



**Proyecto básico para el Concurso de pasarela sobre el río Segura en Blanca (Murcia).  
Solución C. Comprobaciones geotécnicas y proceso constructivo**

---



**ANEJO Nº 6: DISEÑO DE EQUIPAMIENTOS**

ÍNDICE

- I. Pavimentos
- II. Drenaje superficial
- III. Iluminación

I. Pavimento

El pavimento del puente se divide en dos partes claramente diferenciadas: carril bici y paso peatonal, ambos sobre la losa de hormigón armado de la chapa grecada.

El carril bici irá directamente pintado sobre el hormigón con pintura adherente para evitar el deslizamiento. Esta disposición del carril bici se ha comprobado que es posible mediante el prontuario de IECA: “*Carriles bici con pavimento de hormigón, enero 2013*”. En la siguiente tabla se puede observar cómo es posible la pintura sobre el pavimento de hormigón si este tiene un espesor suficiente como es este caso (13 cm).

CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA EXPLANADA	DETERMINACIÓN VISUAL DE LA CALIDAD DE LA EXPLANADA	CAPAS DE APOYO DEL PAVIMENTO DE HORMIGÓN	SECCIONES (ESPESORES MÍNIMOS EN CM)		
Mala (CBR <5)	Suelo con exceso de finos. Rellenos sin compactar previamente. Residuos de construcción.	30 cm de zahorra compactada o, 20 cm de suelo estabilizado con cemento	MONOCAPA	BICAPA	HF -3,5*
			16 cm	5 cm 10 cm	
			14 cm	5 cm 8 cm	HF -4,0*
Media (5 < CBR < 10)	Suelo granular. Suelo compacto que, húmedo, permite el tránsito aunque con huella y deformación.	Directamente sobre la explanada	MONOCAPA	BICAPA	HF -3,5*
			16 cm	5 cm 10 cm	
			14 cm	5 cm 8 cm	HF -4,0*
Buena (CBR > 10)	Pavimento existente. Suelo compacto que, húmedo, permite el tránsito sin huella	Directamente sobre la explanada	MONOCAPA	BICAPA	HF -3,5*
			14 cm	5 cm 8 cm	
			12 cm	5 cm 6 cm	HF -4,0*

El carril bici será de color granaate oscura tipo “*Ral 3005*” (o similar).

La zona de paso peatonal, está constituida por tableros de madera IPE, de sección 3000mm x 100mm x 22mm. Se colocarán rastreles y soportes para el correcto posicionamiento del pavimento. Las maderas irán colocadas transversalmente a las vigas longitudinales, es decir, paralelas a las vigas de piso y con su misma disposición radial.

II. Drenaje superficial

Cuando el agua caiga sobre el tablero, actuará la pendiente transversal, de tal manera que el agua recorrerá la superficie hasta alcanzar el desagüe que se ubica en el encuentro del carril bici y el paso peatonal.

A continuación, se procede a calcular el drenaje de la pasarela mediante los siguientes pasos:

*Caudal de referencia:*

El caudal de referencia o de cálculo  $Q$  es aquel estimado que será necesario desaguar, y viene dado por la siguiente expresión:

$$Q = \frac{C \times A \times I_t}{3000} \left( l/s \right)$$

Donde a continuación se describen cada uno de los elementos que conforman dicha expresión:

4.1.1 Coeficiente de escorrentía:

C: coeficiente medio de escorrentía de la superficie drenada en el intervalo donde se produce  $I_t$ , y viene determinado por la siguiente expresión:

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

Dónde:

$P_d$ : Precipitación total diaria correspondiente al período de retorno considerado, en mm, y viene dada por la siguiente expresión:

$$P_d = Y_t \times \bar{P}$$

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, si:

$$C_v = 0.5$$

$$T = 25 \text{ años}$$

$$\text{Entonces, } Y_t = 2,052$$

$\bar{P}$ : Valor medio de la máxima precipitación diaria anual (anejo 4.5 Máximas lluvias diarias)

$$\bar{P} = 53 \text{ mm/día}$$

Sustituyendo:

$$P_d = Y_t \times \bar{P} = 2,052 \times 53 = 108,76 \text{ mm}$$

$P_o$ : umbral de escorrentía. Para pavimentos de hormigón se considera igual a 1mm. A este umbral de escorrentía hay que aplicarle un coeficiente corrector de valor 3 (Tabla 2.1 y Figuras 2.5 y 2.6 de Instrucción 5.2 IC)



Figura 6. Mapa del coeficiente corrector del umbral de escorrentía

Entonces:

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

Finalmente, sustituyendo los valores obtenidos en la expresión inicial:

$$C = \frac{[(P_d/P_o)-1][(P_d/P_o)+23]}{[(P_d/P_o)+11]^2} = \frac{[(108,76/1)-1][(108,76/1)+23]}{[(108,76/1)+11]^2} = 0,99$$

#### 4.1.2 Intensidad de precipitación

$I_t$ : Intensidad media de precipitación correspondiente a un período de retorno de 25 años y a un intervalo igual al tiempo de concentración T, en mm/h, que viene determinada a través de la siguiente expresión:

$$I_t = I_d \times \left(\frac{I_1}{I_d}\right)^{\frac{28^{0.1}-T^{0.1}}{28^{0.1}-1}}$$

Dónde:

$I_d$ : Intensidad media diaria de precipitación correspondiente al periodo de retorno, y viene dado por la expresión siguiente:

$$I_d = \frac{P_d}{24} \text{ (mm/h)}$$

Sustituyendo:

$$I_d = \frac{P_d}{24} = \frac{108,76}{24} = 4,53 \text{ mm/h}$$

T: tiempo de concentración, que es el tiempo necesario para que el agua de lluvia caída en el punto más alejado de la sección de desagüe del área a drenar llegue a dicha sección, y viene dado por la siguiente expresión:

$$T = 0,3 \times \left(\frac{L}{J^{1/4}}\right)^{0,76} \geq 0,0833 \text{ h}$$

Dónde:

L: Longitud del cauce principal, en km  $\rightarrow L = 0,06 \text{ km}$

J: Pendiente media que debe recorrer el agua hasta el desagüe. Se realiza una media ponderada de las dos pendientes de la sección transversal:

$$J = \frac{1,5 \times 3 + 2 \times 2}{3 + 2} = 1,7 \%$$

Sustituyendo en la expresión anterior:

$$T = 0,3 \times \left(\frac{L}{J^{1/4}}\right)^{0,76} = 0,3 \times \left(\frac{0,06}{(0,017^{1/4})}\right)^{0,76} = 0,0767 \text{ h} < 0,0833 \text{ h}$$

Por lo tanto,  $T = 0,0833$  h

$I_1$ : Intensidad horaria de precipitación correspondiente al período de retorno de 25 años.

$\frac{I_1}{I_d}$  Se obtiene de la figura 2.2 de la instrucción 5.2 IC:



Figura 2.2 .Mapa de isohietas  $I_1/I_d$

$$\frac{I_1}{I_d} = 11$$

Finalmente, sustituyendo todos los valores en la expresión inicial, obtenemos:

$$I_t = I_d \times \left(\frac{I_1}{I_d}\right)^{\frac{28^{0.1} - T^{0.1}}{28^{0.1} - 1}} = 4,53 \times 11^{\frac{28^{0.1} - 0,0833^{0.1}}{28^{0.1} - 1}} = \mathbf{189,23 \text{ mm/h}}$$

#### 4.1.3 Área de la superficie drenada:

A: área de la superficie drenada, en  $m^2$

$$A = 60 \times 5,2 = 312 \text{ m}^2$$

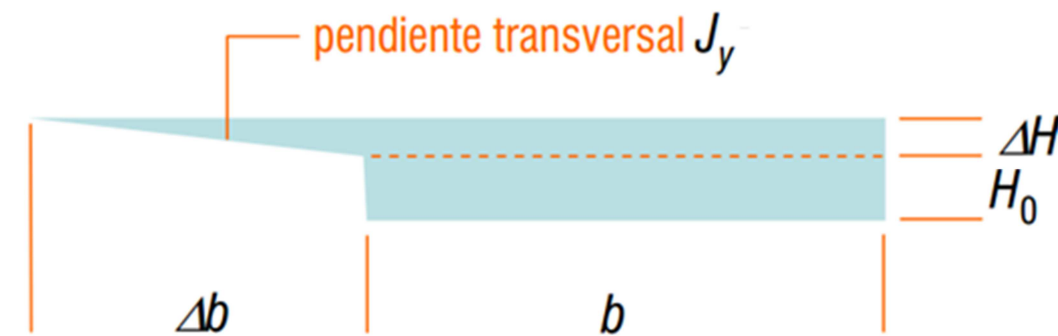
Finalmente, el caudal de referencia será:

$$Q = \frac{C \times A \times I_t}{3000} = \frac{0,99 \times 189,23 \times 312}{3000} = 19,48 \text{ l/s}$$

#### Diseño del drenaje:

El tablero es horizontal, por lo que no hay pendiente horizontal ( $J=0$ ). Sin embargo, existen dos pendientes transversales diferentes, 1,5 % en el paso peatonal y 2 % en el carril bici, por lo que se calcula el caudal a desaguar para cada pendiente.

Se comienza suponiendo que la lámina de agua alcanza su anchura máxima admisible  $b^* = \Delta b + b = 30$  cm, determinando el correspondiente calado  $H = H_0 + \Delta H$  sobre la figura siguiente:



Donde  $b=0,2$  m,  $b^*=0,3$  m y suponemos  $H_0=4$  cm. Por lo tanto:

$$b^* = \Delta b + b = \frac{\Delta H}{J_y} + b$$

Para  $J_y = 2\%$  (carril bici)  $\rightarrow Q_1$

Despejamos  $\Delta H$ :

$$\Delta H = J_y \times (b^* - b)$$

Sustituyendo:

$$\Delta H = 0,02 \times (0,3 - 0,2) = 0,002 \text{ m} = 0,2 \text{ cm}$$

Por lo tanto, la altura de la lámina de agua es:

$$H = H_0 + \Delta H = 4 + 0,2 = 4,2 \text{ cm}$$

El área de la sección del cauce "S" será:

$$S = b \times H + \frac{\Delta H^2}{2 \times J_y}$$

Sustituyendo:

$$S = 0,2 \times 0,042 + \frac{0,002^2}{2 \times 0,02} = 0,0085 \text{ m}^2$$

El perímetro del cauce "p" será:

$$p = b + 2 \times H_0 + \Delta b [J_y + (1 + J_y^2)^{0.5}]$$

Sustituyendo:

$$p = 0,2 + 2 \times 0,04 + 0,1[0,02 + (1 + 0,02^2)^{0.5}] = 0,38202 \text{ m}$$

Puesto que  $H < 12 \text{ cm}$ , la capacidad de desagüe del sumidero horizontal (l/s) es:

$$Q_1 = PH^{3/2}/60 \text{ (Ecuación del vertedero)}$$

Dónde:

P (perímetro exterior de la rejillas) =  $4 \times 20 = 80 \text{ cm}$

Por lo que:

$$Q_1 = \frac{80 \times 4,2^{\frac{3}{2}}}{60} = 11,48 \text{ l/s}$$

Para  $J_y = 1,5\%$  (paso peatonal)  $\rightarrow Q_2$

Despejamos  $\Delta H$ :

$$\Delta H = J_y \times (b^* - b)$$

Sustituyendo:

$$\Delta H = 0,015 \times (0,3 - 0,2) = 0,0015 \text{ m} = 0,15 \text{ cm}$$

Por lo tanto, la altura de la lámina de agua es:

$$H = H_0 + \Delta H = 4 + 0,15 = 4,15 \text{ cm}$$

El área de la sección del cauce "S" será:

$$S = b \times H + \frac{\Delta H^2}{2 \times J_y}$$

Sustituyendo:

$$S = 0,2 \times 0,0415 + \frac{0,0015^2}{2 \times 0,015} = 0,008375 \text{ m}^2$$

El perímetro del cauce "p" será:

$$p = b + 2 \times H_0 + \Delta b [J_y + (1 + J_y^2)^{0.5}]$$

Sustituyendo:

$$p = 0,2 + 2 \times 0,04 + 0,1[0,015 + (1 + 0,015^2)^{0.5}] = 0,3815 \text{ m}$$

Puesto que  $H < 12 \text{ cm}$ , la capacidad de desagüe del sumidero horizontal (l/s) es:

$$Q_2 = PH^{3/2}/60 \text{ (fórmula del vertedero)}$$

Dónde:

P (perímetro exterior de la rejillas) =  $4 \times 20 = 80 \text{ cm}$

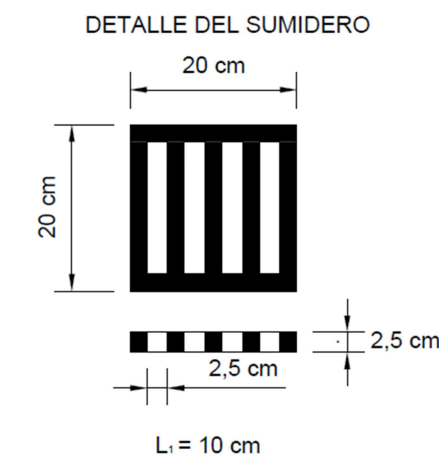
Por lo que:

$$Q_2 = \frac{80 \times 4,15^{\frac{3}{2}}}{60} = 11,27 \text{ l/s}$$

Por lo tanto, para hallar la capacidad de desagüe aproximada del sumidero horizontal ( $Q_T$ ), se calcula la media ponderada de  $Q_1$  y  $Q_2$ :

$$Q_T = \frac{2 \times Q_1 + 3 \times Q_2}{2 + 3} = 11,354 \text{ l/s}$$

A continuación, adoptamos el siguiente sumidero:



La comprobación del sumidero, considerando que las barras son paralelas a la corriente, exige que cumpla:

$$L_1 \geq 9 \times (H + D)^{\frac{1}{2}} \times v$$

Siendo:

$L_1=10\text{ cm}$

$D\text{ (canto de una barra)}=2,5\text{ cm}$

$v\text{ (velocidad del agua)}=q/S$

La velocidad máxima será:

$$v_{max} \leq \frac{L_1}{9x(H+D)^{\frac{1}{2}}} = 0,429\text{ m/s}$$

Obtenemos el caudal por sumidero:

$q_{max}=v_{max} \times S=3,61\text{ l/s}$

Por lo tanto, el mínimo número de sumideros necesarios es:

$$n_{min}=Ent\left(\frac{Q}{q_{max}}\right)+1$$

$$n_{min}=Ent\left(\frac{60.92}{3.61}\right)+1=6\text{ sumideros}$$

Por último, hay que comprobar si

$$n_{min} \geq 2\frac{Q}{Q_T}$$

$$\therefore n_{min}=6 \geq 2\frac{Q}{Q_T}=2\frac{19,48}{11,354}=3,43? \rightarrow \textbf{sí}$$

Aunque sean necesarios 6 sumideros para que se cumpla el mínimo, colocamos el doble de sumideros por motivos de funcionalidad. Por lo tanto, se instalarán **11 sumideros, uno cada 5 metros**, de forma que se ubicarán siempre entre vigas transversales.

III. Iluminación

El objeto del presente estudio es definir las características del sistema de alumbrado que se ha proyectado para la iluminación de la pasarela. Toda instalación de alumbrado debe asegurar fiabilidad de precepción y comodidad visual.

La norma indica que es necesario iluminar un punto singular, como un puente, pero además es necesario al estar en núcleo urbano y ser transitable por peatones.

Para la realización del diseño de la iluminación, se ha 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 la guía de la gestión energética, tanto el alumbrado para pasarelas peatonales como el alumbrado para parques y jardines que enmarcan dentro de un tipo de alumbrado específico. En este se establece un alumbrado de clase CE2, tanto para las rampas de acceso como para el puente, con valores de 40 lux en el plano vertical.

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

Clase a alumbrado	Iluminación horizontal	
	Iluminancia media Em (lux)	Uniformidad Media Um
CE0	50	0,40
CE1	30	0,40
CE1A	25	0,40
CE2	20	0,40

- 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

Una vez conocidos los mínimos a cumplir, se procede al diseño asistido por ordenador mediante el programa informático Dialux 2.11

Las luminarias se dispondrán cada cinco metros a lo largo del eje longitudinal del puente. Se dispondrán a ambos lados. La disposición de luminarias puede verse en el “Plano Nº16: Equipamientos”. La altura del punto saliente de luz será de 0,6 metros (altura de la cintura) para evitar deslumbramientos

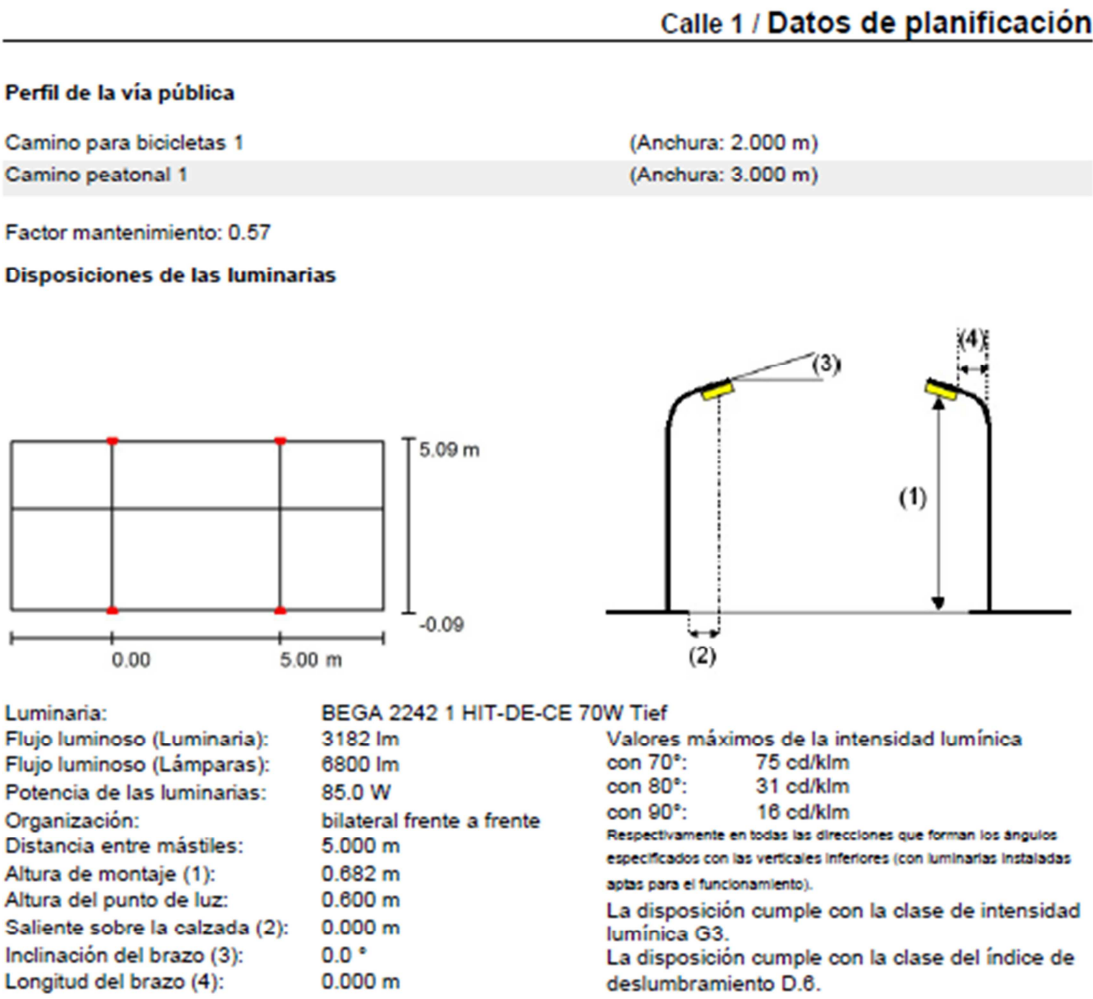
Se adjunta un breve resumen de los datos y resultados obtenidos por el programa:



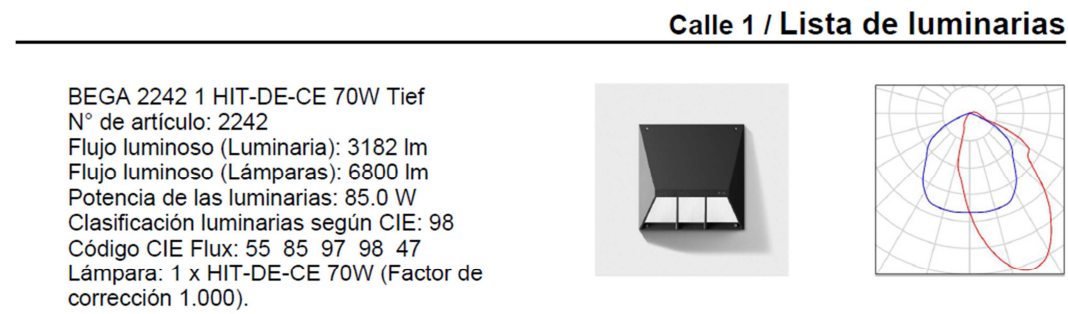
\*Nota: A pesar del trazado curvo, en el programa se ha calculado como si el trazado fuera recto, ya que dicho programa no da otra opción de trabajo. Sin embargo, a nivel de proyecto básico, se acepta esta aproximación.

Datos de entrada:

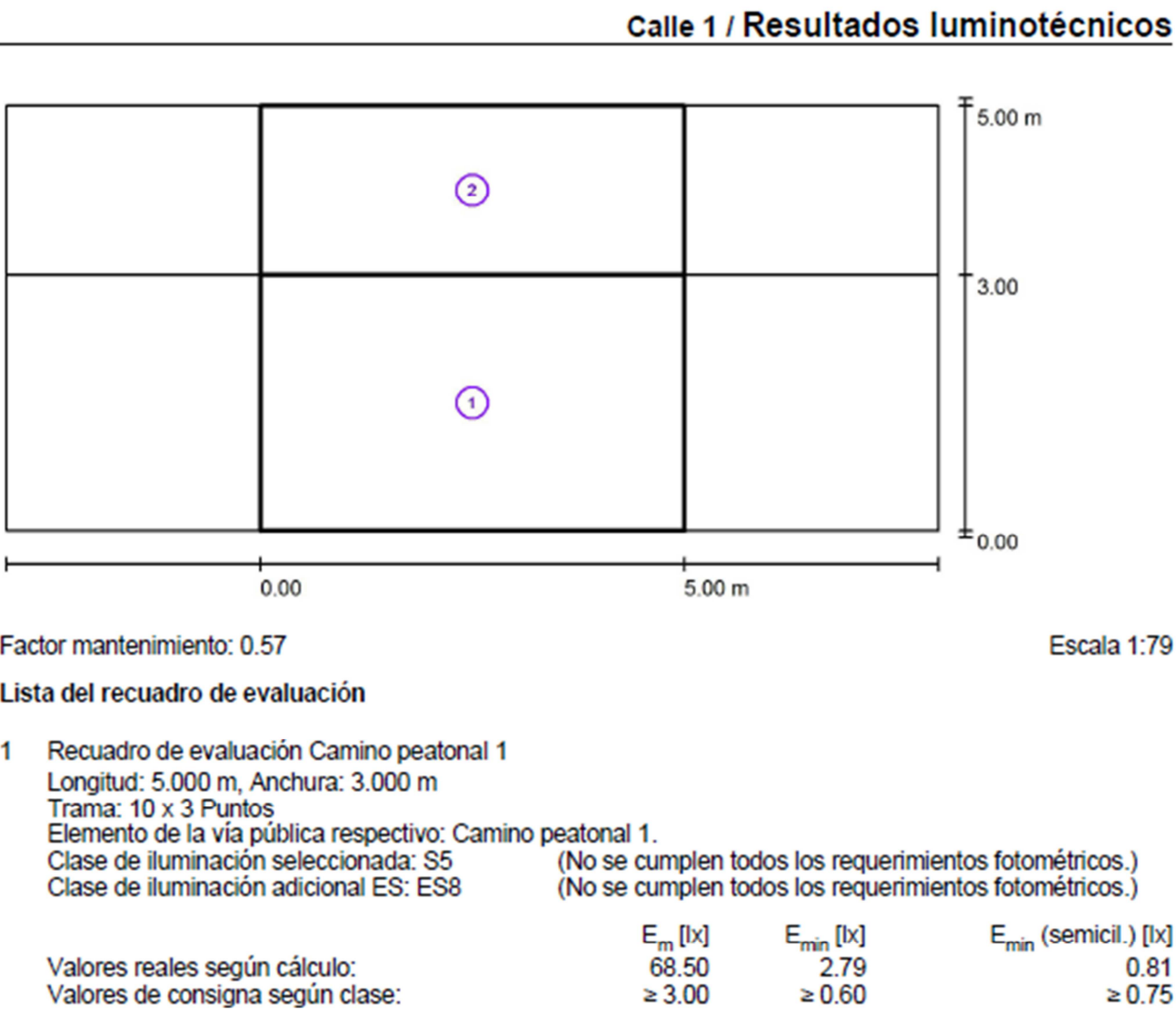
Datos de la calle a analizar:



Datos de la luminaria empleada:



Resultado luminotérmico:



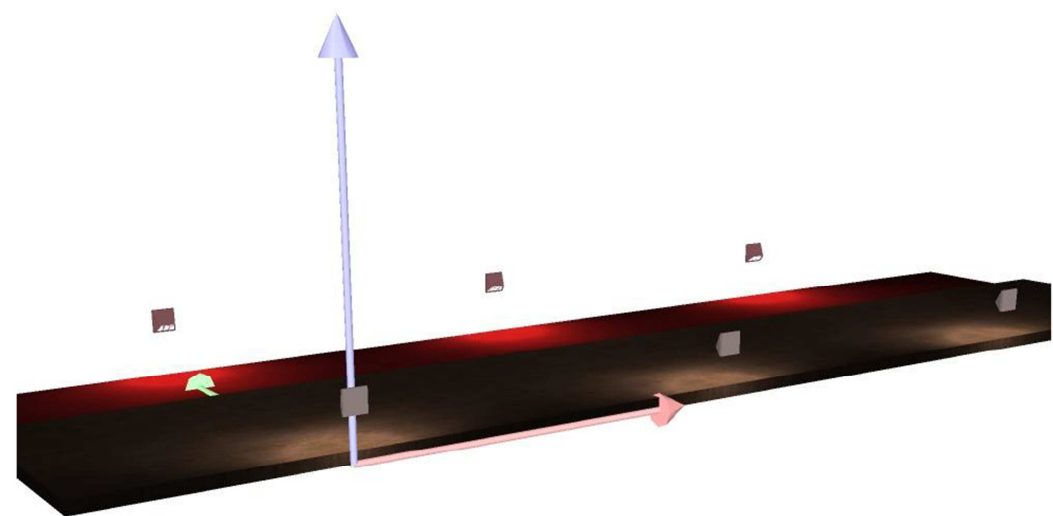
Se comprueba que se cumplen todos los parámetros, y aunque alguno supera con creces los indicados según la clase, esto es debido a la poca altura que se le da a las luminarias para que queden a la altura de la cadera de los peatones y así crear un efecto cálido durante el recorrido de la pasarela.

A continuación se muestran los renderes ofrecidos por el programa para hacerse una primera idea del aspecto que tendría la pasarela iluminada en la oscuridad.

Renderizado:

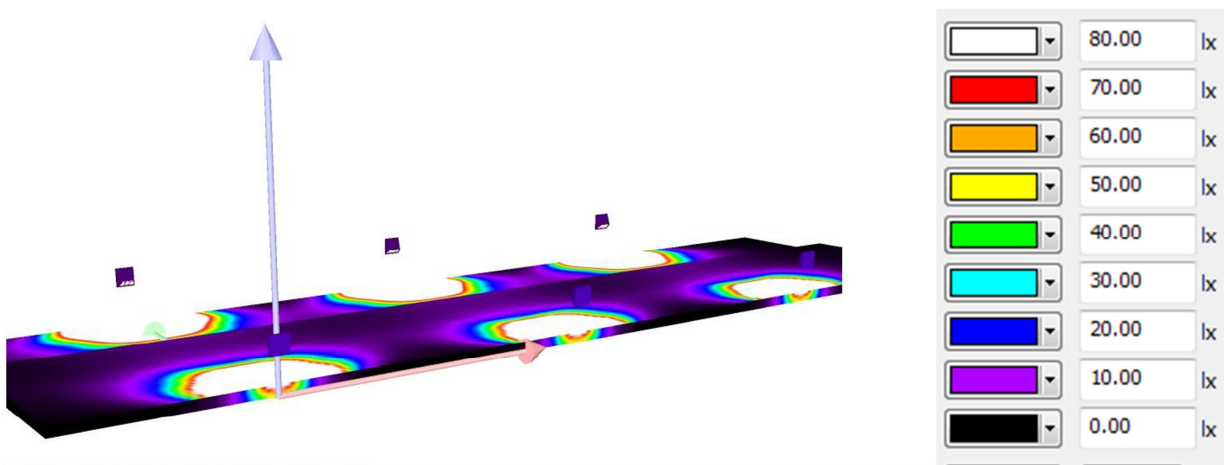
Realista:

Calle 1 / Rendering (procesado) en 3D



Énfasis de colores:

Calle 1 / Rendering (procesado) de colores falsos



Se observa una clara focalizaación debajo de la luminaria, sin embargo esto es normal debido a la proximidad del punto saliente de luz al suelo de la pasarela. Sin embargo, se considera la pasarela correctamente iluminada debido a la proximidad de los focos de luz.