desplazamientos**

Acciones variables sin sismo		
	Coeficientes parciales de seguridad (γ)	
	Favorable	Desfavorable
Carga permanente (G)	1.000	1.000

1.2.2. Combinaciones▪ **Nombres de las hipótesis**

PP Peso propio

▪ **E.L.U. de rotura. Acero laminado**

Comb.	PP
1	1.000
2	1.350

▪ **Desplazamientos**

Comb.	PP
1	1.000

2. ESTRUCTURA**2.1. Geometría****2.1.1. Nudos**

Referencias:

 $\Delta_x, \Delta_y, \Delta_z$: Desplazamientos prescritos en ejes globales. $\theta_x, \theta_y, \theta_z$: Giros prescritos en ejes globales.

Cada grado de libertad se marca con 'X' si está coaccionado y, en caso contrario, con '-'.

Nudos										
Referencia	Coordenadas			Vinculación exterior						Vinculación interior
	X (m)	Y (m)	Z (m)	Δ_x	Δ_y	Δ_z	θ_x	θ_y	θ_z	
N1	0.000	0.000	0.000	-	-	-	-	-	-	Empotrado
N2	0.610	0.000	0.000	-	-	-	-	-	-	Empotrado
N3	0.000	2.124	0.000	-	-	-	-	-	-	Empotrado
N4	0.610	2.124	0.000	-	-	-	-	-	-	Empotrado
N11	2.150	0.000	0.000	-	-	-	-	-	-	Empotrado
N12	3.690	0.000	0.000	-	-	-	-	-	-	Empotrado
N13	5.230	0.000	0.000	-	-	-	-	-	-	Empotrado
N15	6.770	0.000	0.000	-	-	-	-	-	-	Empotrado
N16	8.310	0.000	0.000	-	-	-	-	-	-	Empotrado
N17	9.850	0.000	0.000	-	-	-	-	-	-	Empotrado



Listados

Pasarela 20 m

Fecha: 08/08/25

Nudos										
Referencia	Coordenadas			Vinculación exterior						Vinculación interior
	X (m)	Y (m)	Z (m)	Δ_x	Δ_y	Δ_z	θ_x	θ_y	θ_z	
N18	11.390	0.000	0.000	-	-	-	-	-	-	Empotrado
N19	12.000	0.000	0.000	-	-	-	-	-	-	Empotrado
N20	2.150	2.124	0.000	-	-	-	-	-	-	Empotrado
N21	3.690	2.124	0.000	-	-	-	-	-	-	Empotrado
N22	5.230	2.124	0.000	-	-	-	-	-	-	Empotrado
N23	6.770	2.124	0.000	-	-	-	-	-	-	Empotrado
N24	8.310	2.124	0.000	-	-	-	-	-	-	Empotrado
N25	9.850	2.124	0.000	-	-	-	-	-	-	Empotrado
N26	11.390	2.124	0.000	-	-	-	-	-	-	Empotrado
N27	12.000	2.124	0.000	-	-	-	-	-	-	Empotrado
N28	0.610	0.000	-0.500	-	-	-	-	-	-	Empotrado
N29	0.610	2.124	-0.500	-	-	-	-	-	-	Empotrado
N32	11.390	0.000	-0.500	-	-	-	-	-	-	Empotrado
N33	11.390	2.124	-0.500	-	-	-	-	-	-	Empotrado
N34	12.000	2.124	-0.500	-	-	-	-	-	-	Empotrado

2.1.2. Barras

2.1.2.1. Materiales utilizados

Materiales utilizados							
Material		E (MPa)	ν	G (MPa)	f_y (MPa)	α_t (m/m°C)	γ (kN/m³)
Tipo	Designación						
Acero laminado	S355M (EN 10025-4)	210000.00	0.300	81000.00	355.00	0.000012	77.01
Notación: <i>E</i> : Módulo de elasticidad <i>n</i> : Módulo de Poisson <i>G</i> : Módulo de cortadura <i>f_y</i> : Límite elástico <i>a_t</i> : Coeficiente de dilatación <i>g</i> : Peso específico							

2.1.2.2. Descripción

Descripción									
Material		Barra (Ni/Nf)	Pieza (Ni/Nf)	Perfil(Serie)	Longitud (m)	β_{xy}	β_{xz}	Lb _{Sup.} (m)	Lb _{Inf.} (m)
Tipo	Designación								
Acero laminado	S355M (EN 10025-4)	N18/N26	N18/N26	TUBO 323.9*7.1 (TUBO)	2.124	1.00	1.00	-	-
		N2/N4	N2/N4	TUBO 323.9*7.1 (TUBO)	2.124	1.00	1.00	-	-
		N20/N11	N20/N11	TUBO 108*3.6 (TUBO)	2.124	1.00	1.00	-	-
		N21/N12	N21/N12	TUBO 108*3.6 (TUBO)	2.124	1.00	1.00	-	-
		N22/N13	N22/N13	TUBO 108*3.6 (TUBO)	2.124	1.00	1.00	-	-
		N23/N15	N23/N15	TUBO 108*3.6 (TUBO)	2.124	1.00	1.00	-	-



Listados

Pasarela 20 m

Fecha: 08/08/25

Descripción									
Material		Barra (Ni/Nf)	Pieza (Ni/Nf)	Perfil(Serie)	Longitud (m)	β_{xy}	β_{xz}	Lb _{Sup.} (m)	Lb _{Inf.} (m)
Tipo	Designación								
		N24/N16	N24/N16	TUBO 108*3.6 (TUBO)	2.124	1.00	1.00	-	-
		N25/N17	N25/N17	TUBO 108*3.6 (TUBO)	2.124	1.00	1.00	-	-
		N1/N2	N1/N19	TUBO 323.9*7.1 (TUBO)	0.610	1.00	1.00	-	-
		N2/N11	N1/N19	TUBO 323.9*7.1 (TUBO)	1.540	1.00	1.00	-	-
		N11/N12	N1/N19	TUBO 323.9*7.1 (TUBO)	1.540	1.00	1.00	-	-
		N12/N13	N1/N19	TUBO 323.9*7.1 (TUBO)	1.540	1.00	1.00	-	-
		N13/N15	N1/N19	TUBO 323.9*7.1 (TUBO)	1.540	1.00	1.00	-	-
		N15/N16	N1/N19	TUBO 323.9*7.1 (TUBO)	1.540	1.00	1.00	-	-
		N16/N17	N1/N19	TUBO 323.9*7.1 (TUBO)	1.540	1.00	1.00	-	-
		N17/N18	N1/N19	TUBO 323.9*7.1 (TUBO)	1.540	1.00	1.00	-	-
		N18/N19	N1/N19	TUBO 323.9*7.1 (TUBO)	0.610	1.00	1.00	-	-
		N3/N4	N3/N27	TUBO 323.9*7.1 (TUBO)	0.610	1.00	1.00	-	-
		N4/N20	N3/N27	TUBO 323.9*7.1 (TUBO)	1.540	1.00	1.00	-	-
		N20/N21	N3/N27	TUBO 323.9*7.1 (TUBO)	1.540	1.00	1.00	-	-
		N21/N22	N3/N27	TUBO 323.9*7.1 (TUBO)	1.540	1.00	1.00	-	-
		N22/N23	N3/N27	TUBO 323.9*7.1 (TUBO)	1.540	1.00	1.00	-	-
		N23/N24	N3/N27	TUBO 323.9*7.1 (TUBO)	1.540	1.00	1.00	-	-
		N24/N25	N3/N27	TUBO 323.9*7.1 (TUBO)	1.540	1.00	1.00	-	-
		N25/N26	N3/N27	TUBO 323.9*7.1 (TUBO)	1.540	1.00	1.00	-	-
		N26/N27	N3/N27	TUBO 323.9*7.1 (TUBO)	0.610	1.00	1.00	-	-
		N33/N26	N33/N26	TUBO 323.9*7.1 (TUBO)	0.500	1.00	1.00	-	-
		N29/N4	N29/N4	TUBO 219.1*5.9 (TUBO)	0.500	1.00	1.00	-	-
		N28/N2	N28/N2	TUBO 219.1*5.9 (TUBO)	0.500	1.00	1.00	-	-
		N32/N18	N32/N18	TUBO 219.1*5.9 (TUBO)	0.500	1.00	1.00	-	-



Listados

Pasarela 20 m

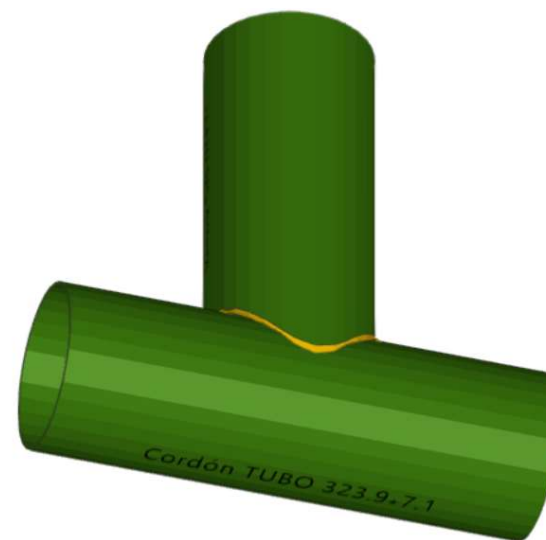
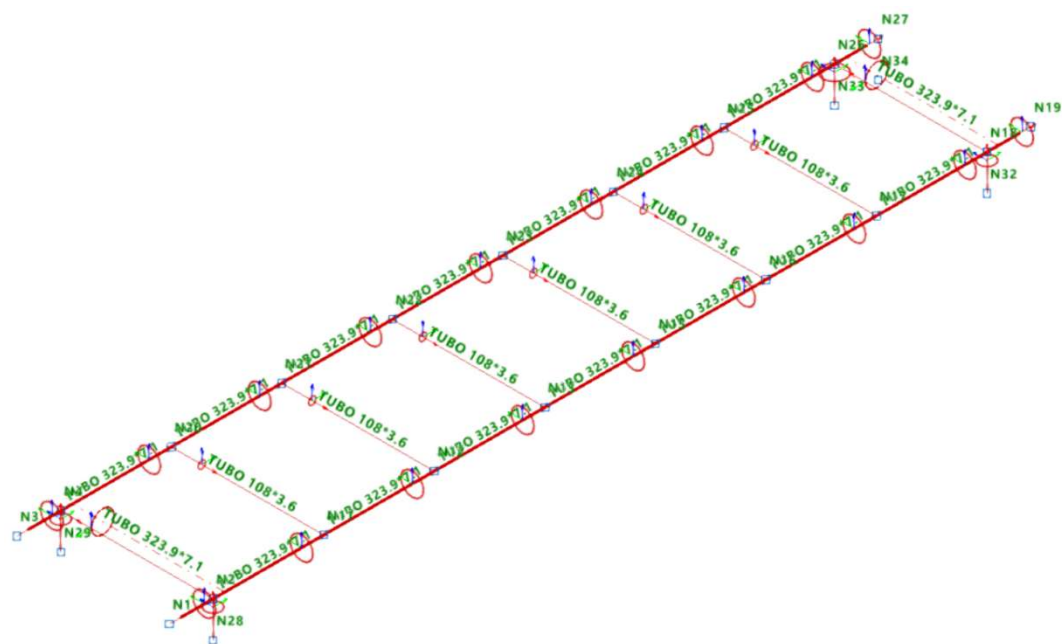
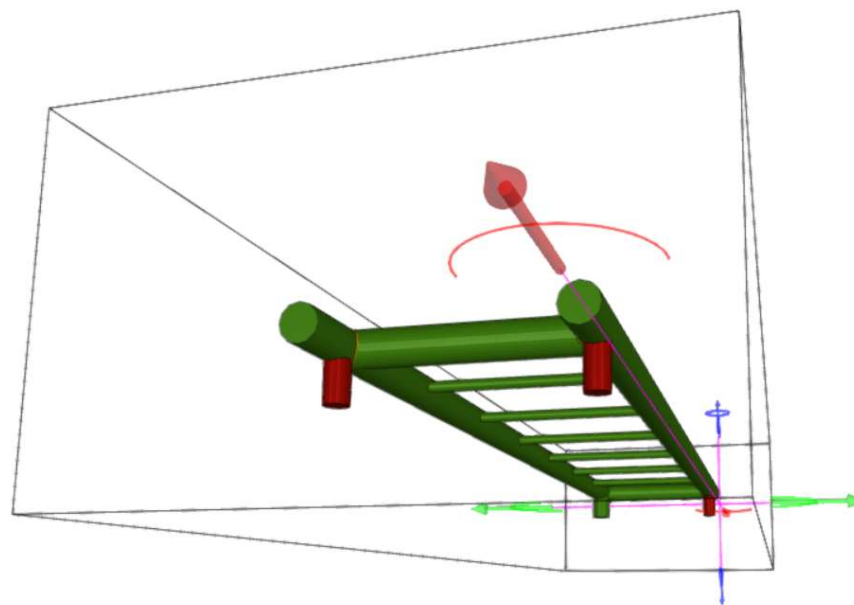
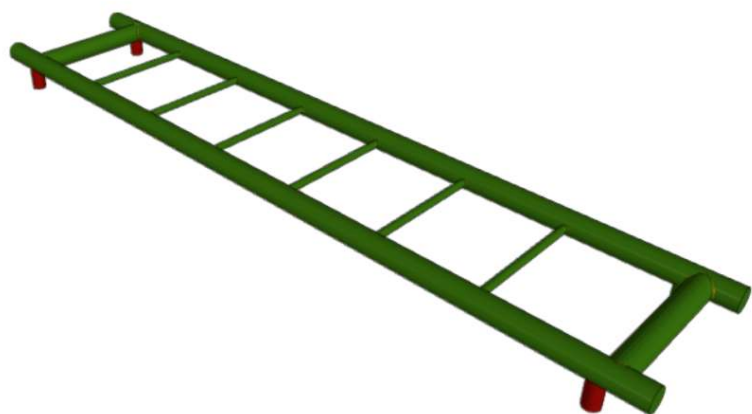
Fecha: 08/08/25

Descripción									
Material		Barra (Ni/Nf)	Pieza (Ni/Nf)	Perfil(Serie)	Longitud (m)	β_{xy}	β_{xz}	Lb ^{Sup.} (m)	Lb ^{Inf.} (m)
Tipo	Designación								
Notación: Ni: Nudo inicial Nf: Nudo final b_{xy} : Coeficiente de pandeo en el plano 'XY' b_{xz} : Coeficiente de pandeo en el plano 'XZ' $Lb_{Sup.}$: Separación entre arriostramientos del ala superior $Lb_{Inf.}$: Separación entre arriostramientos del ala inferior									

2.1.2.3. Características mecánicas

Tipos de pieza	
Ref.	Piezas
1	N18/N26, N2/N4, N1/N19, N3/N27 y N33/N26
2	N20/N11, N21/N12, N22/N13, N23/N15, N24/N16 y N25/N17
3	N29/N4, N28/N2 y N32/N18

Características mecánicas									
Material		Ref.	Descripción	A (cm²)	Avy (cm²)	Avz (cm²)	Iyy (cm4)	Izz (cm4)	It (cm4)
Tipo	Designación								
Acero laminado	S355M (EN 10025-4)	1	TUBO 323.9*7.1, (TUBO)	70.66	63.60	63.60	8869.35	8869.35	17738.70
		2	TUBO 108*3.6, (TUBO)	11.81	10.63	10.63	161.06	161.06	322.11
		3	TUBO 219.1*5.9, (TUBO)	39.52	35.57	35.57	2247.01	2247.01	4494.03
Notación: Ref.: Referencia A: Área de la sección transversal Avy: Área de cortante de la sección según el eje local 'Y' Avz: Área de cortante de la sección según el eje local 'Z' Iyy: Inercia de la sección alrededor del eje local 'Y' Izz: Inercia de la sección alrededor del eje local 'Z' It: Inercia a torsión Las características mecánicas de las piezas corresponden a la sección en el punto medio de las mismas.									



6. CONCLUSIONES

El cálculo realizado para el elemento más solicitado y con mayor luz, que es la pasarela de 20 ml, se extrapola a la pasarela de 10 ml y al resto de los módulos, con los matices de la tabla siguiente:

ELEMENTOS ESTRUCTURALES	Acero(Kg)	PASARELA 20 ML		PASARELA 10 ML	
Densidad acero = 7.850 Kg/m ³		Uds.	Kg acero	Uds.	Kg acero
TUBULAR DIÁM. 323,9 mm / e=8 mm	63,90	43,6	2.786,04	23,6	1.508,04
TUBULAR DIÁM. 323,9 mm / e=5 mm	39,94	0	-	0	-
TUBULAR DIÁM. 219,1 mm / e=6 mm (<i>nota *1</i>)	32,42	3,2	103,74	4,8	155,62
TUBULAR DIÁM. 33,7 mm / e=3 mm	2,49	80	199,20	6	14,94
TUBULAR RECTANGULAR 100*100 mm / e=5 mm	15,70	25,2	395,64	10,8	169,56
TUBULAR RECTANGULAR 100*50 mm / e=4 mm	9,42	67,2	633,02	33,6	316,51
PLACA 500*500 mm / e=10 mm	19,63	4	78,50	4	78,50
Varilla roscada Ø16 mm y L=50 cm	1,58	9,6	15,17	9,6	15,17

ELEMENTOS ESTRUCTURALES	Acero(Kg)	MODULO 4 M		MODULO 2 M	
Densidad acero = 7.850 Kg/m ³		Uds.	Kg acero	Uds.	Kg acero
TUBULAR DIÁM. 323,9 mm / e=8 mm	63,90	0		0	
TUBULAR DIÁM. 323,9 mm / e=5 mm	39,94	8	319,52	4	159,76
TUBULAR DIÁM. 219,1 mm / e=6 mm (<i>nota *1</i>)	32,42	4,8	155,616	4,8	155,616
TUBULAR DIÁM. 33,7 mm / e=3 mm	2,49	16	39,84	8	19,92
TUBULAR RECTANGULAR 100*100 mm / e=5 mm	15,70	9	141,3	3,6	56,52
TUBULAR RECTANGULAR 100*50 mm / e=4 mm	9,42	14,4	135,648	9,6	90,432
PLACA 500*500 mm / e=10 mm	19,63	4	78,5	4	78,5
Varilla roscada Ø16 mm y L=50 cm	1,58	9,6	15,168	9,6	15,168

M ² PLATAFORMA Y MIRADOR		Ud TRAMO ANGULAR	
Suma =	184,10 Kg/m ²	1 Ud =	468,97776 Kg

En Zugarramurdi, agosto de 2025

El Ingeniero de caminos Col. Nº 10585

Luis Manuel Quero Millán.

3 CONCLUSIÓN

Se considera el presente anejo lo suficientemente justificado y ajustado a su objeto que es comprobar estructuralmente las pasarelas que conforman las actuaciones a ejecutar para la mejora de la accesibilidad en la cueva de Zugarramurdi; incorporando el mismo al DOC. 1 Memoria y Anejos.

En Zugarramurdi, agosto de 2025

Fdo. Isabel Pérez-Illzarbe Serrano



Arquitecta

Fdo. Luis Manuel Quero Millán



Ingeniero de Caminos