



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS
DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

Proyecto básico para el concurso del puente de acceso sur al parque de Tempelhof, Berlín. Solución A.

Trabajo final de grado Anejo N°5. Diseño de equipamientos

Autor: Arámbul Anthony, Andrea; Soria Cabello, Alvaro

Tutor: Izquierdo Silvestre, Francisco Ángel; Moleón Cremades, Salvador

Cotutor: Casanova Colón, José; Domingo Cabo, Alberto

Titulación: Grado en Ingeniería Civil

Curso: 2014-2015



Índice

- I. Objeto*
- II. Pavimento*
- III. Imposta*
- IV. Defensas*
 - IV.1. Defensa del arranque del arco*
 - IV.2. Bordillo de la vía ciclista*
 - IV.3 Bloque de hormigón*
 - IV.4 Barandillas*
- V. Aparatos de apoyo y juntas de dilatación*
- VI. Drenaje*
 - V.1. Caudal de referencia*
 - V.2 Drenaje de la plataforma*
 - V.3 Selección de los sumideros*
 - V.4 Sistema auxiliar*
- VII. Iluminación*
 - VI.1 Características de las luminarias*
 - VI.2 Disposición de las luminarias*
 - VI.3 Resultados luminotécnicos*

I. Objeto

En el presente anejo, se indican todos los apartados referentes al diseño de equipamientos. Se incluye la definición de todos aquellos elementos necesarios para el correcto funcionamiento del puente y que no forman parte de su cuerpo resistente en sí, pero cuyo comportamiento es fundamental para poder cumplir las funciones requeridas.

La elección de los equipamientos ha sido el resultado de un estudio de soluciones que se explica en el “Anejo nº1: Estudio de soluciones” redactado por Andrea Arámbul Anthony.

Por norma general los equipamientos deben ser durables, necesitar poco mantenimiento y ser respetuosos con el medio ambiente así como proporcionar la seguridad y comodidad suficiente a los usuarios del puente.

II. Pavimento

En este apartado se introducen los aspectos referentes al diseño de las aceras y calzadas, determinando la disposición elegida así como los materiales tipo.

La justificación de los espesores empleados se basa en las indicaciones de la norma “6.1. IC Secciones de firme”:

Según los datos obtenidos, la IMD y el porcentaje de pesados de la zona de Berlín a estudiar será:

$$IMD_{2014} = 2137 \text{ vehiculos}$$

$$\% \text{ Pesados} = 36.4\%$$

$$IMD \text{ pesados } 2014 = \frac{2137}{2} * 0.364 = 395.48 \sim 395 \text{ Vehículos pesados por carril}$$

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

Figura 1. CATEGORIA DE TRAFICO PESADO T00 –T2.

Observando este resultado y consultando la tabla “Categoría de tráfico pesado” de la norma 6.1. IC, se llega a la conclusión que la categoría de tráfico para nuestra carretera es T 2.

Por las similitudes climatológicas con el País Vasco, la zona térmica estival es del tipo media, tal y como se puede deducir de la siguiente figura adjunta:

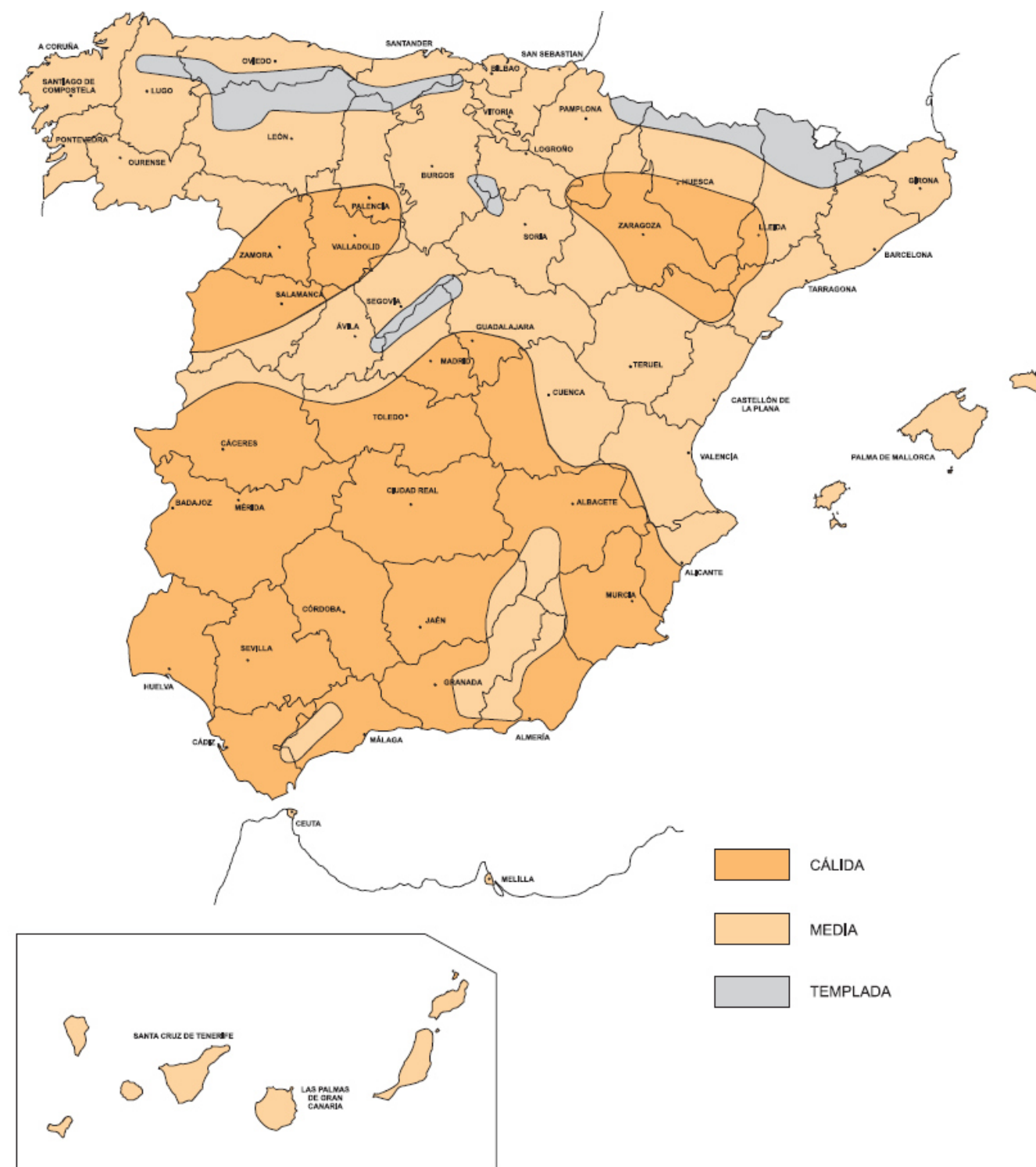


Figura 2. ZONAS TÉRMICAS ESTIVALES

Los espesores de las diferentes capas vienen determinados por la siguiente tabla:

TIPO DE CAPA	TIPO DE MEZCLA (*)	CATEGORÍA DE TRÁFICO PESADO		
		T00 a T1	T2 y T31	T32 y T4 (T41 y T42)
Rodadura	PA	4		
	M	3	2-3	
	F			
	D y S		6-5	5
Intermedia	D y S	5-10(**)		
Base	S y G	7-15		
	MAM	7-13		

Figura 3. ESPESOR DE CAPAS DE MEZCLA BITUMINOSA EN CALIENTE.

Además, la norma IAP-11 permite un espesor máximo de pavimento de 10 cm. Teniendo en cuenta todo lo anterior se decide disponer:

- 4 cm para la capa de rodadura de una mezcla bituminosa semidensa en caliente AC16surfS
- 6 cm para la capa intermedia-base de una mezcla bituminosa densa en caliente AC22binD

Como ligante, por estar en una zona térmica media, se colocará un B60/70.

El pavimento de la calzada contará con las siguientes capas:

- Losa de hormigón de 26 cm.
- Capa imprimación PROMULSIT FIBRA, o similar.
- Capa PROMASTIC FIBRA, o similar.
- Capa AGLOMERADO; en este caso; formada por dos capas:

Capa intermedia de regularización de mezcla bituminosa tipo densa D o semidensa S y de tamaño máximo de árido 20 mm, de 4 cm de espesor.

Capa de rodadura de mezcla bituminosa tipo densa D o semidensa S de 6 cm de espesor.

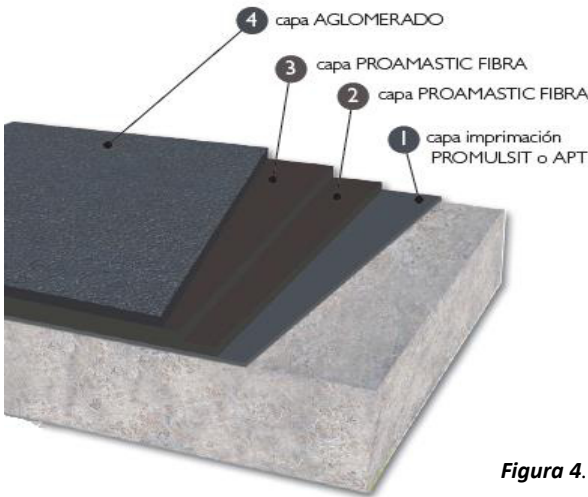


Figura 4. PAVIMENTO DE LA CALZADA

Como se ha dicho, el dimensionamiento del pavimento de la calzada se ha dimensionado siguiendo tanto la normativa de la instrucción de carreteras apartado “6.1 IC secciones de firme”, como consultando el catálogo de CEPSA “Impermeabilizaciones de tableros de puentes” para la parte de la impermeabilización, no siendo obligado en la construcción el uso de este impermeabilizante, pero sí uno similar.

La disposición indicada se aplicará tanto a la calzada como a la vía ciclista, de manera que se disponga en la misma pasada. Además tanto la capa de hormigón como la de aglomerado serán constantes y su pendiente vendrá determinadas por los perfiles metálicos los cuales aportarán las pendientes exigidas.

En aceras se ejecutará una losa de hormigón sobre la que irá colocado un cemento cola que servirá de base y fijación para el pavimento seleccionado. Los modelos del pavimento se han seleccionado del catálogo VENATTO CERÁMICA TECNOLÓGICA TEXTURE y se situarán en las aceras de manera que formen una franja bicolor formada por el modelo “GLACIAR SOFT” 40 x 16 como línea general y cada 2,5 metros una franja de baldosas grises tipo “TENERIFE” 40 x 60. La disposición incluye juntas de 1,2 cm rellenas mediante material elástico para exteriores. Seguidamente se pueden observar las baldosas dispuestas en la acera:



Figura 5. BALDOSAS DISPUESTAS EN LA ACERA



A continuación se proporciona una tabla con las características más relevantes de las piezas seleccionadas.

Formato Size	Peso pieza Pieces weight	Pzas. caja Pieces / box	M². caja Sqm. / box	Peso caja Weight box	Nº Cajas palet Boxes / pallet	Peso palet Weight pallet
8 x 8	0,170	100	-----	17,000	S.P./U.O.*	S.P./U.O.*
8 x 40	0,860	21	8,400 ML	18,060	S.P./U.O.*	S.P./U.O.*
8 x 60	1,290	12	7,200 ML	15,480	S.P./U.O.*	S.P./U.O.*
15 x 15	0,550	24	-----	13,500	S.P./U.O.*	S.P./U.O.*
15 x 40	1,400	11	4,400 ML	15,400	S.P./U.O.*	S.P./U.O.*
15 x 60	2,610	6	3,600 ML	15,660	S.P./U.O.*	S.P./U.O.*
16 x 40	1,740	11	4,400 ML	19,140	S.P./U.O.*	S.P./U.O.*
40 x 33 x 1,8	5,200	-----	-----	-----	S.P./U.O.*	S.P./U.O.*
40 x 40	3,550	6	0,960	21,600	64	1410
40 x 60	5,325	5	1,200	27,000	48	1320
120 x 33x1,8	15,600	-----	-----	-----	S.P./U.O.*	S.P./U.O.*
120 x 16	5,220	-----	-----	-----	S.P./U.O.*	S.P./U.O.*

*S.P. Según Pedido / U.O. Under Order

Figura 6. TABLA DE CARACTERÍSTICAS DE LAS BALDOSAS UTILIZADAS

Finalmente, mediante el uso del programa Autocad, se ha simulado la estética del resultado final:

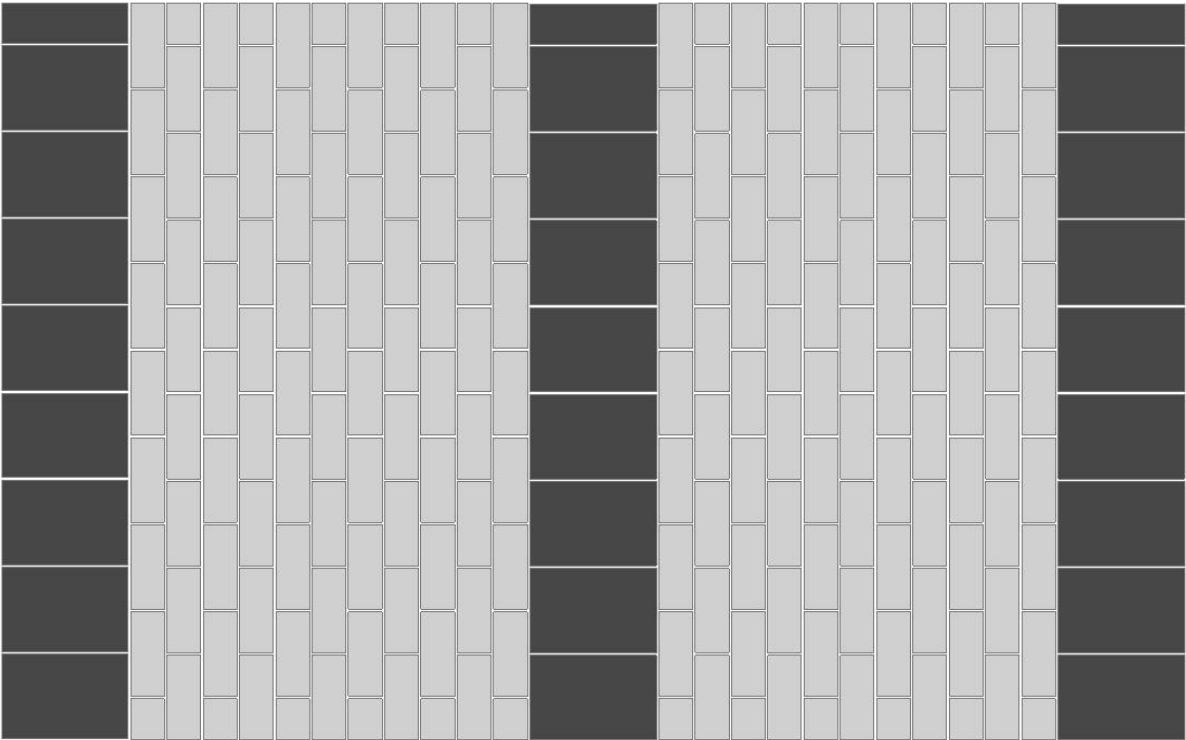


Figura 7. IMAGEN DE LA SOLUCIÓN PROPUESTA PARA EL RECUBRIMIENTO DE LAS ACERAS

III. Imposta

El diseño elegido pretende solucionar dos cuestiones fundamentales; por un lado el problema estético que presentaría el puente sin imposta, y por otro lado, el problema constructivo de la unión barandilla-cuchillo.

Se ha optado por una solución prefabricada, de manera que ésta sea transportada y montada en obra. Su instalación se realiza mediante un sistema de anclaje compuesto por una placa situada en el propio jabalcón, de manera que únicamente hay que introducir el mortero de unión en el hueco y posicionar la imposta, quedando el elemento apoyado entre cuchillos. De esta manera, al hormigonar, se consigue que la imposta sirva de encofrado lateral.



Figura 8. IMAGEN DE LA IMPOSTA PROPUESTA

IV. Defensas

En este apartado del anejo, se han analizado independientemente los siguientes cuatro elementos que van a aparecer de forma lineal en el puente:

- Defensa del arranque del arco
- Bordillo del carril bici
- Hueco de hormigón entre carril bici y acera
- Barandillas

IV.1. Defensa del arranque del arco.

Dada la disposición del arranque del arco, el cual se encuentra en la mediana de la carretera, se han dispuesto una serie de biondas con la finalidad de evitar posibles colisiones directas de vehículos que puedan dañar la estructura.

IV.2. Bordillo del carril bici.

Para resolver la separación entre el carril bici y la calzada, se ha optado por la disposición de un elemento prefabricado separado cada 2.5 metros. Su principal función es impedir que vehículos invadan el carril bici, principalmente por la diferencia entre gálibos de ambos carriles, ya que si un vehículo circulara por el carril bici, podría impactar contra las péndolas de la superestructura, dañándola gravemente. Dichos elementos, se colocan en obra una vez acabado el pavimento mediante un mortero de unión.

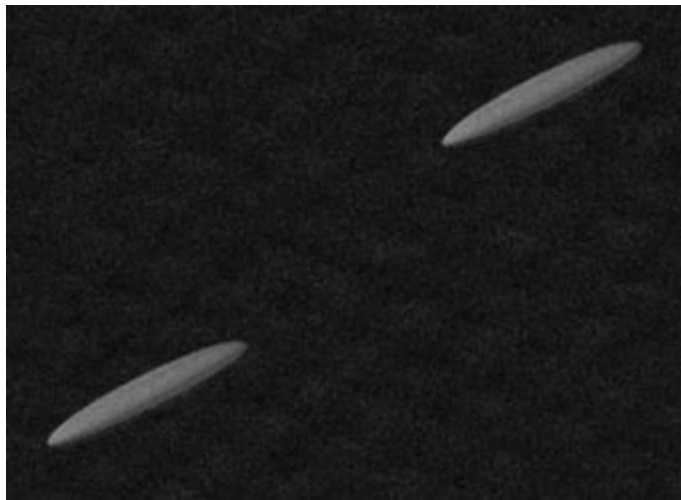


Figura 9. IMAGEN DE LOS BORDILLOS DISPUESTOS

IV.3. Bloque de hormigón

El bloque de hormigón es un elemento prefabricado, hueco en su interior, de hormigón armado, colocado encima de la losa de hormigón, el cual desempeña múltiples funciones en la estructura.

En primer lugar, actúa de elemento de separación física entre los carriles de circulación y las aceras, de esta manera se consigue una mayor seguridad para los peatones. En su interior se disponen las conducciones, así como unos huecos cada 2,5 metros que permiten el paso del agua de la acera a la vía ciclista, donde están situados los elementos de desagües descritos en próximos apartados. También permite la colocación de la iluminación horizontal en dos de sus paramentos exteriores. Finalmente, es a través de este elemento que pasan los tirantes para anclarse en las vigas metálicas. Todos los detalles del bloque de hormigón quedan definidos en el plano 14.1 Equipamientos: barandilla y bloque de hormigón

A continuación podemos ver la modelación en 3D de este elemento mediante programas informáticos:

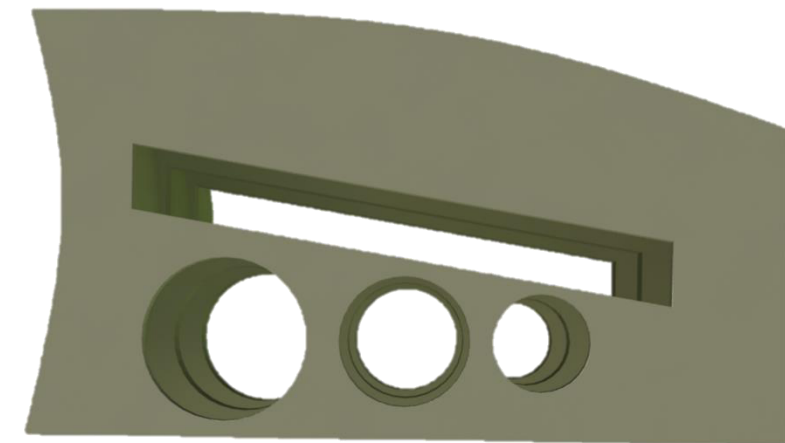
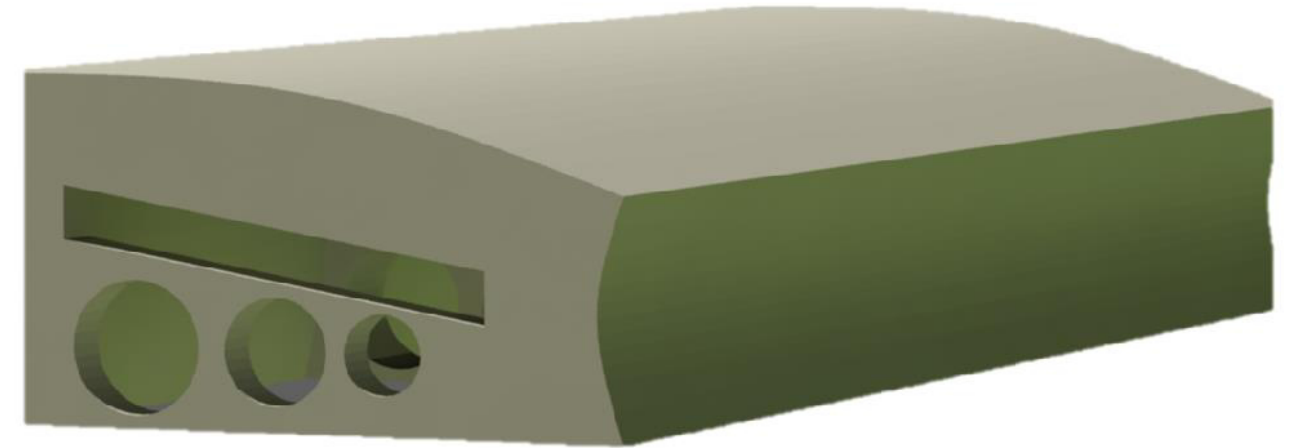


Figura 10. IMAGEN DE TRES BLOQUES DE HORMIGÓN UNIDOS

V. Barandillas

Las barandillas se han planteado con un diseño acorde a la estética del puente; un diseño curvo con paneles de vidrio. Busca integrar sus formas con las del sistema primario del puente, además de no suponer una barrera visual al arco de hormigón.

El elemento vertical de soporte está formado por dos placas de acero inoxidable de 1 cm de espesor curvas, el pasamano, también de acero inoxidable, es de sección tubular de 10 cm de radio y por último, el cristal de 2.5 x 0.9 m y espesor 20 mm. La unión del cristal a los elementos de soporte verticales se realiza mediante un spider. Todos los detalles de las barandillas quedan definidos en el plano 14.1 Equipamientos: barandilla y bloque de hormigón



Figura 11. IMAGEN DEL ALZADO Y PERDIL DE LAS BARANDILLAS

La unión de la barandilla con la imposta se ha pretendido realizar lo más cómoda y sencilla posible desde el punto de vista de la construcción, facilitando de esta manera futuras reparaciones. Para ello se ha diseñado una unión atornillada a unas esperas dispuestas en la propia imposta.

A continuación realizaremos el análisis de esfuerzos en la barandilla:

Se inicia con una suposición de que la fuerza actuante es de 1.5 kN/m sobre el eje de los pasamanos en dirección horizontal hacia el exterior. A partir de esto se comprueba si los tornillos de anclaje a la imposta soportan estas cargas.

En primer lugar se debe calcular los esfuerzos que soporta el anclaje. Sabiendo que los puntos de empotramiento están separados 2.5 metros, que la altura de la barandilla es de un 1.2 metros y el valor de la carga aplicada, que la mayoraremos por 1.5, se puede obtener el flector que soporta la unión:

$$Med = 1.5 \times 1.5 \frac{kN}{m} \times 1.2 m \times 2.5 m = 6.75 kNm$$

A continuación, se eligen cuatro tornillos de diámetro 12 mm y de grado 4.6y se comprueba que éstos son capaces de soportar la resistencia a tracción frente a las fuerzas aplicadas:

$$N_i = \frac{A_i \times y_i}{\sum A_i \times y_i^2} \times Med$$

$$As = 8.4 \times 10^{-5} m^2 \quad \text{Área resistente del tornillo (Zona Roscada)}$$

$$N_1 = N_2 = \frac{8.4 \times 10^{-5} \times 0.08}{4 \times 8.4 \times 10^{-5} \times 0.08^2} \times 6.75 = 21.09 kN \quad (Tracción)$$

$$N_3 = N_4 = \frac{8.4 \times 10^{-5} \times 0.08}{4 \times 8.4 \times 10^{-5} \times 0.08^2} \times 6.75 = 21.09 kN \quad (Compresión)$$

$$F_{t,Rd} = \frac{0.9 \times f_{ub} \times As}{\gamma_{M2}} = \frac{0.9 \times 400 \times 10^3 \times 8.4 \times 10^{-5}}{1.25} = 24.2 kN$$

$$F_{t,Rd} = 24.2 kN > F_{t,Ed} = 21.09 kN \rightarrow \text{Cumple}$$

VI. Aparatos de apoyo y juntas de dilatación

Los aparatos de apoyo elegidos para que descanse el puente sobre los estribos son dos tipos:

Por un lado, se han dispuesto aparatos de apoyo de neopreno zunchado de la marca CTT Elastomeric Bearings o similares.

Por otro lado, debido a las grandes cargas transmitidas por la superestructura, se ha visto la necesidad de recurrir a los aparatos de apoyo tipo POT de la marca Tetron CD®, desarrollados por Freyssinet, que incorporan discos de elastómero confinado, o similares, entre los cuales se pueden distinguir las distintas gamas:

- TETRON CD®/ FX: Está constituido por un pot, un pistón y un disco de elastómero. El aparato De apoyo Tetron CD®/FX actúa como una articulación puntual y puede transmitir esfuerzos horizontales en cualquier dirección, ya sea por adherencia a las estructuras o por medio de dispositivos de anclaje.
- TETRON CD®/ GL: Está constituido por un aparato de apoyo fijo cuyo pistón está recubierto por un disco de politetrafluoretileno (P.T.F.E.) sobre el cual se desplaza la placa superior de deslizamiento unida a la superestructura. Este diseño posibilita que el aparato se deslice libremente (es multidireccional), permitiendo desplazamientos en todas las direcciones horizontales. El aparato de apoyo Tetron CD® / GL no ha sido diseñado para transmitir esfuerzos horizontales.

- **TETRON CD®/ GG:** Se compone de un aparato de apoyo multidireccional provisto de una guía. Este aparato de apoyo deslizante guiado (o unidireccional) sólo permite los desplazamientos en la dirección del guiado, que se obtiene por medio de una guía central fijada en el pistón o en la placa de deslizamiento, o mediante topes laterales unidos a la placa. El aparato de apoyo Tetron CD® / GG puede transmitir esfuerzos horizontales en la dirección perpendicular al eje de guiado.

A continuación, se puede observar la disposición de los distintos aparatos de apoyo en las subestructuras, donde los apoyos 1D y 1I, se trata de neoprenos zunchados, mientras que los restantes son pots:



Figura 12. PLANTA DE SITUACIÓN DE LOS ESFUERZOS TRANSMITIDOS A LA CIMENTACIÓN.

El proceso seguido para el dimensionamiento es el siguiente:

Para los neoprenos zunchados (apoyos 1D y 1I) se obtienen los esfuerzos horizontales, verticales así como el giro máximo. En el catálogo se escoge el neopreno que cumple tales requisitos. Las fuerzas verticales máximas son de 1500KN y las horizontales son de 60KN, mientras que el giro máximo es de 0.96 °. Para los datos anteriores, un neopreno de 300x400x19 cumplía pero por motivos estéticos se decide colocar un neopreno de 800x800x11(18+5).

Para los apoyos de elastómero reforzado:

El apoyo central del estribo de la calle Oberlandstrasse A1, tiene una reacción vertical total de compresión de $10909.43 + 74559.65/2.5 = 40733.3$ KN ya que se tiene en cuenta para su dimensionamiento la reacción vertical en el apoyo más la fuerza que nos crea el momento. Por lo que respecta a la fuerza horizontal, ésta es de 60 KN por tanto el aparato escogido es el FX 45000-2250.

El apoyo este del estribo del lado parque de Templehof A28I, soporta un esfuerzo vertical máximo de $9571.12 + 16803.55/2.5 = 16292.54$ KN, con un desplazamiento longitudinal total de 10 mm y transversal de 6 mm, por tanto, el aparato escogido es GL 18000-50-20.

Finalmente, el apoyo oeste del estribo del lado parque de Templehof A28D, soporta un esfuerzo vertical máximo de $9811.1 + 21931/2.5 = 18583$ KN, con un desplazamiento longitudinal total de 10mm, siendo el transversal nulo. Teniendo en cuenta los datos anteriores, el apoyo escogido es el GG 20000-1000-50.

Como resumen:

En el estribo del lado de la calle Oberlandstrasse se colocan los apoyos:

- **A1:** es FX 45000-2250
- **1D:** Neopreno zunchado 800x800x11(18+5)
- **1I:** Neopreno zunchado 800x800x11(18+5)

En el estribo del lado de parque Tempelhof se colocan los apoyos:

- **A28I:** GG 20000-1000-50
- **A28D:** GL 18000-50-20

Las juntas de dilatación que se han decidido colocar son las de elastómero reforzado, las cuales son las que más se adaptan a los movimientos máximos de la estructura analizada, que están en torno a los 32 mm. Las juntas elegidas son de la marca Transflex, o similar. Sus características técnicas son las siguientes:

Modelo	Capacidad de mov	Altura	Anchura	Long módulo	Ancho mínimo del espaldón.	Φ Perno
150	38(+/-19)	1750	35	1750	270	12



Figura 13. JUNTAS DILATACIÓN.



VII. Drenaje

El cálculo del drenaje se realiza en dos partes ya que la solución adoptada presenta dos pendientes longitudinales marcadas; una del 3,5 % a lo largo de 27,7 m y otra del 3% en 32,3 m. Se han calculado ambas alternativas, siendo la solución más desfavorable la que tiene pendiente 3% en 32,3, la cual se muestra a continuación.

VII.1. Caudal de referencia para la pendiente 3% en 32.3 metros

$$Q = \frac{C \times A \times I_T}{3000}$$

- C= Coeficiente de escorrentía
- A= Área de la superficie drenada
- IT = Intensidad media de precipitación correspondiente a un período de retorno de 25 años y a un intervalo igual al tiempo de concentración T, en mm/h

Se dimensiona para medio puente; es decir, para la calzada, el carril bici, el bloque de hormigón y la acera, ya que ésta es el agua que va a recoger cada línea de sumideros. Por tanto el área:

$$A = Longitud \times Ancho = 32,3 \times 12,5 = 403,75 \text{ mm}^2$$

Se aproximarán los cálculos a un área algo superior de $A = 410 \text{ mm}^2$

Para obtener IT, Intensidad media de precipitación, se necesita obtener T, tiempo de concentración. Para ello se aplicará la siguiente fórmula:

$$T = 0,3 \times \left(\frac{L}{J^{0,25}} \right)^{0,76} = 0,3 \times \left(\frac{0,0323}{0,03^{0,25}} \right)^{0,76} = 0,043 \geq 0,083 \text{ h}$$

- Siendo L la longitud del cauce principal; 0,0323 km y J la pendiente media del cauce de 0,03.

$$I_T = \frac{94 \times 70,969}{T \times 60 + 9} = \frac{94 \times 70,969}{0,083 \times 60 + 9} = 476,6 \frac{l}{sxHa} = 171,6 \text{ mm/h}$$

El coeficiente de escorrentía C viene determinado por la siguiente fórmula:

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

- Siendo P_0 , umbral de escorrentía tomado de la tabla 2.1 en la monografía “Máximas lluvias diarias en la España peninsular” de la dirección general de carreteras.
- P_d precipitación total diaria que se obtiene de la siguiente manera:

- Conociendo la precipitación media anual en Berlín de 591 mm y obteniendo su correspondencia con la capital de provincia española de Burgos, se obtienen los parámetros de C_v ; coeficiente de variación, y_t , factor de amplificación y P, precipitación diaria anual:
- $C_v = 0,31$ (obtenido del documento “Máximas lluvias diarias en la España peninsular”, Burgos, hoja 3.2 línea roja).
- $y_t = 1,648$ (obtenido de la misma manera, del documento “Máximas lluvias diarias en la España peninsular”, en la tabla 7.1 entrando con C_v y período de retorno de 25 años).
- $P = 38 \text{ mm}$ (obtenido del documento “Máximas lluvias diarias en la España peninsular”, Burgos, hoja 3.2 línea morada).

Con todo ello se obtiene P_d

$$P_d = P \times y_t = 38 \times 1,648 = 62,624 \text{ mm}$$

Sustituyendo ahora en la fórmula del coeficiente de escorrentía, se obtiene un valor de:

$$C = \frac{[(P_d / P_0) - 1][(P_d / P_0) + 23]}{[(P_d / P_0) + 11]^2} = \frac{[(62,624/1) - 1][(62,624/1) + 23]}{[(62,624/1) + 11]^2} = 0,9576$$

Ahora, teniendo las tres variables C, A e I_t , se determina el caudal de referencia, que es:

$$Q = C \times A \times I_T / 3000 = 0,9576 \times 403,75 \times 171,6 / 3000 = 22,454 \text{ l/s}$$

VII.2. Drenaje de la plataforma

El esquema que se seguirá es el siguiente:

1. Se determinará q, es decir, el caudal a desaguar por cada sumidero.
2. Se obtendrá n_1 , número mínimo de sumideros que desaguan el caudal de referencia y la velocidad de agua en el caz, v.
3. Se realizará la comprobación del sumidero considerando que las barras se disponen en paralelo a la corriente.
4. Una vez realizada la comprobación del sumidero de forma vertical, se verá que cumpla de forma horizontal. Se obtendrá Q_1 con $H < 12 \text{ cm}$ (fórmula de vertedero) y n_2 .
5. Se obtendrá de esta manera el número mínimo de sumideros que desaguan el caudal de referencia.

A continuación se desarrollará el esquema anterior:.

1. En primer lugar, se determina q , es decir el caudal a desaguar por cada sumidero.

$$q = KxJ_x^{1/2}xSx(S/p)^{2/3}x10^3$$

$$\Delta h = (b^* - b)xJ_y$$

Siendo:

b = Ancho del cazo = 20 cm

J_y = Pendiente transversal = 2,5 %

b^* = ancho máximo de encharcamiento = 30 cm

Con ello se obtiene Δh :

$$\Delta h = (0,3 - 0,2)x0,025 = 0,0025m$$

Seguidamente, se obtiene el perímetro mojado P y la superficie mojada S , determinando primero H , la altura de la lámina de agua:

$$H = H_0 + \Delta h = 0,015 + 0,0025 = 0,0175m$$

H_0 es el valor de la profundidad a la que queda situado el sumidero.

Con ello se obtiene, por un lado, el perímetro mojado:

$$P = b + 2H_0 + \Delta b \left[J_y + (1 + J_y^2)^{1/2} \right] = 0,2 + 2x0,015 + (0,3 - 0,2)x \left[0,025 + (1 + 0,025^2)^{1/2} \right] = 0,3325m$$

Y, por otra parte, la superficie mojada

$$S = bx(H_0 + \Delta H) + \Delta H^2 / 2J_y = 0,2x0,0175 + 0,0025^2 / (2x0,025) = 0,003625m^2$$

CA20CC	RCA20	2,7	50x20	12	3,5	10	C-250
CA20CC	RCA20/400	2,7	50x20	12	3,5	14	D-400

Por tanto el caudal a desaguar por cada sumidero es:

$$q = KxJ_x^{1/2}xSx(S/p)^{2/3}x10^3 = 65x0,03^{0,5}x0,003625x(0,003625/0,3325)^{2/3}x10^3 = 2,006l/s$$

2. Se obtiene n_1 , número mínimo de sumideros que desaguan el caudal de referencia, y la velocidad de agua en el caz, v .

El número de sumideros por el criterio de máxima anchura de lámina libre es:

$$n_1 = \text{Caudal total desaguar} / \text{caudal desaguar cada sumidero} = Q/q = 22,454/2,006 = 11,19 \approx 12$$

La velocidad del agua en el caz es:

$$v = q/S = 2,006/0,003625/1000 = 0,554m/s$$

3. Se realiza la comprobación del sumidero considerando que las barras se disponen en paralelo a la corriente.

Para ello, se elige el modelo Reja de Fundición Dúctil modelo RCA20 color negro del catálogo GLS. Dicho modelo tiene una separación libre entre barras de 12 cm; por lo tanto $L_1 = 12$.

Además el canto útil de una barra es de 2,7 cm. $D = 2,7$

Reja fundición dúctil

Medidas en cm.



Compatibilidad canal	Ref.	H	Long. ext. reja Axa	Libre P	Sup. Dm² Absorción	Peso kg/u.	Clase
CA15CC	RCA15/400	2,3	50x15	10	3	8	D-400
CA20CC	RCA20	2,7	50x20	12	3,5	10	C-250
CA20CC	RCA20/400	2,7	50x20	12	3,5	14	D-400
CA30CC	RCA30	2,7	50x30,5	23	5,5	15	C-250
CA30CC	RCA30/400	2,7	50x30,5	23	5,5	20	D-400
CA4025CC	RCA40	2,7	50x40	34	8	19	C-250
CA4025CC	RCA40505	5,3	50x40	32	7,5	25	D-400
CA50CC	RCA50	7	98,5x49,5	40	16	59	400-KN
CA50CC	RCA50/400	7	98,5x49,5	40	16	65	D-400

Colores de las rejillas



Figura 14. TABLA DE CARACTERÍSTICAS DE LAS REJAS DE FUNDICIÓN DÚCTIL

$$L_1 = 12 \geq 9x(H + D)^{1/2}xv = 9x(0,0175x100 + 2,7)^{1/2}x0,554 = 10,52$$

Para el modelo elegido, se cumple la condición del sumidero, por lo tanto, el elemento de desagüe seleccionado es válido.



4. Una vez realizada la comprobación del sumidero de forma vertical, se debe verificar que también que cumpla de forma horizontal. Para ello, se obtiene Q_1 con $H < 12$ cm (fórmula de vertedero) y n_2 .

Se calcula el caudal según la fórmula de vertedero:

$$Q_1 = P x H^{3/2} / 60 = 0,3325 x (0,0175 x 100)^{3/2} / 60 = 5,402$$

El número de sumideros que requiere en este caso es menor por tanto.

5. Por último, se obtiene de esta manera el número mínimo de sumideros que desaguan el caudal de referencia.

El número de sumideros que se requieren para desaguar el caudal de referencia es de 12 sumideros para los 32,3 metros, por tanto se dispondrá de un sumidero cada 2,5 m.

VII.3. Selección de los sumideros

El modelo elegido, como ya se ha indicado, es de Reja de Fundición Dúctil modelo RCA20 color negro del catálogo GLS o similar.

Como ya se ha indicado al principio de dicho apartado, para la parte del puente con pendiente 3,5 se realizarían los cálculos de la misma manera, pero en este caso se han obviado porque resulta evidente que una menor área dará unos resultados de menor caudal de referencia Q y mayor caudal por sumidero q , siendo por tanto un caso más favorable. Es por ello que para la parte del puente restante con pendiente del 3.5 %, la disposición de sumideros adoptada cumplirá todos los cálculos realizados anteriormente.

Así pues, la disposición elegida será de 25 sumideros, es decir, 1 cada 2,5 m para cada lado del puente, por tanto el encargo a realizar será:

50 sumideros Reja de Fundición Dúctil modelo RCA20 color negro del catálogo GLS o similar

VII.4. Sistema auxiliar

El sistema auxiliar para el correcto funcionamiento del drenaje de la superestructura será el siguiente:

En primer lugar, el agua pasará de los sumideros colocados en el carril bici a una conducción que llevará el agua por debajo del puente, gracias a la pendiente longitudinal, a los taludes, y de estos, el agua se llevará a las conducciones de Berlín.

VIII. Iluminación

El objeto del presente estudio es definir las características del sistema de alumbrado que se ha proyectado para la iluminación del puente teniendo en cuenta los siguientes criterios de calidad para una instalación de alumbrado de carreteras:

- El logro de unas condiciones óptimas de visibilidad.
- El confort visual del conductor.
- El ahorro energético.
- La durabilidad de los elementos que componen la instalación.
- La facilidad de mantenimiento.

Para la realización del diseño de la iluminación, se han seguido las guías y recomendaciones siguientes:

- Guía de gestión energética en el alumbrado público.
- Recomendaciones para la iluminación de carreteras y túneles. Ministerio de fomento. 1999.

Según lo especificado en las guías y recomendaciones anteriores, para el cálculo del alumbrado de la calzada del puente se supondrá una clase ME4a, para la vía peatonal una clase CE5 mientras que para la vía ciclista le corresponderá una clase S6 además de una clase adicional ES9.

A continuación se establecen los requisitos a satisfacer por las luminarias:

- Vía Peonatal:**

Clase de Alumbrado (*)	Iluminancia horizontal	
	Iluminancia Media <i>Em (lux)</i>	Uniformidad Media <i>Um</i>
CE0	50	0,40
CE1	30	0,40
CE1A	25	0,40
CE2	20	0,40
CE3	15	0,40
CE4	10	0,40
CE5	7,5	0,40

Figura 15. CLASES DE ALUMBRADO SERIE CE

- **Iluminancia media, Em :** densidad media del flujo luminoso indecente en una superficie.
- **Uniformidad Media, Um :** la relación entre el flujo luminoso total que incide sobre un área de la calzada y la superficie de dicha área.

Calzada:

Clase de Alumbrado (*)	Luminancia de la superficie de la calzada en condiciones secas			Deslumbramiento Perturbador	Iluminación de alrededores
	Luminancia Media L_m (cd/m ²)	Uniformidad Global U_o	Uniformidad Longitudinal U_L	Incremento Umbral $TI(\%)^{(**)}$	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	1,00	0,40	0,70	15	0,50
			0,60		
			0,50		
ME 4	0,75	0,40	0,60	16	0,50
			0,50		
ME 5	0,50	0,35	0,40	15	0,50
ME 6	0,30	0,35	0,40	15	----

Figura 16. CLASES DE ALUMBRADO SERIE ME (CALZADAS SECAS)

Vía ciclista:

CLASE	ILUMINANCIA HORIZONTAL	
	Iluminancia media E_m (Lux) (*) (mínima mantenida)	Iluminancia mínima E_{min} (Lux) (mantenida)
S1	15	5
S2	10	3
S3	7,5	1,5
S4	5	1
S5	3	0,6
S6	2	0,6
S7	-	-

Figura 17. CLASES DE ALUMBRADO SERIE S

CLASE	ILUMINANCIA SEMICILÍNDRICA
	Esc (Lux) Mínima mantenida
ES1	10
ES2	7,5
ES3	5
ES4	3
ES5	2
ES6	1,5
ES7	1
ES8	0,75
ES9	0,50

Figura 18. CLASES DE ALUMBRADO SERIE ES

VIII.1. Características de las luminarias

El sistema de alumbrado del puente se divide en tres subsistemas: alumbrado de la calzada – vía ciclista; el alumbrado de la vía peatonal y el alumbrado de acceso al puente.

Alumbrado de la calzada – vía ciclista

Emisión de luz 1:

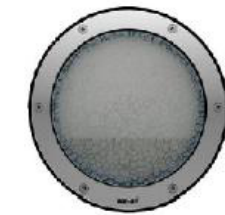
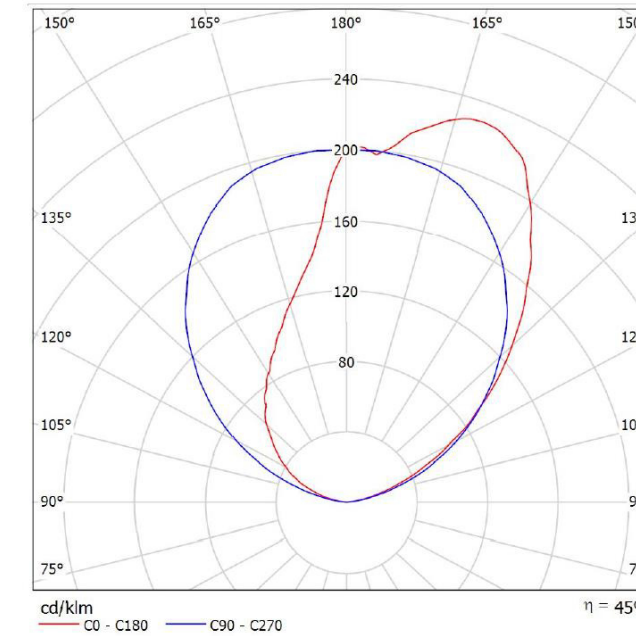


Figura 19. LUMINARIA WE-EF 611-5553 ETC150-CMH150/T6

Característica de la luminaria seleccionada

WE-EF 611-5553 ETC150-CMH150/T6 [A.ASC]

Nº de artículo: 611-5553

Flujo luminoso (Luminaria): 6336 lm

Flujo luminoso (Lámparas): 14000 lm

Potencia de las luminarias: 163.0 W

Clasificación luminarias según CIE: 0

Código CIE Flux: 00 00 00 00 45

Lámpara: 1 x CMH150 T-6/ G-12 base (Factor de corrección 1.000).

Una vez conocidos los mínimos a cumplir, se procede al diseño asistido por ordenador mediante el programa informático Dialux 4.12.

Alumbrado de la vía peatonal

Emisión de luz 1:

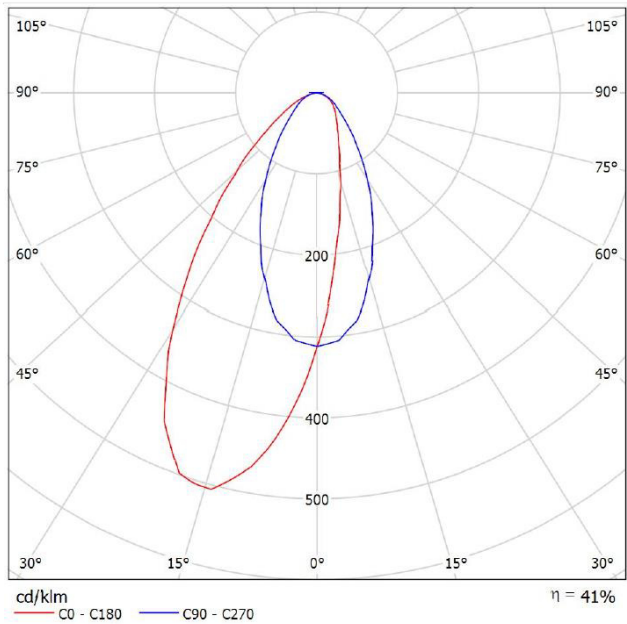


Figura 20. LUMINARIA WE-EF 618-7943 CRO234-CMH39 T4

Característica de la luminaria seleccionada

WE-EF 618-7943 CRO234-CMH39 T4 [A] Stainless
Nº de artículo: 618-7943
Flujo luminoso (Luminaria): 1382 lm
Flujo luminoso (Lámparas): 3400 lm
Potencia de las luminarias: 43.0 W
Clasificación luminarias según CIE: 100
Código CIE Flux: 73 93 99 100 41
Lámpara: 1 x CMH39 T-4.5/ G-8.5 base (Factor de corrección 1.000).

Alumbrado accesos al puente:

Emisión de luz 1:

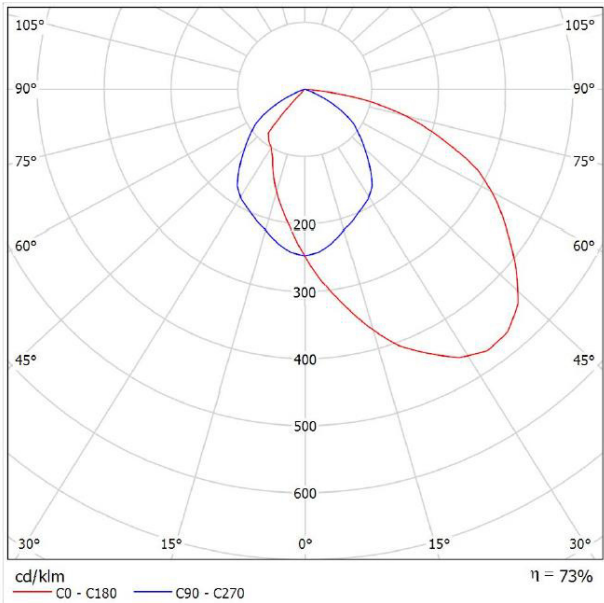


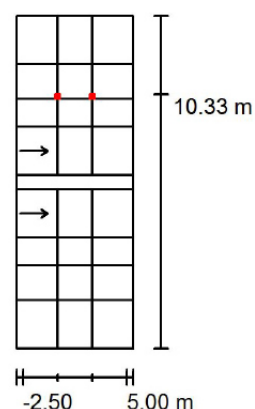
Figura 21. LUMINARIA MARTINI 76009.68 SQUADRA (1X300W. QT-DE 12R7S)

Características de la luminaria seleccionada

Martini 76009.68 Squadra (1x300W. QT-DE 12 R7s)
Nº de artículo: 76009.68
Flujo luminoso (Luminaria): 3865 lm
Flujo luminoso (Lámparas): 5300 lm
Potencia de las luminarias: 300.0 W
Clasificación luminarias según CIE: 100
Código CIE Flux: 49 82 97 100 73
Lámpara: 1 x Halógena lineal (Factor de corrección 1.000).

VIII.2. Disposición de las luminarias

Alumbrado de la calzada – vía ciclista

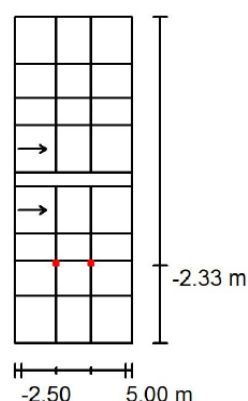


Luminaria:
Flujo luminoso (Luminaria):
Flujo luminoso (Lámparas):
Potencia de las luminarias:
Organización:
Distancia entre mástiles:
Altura de montaje (1):
Altura del punto de luz:
Saliente sobre la calzada (2):
Inclinación del brazo (3):
Longitud del brazo (4):

WE-EF 611-5553 ETC150-CMH150/T6 [A.ASC]

6336 lm
14000 lm
163.0 W
unilateral arriba
2.500 m
1.100 m
1.100 m
-2.000 m
90.0 °
0.000 m

Valores máximos de la intensidad lumínica
con 70°: 216 cd/klm
con 80°: 228 cd/klm
con 90°: 229 cd/klm
Respectivamente en todas las direcciones que forman los ángulos especificados con las verticales inferiores (con luminarias instaladas aptas para el funcionamiento).
Ninguna intensidad lumínica por encima de 90°.
La disposición cumple con la clase del índice de deslumbramiento D.5.



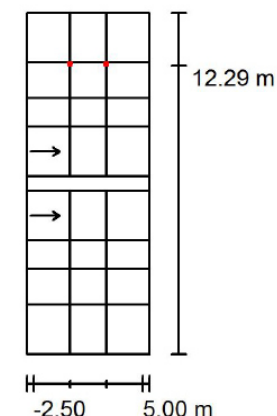
Luminaria:
Flujo luminoso (Luminaria):
Flujo luminoso (Lámparas):
Potencia de las luminarias:
Organización:
Distancia entre mástiles:
Altura de montaje (1):
Altura del punto de luz:
Saliente sobre la calzada (2):
Inclinación del brazo (3):
Longitud del brazo (4):

WE-EF 611-5553 ETC150-CMH150/T6 [A.ASC]

6336 lm
14000 lm
163.0 W
unilateral abajo
2.500 m
1.100 m
1.100 m
-2.000 m
90.0 °
0.000 m

Valores máximos de la intensidad lumínica
con 70°: 216 cd/klm
con 80°: 228 cd/klm
con 90°: 229 cd/klm
Respectivamente en todas las direcciones que forman los ángulos especificados con las verticales inferiores (con luminarias instaladas aptas para el funcionamiento).
La disposición cumple con la clase del índice de deslumbramiento D.5.

Alumbrado de la vía peatonal

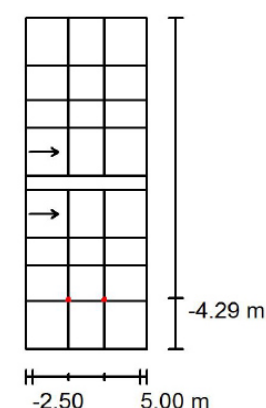


Luminaria:
Flujo luminoso (Luminaria):
Flujo luminoso (Lámparas):
Potencia de las luminarias:
Organización:
Distancia entre mástiles:
Altura de montaje (1):
Altura del punto de luz:
Saliente sobre la calzada (2):
Inclinación del brazo (3):
Longitud del brazo (4):

WE-EF 618-7943 CRO234-CMH39 T4 [A] Stainless

1382 lm
3400 lm
43.0 W
unilateral arriba
2.500 m
0.750 m
0.750 m
-4.500 m
90.0 °
0.000 m

Valores máximos de la intensidad lumínica
con 70°: 314 cd/klm
con 80°: 445 cd/klm
con 90°: 507 cd/klm
Respectivamente en todas las direcciones que forman los ángulos especificados con las verticales inferiores (con luminarias instaladas aptas para el funcionamiento).
La disposición cumple con la clase del índice de deslumbramiento D.3.



Luminaria:
Flujo luminoso (Luminaria):
Flujo luminoso (Lámparas):
Potencia de las luminarias:
Organización:
Distancia entre mástiles:
Altura de montaje (1):
Altura del punto de luz:
Saliente sobre la calzada (2):
Inclinación del brazo (3):
Longitud del brazo (4):

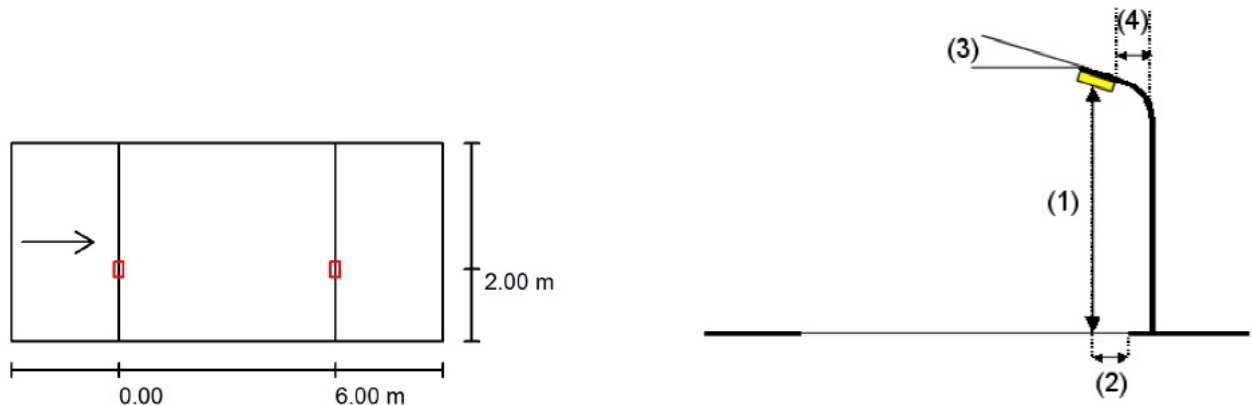
WE-EF 618-7943 CRO234-CMH39 T4 [A] Stainless

1382 lm
3400 lm
43.0 W
unilateral abajo
2.500 m
0.750 m
0.750 m
-4.500 m
90.0 °
0.000 m

Valores máximos de la intensidad lumínica
con 70°: 314 cd/klm
con 80°: 445 cd/klm
con 90°: 507 cd/klm
Respectivamente en todas las direcciones que forman los ángulos especificados con las verticales inferiores (con luminarias instaladas aptas para el funcionamiento).
La disposición cumple con la clase del índice de deslumbramiento D.3.



Alumbrado de acceso al puente

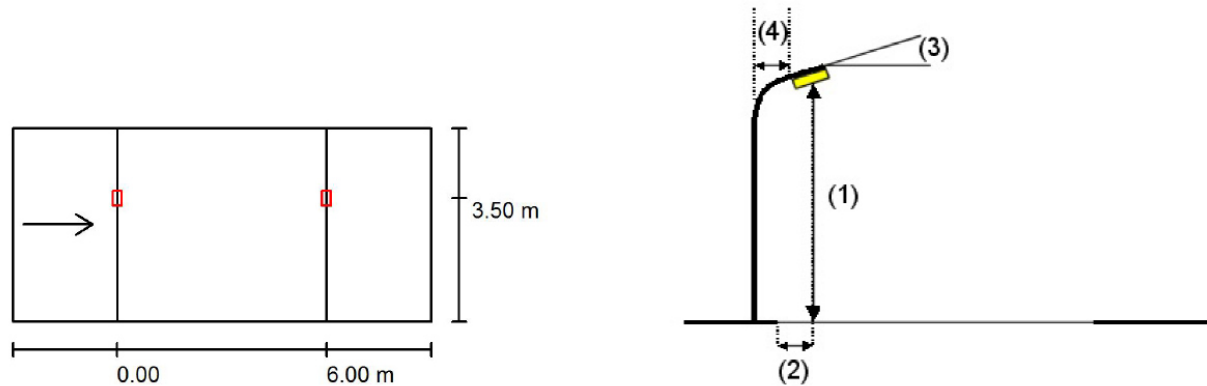


Luminaria:	Martini 76009.68 Squadra (1x300 W, QT-DE12 R7s)
Flujo luminoso (Luminaria):	3865 lm
Flujo luminoso (Lámparas):	5300 lm
Potencia de las luminarias:	300.0 W
Organización:	unilateral abajo
Distancia entre mástiles:	6.000 m
Altura de montaje (1):	7.000 m
Altura del punto de luz:	7.000 m
Saliente sobre la calzada (2):	2.000 m
Inclinación del brazo (3):	0.0 °
Longitud del brazo (4):	2.650 m

Valores máximos de la intensidad lumínica
con 70°: 221 cd/klm
con 80°: 92 cd/klm
con 90°: 0.00 cd/klm

Respectivamente en todas las direcciones que forman los ángulos especificados con las verticales inferiores (con luminarias instaladas aptas para el funcionamiento).

Ninguna intensidad lumínica por encima de 90°.
La disposición cumple con la clase de intensidad lumínica G6.
La disposición cumple con la clase del índice de deslumbramiento D.6.



Luminaria:	Martini 76009.68 Squadra (1x300 W, QT-DE12 R7s)
Flujo luminoso (Luminaria):	3865 lm
Flujo luminoso (Lámparas):	5300 lm
Potencia de las luminarias:	300.0 W
Organización:	unilateral arriba
Distancia entre mástiles:	6.000 m
Altura de montaje (1):	7.000 m
Altura del punto de luz:	7.000 m
Saliente sobre la calzada (2):	2.000 m
Inclinación del brazo (3):	0.0 °
Longitud del brazo (4):	2.650 m

Valores máximos de la intensidad lumínica
con 70°: 221 cd/klm
con 80°: 92 cd/klm
con 90°: 0.00 cd/klm

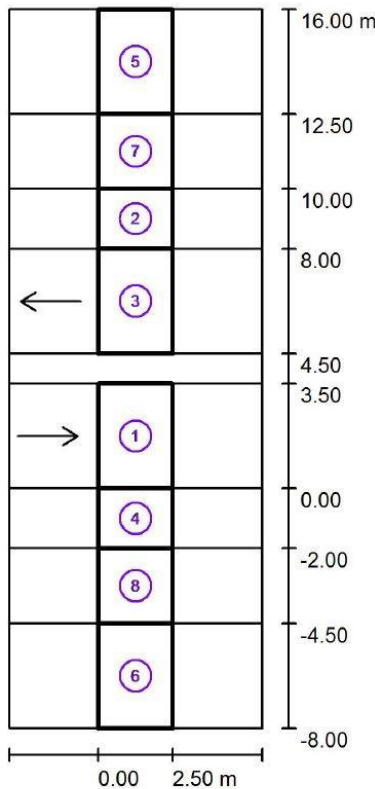
Respectivamente en todas las direcciones que forman los ángulos especificados con las verticales inferiores (con luminarias instaladas aptas para el funcionamiento).

Ninguna intensidad lumínica por encima de 90°.
La disposición cumple con la clase de intensidad lumínica G6.
La disposición cumple con la clase del índice de deslumbramiento D.6.

VIII.3. Resultados luminotécnicos.

Luminarias del puente

Puente de Thempelhoff / Resultados luminotécnicos



Factor mantenimiento: 0.57

Escala 1:223

Lista del recuadro de evaluación

- 1 Recuadro de evaluación Calzada 1
Longitud: 2.500 m, Anchura: 3.500 m
Trama: 10 x 3 Puntos
Elemento de la vía pública respectivo: Calzada 1.
Revestimiento de la calzada: R3, q0: 0.070
Clase de iluminación seleccionada: ME4a

(Se cumplen todos los requerimientos fotométricos.)

	L_m [cd/m²]	U0	UI	TI [%]	SR
Valores reales según cálculo:	3.62	0.42	0.94	15	1.42
Valores de consigna según clase:	≥ 0.75	≥ 0.40	≥ 0.60	≤ 15	≥ 0.50
Cumplido/No cumplido:	✓	✓	✓	✓	✓



2 Recuadro de evaluación Camino para bicicletas 2

Longitud: 2.500 m, Anchura: 2.000 m

Trama: 10 x 3 Puntos

Elemento de la vía pública respectivo: Camino para bicicletas 2.

Clase de iluminación seleccionada: S6 (No se cumplen todos los requerimientos fotométricos.)

Clase de iluminación adicional ES: ES9 (No se cumplen todos los requerimientos fotométricos.)

	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{min} (semicil.) [lx]
Valores reales según cálculo:	159.27	42.97	45.24
Valores de consigna según clase:	≥ 2.00	≥ 0.60	≥ 0.50
Cumplido/No cumplido:	X ¹	✓	✓

¹ Atención: Para garantizar una cierta uniformidad, el valor efectivo de la intensidad lumínica media no debe superar el 150% del valor mínimo previsto para la clase.

3 Recuadro de evaluación Calzada 2

Longitud: 2.500 m, Anchura: 3.500 m

Trama: 10 x 3 Puntos

Elemento de la vía pública respectivo: Calzada 2.

Revestimiento de la calzada: R3, q0: 0.070

Clase de iluminación seleccionada: ME4a (Se cumplen todos los requerimientos fotométricos.)

	L_m [cd/m²]	U0	UI	TI [%]	SR
Valores reales según cálculo:	3.26	0.47	0.89	15	1.40
Valores de consigna según clase:	≥ 0.75	≥ 0.40	≥ 0.60	≤ 15	≥ 0.50
Cumplido/No cumplido:	✓	✓	✓	✓	✓

4 Recuadro de evaluación Camino para bicicletas 1

Longitud: 2.500 m, Anchura: 2.000 m

Trama: 10 x 3 Puntos

Elemento de la vía pública respectivo: Camino para bicicletas 1.

Clase de iluminación seleccionada: S6 (No se cumplen todos los requerimientos fotométricos.)

Clase de iluminación adicional ES: ES9 (No se cumplen todos los requerimientos fotométricos.)

	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{min} (semicil.) [lx]
Valores reales según cálculo:	175.77	50.72	55.18
Valores de consigna según clase:	≥ 2.00	≥ 0.60	≥ 0.50
Cumplido/No cumplido:	X ¹	✓	✓

¹ Atención: Para garantizar una cierta uniformidad, el valor efectivo de la intensidad lumínica media no debe superar el 150% del valor mínimo previsto para la clase.

Lista del recuadro de evaluación

5 Recuadro de evaluación Camino peatonal 1

Longitud: 2.500 m, Anchura: 3.500 m

Trama: 10 x 3 Puntos

Elemento de la vía pública respectivo: Camino peatonal 1.

Clase de iluminación seleccionada: CE5 (Se cumplen todos los requerimientos fotométricos.)

	E_m [lx]	U0
Valores reales según cálculo:	36.20	0.42
Valores de consigna según clase:	≥ 7.50	≥ 0.40
Cumplido/No cumplido:	✓	✓

6 Recuadro de evaluación Camino peatonal 2

Longitud: 2.500 m, Anchura: 3.500 m

Trama: 10 x 3 Puntos

Elemento de la vía pública respectivo: Camino peatonal 2.

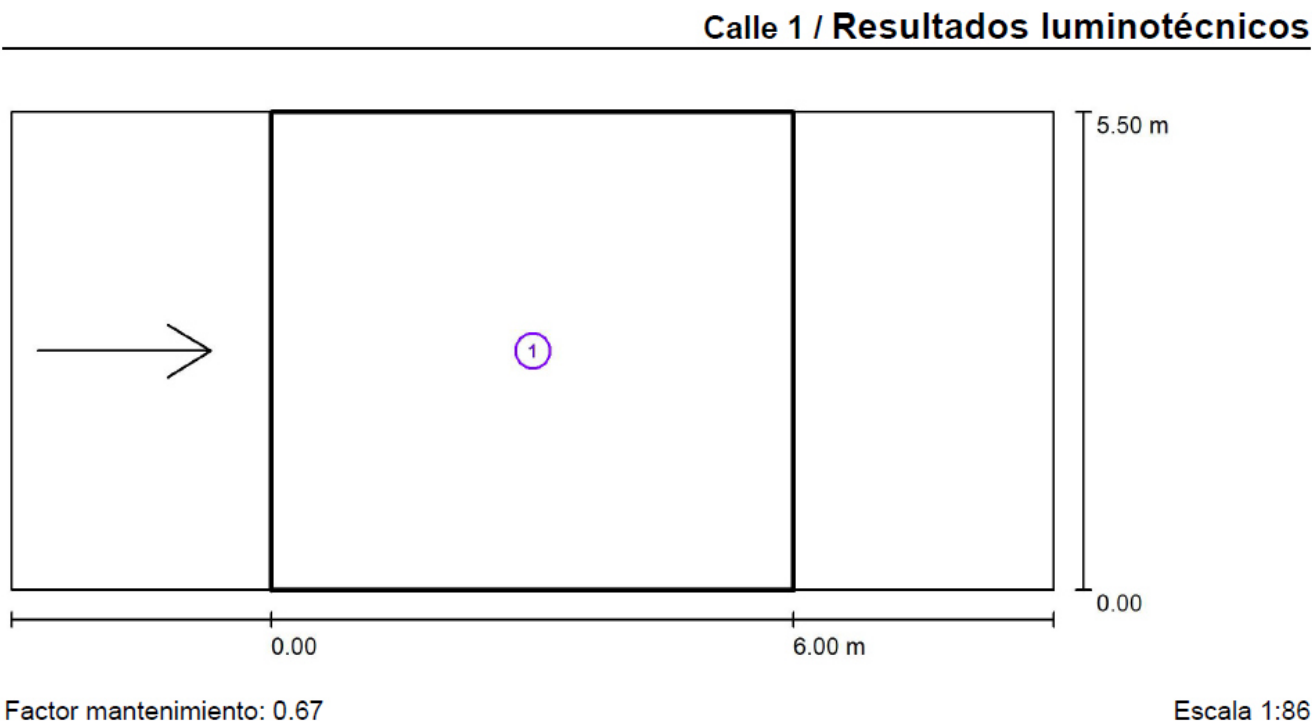
Clase de iluminación seleccionada: CE5 (Se cumplen todos los requerimientos fotométricos.)

	E_m [lx]	U0
Valores reales según cálculo:	35.83	0.41
Valores de consigna según clase:	≥ 7.50	≥ 0.40
Cumplido/No cumplido:	✓	✓

La solución dada a la vía ciclista no cumple las recomendaciones indicadas anteriormente debido a que el valor efectivo de la intensidad lumínica media supera en 150% del valor mínimo previsto. Este hecho es debido fundamentalmente a dos factores. En primer lugar, las luminarias que se han empleado son de alta intensidad lumínica para que la iluminación de la calzada sea adecuada para los vehículos que circulan por ella. En segundo lugar, se observa una clara focalización debajo de la luminaria debido a la proximidad del punto saliente de luz a la vía ciclista. No obstante, que no cumpla este factor no es preocupante, ya que no hay una norma establecida, sino tan solo una serie de recomendaciones.

Luminarias de acceso al puente

Resultados visuales de las soluciones adoptadas



Lista del recuadro de evaluación

1	Recuadro de evaluación Calzada 1					
	Longitud: 6.000 m, Anchura: 5.500 m					
	Trama: 10 x 3 Puntos					
	Elemento de la vía pública respectivo: Calzada 1.					
	Revestimiento de la calzada: R3, q0: 0.070					
	Clase de iluminación seleccionada: ME4a	(Se cumplen todos los requerimientos fotométricos.)				
		L_m [cd/m ²]	U0	UI	TI [%]	SR
	Valores reales según cálculo:	2.51	0.92	0.97	1	0.71
	Valores de consigna según clase:	≥ 0.75	≥ 0.40	≥ 0.60	≤ 15	≥ 0.50
	Cumplido/No cumplido:	✓	✓	✓	✓	✓

Las luminarias dispuestas para el acceso al puente cumplen perfectamente las recomendaciones indicadas.

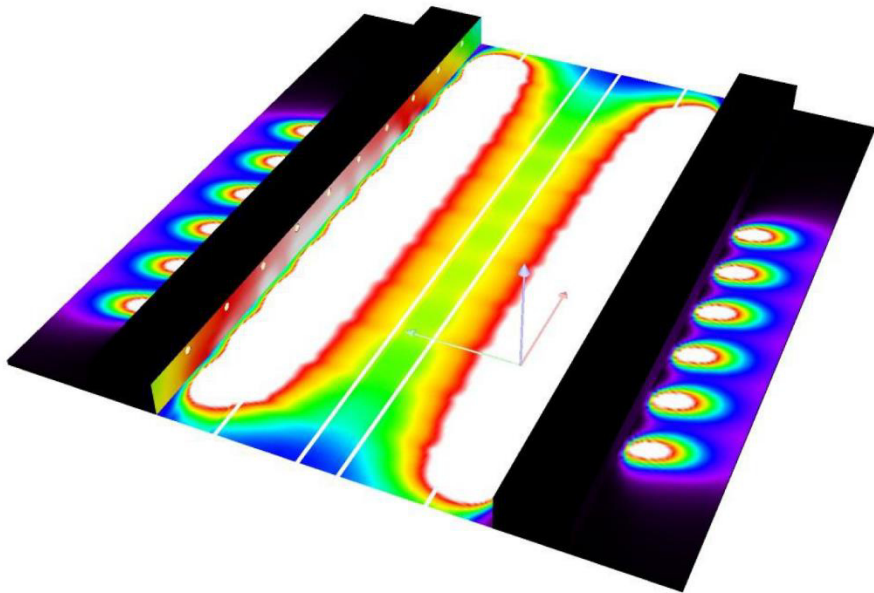


Figura 22. VISTA EN PERSPECTIVA. RENDERING CON COLORES FALSOS

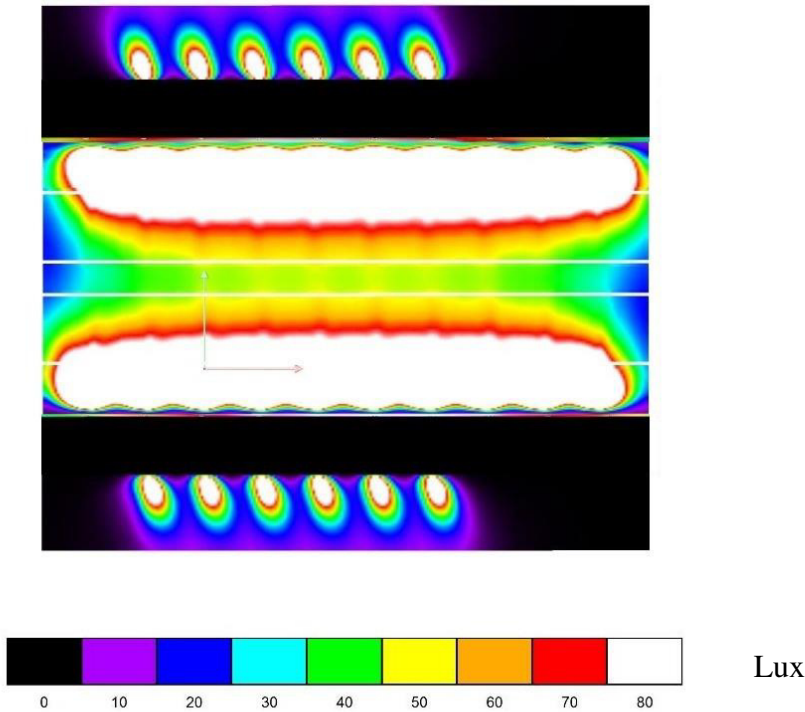


Figura 23. PLANTA DEL PUENTE. RENDERING CON COLORES FALSOS

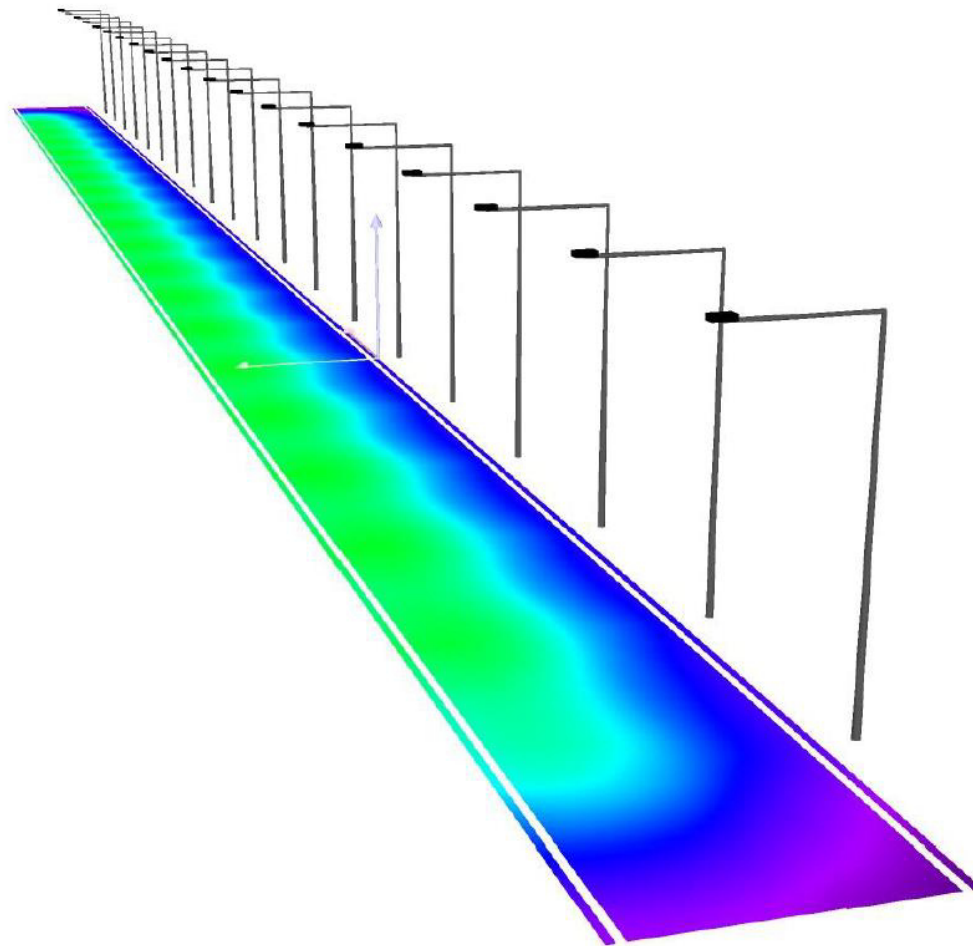


Figura 24. PERSPECTIVA DEL ACCESO AL PUENTE. RENDERING CON COLORES FALSOS

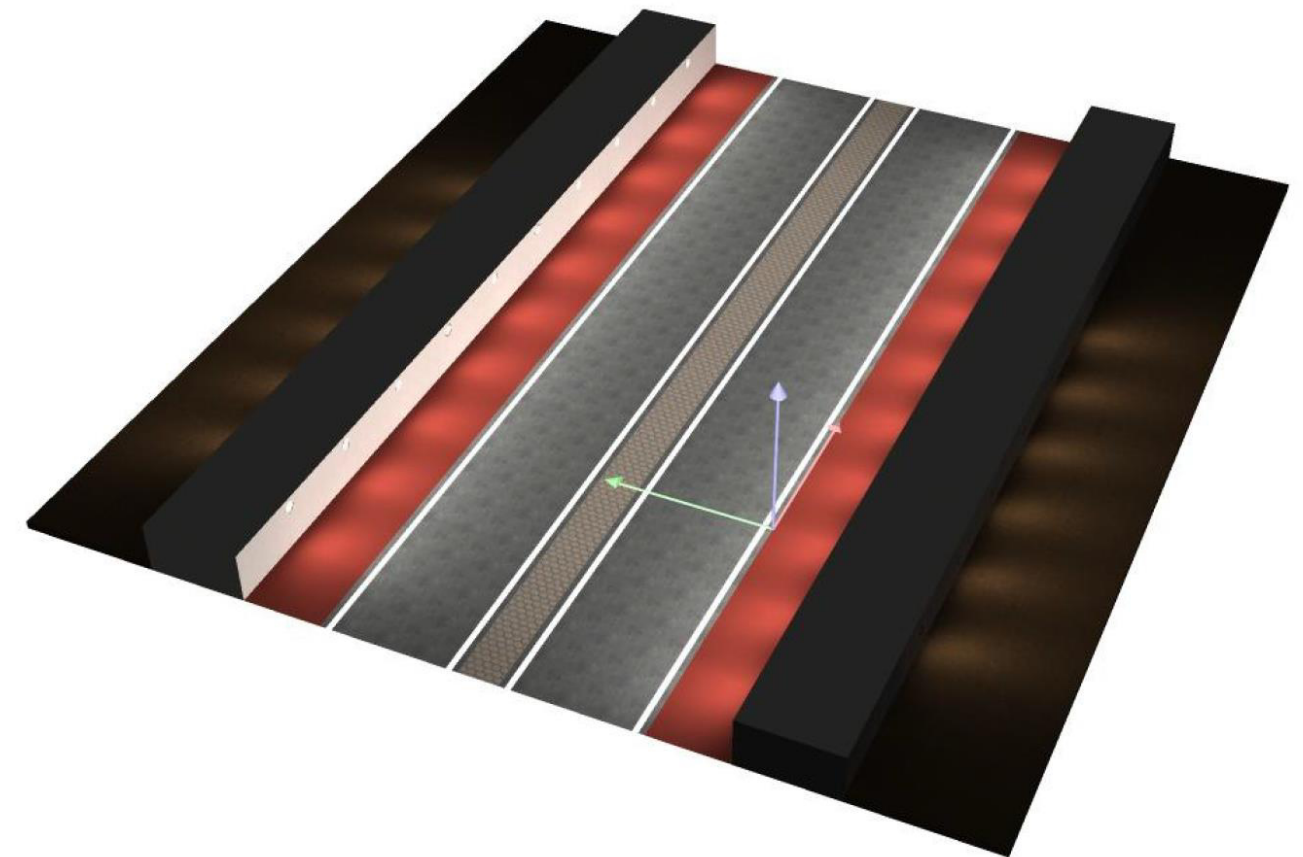


Figura 25. PERSPECTIVA DE LA ILUMINACIÓN DEL PUENTE

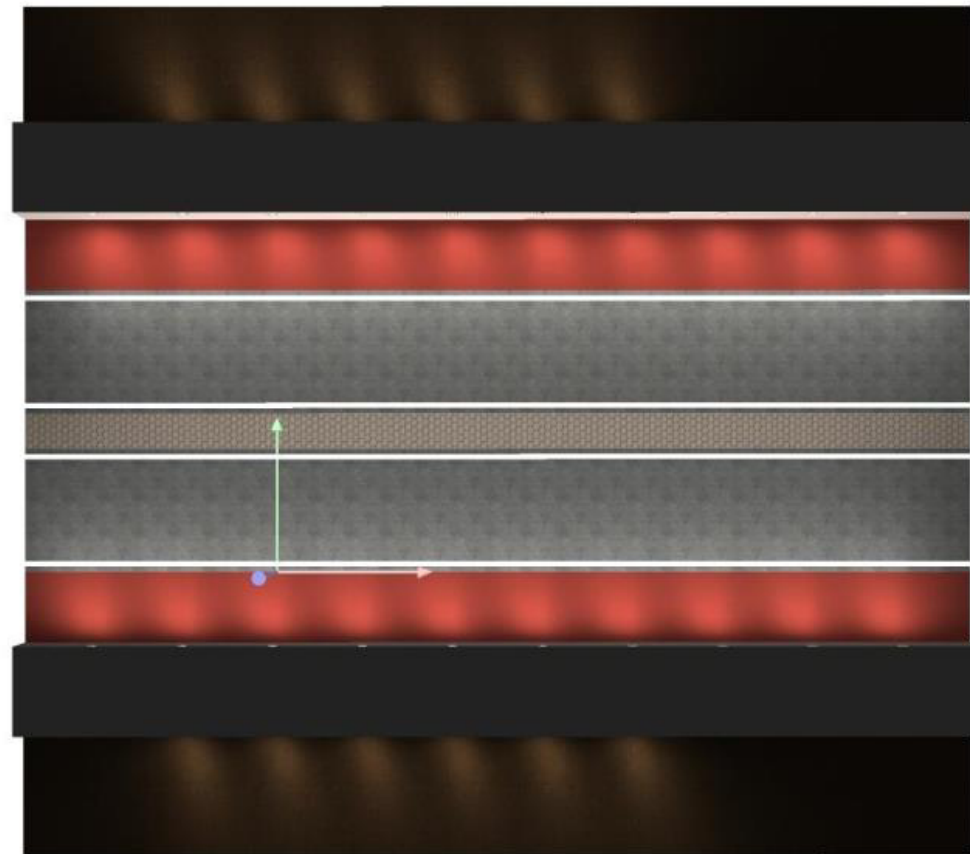


Figura 26. PLANTA DE LA ILUMINACIÓN DEL PUENTE



ANEXO AL ANEJO Nº5 DISEÑO DE EQUIPAMIENTOS.

Libros

MONLEÓN CREMADES, S. (2013). *Curso de concepción de puentes. Parte (I): Diseño de puentes*. Valencia: Editorial de la Universidad Politécnica de Valencia.

FREYSSINET(2010). *Tetron CD®. Aparatos mecánicos de apoyo*. Francia: Editorial soletanche Freyssinet
GLS PREFABRICADOS. *Catálogo* 2011. Lleida

Normativa

España. Instrucción sobre las acciones a considerar en el proyecto de puentes de carretera. IAP-11, Mayo de 2012.

España. Orden circular 36/2015 sobre criterios a aplicar en la iluminación de carreteras a cielo abierto y túneles. TOMO I Y TOMO II. 2015.

España. Guía de cimentaciones en obras de carretera. 30 de septiembre de 2002.

España. Norma6.1. IC, Secciones de firme de la instrucción de carreteras. 12 de Diciembre de 2013.

Páginas web

MEXPRESA

<http://www.mexpresa.com/productos/juntas_t.php> [Consulta: 1 de Mayo de 2015]

FREYSSINET. Catálogo de tirantes. <<http://www.freyssinet.es/pages/tirantes.html#sistema2000>> [Consulta: 17 de MAYO de 2015]