



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIEROS DE CAMINOS,
CANALES Y PUERTOS



Proyecto básico para el “Concurso de puente del acceso sur al parque de Tempelhof, Berlín”. Solución D.

TRABAJO FINAL DE GRADO

ANEJO Nº4: DISEÑO CONCEPTUAL

Alumno: **Marcos Pastor Ortolá**

Francisco Javier Pérez Esteban

Titulación: Grado en Ingeniería Civil

Tutores: Salvador Monleón Cremades

Cotutores: Carlos Manuel Lázaro Fernández

Alberto Domingo Cabo

Fecha: Junio 2015

ANEJO N°4: Diseño de equipamientos

Índice

1. Objeto del anejo.....	Pág.02
2. Diseño de la imposta	Pág.02
3. Barandillas.....	Pág.03
4. Evacuación de aguas.....	Pág.03
4.1. Cálculo del caudal de referencia.....	Pág.03
4.2. Capacidad de desagüe de los caces.....	Pág.04
4.3. Sumideros.....	Pág.04
4.4. Alcantarillas.....	Pág.04
5. Firme.....	Pág.05
5.1. Tipo y espesor del firme.....	Pág.05
5.2. Tipo de ligante hidrocarbonado.....	Pág.05
5.3. Capa de estanqueidad.....	Pág.05
6. Iluminación.....	Pág.06
7. Aceras.....	Pág.10
7.1. Pavimento.....	Pág.10
7.2. Bordillo.....	Pág.10
8. Carril bici.....	Pág.11
8.1. Separadores.....	Pág.11
8.2. Pavimento.....	Pág.11

1. Objeto del anejo del diseño de equipamientos

En este anejo se incluye la definición de todos los elementos necesarios para el correcto funcionamiento del puente y que no forman parte de la estructura resistente, pero cuyo comportamiento es esencial para cumplir con las funciones que se esperan de él.

Esto incluye la definición de las barandillas como elemento de seguridad, la imposta como remate estético del tablero; los elementos de drenaje superficial del tablero que permitan una adecuada evacuación de aguas, la iluminación del puente y por último los paquetes de firme a disponer.

2. Diseño de la imposta

La imposta a disponer en el puente es prefabricada, donde la geometría viene determinada por la adaptabilidad al tablero y la estética general del puente. El anclaje al tablero se realizará mediante el anclaje de las armaduras de espera del tablero y de la imposta.

La geometría de la imposta es el siguiente:

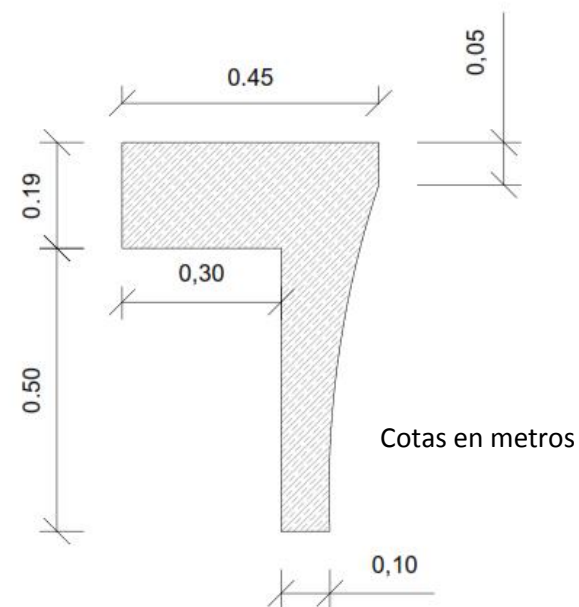


Figura 1: Geometría de la imposta

La disposición de la misma es simétrica a cada lado del tablero

Debido a que la imposta no soporta cargas significantes (solo su propio peso y barandilla) ni es un elemento estructural, las armaduras de cálculo necesarias serán mínimas.

Es por ello que el cálculo del armado que se realizará estará basado por las restricciones de las armaduras mínimas, tanto longitudinalmente como transversalmente.

Las resistencias características del acero y hormigón son:

- $f_{yk}=400\text{MPa}$
- $f_{ck}=30\text{MPa}$

Control de la fisuración sin cálculo directo (Art 7.3.3 del UNE-EN1992-1-1):

$$A_{s,min} = \frac{k_c * k * f_{ct,eff} * A_{ct}}{\sigma_s} = 0.0004 \text{ m}^2$$

(Realizado con A_{ct} , área de hormigón traccionada, más desfavorable y se toma en los dos sentidos)

Limitación por rotura frágil (Art. 9.2.1.1 UNE-EN1992-1-1):

$$A_{s,min} = 0.26 * \frac{f_{ctm}}{f_{tk}} * b_t * d = 0.00045 \text{ m}^2$$

En base a estas restricciones se obtiene el armado definitivo de la imposta. Además, se deben tener en cuenta las armaduras de espera necesarias para la correcta colocación de la imposta. En todo caso también se han en cuenta los radios de doblado, de acuerdo con el artículo 8.3 del EN-1992-1-1:2004, pertinentes para realizar la disposición del armado.

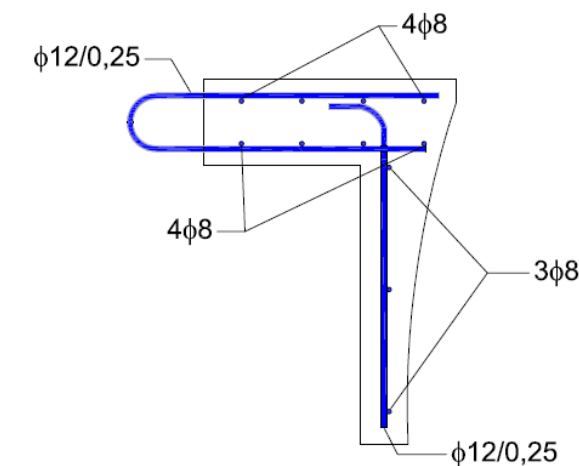


Figura 2: Armado de la imposta

3. Barandillas

Se han dispuesto las barandillas de la casa Garda, el modelo Illuminated Handrail. Para la comprobación del anclaje de la barandilla, se ha considerado una distancia entre fijaciones de 1.25 metros. El propio fabricante garantiza que el sistema de anclaje con esta disposición de barandilla es capaz de soportar una carga de 3kN aplicada en la parte superior de ésta. En la siguiente tabla, proporcionada por el fabricante, se observa las principales características de los componentes de la barandilla que garantizan el cumplimiento de la norma:

Cargas (impactos horizontales)			
	0.74 kN/m	1.5 kN/m	3.0 kN/m
Pasamanos			
ϕ 50mm x 3mm	2100 mm	1700 mm	1250 mm
Soporte circular			
ϕ 48.3mm x 5 mm	1525 mm	750 mm	-
Soporte cuadrado			
50mm x 50mm x 5mm	2350 mm	1150 mm	-
60mm x 60mm x 5mm	-	1750 mm	875 mm
80mm x 80mm x 4mm	-	-	1350 mm

4. Evacuación de aguas

Para el cálculo de los elementos de drenaje necesarios para el correcto funcionamiento del puente en episodios de lluvia se seguirá la Instrucción 5.2IC, aunque se está proyectando una estructura en Berlín, de acuerdo con las simplificaciones que se han acordado para el desarrollo de este Trabajo de Fin de Grado.. Se deben cumplir, como indica la norma, entre otras, las limitaciones de velocidad para que no se produzcan erosiones en los elementos de drenaje o en la plataforma.

4.1. Cálculo del caudal de referencia

El cálculo de caudal de referencia se lleva a cabo mediante el método racional, resultando de la siguiente expresión:

Q= C·A·IT/3000 l/s

Siendo cada parámetro:

- C : coeficiente de escorrentía
- A: área de la cuenca, en nuestro caso corresponderá al área del tablero
- I: intensidad media de precipitación correspondiente al periodo de retorno y al tiempo de concentración empleados.

Para el cálculo de la intensidad media se adopta la siguiente expresión:

$I_T = \frac{94 \cdot 70.969}{T+9}$ l/s, siendo T el periodo de retorno en minutos.

Se ha tomado un periodo de retorno de 25 años (T=25), ya que se diseña el puente con una plataforma para una IMD alta, de acuerdo con la recomendación de la instrucción para drenaje superficial.

Para calcular la precipitación total máxima diaria, se adoptado tanto el coeficiente de variación (Cv) como el valor medio de la máxima precipitación anual (P) correspondiente a la ciudad de Bilbao, por semejanza de precipitaciones y así poder utilizar la instrucción 5.2IC, ya mencionada.

Con un coeficiente de variación de valor 0.38, obtenido de la publicación de fomento “Máximas lluvias diarias en la España peninsular”, y un periodo de retorno de 25 años, a partir de la tabla anterior se obtiene un factor de amplificación de valor 1.717 (K_t=1.717)

Así pues con el factor de amplificación obtenido y el valor medio de la máxima precipitación anual (P), se calcula la precipitación total diaria máxima (P_d) mediante la siguiente expresión:

P_d=P·k_t

Así pues obtenemos una precipitación diaria máxima de 116.545 mm

A partir de la figura 2.2 de la instrucción, se obtiene que el cociente I₁/I_d = 9 Para calcular el tiempo de concentración (T_c) se emplea la siguiente expresión de Témez:

$T_c = 0.3 \cdot (\frac{L}{J^{0.25}})^{0.76} \geq 0.0833$, en h.

Siendo,

- L: Longitud del cauce principal en km, en este caso es de 0.08 km
- J: Pendiente media del cauce principal, en m/m; en este caso es de 0.03 m/m

Por tanto se obtiene un tiempo de concentración de valor 0.085667601 h. Así pues con todos los datos calculados hasta el momento, la intensidad de precipitación a considerar es:

$I_T = \frac{94 \cdot 70.969}{T+9} = \frac{94 \cdot 70.969}{(0.085667601 \cdot 60)+9} = 471.7864$ l/s/Ha= 169.8431002 mm/h

Para obtener el coeficiente de escorrentía se ha empleado la siguiente expresión:

$C = \frac{[(Pd/Po) - 1] \cdot [(Pd/Po) + 23]}{[(Pd/Po) + 11]^2}$

Siendo,

- Po: Umbral de escorrentía→Para pavimentos urbanos, como es en este caso, se puede tomar Po=1 mm

Por tanto se obtiene un coeficiente de escorrentía (C) de valor 0.99114812

El caudal de referencia a desaguar es de:

$$Q = \frac{C \cdot It \cdot A}{3000} = \frac{0.99114812 \cdot 169.8431002 \cdot 10.25 \cdot 80}{3000} = 46.01 \text{ l/s}$$

Una vez obtenido el caudal a desaguar se diseña el sistema de evacuación de las aguas. Para ello es necesario conocer:

- Pendientes transversales → En este caso, se corresponde con la pendiente de bombeo que marca la norma 3.11C, del 2.5%
- Caces de desagüe → Para la evacuación del agua se han dispuesto caces a ambos lados de la plataforma, vertiendo la pendiente transversal hacia éstos. Las aceras tienen una pendiente del 2%.

4.2. Capacidad de desagüe de los caces

Para estimar la capacidad de desagüe se emplea la ecuación de Manning-Strickler, la cual tiene la siguiente expresión:

$$q = K \cdot J^{0.5} \cdot S \cdot (S/p)^{2/3} \cdot 10^3$$

Siendo,

- K: coeficiente de rugosidad → Se obtiene un valor de 65 a partir de la tabla que se adjunta al final de este apartado.
- J: pendiente de la línea de energía, en m/m → En este caso adopta un valor de 0.025 m/m, correspondiente al bombeo de la carretera.
- p: perímetro mojado → Se ha adoptado para el cálculo 34.25 cm, garantizando que el ancho de la lámina de agua apenas invade la calzada (≤0.3m)
- S: sección mojada → Se ha adoptado para el cálculo 46.25 cm²

Con todos estos datos obtenemos un caudal de referencia por sumidero (capacidad de desagüe):

$$q = 2.952523867 \text{ l/s}$$

Así pues los sumideros necesarios (n) son:

$$n = \frac{Q}{q} = \frac{46.0128429}{2.952523867} = 15.58 \rightarrow 16 \text{ sumideros}$$

Ahora, se comprueba la velocidad máxima por cuestiones de erosión superficial, como ya se ha comentado. En este caso la velocidad que se obtiene es:

$$v = \frac{q}{S} = 0.638 \text{ m/s}$$

Se considera apta esta velocidad, ya que se ha establecido un valor límite de 4.5 m/s para una superficie de hormigón.

La comprobación del sumidero, disponiendo las barras en sentido de la corriente, exige que se cumpla:

$$L_1 \geq 9(H + D)^{0.5} \cdot v = 11.8446 \text{ cm}$$

4.3. Sumideros

La capacidad de desagüe del conjunto de sumideros no deberá ser inferior al doble del caudal de referencia en previsión de obstrucciones o perturbaciones del flujo.

De esta forma el caudal total evacuado es de:

$$Q_{\text{total}} = n \cdot Q_1 = 81 \text{ l/s}$$

Siendo,

$$Q_1 = P \cdot H^{1.5} / 60 > q = 5.0625 \text{ l/s}$$

Por tanto, no se cumple que,

$$2Q = 92.03 \text{ l/s} < Q_{\text{total}} = 81 \text{ l/s}$$

Finalmente, se disponen 19 sumideros de manera que:

$$2Q = 92.03 \text{ l/s} > Q_{\text{total}} = 96.19 \text{ l/s} \rightarrow \text{Cumple.}$$

Así pues se dispondrán rejillas como sumideros de dimensiones 200*250*20 mm

Se disponen 19 sumideros en la parte más desfavorable del puente que mide 80m. Por lo que para los 110 metros de tablero se colocan 27 sumideros, uno cada 4 metros.

4.4. Alcantarillas

Al tener un puente con pendiente longitudinal, lo recomendable es que los huecos de la rejilla tengan su mayor dimensión paralela a la dirección longitudinal del puente. Sin embargo, al estar justo al lado de un carril bici, puede resultar peligroso que los huecos estén así dispuestos, ya que las ruedas de la bicicleta podrían quedar encajadas en estos huecos, provocando la caída de los ciclistas. A parte, el espacio a lo ancho disponible para colocar la alcantarilla es pequeño (20cm) lo cual dificulta encajar huecos longitudinalmente.

Por estas dos razones y porque con el ancho mencionado anteriormente se ha decidido diseñar una alcantarilla que se adapte a nuestros condicionantes ya que también la rejilla debe cumplir con la clase de resistencia C-250, necesario para los dispositivos de cubrimiento instalados sobre arcones y en la zona de las cunetas de las calles.

Por esta razón, se ha decidido diseñar una rejilla con los huecos oblicuos, cuya fabricación se encarga a una fundición. El diseño de ésta se puede ver en el *Plano nº 13*.

Al decidirse por una orientación de huecos oblicuos, no siendo esta la dirección óptima para la evacuación, en lugar de colocar sumideros cada 4m, se colocan sumideros cada 3.10m que suman un total de 35 sumideros.

5. **Firme**

5.1. **Tipo y espesor del firme**

Para la determinación de la categoría de tráfico, al no disponer de un estudio específico de tráfico, para el presente proyecto básico se ha considerado una categoría de tráfico T31, de acuerdo con la nomenclatura que establece la norma 6.1 Secciones de firme de la Instrucción de carreteras ya que suponemos que en la zona donde se emplazará el puente no tendrá un tráfico pesado significativo, puesto que este da acceso a una zona verde y de ocio.

A su vez se realizarán dos tipos de dimensionamiento del firme, uno correspondiente para el firme sobre el tablero del puente y otro para los viales de acceso al puente que se apoyarán sobre unos terraplenes. En ambos casos, para el dimensionamiento de la capa de rodadura se sigue lo dispuesto en el Pliego General de Condiciones (PG-3). El lugar de emplazamiento se ha considerado como una zona térmica estival templada. Para una intensidad de tráfico T31, según lo dispuesto en dicha instrucción, los tipos de pavimentos utilizables como capa de rodadura son los siguientes:

Tipo de mezcla a utilizar en función del tipo y espesor de la capa (tabla 542.10 del PG-3)		
Tipo de capa	Espesor (cm)	Tipo de mezcla
		Denominación UNE-EN 13106-1 (*)
Rodadura	4-5	AC16 surf D
		AC16 surf S
	>5	AC22 surf D
		AC22 surf S
Intermedia	5 - 10	AC22 bin D
		AC22 bin S
		AC32 bin S
		AC22 bin S MAM
Base	7-15	AC22 base S
		AC22 base G
		AC32 base G
		AC22 base S MAM
Arcenes	4-5	AC16 surf D

Según la IAP-11, en su artículo 3.2.1.2, el espesor máximo de pavimento bituminoso proyectado y construido sobre tableros con losa de hormigón no será en ningún caso superior a 10 centímetros incluida la capa de regularización.

Para el diseño de la capa de rodadura, en ambos casos, se ha diseñado dotando a la losa del peralte requerido por el trazado de forma estructural, consiguiendo de esta forma que la capa de rodadura tenga un espesor constante a lo largo de todo el trazado.

Así pues se ha decidido realizar una capa de rodadura de 6 centímetros. Para la capa de rodadura y de acuerdo con la tabla anterior, se decide utilizar el tipo de mezcla AC22surf S.

5.2. **Tipo de ligante**

Puesto que se está diseñando para una zona térmica estival templada y una categoría de tráfico T31, se decide utilizar un ligante B60/70, de acuerdo con la tabla 542.1 *Tipo de ligante hidrocarbonado a emplear* del PG-3.

5.3. **Diseño de la capa de estanqueidad**

Las capas de estanqueidad pueden ser de dos clases: delgadas (imprimaciones epóxicos, imprimaciones bituminosas) y gruesas (capas de betún asfáltico). En este caso se ha usado la gruesa ya que a pesar de la luz moderada del puente es asumible por sus ventajas frente a las capas delgadas.

Así se ha utilizado una capa de mástic asfáltico con las siguientes características:

- Espesor total de 10 milímetros.
- Composición en peso:
- Betún asfáltico 13-16 %
- Materia mineral 84-87%
- Granulometría de la materia mineral:

Tamaño del árido	% en peso
0 – 0.09	>30
2 – 5	<10
0.09 – 2	Resto

- Punto de reblandecimiento de betún: 49-65°C
- Punto de reblandecimiento del mástic: 85-90 °C
- Temperatura de aplicación: 180-200 °C
- Temperatura ambiente y del tablero en el momento de aplicación > 5°C

La unión del hormigón del tablero y esta capa de estanqueidad se realizará mediante un riego de imprimación con emulsión tipo ECR-1.

Finalmente sobre la capa de estanqueidad se colocará una capa de protección (enarenado) de grano comprendido entre 0.80 y 1.60 milímetros.

6. Iluminación

El diseño de la iluminación se ha llevado a cabo con el software DiaLux 4.12. Se optó por una iluminación bilateral frente a frente de forma que los mástiles se sitúan en la acera. Las farolas iluminan la parte del carril bici y calzada correspondiente. Ésta se complementa con una iluminación en el lado peatonal, la cual se consigue a través del sistema de iluminación integrado en la barandilla. Para los cálculos se tuvieron en cuenta las siguientes especificaciones:

- Categoría lumínica: B2-Tráfico de vehículos motorizados, lentos y bicicletas
- Distancia entre mástiles: 15m (se probó inicialmente una disposición a 5 y otra a 10 metros resultando estéticamente más idónea a 15 metros debido a la luz total del puente a fin de evitar el efecto pantalla de mástiles)
- Luminaria: TRILUX Viatana/9000-740 26 ETDD Viatana. Su espectro de emisión de luz es el siguiente:

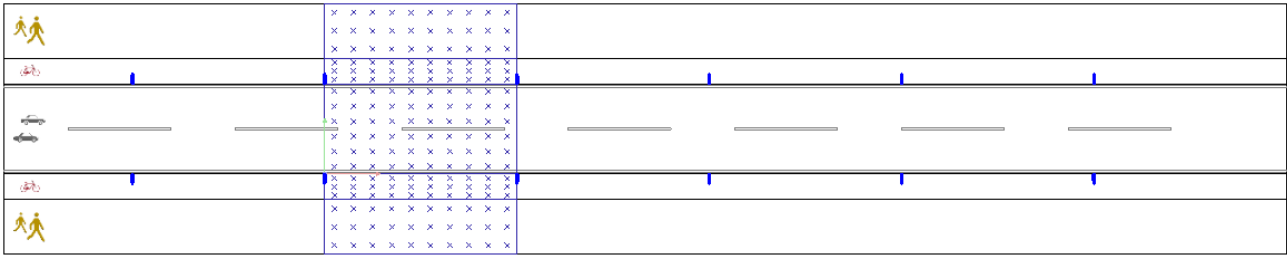


Figura 3: Dialux. Disposición en planta

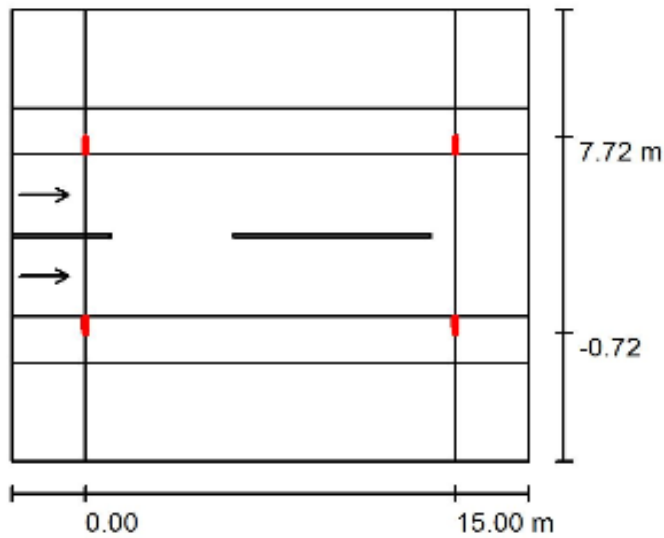
Calle 1 / Datos de planificación

Perfil de la vía pública

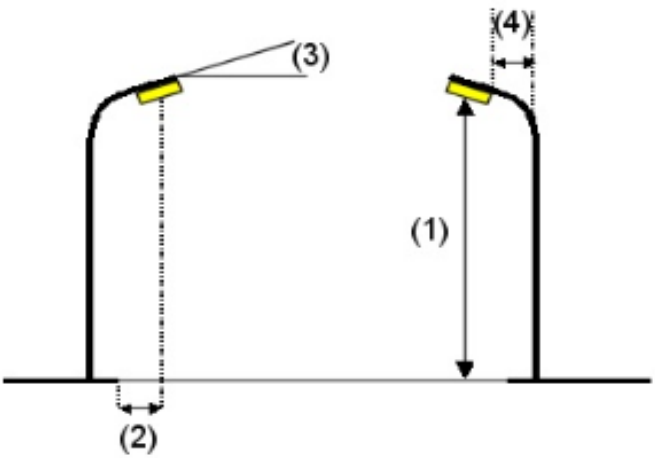
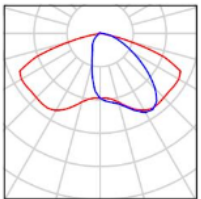
Camino peatonal 2	(Anchura: 4.250 m)
Camino para bicicletas 2	(Anchura: 2.000 m)
Calzada 1	(Anchura: 7.000 m, Cantidad de carriles de tránsito: 2, Revestimiento de la calzada: R3, q0: 0.070)
Camino para bicicletas 1	(Anchura: 2.000 m)
Camino peatonal 1	(Anchura: 4.250 m)

Factor mantenimiento: 0.67

Disposiciones de las luminarias

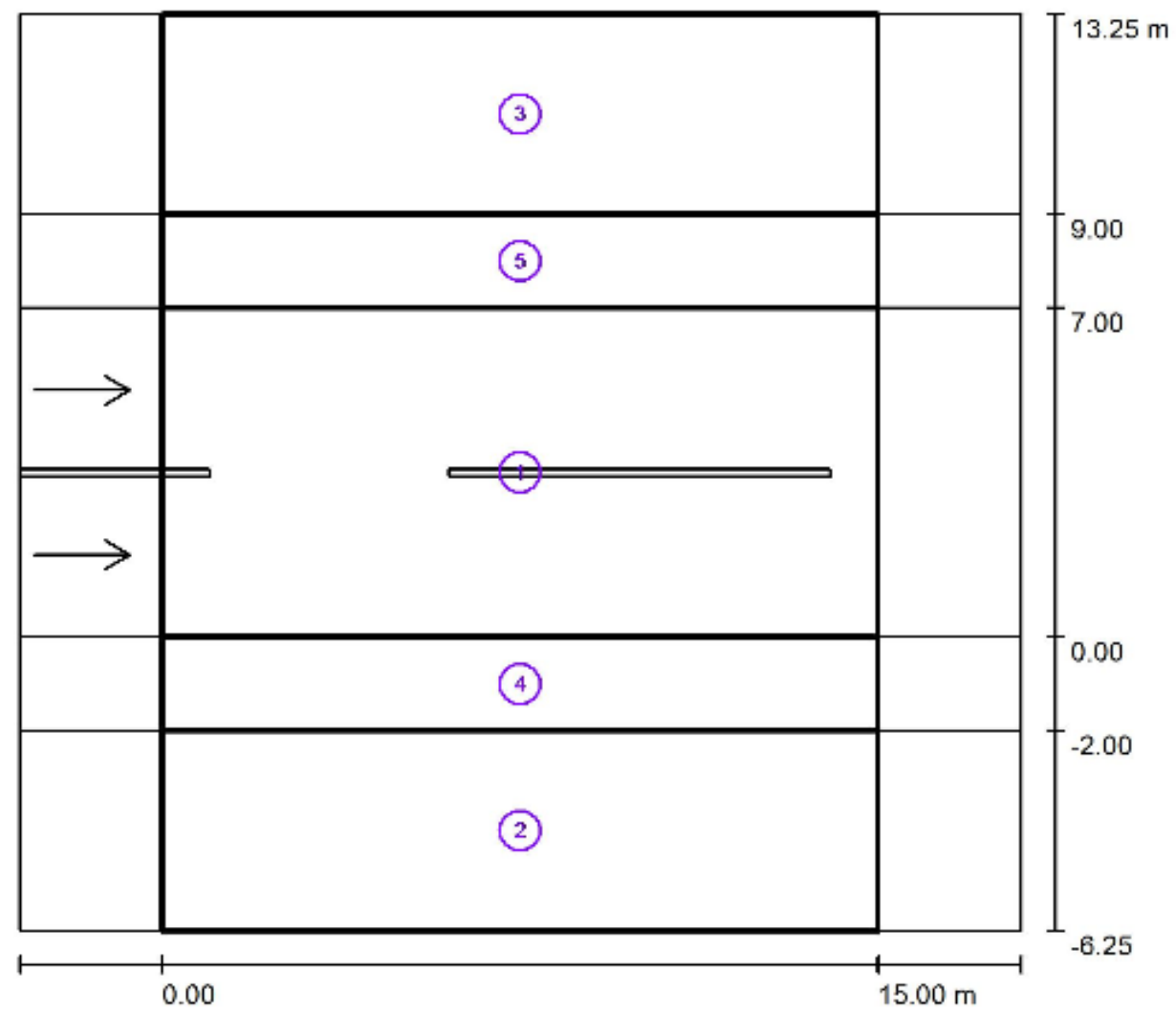


TRILUX Viatana/9000-740 26 ETDD Viatana
N° de artículo: Viatana/9000-740 26 ETDD
Flujo luminoso (Luminaria): 8996 lm
Flujo luminoso (Lámparas): 9000 lm
Potencia de las luminarias: 107.0 W
Clasificación luminarias según CIE: 99
Código CIE Flux: 32 66 92 99 100
Lámpara: 1 x LED (Factor de corrección 1.000).

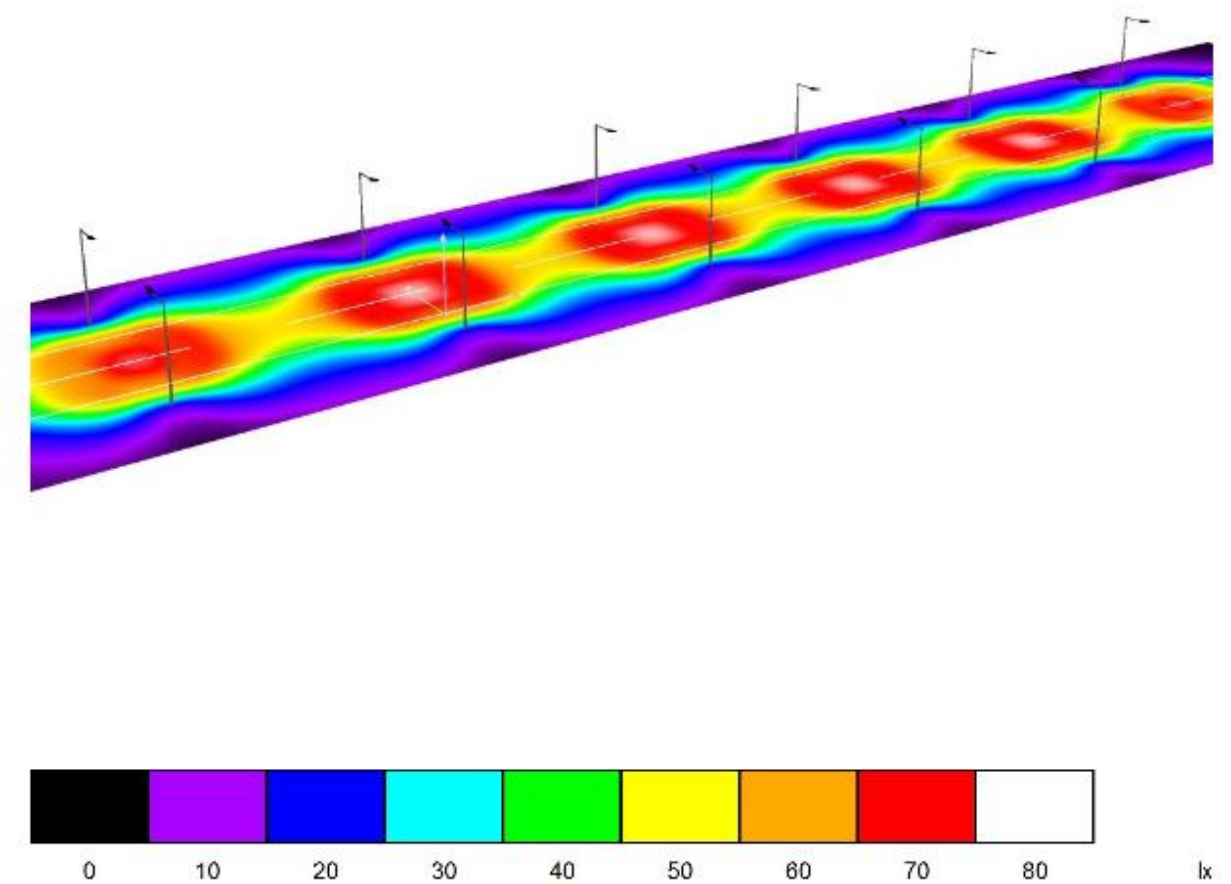


Luminaria:	TRILUX Viatana/9000-740 26 ETDD Viatana
Flujo luminoso (Luminaria):	8996 lm
Flujo luminoso (Lámparas):	9000 lm
Potencia de las luminarias:	107.0 W
Organización:	bilateral frente a frente
Distancia entre mástiles:	15.000 m
Altura de montaje (1):	4.956 m
Altura del punto de luz:	5.000 m
Saliente sobre la calzada (2):	-0.250 m
Inclinación del brazo (3):	0.0 °
Longitud del brazo (4):	1.277 m

Valores máximos de la intensidad lumínica	
con 70°:	401 cd/klm
con 80°:	251 cd/klm
con 90°:	53 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.	

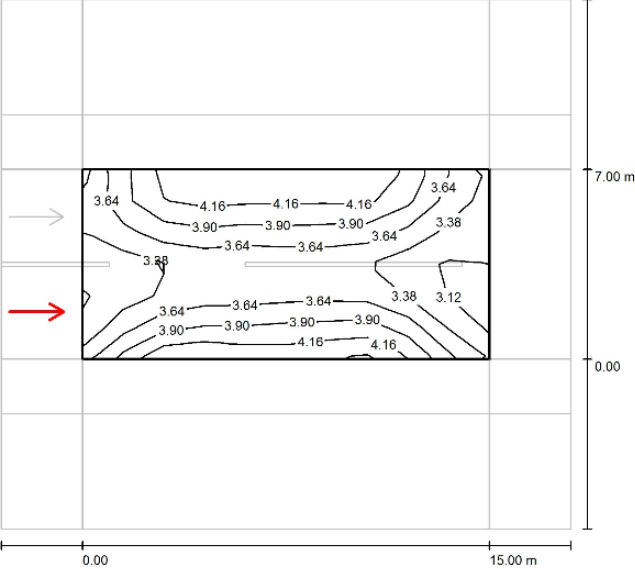
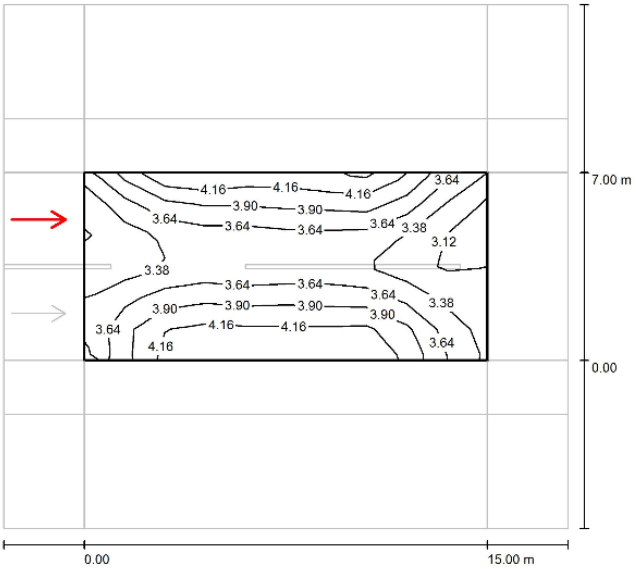
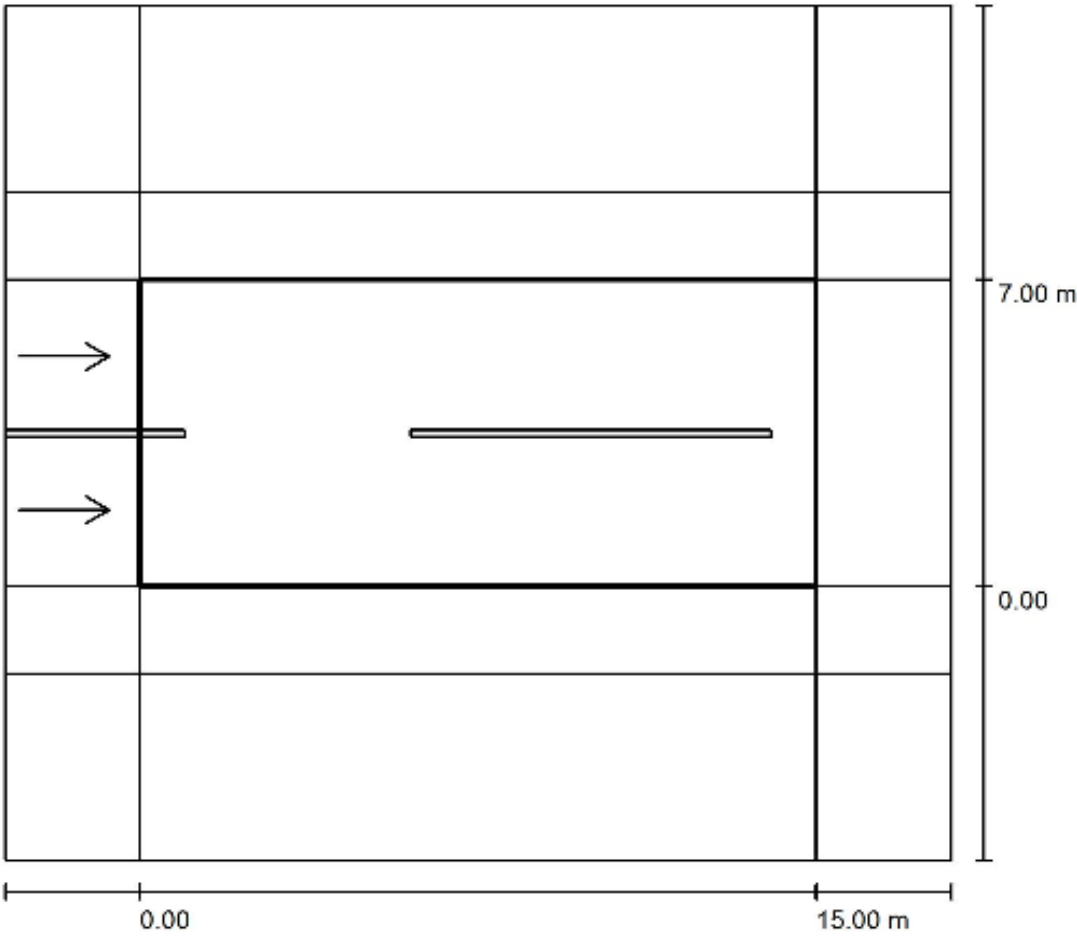
Calle 1 / Resultados luminotécnicos

Factor mantenimiento: 0.67



Escala 1:181

Calle 1 / Recuadro de evaluación Calzada 1 / Sumario de los resultados



Factor mantenimiento: 0.67

Escala 1:181

Trama: 10 x 6 Puntos
Elemento de la vía pública respectivo: Calzada 1.
Revestimiento de la calzada: R3, q0: 0.070
Clase de iluminación seleccionada: ME4a

Valores reales según cálculo:
Valores de consigna según clase:
Cumplido/No cumplido:

(Se cumplen todos los requerimientos fotométricos.)

L_m [cd/m²]	U0	UI	TI [%]	SR
3.69	0.82	0.80	11	0.52
≥ 0.75	≥ 0.40	≥ 0.60	≤ 15	≥ 0.50
✓	✓	✓	✓	✓

Observador respectivo (2 Pieza):

Nº	Observador	Posición [m]	L_m [cd/m²]	U0	UI	TI [%]
1	Observador 1	(-60.000, 1.750, 1.500)	3.69	0.82	0.80	11
2	Observador 2	(-60.000, 5.250, 1.500)	3.69	0.82	0.80	11

7. Aceras

7.1. **Pavimento**

El pavimento elegido para las aceras es de la casa comercial Porcelanosa. Se trata de un pavimento que debido a su composición material, lo convierte en un pavimento adecuado para las zonas de tráfico peatonal, como son las aceras, e incluso el paso ocasional de vehículos si fuese necesario por algún motivo.

Las principales características de este pavimento se resumen en el siguiente cuadro:

MODELO	REFERENCIA	DIMENSIONES	CARACTERÍSTICAS
KVDRO HUESO	100066804 G384	60x40x4.7	<ul style="list-style-type: none">Categoría de tráfico BÁrido finoValor antideslizante = 3

Para la colocación del pavimento, tal y como muestra la figura siguiente, se introducirá una capa de mortero de agarre de al menos 4 centímetros de espesor.

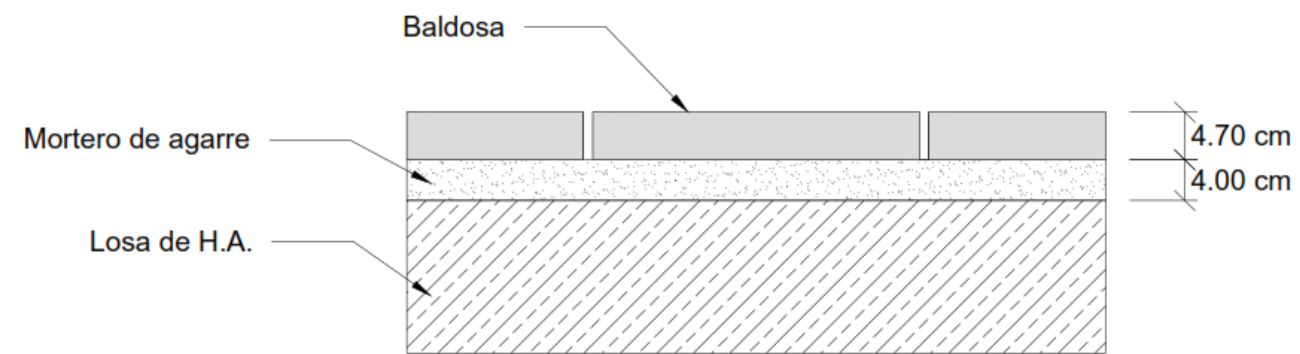


Figura 4: Ejecución del pavimento

7.2. **Bordillos**

Los bordillos dispuestos en las aceras son de la casa comercial GLS Prefabricados de hormigón, cuyas características facilitadas por la propia casa comercial son las siguientes:

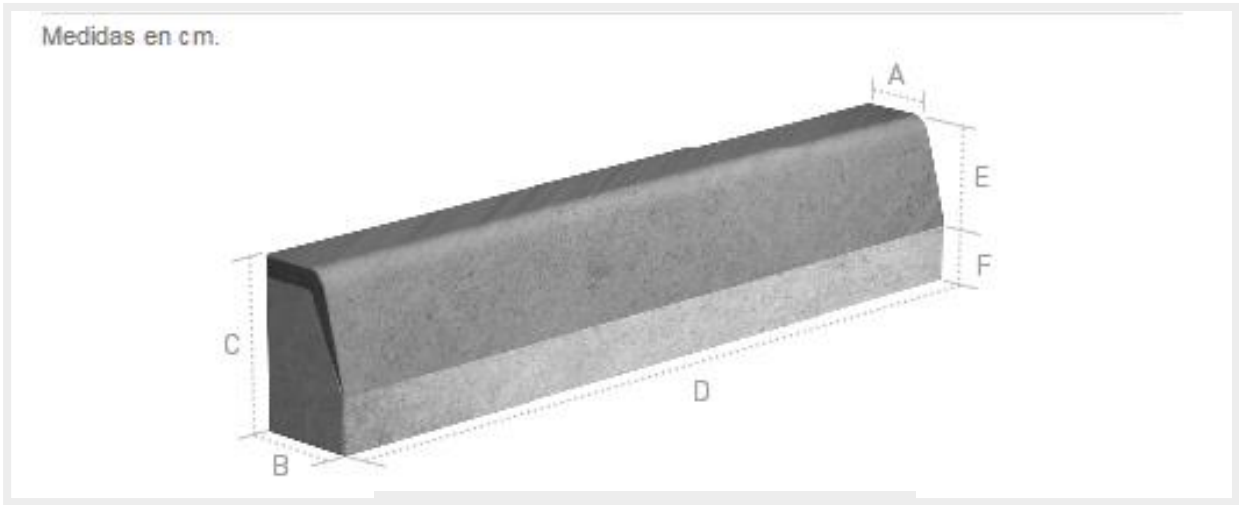


Figura 5: GLS. Bordillo prefabricado

REFERENCIA	TIPO	A	B	C	D	E	F	PESO KG/ML
BO912	T1	9	12	20	100	10	10	58

8. Carril bici

8.1. Separadores

Se han dispuesto los separadores del carril bici de la casa comercial Zebra.
Las principales propiedades que ofrece este producto que se ha elegido son:

- ✓ Flexible, antideslizante y amortiguador de golpes→Alta seguridad en viales
- ✓ Gran resistencia mecánica
- ✓ Alta visibilidad nocturna y diurna gracias a las bandas reflectantes.

Las características del modelo que se ha dispuesto se recogen en la tabla siguiente:

MODELO	PESO	LARGO	ALTO	ANCHO	COLOR
ZEBRA 13	9 kg	820 mm	130 mm	210 mm	Negro

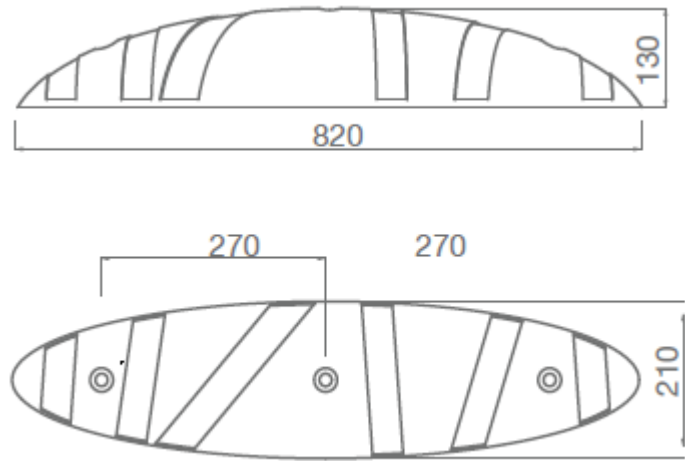


Figura 6: Separador carril bici. Geometría

8.2. Pavimento carril bici

Para el pavimento del carril bici se ha dispuesto un Sistema Compodur Plus Color S/Hormigón, de la casa comercial Composan o similar. Se trata de un revestimiento rugoso de pavimento de hormigón obtenido mediante la puesta en obra de un sistema multicapa. Las capas que lo conforman son:

- Una capa de EPOXAN con una dotación aproximada de 0.8 a 1.0 kg/m2 según el estado del soporte.
- Dos capas de COMPOMIX con una dotación aproximada de 0.6 kg/m2 por capa.
- Sellado con resinas Acrílico-Epoxi: una capas de COMPOPAINTE con un consumo de 0.40 kg/m2

Características generales

Espesores en torno a 1mm
Terminación rugosa
Buena resistencia al desgaste
Buena adherencia sobre hormigón
Intervalo de tmperatura de uso: -10°C a 50°C

Las condiciones de la puesta en obra que aconseja la propia casa comercial quedan resumidas en la siguiente tabla:

Condiciones generales de puesta en obra

Para el secado y la polimeración de las distintas capas hay que tener en cuenta la temperatura ambiente durante la aplicación y curado (la cual deberá estar comprendida preferiblemente entre 8 y 30°C) así como el grado de higrometría, ya que varios productos del sistema están basados en resinas en emulsiónacuosa y el curado comienza por evaporación.
No deberá instalarse ante inminente riesgo de lluvia, helada o excesivo calor.
Para las mezclas deberá utilizarse agua limpia y potable.