

Anejo nº 5:

DISEÑO DE EQUIPAMIENTOS



Pedro Vilar Ferrero

1.	OBJETO DEL DOCUMENTO	3	9.3.	ILUMINACIÓN DE LAS PASARELAS.....	14
2.	DRENAJE	3			
2.1.	DRENAJE DE PLUVIALES EN LA CALZADA	3			
2.1.1.	PENDIENTES	3			
2.1.2.	OBTENCIÓN DEL CAUDAL DE REFERENCIA.....	3			
2.1.3.	OBTENCIÓN DEL NÚMERO Y SEPARACIÓN DE SUMIDEROS	4			
2.1.4.	COMPROBACIÓN DE LOS SUMIDEROS	5			
2.2.	DRENAJE DE PLUVIALES EN PASARELAS	6			
3.	CAPA DE ESTANQUEIDAD	6			
4.	PAVIMENTO	7			
4.1.	PAVIMENTO URBANO	7			
4.2.	PAVIMENTO DE LA CALZADA	7			
4.3.	CARRIL BICI.....	8			
5.	DEFENSAS.....	9			
5.1.	BARANDILLAS SOBRE PASARELAS	9			
5.1.1.	COMPROBACIONES BARANDILLAS.....	9			
5.1.1.1.	Sección de empotramiento.....	9			
5.1.1.2.	Unión barandilla exterior	10			
5.1.1.3.	Unión barandilla interior	10			
5.2.	DEFENSAS SOBRE CALZADA.....	11			
6.	IMPOSTA	11			
7.	ACERAS.....	11			
8.	CERRAMIENTO DE LA FRANJA ENTRE PASARELAS Y TABLERO	12			
9.	ILUMINACIÓN	12			
9.1.	ILUMINACIÓN DE LA CALZADA EN LA ZONA DEL PUENTE	12			
9.2.	ILUMINACIÓN DE LOS ACCESOS	14			

ANEJO Nº5: DISEÑO DE EQUIPAMIENTOS

1. Objeto del documento

En este anejo se incluye la definición de todos aquellos elementos que son necesarios para el adecuado funcionamiento del puente y los cuales no forman parte del cuerpo resistente del puente en sí, pero cuyo comportamiento es fundamental y necesario para poder cumplir los requisitos de funcionalidad, seguridad y comodidad.

La premisa seguida para su elección ha sido buscar unos equipamientos que sean resistentes y duraderos, además de que estos garanticen la seguridad y comodidad de los usuarios, con un coste de mantenimiento de obra moderado.

2. Drenaje

2.1. Drenaje de pluviales en la calzada

En el presente apartado se va a dimensionar el sistema de drenaje para la correcta y eficaz evacuación de las aguas pluviales. El resultado que se obtiene consta de un conjunto de sumideros de unas dimensiones determinadas obtenidos a partir de los datos de precipitaciones y de la geometría del tablero propuesto.

El puente se ha diseñado con dos filas de imbornales que recogen cada una el agua correspondiente a cada mitad del puente. Estos están situados contiguos al lado interior de los arcos en la calzada. Los sumideros asumen únicamente el agua que llega de la calzada. Por el contrario, para las aceras se diseñará un elemento de drenaje propio.

2.1.1. Pendientes

En cuanto a las pendientes, la pendiente transversal es constante a lo largo de toda la luz del puente (tiene un valor de $J_y = 2,5\%$). Sin embargo, longitudinalmente, al ser un acuerdo vertical la pendiente longitudinal varia, siendo cero en el vértice del acuerdo. En cuanto a los accesos al puente, la pendiente longitudinal de salida del puente hacia el Parque de Tempelhof es de $J_x = 3\%$ mientras que la pendiente de acceso al puente desde la Oberlandstrasse es de $J_x = 3,5\%$.

2.1.2. Obtención del caudal de referencia

Según la “Instrucción 5.2-IC. Drenaje superficial”, en primer lugar se debe obtener el caudal de referencia Q , que es aquel estimado que será necesario desaguar, y que se calcula mediante la expresión siguiente.

$$Q = \frac{C \cdot A \cdot I_T}{3000} (l/s)$$

Dónde:

- **C** coeficiente medio de escorrentía de la superficie drenada.

$$C = \frac{\left[\left(\frac{P_d}{P_0}\right) - 1\right] \cdot \left[\left(\frac{P_d}{P_0}\right) + 23\right]}{\left[\left(\left(\frac{P_d}{P_0}\right) + 11\right)^2\right]}$$

Siendo:

- P_0 umbral de esorrentía para pavimentos urbanos en este caso:

$$P_0 = 1 \text{ mm}$$

- P_d la precipitación total diaria para el periodo de retorno de 25 años. Tomamos los datos de la publicación “Máximas lluvias diarias en la España Peninsular”. Hemos considerado el valor de la precipitación máxima diaria de Bilbao para poder obtener el valor de la norma, por asemejarse a la precipitación en Berlín (pudiendo así utilizar la normativa española para la obtención de este parámetro).

$$P_d = Y_t \cdot P$$

Siendo:

- Y_t factor de amplificación, hallado en la tabla 7.1 de la publicación “Máximas lluvias diarias en la España Peninsular, Ministerio de Fomento, DGC”, entrando con el coeficiente de variación C_v (Fig. 3.2 Máximas lluvias diarias), y con el periodo de retorno T .

En nuestro caso, dichos valores son:

$$C_v = 0.38$$

$$T = 25 \text{ años}$$

$$\text{Obteniendo, } Y_t = 1.793$$

- P máxima precipitación anual diaria (obtenida del mapa de isolíneas del documento “Máximas lluvias diaria en la España Peninsular”).

$$P = 65 \text{ mm/día}$$

Sustituyendo:

$$P_d = Y_t \cdot P = 1.793 \cdot 65 = 116.545 \text{ mm/día}$$

Finalmente, sustituyendo los valores obtenidos en la expresión inicial:

$$C = \frac{\left[\left(\frac{P_d}{P_0}\right) - 1\right] \cdot \left[\left(\frac{P_d}{P_0}\right) + 23\right]}{\left[\left(\left(\frac{P_d}{P_0}\right) + 11\right)^2\right]} = \frac{\left[\left(\frac{116.545}{1}\right) - 1\right] \cdot \left[\left(\frac{116.545}{1}\right) + 23\right]}{\left[\left(\left(\frac{116.545}{1}\right) + 11\right)^2\right]} = 0.99115$$

- I_t Intensidad media de precipitación correspondiente a un período de retorno de 25 años y a un intervalo igual al tiempo de concentración T . La fórmula para obtener la intensidad media de precipitación se ha obtenido de los datos de partida impuestos por la dirección del taller.

$$I_T = 94 \cdot \frac{70.969}{T + 9} = 476.574 \frac{l}{s} \cdot Ha$$

$$I_T = 171,567 \text{ mm/h}$$

- A Área de la superficie drenada (considerando un cuarto del puente)

$$A = 192,504 \text{ m}^2$$

Finalmente el caudal de referencia será:

$$Q = \frac{C \cdot A \cdot I_T}{3000} = \frac{0.99115 \cdot 102,504 \cdot 171.567}{3000} = 10.9116 \text{ (l/s)}$$

Una vez obtenido el caudal, el siguiente paso será el dimensionamiento del sistema de evacuación de pluviales.

2.1.3. Obtención del número y separación de sumideros

Para determinar la cantidad y la distribución de los sumideros, primero debemos elegir la geometría de los mismos. En nuestro caso se ha optado por diseñarlos con las medidas deseadas.

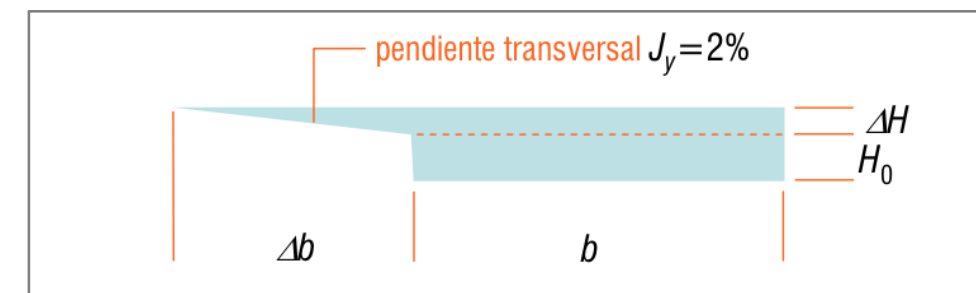


Figura 1. Definición geometría del caz.

- Ancho del caz (máximo ancho admisible de la lámina de agua):

$$b^* = 0.3 \text{ m}$$

- Ancho del elemento lineal (sumidero)

$$b = 0.2 \text{ m}$$

- Altura desde el elemento lineal hasta el pavimento.

$$H_0 = 2 \text{ cm}$$

- Espacio libre entre las barras que constituyen el sumidero.

$$e = 2.5 \text{ cm}$$

- Ancho de las barras que constituyen el sumidero.

$$B = 2 \text{ cm}$$

- Canto de las barras que constituyen el sumidero.

$$D = 2 \text{ cm}$$

- Diferencia entre la altura máxima admisible y el ancho del elemento lineal.

$$\Delta b = b^* - b = 0.1 \text{ m}$$

- Incremento de altura.

$$\Delta H = J_Y \cdot (b^* - b) = \frac{2.5}{100} \cdot 0.1 = 0.0025 \text{ m}$$

- Altura máxima de la lámina de agua

$$H = H_0 + \Delta H = 0.0225 \text{ m}$$

- Superficie mojada

$$S = 0,004625 \text{ m}$$

- Perímetro mojado

$$p = 0.3425 \text{ m}$$

Con todos estos parámetros podemos proceder a la obtención del caudal de referencia por sumidero:

$$q = K \cdot J_x^{\frac{1}{2}} \cdot S \cdot \left(\frac{S}{p}\right)^{\frac{2}{3}} \cdot 10^3$$

$$q = 2.255 \text{ l/s}$$

Para una rugosidad $K = 65 \text{ m}^{\frac{1}{3}}/\text{s}$, que corresponde a un revestimiento bituminoso, y una pendiente longitudinal media de $J_x = 1.75 \%$, obtenemos el número de sumideros y por tanto su separación. Como la pendiente longitudinal no es constante a lo largo de toda la longitud del puente, calcularemos el número de sumideros para la pendiente media del acuerdo ($J_x=1.75\%$).

El número de sumideros obtenido para un cuarto de puente, es de 5 sumideros, es decir 10 sumideros a cada lado de la calzada.

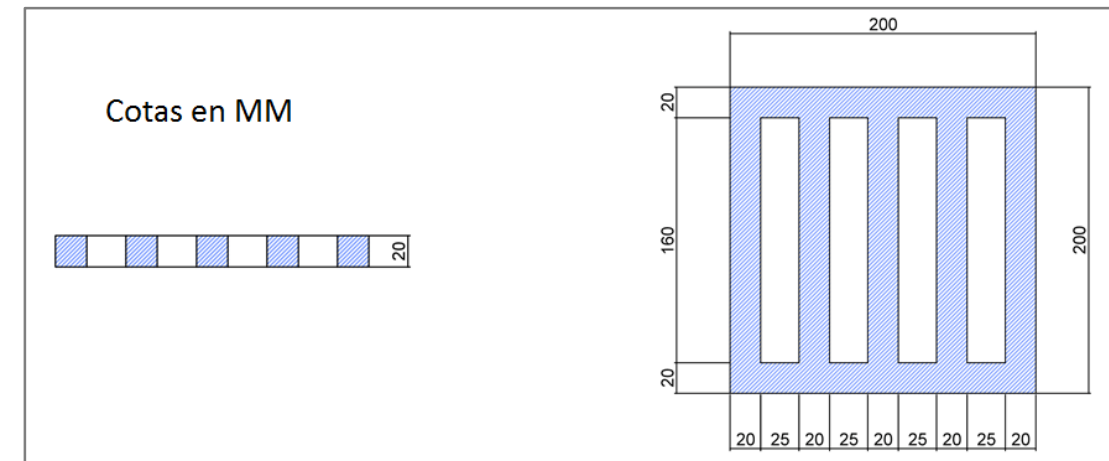


Figura 2. Detalle del sumidero.

2.1.4. Comprobación de los sumideros

La velocidad de agua en el caz será:

$$v = \frac{q}{S \cdot 1000} = \frac{2.244}{4.265} = 0.4876 \text{ m/s}$$

Disponemos las barras en el sentido de la corriente, por lo que se debe cumplir la siguiente condición:

$$L_1 = 9 \cdot (H + D)^{\frac{1}{2}} \cdot v = 9.047 \text{ cm} < 4 \cdot e = 10 \text{ cm}$$

Por lo tanto, cumplimos la condición exigida para el sumidero. También es necesario evaluar la capacidad de desagüe del sumidero, que para una altura máxima de la lámina de agua inferior a 12 centímetros, se utiliza la siguiente expresión del vertedero:

$$Q_1 = \frac{P \cdot H^{\frac{3}{2}}}{60} = \frac{(4 \cdot 20 \cdot 2.25^{\frac{3}{2}})}{60} = 4.5 \frac{\text{l}}{\text{s}} > q = 2.255 \text{ l/s}$$

Siendo P el perímetro total de la rejilla que constituye el sumidero.

$$n \cdot Q_1 = 5 \cdot 4.5 = 22.5 \text{ l/s} > 2 \cdot Q = 2 \cdot 10.9 = 21.8 \text{ l/s}$$

Una vez se comprueba que se cumplen las condiciones vistas, se opta por disponer 14 sumideros a cada lado de la calzada y con una separación de 5 m entre ellos, aumentando ligeramente el número de sumideros necesarios para que estos estén separados 5 metros.

2.2. Drenaje de pluviales en pasarelas

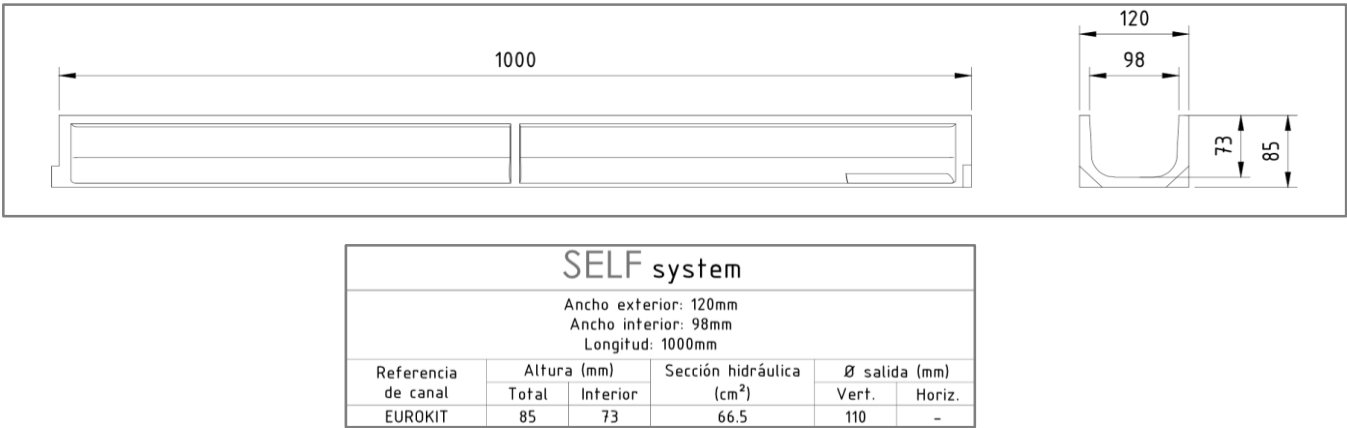


Figura 3. Detalle canalización lineal en pasarela.

Debido a la separación existente entre la pasarela y la calzada, se debe disponer un elemento propio de drenaje para la evacuación de aguas en la pasarela. Se ha decidido colocar un elemento continuo de drenaje a lo largo de toda la pasarela (en la parte interior de esta). Optamos por colocar un canal de Hormigón Polímero de ULMA, modelo Eurokit o similar, con un ancho exterior de 120 mm, un ancho interior de 98 mm y una altura exterior de 85 mm (Ver plano X). Este sistema de drenaje dispone de una rejilla de acero laminado con un sistema de fijación mediante clic o presión.

3. Capa de estanqueidad

En ambos casos, tanto en la calzada como en las pasarelas, para evitar la filtración de agua hacia la losa colaborante de hormigón armado se dispone de una capa de estanqueidad “Parafor Ponts” del fabricante SIPLAST o similar. Esta es una capa de estanqueidad óptima en superficies transitables tanto por peatones como por vehículos, siendo posible su utilización según el fabricante bajo mezcla bituminosa o cualquier otra superficie de apoyo, ofreciendo una impermeabilización garantizada, resistente y duradera. Su puesta en obra se realiza mediante soldadura con soplete. A continuación se adjunta a título informativo las características del fabricante obtenidas del catálogo de la empresa Siplast:

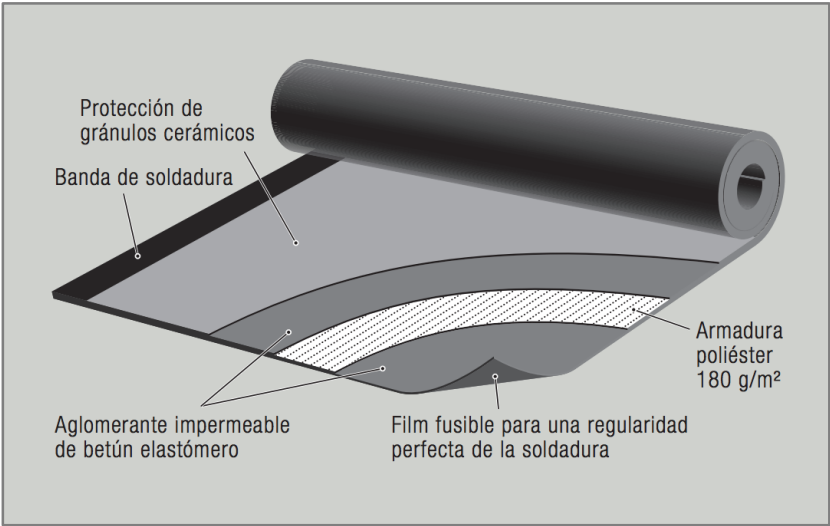


Figura 4. Definición capa de estanqueidad.

CARACTERISTICAS	Normas	Unidades	Valores	Expresión de los resultados
• Longitud	EN 1848-1	m	7.92	VLF
• Anchura	EN 1848-1	mm	990	VLF
• Rectitud	EN 1848-1	mm	conforme	conforme
• Espesor	EN 1849-1	mm	4.0	VDF - 5 %
• Adhesión de gránulos	EN 12039	un	conforme	conforme
• Resistencia a la tracción LxT	EN 12311-1	N/50 mm	820 x 560	VDF - 10 %
• Alargamiento LxT	EN 12311-1	%	40 x 49	VDF - 20 %
• Flexibilidad a baja temperatura	EN 1109	°C	- 10	VLF
• Resistencia a la fluencia a elevada temperatura	EN 1110	°C	95	VLF
• Estabilidad dimensional	EN 1107-1	mm	- 0.50	VLF
• Resistencia a cizalla de las juntas (solape x cabeza de rollo)	EN 12317-1	N/50 mm	600 x 900	VDF - 15 %
• Resistencia al impacto (B, soporte blando)	EN 12691	mm	1500	VLF
• Resistencia al punzonamiento estático (A, soporte blando)	EN 12730	kg	20	VLF
• Estanqueidad	EN 1928	--	conforme	conforme
• Propiedad de transmisión de vapor de agua	EN 1931	--	20000	--
• Durabilidad EN 1296 : Resistencia a la fluencia a temperatura elevada	EN 1110	°C	95	VDF - 5 °C
• Reacción al fuego	EN 13501-1	--	F	--

Tabla 1. Características de la capa de estanqueidad.

4. Pavimento

En este punto del anejo se expone que pavimentos se van a colocar en cada carril y algunas directrices sobre como colocarlo. El pavimento del puente se divide en tres partes claramente diferenciadas: el carril bici, el pavimento urbano y la calzada para el paso de los vehículos.

4.1. Pavimento urbano

El pavimento urbano seleccionado para las pasarelas es del tipo “Tao grafito (ARK+)”de PORCELANOSA o similar. Sus dimensiones son 60x60x47mm. Este pavimento con su textura pétrea, es una buena opción para la pavimentación peatonal de exteriores. Además de sus características antideslizantes, posee un tratamiento impermeabilizante que aporta limpieza y altas prestaciones técnicas.



Figura 5. Muestra del pavimento urbano Tao Grafito.

Para la colocación de este pavimento se seguirá el siguiente proceso:

- Acondicionamiento del área a pavimentar liberándola de impurezas como yeso, productos de demolición, materias colorantes y arenas, limpiando conscientemente la zona de detritus de cualquier naturaleza.
- Preparación de una base de mortero de 3 cm formado por cemento y arena limpia de impurezas que no contenga arcillas u otros contaminantes, utilizando un cemento de clase resistente y con un grado de humedad correcto, evitando que los componentes del mortero de agarre produzcan eflorescencias o exudación en la cara vista de las baldosas.
- Las baldosas se asentarán y nivelarán mediante el “sistema de golpe de maceta”. Toda la cara base de la misma debe estar bien apoyada sobre el mortero de agarre.
- Para la colocación de las baldosas es necesario dejar una separación de 1 mm a 3 mm entre baldosas con el fin de evitar los posibles desconchamientos.
- Ejecución del rejuntado de las losas mediante un mortero seco, debiendo estar la superficie totalmente limpia y con las juntas descubiertas.

4.2. Pavimento de la calzada

Según datos basados en aforos realizados la IMD y el porcentaje de pesados en el tramo donde se encuentra nuestra estructura son los siguientes:

$IMD_{2014} = 2137 \text{ vehículos}$

$\%Pesados = 12\%$

En nuestro caso tenemos la Oberlandstrasse que dispone de dos sentidos de circulación. Por tanto en nuestro caso la IMDp para el carril de proyecto será:

$IMD_p = \frac{2173}{2} * 0.12 = 395.48 = 130 \text{ vehículos pesados}$

A partir de la intensidad media diaria de vehículos pesados obtenemos la categoría del tráfico:

TABLA 1.A. CATEGORÍAS DE TRÁFICO PESADO T00 A T2

CATEGORÍA DE TRÁFICO PESADO	T00	T0	T1	T2
IMDp (vehículos pesados/día)	≥ 4 000	< 4 000 ≥ 2 000	< 2 000 ≥ 800	< 800 ≥ 200

TABLA 1.B. CATEGORÍAS DE TRÁFICO PESADO T3 Y T4

CATEGORÍA DE TRÁFICO PESADO	T31	T32	T41	T42
IMDp (vehículos pesados/día)	< 200 ≥ 100	< 100 ≥ 50	< 50 ≥ 25	< 25

Tabla 2. Categorías de tráfico pesado. Norma de firmes.

El valor obtenido está dentro de la categoría de tráfico T31, según la Instrucción 6.1 y 6.2-IC, por lo que se considera dicha categoría de tráfico para el dimensionamiento en el tramo correspondiente al puente.

La instrucción de puentes IAP-11 nos obliga a tomar un espesor inferior a 100 mm, siendo lo corriente adoptar espesores de entre 50 y 70 mm. En este caso se ha optado por utilizar de forma simplificada un espesor de 60 mm para la capa de rodadura. En función del tipo y espesor de la capa podemos elegir los siguientes tipos de mezcla:

TABLA 542.9

Tipo de mezcla a utilizar en función del tipo y espesor de la capa

Tipo de capa	Espesor (cm)	Tipo de mezcla
Rodadura.	4 – 5 > 5	D12; S12; PA12 D20; S20
Intermedia.	5-10	D20; S20; S25
Base.	7–15	S25; G20; G25; MAM (**)
Arcenes (*).	4–6	D12

(*) En el caso de que no se emplee el mismo tipo de mezcla que en la capa de rodadura de la calzada.

(**) Espesor máximo de trece centímetros (13 cm).

Tabla 3. Tipo de mezcla a utilizar en función del tipo y espesor de la capa. Norma de firmes.

Utilizaremos una mezcla bituminosa en caliente semidensa S-20. La norma también nos indica unas recomendaciones para la elección del tipo de betún asfáltico en mezclas bituminosas en caliente, que se presentan en la siguiente tabla, en función de la categoría de tráfico y la zona térmica estival:

TABLA 542.1						
Tipo de ligante hidrocarbonado a emplear (Artículos 211 y 215 de este Pliego)						
A) En capa de rodadura y siguiente						
Zona térmica estival	Categoría de tráfico pesado					
	T00	T0	T1	T2	T 3 y arcenes	T4
Cálida.	B40/50 BM-2 BM-3c		B40/50 B60/70 BM-2 BM-3b BM-3c	B40/50 B60/70 BM-3b	B60/70	B60/70 B80/100
Media.			B60/70 BM-3b		B60/70	
Templada.			B60/70 B80/100 BM-3b		B80/100	

Tabla 4. Tipo de ligante hidrocarbonado a emplear. Norma de firmas

Para el caso de tráfico pesado T31 y zona térmica estival templada, correspondiente a la localidad de Berlín, optaremos por a un betún B60/70.

4.3. Carril bici



Figura 6. Especificaciones pavimento Sika.

El carril bici, de 2 metros de ancho, se materializará mediante la aplicación de un pavimento Sika de color rojo tipo Ral 3009 o similar. Es un pavimento de fácil colocación en obra y de fácil mantenimiento. Es adecuado para el carril bici porque soporta un importante grado de desgaste mecánico así como el derrame de productos químicos agresivos como combustibles, por lo que es adecuado en instalaciones de poco mantenimiento o vigilancia. A título informativo se adjunta la imagen inferior obtenida del catálogo de pavimentos deportivos de la empresa Sika:

Para su colocación:

- El soporte asfáltico debe ser preparado mecánicamente mediante granallado o escarificado, para eliminar las lechadas superficiales y obtener una superficie texturada de poro abierto.
- En caso de tener un soporte muy seco, se recomienda humedecerlo con agua, sin dejar charcos, para evitar una desecación prematura del producto. Cualquier resto de suciedad, material suelto o mal adherido debe ser totalmente eliminado antes de proceder a la aplicación del producto, preferiblemente mediante cepillado y aspirado.
- Colocamos una capa de Sikafloor-2040 que es un revestimiento acrílico para la regularización en capa gruesa, monocomponente, con adición de áridos seleccionados y que sirve de capa de regularización. Para su colocación debemos verter el Sikafloor y extender uniformemente mediante una rastra de goma, prestando especial atención a los encuentros entre paramentos y puntos singulares.
- A continuación se coloca una doble capa case de Sikafloor-2030. Este se suministra listo para su uso y solo debe ser homogeneizado mezclándolo 2 minutos aproximadamente. Para su extendido se sigue el mismo procedimiento que para la capa de regularización.
- Finalmente colocamos la capa de sellado Sikafloor-2020 que es un revestimiento acrílico coloreado que se usa como acabado decorativo y que tiene gran resistencia a la abrasión y a los rayos UV (no se decolora).

5. Defensas

5.1. Barandillas sobre pasarelas

Las barandillas de la pasarela son un elemento visual clave para el conjunto. A nuestro entender, el diseño propuesto proporciona una vista de las pasarelas ligera y dinámica.

Para asegurar el correcto funcionamiento de la barandilla, se han tenido en cuenta tanto los motivos estéticos como los de seguridad. Para conseguir que la barandilla cumpla con sus funciones de seguridad se ha decidido colocar una barandilla de altura 1.2 m y se ha limitado la distancia entre barras horizontales de forma que no sea mayor a 150 mm en los primeros 60 cm de. Además, la barandilla está dispuesta de forma inclinada con la finalidad de evitar que esta sea fácilmente escalable.

El montante es de acero inoxidable y de un espesor de 10 mm. Este tiene sección variable desde el apoyo hasta su punto más alto, variando su canto desde 160 a 23 mm. El ángulo que forma el lado exterior del montante con la horizontal es de 60º y el ángulo que forma el lado interior es de 64º, ambos ángulos se mantienen hasta la altura de 0.6 m. A partir de este punto hay un cambio de dirección en la inclinación de la barandilla y esta se orienta hacia la pasarela siendo el ángulo del lado interior 63º y el ángulo del lado exterior 57º. El montante se coloca cada 2.5 metros y entre estos se disponen perfiles circulares. Consta de 6 perfiles circulares horizontales, los 4 perfiles más cercanos a la base son de 20 mm de diámetro y los otros dos son de 32mm de diámetro, ambos con un espesor de pared de 5 mm. La distancia vertical entre los perfiles es de 150 cm

Los montantes exteriores están anclados a los cuchillos transversales mediante soldadura, mientras que los interiores van soldados a una chapa metálica y esta a su vez va anclada a la losa colaborante de hormigón armado aumentando el espesor de la losa bajo la misma. Esta chapa de dimensiones 300x250mm y 10 mm de espesor se ancla al hormigón mediante 4 tornillos M12. La geometría de todo lo expuesto puede consultarse con mayor detalle en el Plano Nº7: Equipamientos

Sobre los montantes reposa un pasamanos de acero inoxidable de 100 mm de diámetro y 3 mm de espesor. Este acero proporciona una sensación de limpieza y un acabado brillante y suave. Debido a que la iluminación de la calzada no ilumina las pasarelas en su totalidad, se dispone un pasamanos de la casa DW Windsor o similar. Este pasamanos contiene un LED Handrail o similar con un ángulo de iluminación asimétrico hacia el interior de la pasarela de 56º. Las lámparas LED son ideales para este caso por sus reducidas dimensiones y su consumo eléctrico mínimo.



Figura 7. Vista 3D de las barandillas sobre la pasarela

5.1.1. Comprobaciones barandillas

En puentes y pasarelas, según EN 1317-6, se adoptará una clase de carga tal que la fuerza horizontal perpendicular al elemento superior de la barandilla sea como mínimo de 1.5 kN/m. Por tanto la barandilla debe ser capaz de transmitir esa carga a través del montante a la pasarela, lo que se comprueba a continuación.

5.1.1.1. Sección de empotramiento

En primer lugar se pasa a comprobar la barandilla exterior, unida a la viga de piso mediante cordón de soldadura. Debido a que los montantes se sitúan cada 2.5 m, y la barandilla tiene una altura total de 1700 mm aproximadamente respecto al eje de aplicación de la fuerza, el momento que se genera en la base, con un coeficiente de mayoración de 1.5 será de:

$$M_{Ed} = 1.5 * 1.5kN/m * 2.5m * 1.7m = 9.56 mkN$$

Se comprueba en primer lugar que la tensión de comparación no supere la tensión admisible en el material, despreciando las tensiones tangenciales:

$$\sigma = \frac{M_{Ed}}{I} * \frac{h}{2} = \frac{9.56 * 10^6}{8 * 10^6} * \frac{212.5}{2} = 127 MPa$$

$$I = \frac{1}{12} * b * h^3 = \frac{1}{12} * 10 * 212.5^3 = 8 * 10^6 \text{ mm}^4$$

Escogiendo un acero S 235 JR, la tensión admisible del mismo es de:

$$\sigma_{adm} = \frac{f_{yk}}{\gamma_M} = \frac{235}{1.05} = 223.8 \text{ MPa}$$

Comparando la tensión de cálculo con la admisible se concluye que:

$$\sigma = 127 \text{ MPa} < \sigma_{adm} = 223.8 \text{ MPa} \rightarrow \text{cumple}$$

Se comprueba a continuación la sección de empotramiento de la barandilla interior siguiendo el mismo procedimiento que en el caso anterior, pero esta vez con una altura del montante de 1.2m:

$$M_{Ed} = 1.5 * 1.5 \text{ kN/m} * 2.5 \text{ m} * 1.2 \text{ m} = 6.75 \text{ mkN}$$

$$\sigma = \frac{6.75 * 10^6}{3.4 * 10^6} * \frac{160}{2} = 159 \text{ MPa}$$

$$I = \frac{1}{12} * 10 * 160^3 = 3.4 * 10^6 \text{ mm}^4$$

Comparando con la tensión admisible del material obtenemos:

$$\sigma = 159 \text{ MPa} < \sigma_{adm} = 223.8 \text{ MPa} \rightarrow \text{cumple}$$

5.1.1.2. Unión barandilla exterior

La barandilla exterior, como se ha comentado anteriormente, se unirá a la viga de piso mediante un cordón de soldadura. Por lo tanto es necesario comprobar que el cordón a disponer resiste los esfuerzos en el estado límite último.

El esfuerzo principal que resiste esta unión es de flexión, de valor $M_{Ed} = 9.56 \text{ mkN}$, calculado en el apartado anterior. Por tanto, el esfuerzo de tracción máximo se produce en el extremo de la base, y es de valor:

$$F_{MAX} = \frac{9.56}{0.2125} = 45 \text{ kN}$$

Se empleará del lado de la seguridad el valor de este esfuerzo distribuido a lo largo de medio cordón de soldadura (parte traccionada). Comprobando según el epígrafe 60.1.1. de la EAE, la limitación tensional que se debe verificar es la siguiente:

$$\frac{F_{w,Ed}}{\sum a_i L_{wi}} \leq \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2} \sqrt{3}} = 207.85 \text{ MPa}$$

Con:

$$f_u = 360 \text{ MPa}$$

$$\beta_w = 0.80$$

$$\gamma_{M2} = 1.25$$

Para cumplir esta limitación, el espesor de garganta mínimo requerido en la soldadura es de:

$$\frac{45000}{2 * a * (212.5/2)} = 207.85 \text{ MPa}$$

$$a = 1.02 \text{ mm}$$

Por disposiciones constructivas se recomienda un espesor de garganta no superior a (59.3. de la EAE):

$$0.7 t_{min} = 0.7 * 1 = 7 \text{ mm}$$

Ni inferior a 3 mm en chapas de hasta 10 mm de espesor. Por ello se recomienda un espesor de garganta para la soldadura de 3 mm.

5.1.1.3. Unión barandilla interior

Para la unión de la barandilla interior a la pasarela se opta por una unión atornillada a través de una chapa de dimensiones 300x250mm y 10mm de espesor, anclados al hormigón mediante cuatro tornillos del tipo M12, del grado 4.6., como se expresa en el apartado 5.1. del presente anejo. Se encuentran además situados en puntos que cumplen los mínimos de distancias recomendados en el artículo 58.4 de la EAE.

Estos están sometidos o a tracción o a compresión, debido a que el principal esfuerzo que debe resistir la sección de empotramiento es de flexión. Por ello, el flector de diseño se debe descomponer en un par de fuerzas equivalente, que a su vez se debe dividir en dos debido a que encontramos dos tornillos en cada lado:

$$N_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{2s} = \frac{6.75}{2 * 0.21} = 16.07 \text{ kN (de tracción o compresión)}$$

Se puede comprobar en el artículo 58.7 de la EAE que este esfuerzo no supera el máximo resistido de 24.28 kN recogido en la siguiente tabla para tornillos M12 y grado 4.6:

Tabla 58.7
Resistencia a tracción en kN

Diámetro (mm)	A _s (mm²)	Grado			
		4.6	5.6	8.8	10.9
12	84,3	24,28	30,35	48,56	60,70
16	157	45,22	56,52	90,43	113,04
20	245	70,56	88,20	141,12	176,40
22	303	87,26	109,08	174,53	218,16
24	353	101,66	127,08	203,33	254,16
27	456	131,33	164,16	262,66	328,30

Tabla 5. Valores de la resistencia a tracción máxima de los distintos tipos de tornillos

Por tanto la unión cumple la resistencia requerida.

5.2. Defensas sobre calzada

La elección de la defensa sobre la calzada se ha realizado según la Orden circular 23/2008 sobre criterios de aplicación de pretilas metálicas en carretera.

Como podemos ver en la norma, para puentes es necesaria la colocación de pretilas en el borde del tablero, separando la acera peatonal del resto del tablero. En nuestro caso, la acera no se encuentra directamente contigua a la calzada pero de igual manera debemos colocar una defensa para evitar que los vehículos impacten contra el arco o péndolas rígidas, pudiendo dañar gravemente la estructura. Para ello se ha seleccionado uno de los pretilas que están incluidos dentro del catálogo de la OC23/2008, el pretil metálico PMH-13 de la empresa Hiasa o similar.

El PMH-13 tiene una altura de 1,04 metros y está formado por una chapa de acero laminado en caliente de calidad S235JR y S275JR, galvanizado en caliente por inmersión. Además dispone de un anclaje fusible compuesto por cuatro pernos de anclaje químico embebidos directamente en el tablero y atravesando la placa base del poste y fijados a ella mediante tuercas y arandelas fusibles. El anclaje fusible permite el desacople de los pernos frontales de anclaje durante el impacto del vehículo pesado, sin que el tablero sufra daños relevantes, dato importante para nuestra calzada ya que debido a la zona industrial donde se sitúa el puente, este contará con un alto número de vehículos pesados. En el caso de impactar un vehículo ligero sobre el pretil, este será incapaz de arrancar el anclaje fusible.

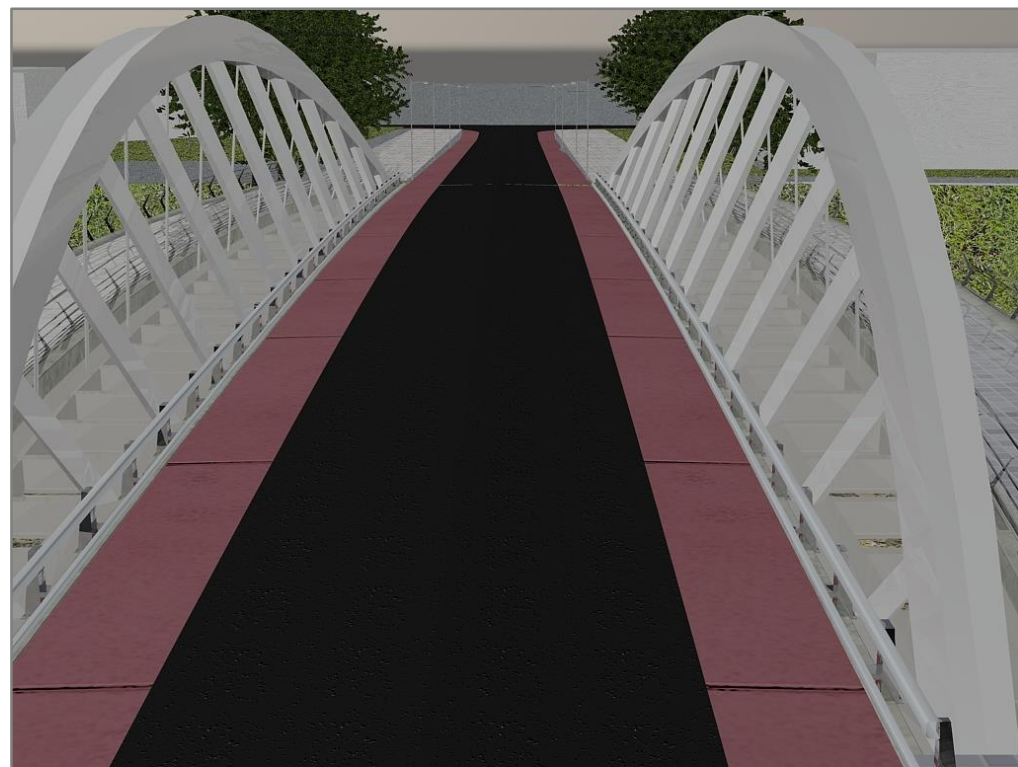


Figura 8. Vista en 3d barrera de contención en la calzada.

6. Imposta

Se ha optado por un diseño sencillo, a base de curvas, acorde a la geometría conjunta del puente y que proporciona continuidad a la vista general de la estructura. La geometría detallada se puede ver en el Plano Nº8 Equipamientos.

Se encargaran módulos prefabricados de 2,5 m (distancia entre ejes de vigas de piso) y dichos módulos estarán dotados de una junta, a través la cual pasará la barandilla exterior que habrá quedado soldada a los cuchillos transversales en una fase constructiva previa.

Su colocación se realizará por módulos. De cada módulo saldrán las esperas de las armaduras que quedaran embebidas en la contraimposta que se hormigonará en segunda fase de la ejecución de las aceras.

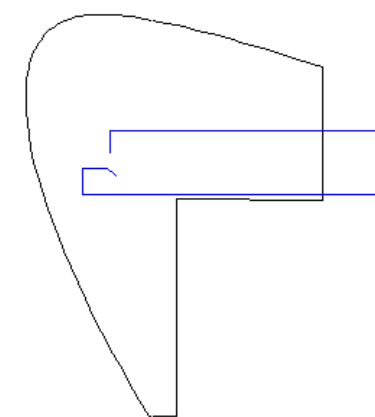


Figura 9. Detalle imposta y anclaje.

7. Aceras

Se ha optado por el empleo de aceras macizas de hormigón en masa, en el interior de las cuales se dispondrán un total de 14 tubos de PVC de 100mm separados 21 mm entre sus centros con la finalidad de permitir el paso de servicios tales como luz u otros a través de ellos. Para poder acceder a dichas conducciones se dispondrán arquetas de registro a los largo de las aceras.

La elección de esta tipología de acera se debe por un lado a la sencillez de ejecución de la misma y por otro lado a que esta proporciona la estanqueidad como característica fundamental.

En la ejecución de las mismas se dispondrá de mortero de agarre sobre el hormigón en masa que servirá de capa de apoyo para el pavimento urbano que se ha elegido y descrito en el epígrafe 4.1.

8. Cerramiento de la franja entre pasarelas y tablero

Para prevenir la caída de objetos a las vías, se ha optado por colocar una rejilla Tramex de la casa Adhorna o similar, que es una rejilla de poliéster reforzado con fibra de vidrio con gran resistencia mecánica, durabilidad y ligereza. Además el proceso de fabricación del tramex nos proporciona una gran variedad de geometría y acabados. A título informativo se adjunta la información sobre la rejilla tramex de la casa Adhorna:

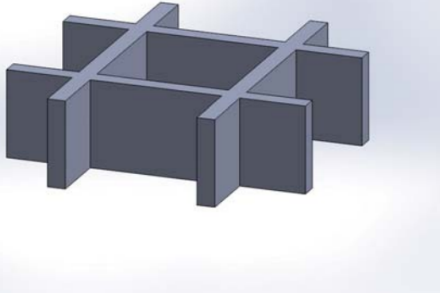
	Rejilla abierta 50x50mm			
	Grosor (mm)	Medida de malla (mm)	Medida plancha (mm)	Peso Aprox. (kg/m²)
	13	50x50	2000x1000	5.8
			4000x1000	
			3660x1220	
	25	50x50	2000x1000	11.8
			4000x1000	
			3660x1220	
	50	50x50	2000x1000	21.3
			4000x1000	
			3660x1220	

Figura 10. Definición geométrica Tramex.

Se va a disponer una rejilla de 13 mm de grosor y de rejilla abierta 50 x 50 mm en planchas de 4000 x 1000 mm. La estandarización del sistema de montaje hace posible ensamblar toda la estructura con un reducido número de sistemas de fijación, acelerando y abaratando el proceso constructivo.

9. Iluminación

La necesidad de iluminar se justifica por tratarse de una zona urbana que, además, contiene un elemento singular como es el puente. La zona de actuación se dividirá en tres partes diferentes.

En una primera parte se evaluará la iluminación de la calzada, carriles bici y aceras colindantes que no forman parte del puente. La segunda parte de la iluminación la forman la calzada y los carriles bici del puente. Por último, la tercera parte de esta división serán las pasarelas exentas en la zona del puente.

Los motivos de esta división y la iluminación para cada una de las zonas se verán en los siguientes apartados.

9.1. Iluminación de la calzada en la zona del puente

Para la calzada en el puente se opta por una iluminación con lámparas dispuestas a lo largo del arco para evitar así la colocación de mástiles a lo largo del puente que pudieran influir en la estética del mismo. Se trata de que las lámparas pasen desapercibidas.

Por tratarse de una calzada ubicada en una vía urbana, la iluminación de la misma debe cumplir ciertos requisitos. Estos requisitos se obtienen de las Recomendaciones para la iluminación de carreteras y túneles.

En primer lugar se define la situación de proyecto como A_3 , ya que se trata de una vía con control de tráfico y separación de los distintos tipos de usuarios. Por ello, según la siguiente tabla de las recomendaciones:

SITUACIONES DE PROYECTO	TIPO DE VÍAS	CLASE DE ALUMBRADO*
A_2	Carreteras interurbanas sin separación de aceras o carril bici	ME 1
	■ Intensidad de tráfico y complejidad del trazado de la carretera:	ME 2
	■ Control del tráfico y separación de los distintos tipos de usuarios	ME 3a
	■ Parámetros específicos	ME 4a
A_3	Vías, colectoras y rondas de circunvalación	ME 1
	Carreteras interurbanas con accesos no restringidos	ME 2
	■ Intensidad de tráfico y complejidad del trazado de la carretera:	ME 3b
	■ Control del tráfico y separación de los distintos tipos de usuarios	ME 4a
	■ Parámetros específicos	ME 4b

Tabla 6. Clases de alumbrado en función de la situación de proyecto

De esta forma queda definida la clase del alumbrado como ME4a. Los parámetros que se deben cumplir son por tanto los recogidos en la siguiente tabla:

CLASES DE ALUMBRADO*	LUMINANCIA DE LA SUPERFIE DE LA CALZADA EN CONDICIONES SECAS			DESLUMBRAMIENTO PERTURBADOR	ILUMINACIÓN ALREDEDORES
	Luminancia med. L_m (cd/m²)	Uniformidad global U_0	Uniformidad longitudinal U_l	Incremento umbral Tl (%)**	Relación entorno SR ***
ME 1	2.00	0.40	0.70	10	0.50
ME 2	1.50	0.40	0.70	10	0.50
ME 3 a	1.00	0.40	0.70	15	0.50
b	1.00	0.40	0.60	15	0.50
ME 4 a	0.75	0.40	0.60	15	0.50
b	0.75	0.40	0.50	15	0.50

Tabla 7. Parámetros luminotécnicos a cumplir en función de la clase de alumbrado

Las comprobaciones realizadas respecto a la iluminación para corroborar que se cumplen estos parámetros se realizarán mediante el programa DIALux. Para ello en primer lugar se escogen las lámparas a emplear. Estas serán iguales en toda la calle, con la diferencia de que en el arco se diseñan portalámparas específicos para no desentonar con la estética del conjunto, y en el resto de calle se ubicarán los mismos de catálogo sobre mástiles como se verá en el siguiente apartado. Las lámparas empleadas son de la marca *we-ef*, o similar y el modelo es: WE-EF 660-4423 PFL240-LD-24/72 [S65.4K]. Se trata de lámparas de 24x24 LED 72W.

Con esta luminaria se modeliza en el programa DIALux una superficie exterior con las coordenadas exactas de las lámparas sobre el arco, proyectadas sobre una superficie de cálculo definida como “Recuadro de evaluación de vía pública”. La ubicación de las mismas se puede ver a continuación:

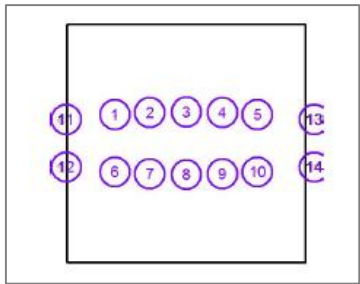


Figura 11. Ubicación de luminarias

N°	Posición [m]			Rotación [°]		
	X	Y	Z	X	Y	Z
1	14.090	8.400	3.900	20.0	0.0	180.0
2	24.356	9.000	5.470	20.0	0.0	180.0
3	35.000	9.200	6.000	20.0	0.0	180.0
4	45.570	9.000	5.475	20.0	0.0	180.0
5	55.830	8.380	3.920	20.0	0.0	180.0
6	14.090	-8.380	3.930	20.0	0.0	0.0
7	24.360	-9.000	5.470	20.0	0.0	0.0
8	35.000	-9.200	6.000	20.0	0.0	0.0
9	45.600	-9.000	5.470	20.0	0.0	0.0
10	55.800	-8.380	3.920	20.0	0.0	0.0
11	-2.500	7.000	4.000	0.0	0.0	-180.0
12	-2.500	-7.000	4.000	0.0	0.0	0.0
13	72.500	7.000	4.000	0.0	0.0	180.0
14	72.500	-7.000	4.000	0.0	0.0	0.0

Tabla 8. Coordenadas de la ubicación y rotación de las luminarias

Como se puede apreciar se dota a las mismas de una pequeña inclinación para propiciar una mayor uniformidad y centrado de la luz. Además, en este modelo, se simulan las farolas del resto de la calle que se encuentran más próximas al puente, para mayor realismo de los resultados. Se incluye además la imagen 3D de la vista final de la iluminación.

Finalmente se comprueba, ejecutando el programa, que los valores cumplen los límites indicados anteriormente, con la salvedad de comprobar la iluminación de alrededores, ya que la pasarela tiene su propia iluminación y se realizará para que cumpla sus propios requerimientos.

Los valores obtenidos son:

$Lm [cd/m^2]$	U0	UI	TI (%)
1.62	0.73	0.64	8

Tabla 9. Valores de los parámetros luminotécnicos

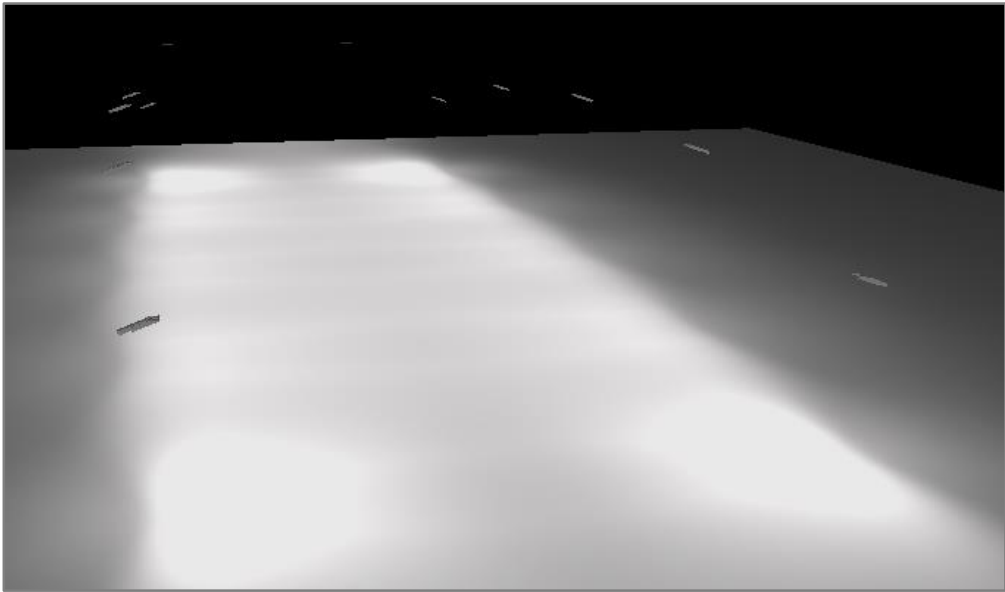


Figura 12. Imagen 3D del efecto producido por la iluminación

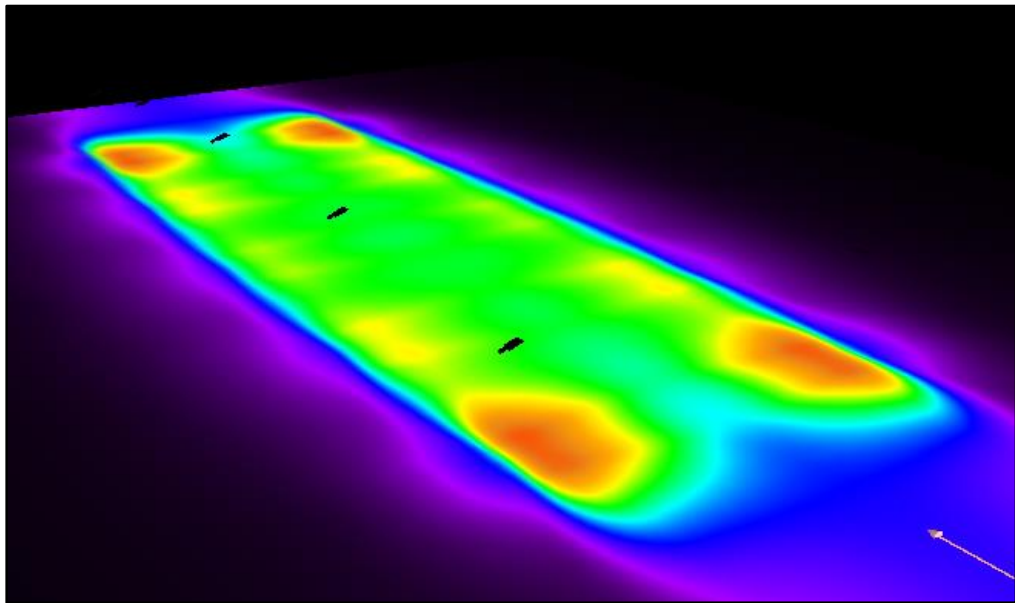


Figura 13. Imagen 3D de la iluminación con colores falsos representando la intensidad de iluminación. De menor intensidad (azul) a mayor (rojo)

Se verifica por tanto que se cumplen los niveles de iluminación correspondientes. Se va a colocar una carcasa que servirá de soporte y de protección de la lámpara:

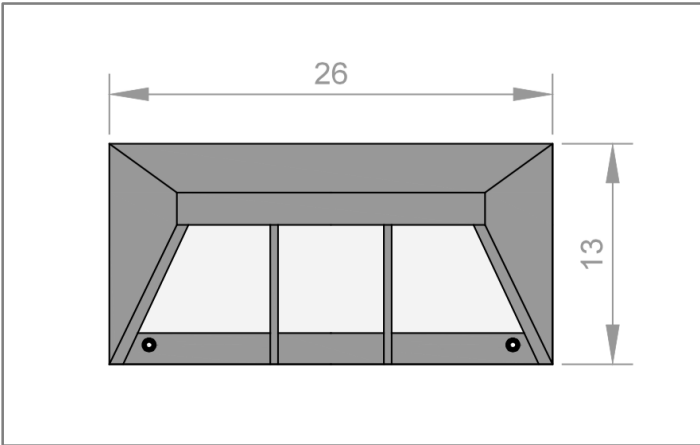


Figura 14. Diseño de la carcasa para iluminación de la calzada

9.2. Iluminación de los accesos

Para esta zona se proponen farolas unas enfrente de otras para proporcionar una iluminación uniforme en toda la zona, pero inferior que en la zona del puente, para que este resalte en el entorno. Como en el caso anterior, esta debe cumplir los niveles de iluminación correspondientes.

Para obtener una disposición de luminarias optimizada se realiza un nuevo modelo en el programa DIALux. En este se insertan los parámetros que se desean cumplir, y se obtiene la separación óptima de las mismas. Finalmente quedan dispuestas de la siguiente forma:

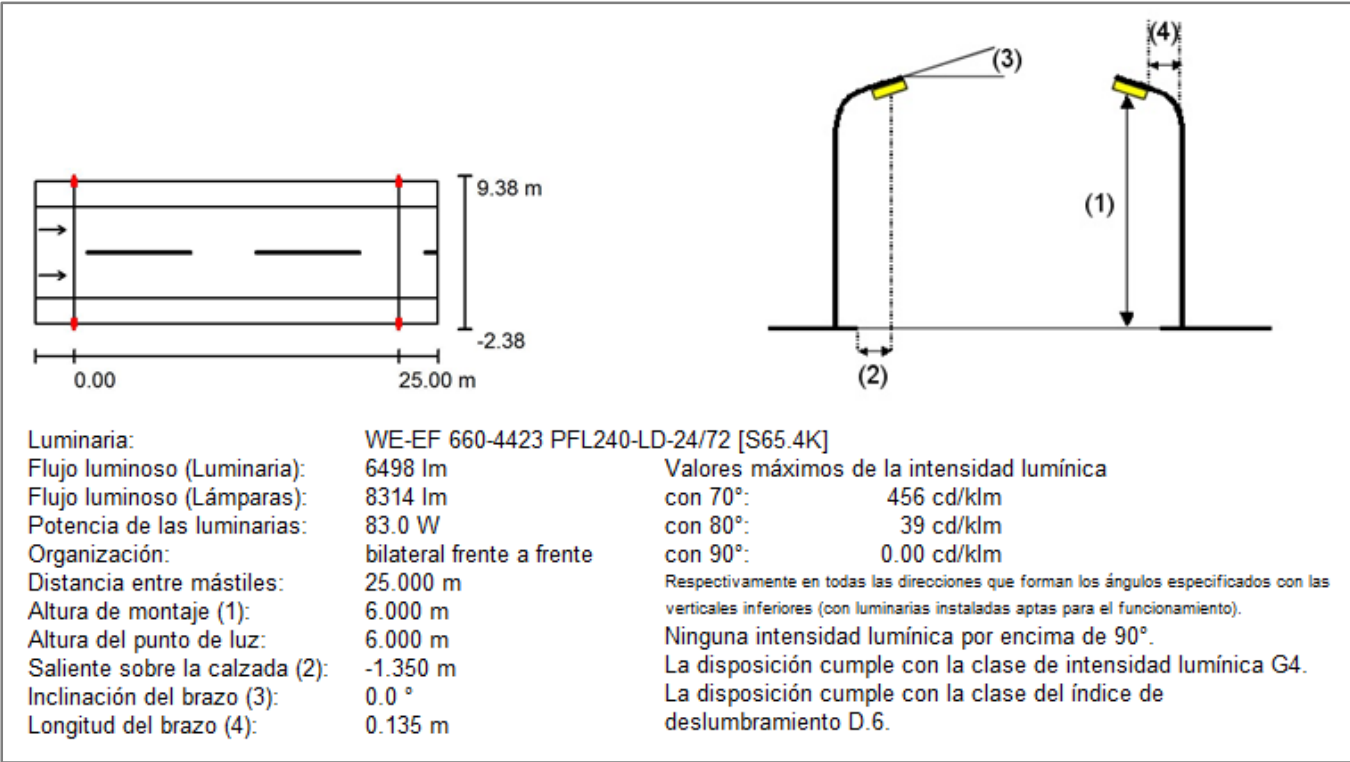


Figura 15. Características y disposición de las luminarias de acceso al puente

Verificando también que se cumplen todos los requisitos luminotécnicos:

<i>Lm [cd/m²]</i>	<i>U0</i>	<i>UI</i>	<i>TI (%)</i>	<i>SR</i>
1.30	0.79	0.75	12	0.71

Tabla 10. Valores de los parámetros luminotécnicos

Una vez se ha comprobado que la iluminación es adecuada, se ha decidido diseñar la farola que se va a colocar con una altura de 6 metros para cumplir con la uniformidad y estética elegida para la zona de acceso al puente:

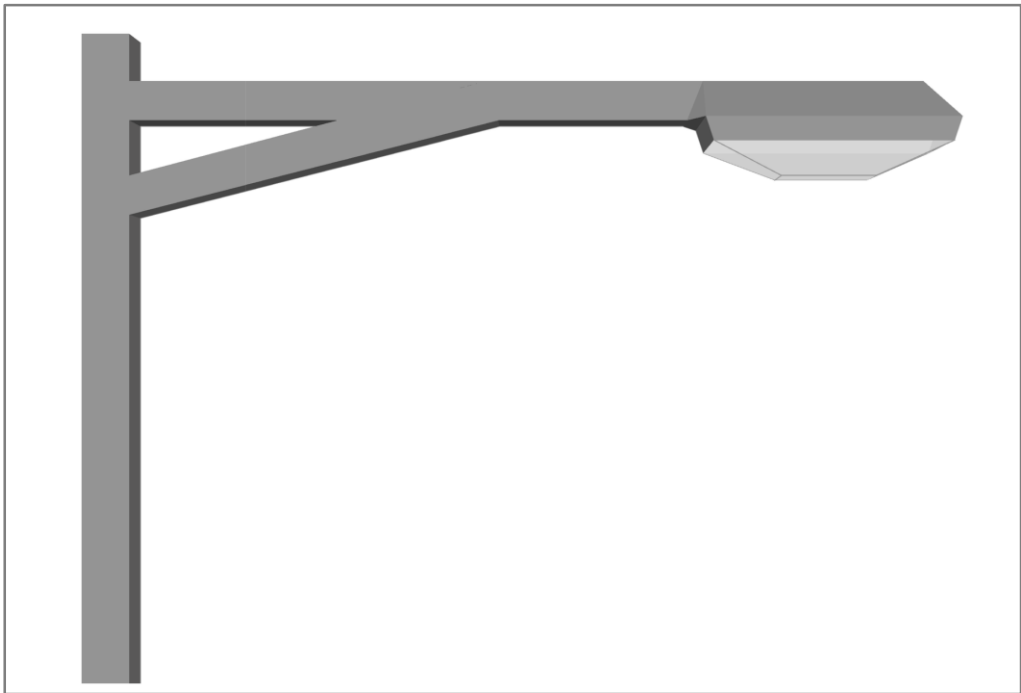


Figura 16. Sección farola

9.3. Iluminación de las pasarelas

Con respecto a la iluminación de las pasarelas no aparece ninguna restricción normativa, por tanto la iluminación que se dispone tendrá únicamente la función de indicar la trayectoria que describen las mismas y proporcionar seguridad a los peatones durante las horas de oscuridad.

Como queda reflejado en el epígrafe 5.1. del presente anejo, la iluminación de las pasarelas se realiza mediante pasamanos iluminados con LEDs que iluminan las pasarelas hacia el interior de forma asimétrica con un Angulo de 56º.