



PROYECTO BÁSICO DE PUENTE SOBRE LA RAMBLA DE ALCALÁ EN BENICARLÓ (CASTELLÓN). SOLUCIÓN A.

ANEJO Nº 6

DISEÑO DE EQUIPAMIENTOS

Titulación: Grado en Ingeniería Civil

Autor: Ignacio Sánchez D'Ocon

Tutor: Salvador Monleón Cremades

Cotutor: José Casanova Colón

ÍNDICE

1. OBJETO	3
2. REFERENCIAS.....	3
3. PAVIMENTACIÓN	3
3.1. Capa de estanqueidad	3
3.2. Calzada	4
3.2.1. Ligante	4
3.2.2. Otras especificaciones	5
3.2.3. Ejecución	5
3.3. Aceras.....	5
3.3.1. Mortero de asiento	5
3.3.2. Pavimento de la acera	5
3.4. Carril reservado para ciclistas	5
4. EVACUACIÓN DE AGUAS.....	6
4.1. Supuestos de partida.....	6
4.2. Cálculo del caudal de referencia.....	6
4.3. Cálculo del número de sumideros	8
4.4. Conclusiones	9
5. ILUMINACIÓN	9
5.1. Iluminación de la calzada.....	9
5.1.1. Parámetros iniciales	9
5.1.2. Propuesta de iluminación planteada	10
5.2. Iluminación de las aceras.....	11
6. DEFENSAS	11
6.1. Defensas sobre calzada y aceras	11
6.2. Barandillas	11
6.2.1. Comprobaciones resistentes de las barandillas	11
6.2.2. Comprobación de las uniones	12
7. IMPOSTA.....	13

1. OBJETO

El objeto del presente anejo es proporcionar una definición de todos aquellos elementos que conforman los equipamientos del puente, cuya función es la de complementar la parte resistente y garantizar la funcionalidad, comodidad y seguridad de los usuarios.

Se describirán de forma detallada las soluciones planteadas para la pavimentación, la evacuación de aguas, la iluminación, las defensas y la imposta.

2. REFERENCIAS

Los documentos referenciados en el siguiente anejo son los siguientes:

- España. Gfk Emer Ad Hoc Research, S.L. (2010). *Plan de Movilidad Urbana Sostenible del municipio de Benicarló*. Valencia.
- España. Ministerio de Fomento. Dirección General de Carreteras (2003). *Norma 6.1 IC "Secciones de firme" de la Instrucción de Carreteras*. Madrid.
- España. Ministerio de Fomento. Dirección General de Carreteras (2015). *Pliego de prescripciones técnicas generales para obras de carreteras y puentes (PG-3)*. Madrid.
- España. Ministerio de Fomento. Dirección General de Carreteras (2012). *Instrucción sobre las acciones a considerar en el proyecto de puentes de carretera (IAP-11)*. Madrid.
- España. Ministerio de Fomento. Dirección General de Carreteras (2016). *Norma 5.2 IC "Drenaje Superficial" de la Instrucción de Carreteras*. Madrid.
- España. Ministerio de Fomento. Dirección General de Carreteras (1999). *Máximas lluvias diarias en la España peninsular*. Madrid.
- España. Ministerio de Fomento. Dirección General de Carreteras (2015). *Orden circular 36/2015 sobre criterios a aplicar en la iluminación de carreteras a cielo abierto y túneles. Tomo I: Recomendaciones para la iluminación de carreteras a cielo abierto*. Madrid.
- AENOR (2011). *Sistemas de contención para carreteras*. UNE-EN 1317. Madrid: AENOR.
- AENOR (2007). *Eurocódigo 9: Diseño de estructuras de aluminio*. UNE-EN 1999-1-1:2007. Madrid: AENOR.
- España. Ministerio de Fomento (2011). *Instrucción de Acero Estructural (EAE)*. Madrid.

3. PAVIMENTACIÓN

En este apartado se detallarán las secciones propuestas para permitir el tránsito tanto de vehículos como de peatones a lo largo del puente. Por lo tanto, se definirán las diferentes capas, partiendo desde la losa estructural de hormigón.

En primer lugar, se analizará la capa de estanqueidad, común para toda la sección transversal del puente. Posteriormente, se dividirá la pavimentación del puente en tres apartados, tratando por separado la calzada, las aceras y el carril reservado para ciclistas.

Asimismo, cabe destacar que el trazado de la zona urbana circundante ha sido modificado para adecuarlo al nuevo ancho de tablero. En el plano nº 3 se puede comprobar el nuevo trazado de calzada y aceras, tanto anteriores como posteriores al puente, delimitando claramente las zonas de aceras, carril reservado para ciclistas, calzada y área de aparcamiento.

3.1. Capa de estanqueidad

La capa de estanqueidad se extenderá a lo largo de toda la sección del puente, tanto en la zona de las aceras como bajo la calzada. Su función será la de evitar la infiltración de agua hacia los elementos estructurales.

Se optará por el producto Polydan 180-60/GP Elast. de la empresa Danosa (o similar), de 4 mm de espesor, en tres tramos independientes: entre la imposta y el muro separador de aguas abajo, entre ambos muros separadores de la calzada y entre el muro separador de aguas arriba y la otra imposta. Se ha elegido este producto porque permite su utilización tanto en zonas peatonales como bajo vehículos.

Se presenta en rollos de 8 metros de longitud por 1 metro de anchura, debiendo proceder de la siguiente manera para su colocación: la adherencia al soporte de la lámina se efectúa con soplete, aunque previamente se aplicará una imprimación bituminosa. Los solapes se han de soldar, y serán de 8 ± 1 cm en el sentido longitudinal y de 10 ± 1 cm en el sentido transversal. Para la unión del solape transversal en los extremos de los rollos, es necesario calentar anteriormente el borde transversal de la lámina inferior en una franja de 10 cm, eliminando o embebiendo el árido de protección en la masa bituminosa y, seguidamente, soldar el extremo de la pieza siguiente.

El pavimento no podrá colocarse directamente sobre este producto, salvo si es asfáltico. Por lo tanto, en la zona de las aceras y carriles reservados para ciclistas deberá disponerse una capa separadora tipo DANOFELT PY 120, también de Danosa (o similar), de colocación directa a partir de rollos de 200 x 4,4 metros.



Figura 1. Composición del producto escogido. Fuente: Danosa.

Es importante resaltar que los extremos de la capa de estanqueidad (tanto los recayentes a las impostas como los contiguos a los muros separadores) deberán estar doblados, de forma que envuelvan y sobrepasen el pavimento. De esta forma, se podrá asegurar una correcta impermeabilización y salvaguardar la durabilidad de los elementos situados por debajo.

3.2. Calzada

El dimensionamiento del firme se hará partiendo de ciertos datos básicos obtenidos de una estación de aforo de la zona, situada en la carretera paralela CV-140, en las coordenadas decimales 40.400035, 0.414836. Se asumirán estos datos como válidos para la estructura analizada, ya que no se dispone de información en la avenida del Papa Luna y el tramo estudiado se sitúa a escasos 500 metros, en una vía de similares características. Los datos, proporcionados en el *Plan de Movilidad Urbana Sostenible del municipio de Benicarló* de la empresa GfK Emer Ad Hoc Research, S.L. al ayuntamiento de Benicarló, consisten en la intensidad media diaria (IMD) y el porcentaje de vehículos pesados (%p) en el año 2010:

- $IMD_{2010} = 4496$ vehículos/día.
- $\%p_{2010} = 28\%$

No obstante, estos datos deberán ser actualizados a fecha de 2016. Para ello, empleando los datos proporcionados por la Conselleria d'Habitatge, Obres Públiques i Vertebració del Territori valenciana acerca de la evolución de la IMD en el intervalo 2010-2015, se podrá estimar una variación media para la zona, representativa de los últimos años. Se supondrá que la media de la evolución en las carreteras CV-141 y CV-135, ambas sensiblemente perpendiculares a la Avenida del Papa Luna, se podrá extrapolar a esta última.



Figura 2. Emplazamiento de la obra y las vías mencionadas. Elaboración propia con datos de Google Maps.

De tal forma, se obtiene una variación de la IMD y del porcentaje de pesados igual a -12,05% y 38,82%, respectivamente, en el intervalo considerado. La actualización de los datos de 2010 se hará como sigue:

$$IMD_{2016} = 4496 \cdot (1 - 0,1205) = 3954 \frac{\text{vehículos}}{\text{día}}$$

$$\%p_{2016} = 28 \cdot (1 + 0,3882) = 38\%$$

Según la *Norma 6.1 IC "Secciones de firme" de la Instrucción de Carreteras*, publicada por el Ministerio de Fomento español, se considerará únicamente el tráfico pesado. Para calzadas de dos carriles y con doble sentido de circulación, sobre cada carril incidirá la mitad de los vehículos pesados en circulación:

$$IMD_{p,2016} = \frac{3954}{2} \cdot 0,38 = 751 \frac{\text{vehículos pesados}}{\text{día}}$$

La categoría correspondiente, según la tabla 1.A de la Norma 6.1 IC, será T2. Dicha normativa solo se empleará para determinar la categoría de tráfico, pues se especifica que su ámbito de aplicación no se extiende al dimensionamiento de firmes en tableros de puentes.

En este caso, recurriendo ahora al *Pliego de prescripciones técnicas generales para obras de carreteras y puentes* (en adelante, PG-3), publicada por el Ministerio de Fomento español, se empleará una mezcla bituminosa para capas de rodadura. En función de la temperatura necesaria para su fabricación y puesta en obra, la mezcla se clasificará como caliente. Además, según su granulometría y teniendo en cuenta la pluviometría de la zona, la mezcla será continua, sin necesidad de recurrir a las porosas o drenantes.

Cabe destacar que, según la *Instrucción sobre las acciones a considerar en el proyecto de puentes de carretera* (en adelante, IAP-11), el espesor máximo del pavimento bituminoso sobre tableros de puente, incluyendo la capa de impermeabilización, no deberá ser superior a 10 cm. Considerando que la capa de estanqueidad planteada presenta un espesor de 30 mm, se planteará un pavimento bituminoso de 55 mm, que además se sitúa en el entorno de lo habitual en obras similares.

Dado este espesor, superior a 5 cm, la tabla 542.9 del PG-3 recomienda el uso de una mezcla AC22 surf S o D para la capa de rodadura. Se elegirá la semidensa (surf S), más habitual y de granulometría algo menos cerrada, lo que evita la formación de charcos en episodios de precipitación intensa y favorece la adherencia.

3.2.1. Ligante

El ligante hidrocarbonado se determinará en función de:

- La zona térmica estival: Queda definida en la figura 3 de la Norma 6.1 IC. El municipio de Benicarló se sitúa en la zona media.
- La categoría de tráfico pesado, anteriormente definida como T2.

Empleando la tabla 542.1.a del PG-3, el ligante escogido será un betún convencional 50/70, que se sitúa dentro de lo habitual.

3.2.2. Otras especificaciones

En lo referente a las características generales de los áridos (procedencia, angulosidad, forma, limpieza, granulometría...), de los aditivos, dotación de ligante, propiedades de la mezcla (contenido de huecos, densidad aparente, resistencia a la deformación permanente y sensibilidad al agua), especificaciones de la unidad terminada (regularidad superficial, resistencia al deslizamiento, rasante...), limitaciones de la ejecución, control de calidad y criterios de aceptación o rechazo, se deberán seguir las prescripciones indicadas por el PG-3 en su apartado 542.

3.2.3. Ejecución

La ejecución de las obras se realizará siguiendo estos pasos:

- Estudio de la mezcla y obtención de la fórmula de trabajo, en base a lo especificado por el PG-3 en el apartado 542.5.1 y lo determinado por la Dirección de Obra.
- Fabricación de la mezcla según la fórmula de trabajo, en centrales discontinuas (generalmente) o continuas. Deberán disponer de los elementos necesarios para manipular los áridos en frío y posteriormente realizar la mezcla en un mezclador, en caliente. Se exigirá un mínimo de 4 tolvas para el almacenamiento de áridos y sistemas ponderales de dosificación en frío, al estar destinada la mezcla a una categoría de tráfico T2.
- Transporte de la mezcla al lugar de empleo, en camiones de caja abierta, lisa, limpia y estanca, con el correspondiente tratamiento anti-adherencia. Deberá disponerse una lona o cobertor para proteger la mezcla y evitar su enfriamiento.
- Extensión de la mezcla, con extendedoras autopropulsadas dotadas de los elementos necesarios para garantizar la geometría y producción estipuladas en el proyecto. Al tratarse de una categoría de tráfico T2, se requerirá disponer delante de la extendidora un equipo de transferencia autopropulsado. Se buscará que la extensión se realice de la manera más continua posible.
- Compactación de la mezcla, como mínimo por medio de un compactador vibratorio de rodillos metálicos o mixto y un compactador de neumáticos, siempre autopropulsados. Se realizará de manera longitudinal, continua y sistemática.

3.3. Aceras

Las aceras estarán situadas en ambos extremos del puente, con una anchura fija de 3,975 m. En el caso de aguas arriba, limitará con la imposta y el muro separador. En el caso de aguas abajo, quedará encajada entre la otra imposta y el carril reservado para ciclistas. Su espesor total será de 75 mm, repartidos entre el mortero de asiento y las baldosas que conforman el pavimento de la acera.

3.3.1. Mortero de asiento

El mortero de asiento se verterá por encima de la capa de estanqueidad, únicamente en las zonas que posteriormente se destinarán al tránsito de peatones. Se elegirá un mortero M-250, ejecutando una capa

cuyo espesor sea constante, de 25 mm. Se procurará que el cemento tenga la humedad correcta, evitando que los componentes del mortero puedan producir futuras eflorescencias o exudación en las baldosas.

Por otro lado, es fundamental destacar que se deberá respetar la inclinación proporcionada por las vigas de piso transversales, correspondiente a un 1,5% hacia la calzada en ambos casos.

3.3.2. Pavimento de la acera

El pavimento de la acera se compondrá de baldosas de granito de la marca Breinco, del modelo Llosa Vulcano (o similares), que resultan adecuadas para zonas peatonales. Sus dimensiones serán 600 x 400 x 50 mm y su color, ceniza.

Para su colocación, que se realizará sobre el mortero de asiento, se vigilará convenientemente la nivelación. El patrón seguido en la colocación queda reflejado en la siguiente imagen, que muestra asimismo que se dejarán juntas de 2 mm entre las baldosas:

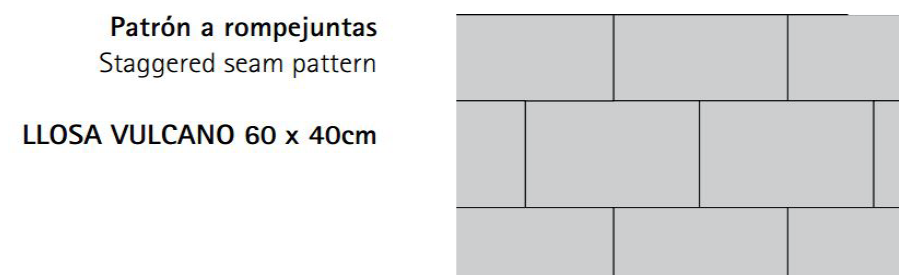


Figura 3. Patrón seguido en la colocación. Fuente: Catálogo de Breinco.

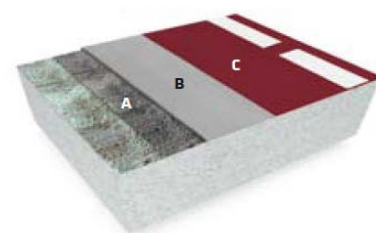
3.4. Carril reservado para ciclistas

El carril reservado para ciclistas se situará contiguo a la acera de aguas abajo, limitando en su otro extremo con el muro separador. La anchura, constante a lo largo de todo el puente, será de 1,6 m, lo que corresponde a dos sentidos de circulación.

En este caso, la ejecución será directamente sobre la capa de estanqueidad, sin mortero de asiento. Se recurrirá al sistema Techline, de la empresa Sika (o similar), consistente en emplear el siguiente procedimiento, según datos de Sika:

- Extensión de una capa de imprimación de Sikafloor – 154 W. Previamente se deberá haber preparado el soporte, eliminando cualquier resto de suciedad, material suelto o mal adherido.
- Extensión de dos capas base de Sikafloor – 2130. Con aspecto resinoso, este revestimiento deberá verterse y extenderse de manera uniforme por medio de una rastra de goma. Se comenzará por una esquina y se procederá de forma continua y lineal, prestando especial atención a los encuentros y puntos singulares.

- Extensión de dos capas de sellado de Sikafloor – 2120. Se mezclará a baja velocidad y se aplicará directamente mediante rodillo. El acabado deberá proporcionar suficiente rugosidad para evitar el deslizamiento en días de lluvia.



Especificaciones.

(A) Capa de imprimación:
1 x Sikafloor®-154 W.

(B) Capa base: 2 x Sikafloor®-2130.

(C) Capa de sellado: 2 x Sikafloor®-2120.

Figura 4. Composición del carril reservado para ciclistas. Fuente: Sika.

La combinación de estos productos (u otros similares) proporciona una buena resistencia frente al desgaste mecánico y el derrame de productos químicos agresivos, por lo que será adecuada en lugares de uso público.

En conjunto, el espesor de todas las capas mencionadas será igual al de la acera, por lo que se alcanzarán los 75 mm. La separación entre ambos se hará por medio de marcas viales.

4. EVACUACIÓN DE AGUAS

El drenaje del puente es fundamental con el objetivo de evitar problemas de durabilidad, que podrían desembocar en afecciones estructurales a largo plazo. Además, una inadecuada evacuación de las aguas pluviales tiene un efecto negativo sobre el confort y la seguridad de los usuarios del puente.

En consecuencia, en el presente apartado se procederá a determinar la solución más adecuada para el drenaje de aguas pluviales a lo largo de la estructura.

4.1. Supuestos de partida

Se compararán dos planteamientos diferentes, con el fin de escoger el óptimo. La nomenclatura adoptada es la siguiente:

- P₁: Planteamiento número 1. Consistirá en 3 franjas longitudinales de drenaje, siempre contiguas a los muros separadores y distribuidas de forma que una corresponda a la calzada, en su parte de aguas abajo, y las otras dos recaigan a las aceras.
- P₂: Planteamiento número 2. La disposición es similar, aunque en este caso únicamente habrá 2 franjas longitudinales de drenaje. Una de ellas se situará en el carril reservado para ciclistas y la

otra, en la parte de aguas abajo de la calzada. De nuevo, las franjas se situarán contiguas a los muros separadores.

En ambos casos, como forma de simplificación, el resultado tenderá a evitar las secciones con vigas de piso y cuchillos transversales. Por tanto, si se diera esta situación, sería necesario variar puntualmente el espaciamiento entre imbornales.

Además, se supondrá que se parte de rejillas de modelo Plana cuadrada, clase C-250 (adecuada para zonas de cuneta o arcén, e incluso aceras), de la empresa Saint Gobain PAM, o similar:



Cotas de la rejilla (mm)	Referencia	Peso (kg)	
		Total	Rejilla
200 x 200	ECGP20PF	6.8	3.8

Figura 5. Descripción gráfica y características del modelo escogido. Fuente: Saint Gobain PAM.

4.2. Cálculo del caudal de referencia

Siguiendo las indicaciones de la *Instrucción 5.2-IC de drenaje superficial*, publicada por el Ministerio de Fomento español, al estar la infraestructura situada en una cuenca pequeña del Levante peninsular, se deberá consultar el apartado 2.3. No obstante, como el período de retorno considerado es igual a 25 años, la fórmula de cálculo a emplear se hallará en el apartado 2.2 (método racional), y será la siguiente:

$$Q_T = \frac{C \cdot A \cdot K_t \cdot I(T, t_c)}{3,6}$$

Los parámetros intervinientes se definirán a continuación:

- A es el área de la superficie drenada medida en proyección horizontal, en km². Corresponderá a la máxima superficie drenada por una de las franjas longitudinales, para medio tablero. En este momento, se hará una diferenciación para los dos planteamientos, según los anchos de desagüe considerados:

$$A_1 = \frac{40}{2} \cdot 7,5 \cdot 10^{-6} = 1,5 \cdot 10^{-4} \text{ km}^2 \quad A_2 = \frac{40}{2} \cdot 13,5 \cdot 10^{-6} = 2,7 \cdot 10^{-4} \text{ km}^2$$

Para el primer resultado, el ancho de plataforma empleado equivale únicamente a la calzada. Para el segundo resultado, corresponde a la calzada y la acera no drenada (aguas arriba), hasta la imposta.

- I (T, t_c) es la intensidad media de precipitación asignada a un período de retorno de T años y a un intervalo igual al tiempo de concentración t_c, medida en mm/h. Su cálculo responde a la siguiente fórmula:

$$I(T, t_c) = I_d \cdot F_{int}$$

Donde:

- I_d se obtiene al dividir la precipitación total diaria (P_d), con su correspondiente factor de ajuste K_A , entre las 24 horas del día. Dicho factor tiene en cuenta la no simultaneidad de la lluvia en toda su superficie y dependerá del área de la cuenca, aplicándose cuando esta sea mayor de 1 km². Al no ser este el caso, $K_A = 1$.

El valor de P_d se tomará de la publicación *Máximas lluvias diarias en la España Peninsular*, también del Ministerio de Fomento. Tras localizar el municipio de Benicarló en los planos, se determinará mediante las isolíneas el coeficiente de variación C_v (0,48), así como el valor medio de la máxima precipitación diaria anual $\bar{P}$ (92,5 mm). Partiendo de estos valores, para un período de retorno de 25 años, el cuantil regional Y_t equivale a 2,007. Con estos datos, se tendrá que $P_d = \bar{P} \cdot Y_t = 92,5 \cdot 2,007 = 185,65$ mm.

Por lo tanto, la intensidad media diaria I_d tendrá un valor de 7,735 mm/h.

- F_{int} introduce el carácter torrencial de la precipitación, y corresponderá el máximo de entre los siguientes dos valores:

$$F_{int} = \max(F_a, F_b)$$

Siendo:

- F_a un factor adimensional obtenido a partir del índice de torrencialidad, obtenido como:

$$F_a = \left(\frac{I_1}{I_d} \right)^{3,5287 - 2,5287 \cdot t^{0,1}}$$

En esta fórmula intervienen los siguientes parámetros:

- I_1/I_d es el índice de torrencialidad, cuyo valor queda reflejado en la figura 2.4 de la Instrucción. La franja en la que se enmarca el puente equivale a un resultado de 11.
- t es la duración del aguacero, particularizada como el tiempo de concentración t_c cuando se desea obtener el factor F_a . La fórmula empleada corresponderá con la de las cuencas principales, por lo que:

$$t_c = 0,3 \cdot L_c^{0,76} \cdot J_c^{-0,19}$$

Con:

- ❖ L_c la longitud del cauce, que coincide con la mitad de la distancia entre cajeros, y por tanto será de 0,02 km.
- ❖ J_c la pendiente media del cauce, que equivale a 0,027.

Sustituyendo estos valores en la fórmula, $t_c = 0,0305$ h. Al ser inferior a 0,25 h, no será de aplicación la anterior fórmula, sino el procedimiento establecido para cuencas secundarias:

$$t_{dif} = 2 \cdot L_{dif}^{0,408} \cdot n_{dif}^{0,312} \cdot J_{dif}^{-0,209}$$

Donde:

- ❖ t_{dif} es el tiempo de recorrido en flujo difuso sobre el terreno, en min.
- ❖ n_{dif} es el coeficiente de flujo difuso, que valdrá 0,015 para terreno pavimentado según la tabla 2.1 de la Instrucción.
- ❖ L_{dif} es la longitud de recorrido en flujo difuso, asumida igual a 40 m.
- ❖ J_{dif} es la pendiente media, anteriormente definida como 0,027.

Definidos estos parámetros, se obtiene que $t_{dif} = 5,17$ min. Según la tabla 2.2 de la Instrucción, el tiempo de concentración será el tiempo de recorrido en flujo difuso, por lo que $t_c = 5,17$ min = 0,086 h.

Con estos resultados, se podrá aplicar la fórmula original para determinar el valor de F_a . Este será de 41,145.

- Por otra parte, F_b es un factor obtenido a partir de las curvas IDF de un pluviógrafo próximo. Al no tener disponibles estos datos, se supondrá que este factor no es limitante, por lo que $F_{int} = F_a = 41,145$.

Aplicando la fórmula de la intensidad media acumulada, se obtiene que I (T = 25 años, $t_c = 0,086$ h) es igual a 318,26 mm/h.

- C es el coeficiente de escorrentía, obtenido como:

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

Siendo:

- P_0 el umbral de escorrentía. Se aplicará la siguiente fórmula:

$$P_0 = P_0^i \cdot \beta$$

Donde:

- P_0^i es el valor inicial del umbral de escorrentía. En problemas específicos de escorrentía urbana, aplicando la tabla 2.3 de la Instrucción, le corresponderá un valor de 1 mm al tratarse de una red viaria.
- β es el coeficiente corrector del umbral de escorrentía. Al no disponer de información suficiente para llevar a cabo la calibración y tratarse de un puente, se hallará de este modo:

$$\beta^{DT} = (\beta_m - \Delta_{50}) \cdot F_T$$

En el que los parámetros son:

- β_m o valor medio en la región del coeficiente corrector del umbral de escorrentía, que según la tabla 2.5 de la Instrucción valdrá 1,30.
- Δ_{50} o desviación respecto al valor medio, un intervalo de confianza correspondiente al 50%. Su valor será 0,35.
- F_T o factor función del período de retorno T , que según la tabla 2.5 de la Instrucción y para $T = 25$ años, será de 1,07.

Con todos estos resultados, se podrá sustituir en la fórmula anterior y obtener un valor de 1,0165.

Por consiguiente, el umbral de escorrentía será $P_0 = 1,0165$ mm.

- P_d y K_A han sido definidos anteriormente, con un valor de 185,65 mm y 1, respectivamente.

El coeficiente de escorrentía C , por tanto, será igual a 0,9962. La fórmula previamente descrita será válida, ya que $P_d \cdot K_A = 185,65 \text{ mm} > P_0 = 1,0165$ mm.

- K_t es el coeficiente de uniformidad en la distribución temporal de la precipitación, calculado de la siguiente manera:

$$K_t = 1 + \frac{t_c^{1,25}}{t_c^{1,25} + 14} = 1 + \frac{0,086^{1,25}}{0,086^{1,25} + 14} = 1,0033$$

De esta forma, se hallarán dos valores distintos para el caudal de referencia Q_T , coincidiendo con cada uno de los planteamientos. Serán $Q_{T1} = 0,01325 \text{ m}^3/\text{s}$ y $Q_{T2} = 0,02386 \text{ m}^3/\text{s}$.

4.3. Cálculo del número de sumideros

Definidos los caudales de referencia, se procederá al diseño propiamente dicho del drenaje. Se partirá de la siguiente imagen para definir las condiciones geométricas de la sección:

Para comenzar, se supondrá que la lámina de agua alcanza el máximo admisible ($b^* = 30$ cm). A partir de este dato y las relaciones establecidas con los parámetros expuestos en la imagen, será posible proceder al cálculo del caudal por sumidero y su velocidad:

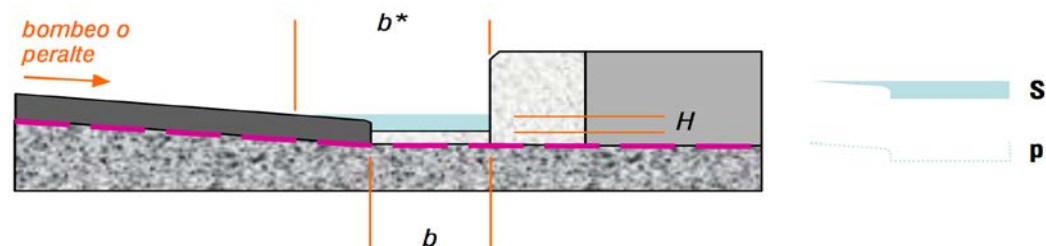


Figura 6. Definición de los parámetros geométricos en la sección. Fuente: S. Monleón.

$$b^* = \Delta b + b = \frac{\Delta H}{J_y} + b \rightarrow \Delta H = J_y \cdot (b^* - b) = 0,015 \cdot (30 - 20) = 0,15 \text{ cm}$$

$$H = H_0 + \Delta H = 2 + 0,15 = 2,15 \text{ cm}$$

$$S = b \cdot (H_0 + \Delta H) + \frac{\Delta H^2}{2J_y} = 0,2 \cdot (0,02 + 0,0015) + \frac{0,0015^2}{2 \cdot 0,015} = 0,004375 \text{ m}^2$$

$$p = b + 2H_0 + \Delta b \cdot \left[J_y + (1 + J_y^2)^{\frac{1}{2}} \right] = 0,2 + 2 \cdot 0,0215 + 0,05 \cdot \left[0,015 + (1 + 0,015^2)^{\frac{1}{2}} \right] = 0,29376 \text{ m}$$

$$q = K \cdot J_x^{\frac{1}{2}} \cdot S \cdot \left(\frac{S}{p} \right)^{\frac{2}{3}} = 65 \cdot 0,027^{\frac{1}{2}} \cdot 0,004375 \cdot \left(\frac{0,004375}{0,29376} \right)^{\frac{2}{3}} = 2,8286 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$v = \frac{q}{S} = \frac{2,8286 \cdot 10^{-3}}{0,004375} = 0,6465 \text{ m/s}$$

Siendo:

- J_y la pendiente transversal o de drenaje, establecida en un 1,5% = 0,015 m/m.
- J_x la pendiente longitudinal media, que previamente se ha calculado como 0,027 m/m.
- Los parámetros geométricos b^* y b se han definido en la imagen anterior.
- H_0 corresponde a la altura inicial, correspondiente a 2 cm.
- Δb y ΔH el incremento de anchura y altura, respectivamente.
- S y p , respectivamente, la sección mojada (en m^2) y el perímetro mojado (en m).
- K el coeficiente de rugosidad obtenido en la tabla 4.1 de la Instrucción para un revestimiento bituminoso, en $\text{m}^{1/3}/\text{s}$.
- q el caudal de referencia por sumidero, en m^3/s .
- v la velocidad media de la corriente, en m/s.

Con las barras de los sumideros dispuestas en el sentido de la corriente, se comprobará que:

$$\begin{aligned} L_1 &\geq 9 \cdot (H + D)^{\frac{1}{2}} \cdot v = 9 \cdot (2,15 + 2,7)^{\frac{1}{2}} \cdot 0,6465 = 12,81 \text{ cm} \\ L_1 &= \Sigma e \approx \sqrt{S_{\text{absorción}}} = \sqrt{1,7} \cdot 10 = 13,04 \text{ cm} \end{aligned} \quad \left. \begin{array}{l} 13,04 > 12,81 \\ \text{CUMPLE} \end{array} \right\}$$

La superficie de absorción corresponde al sumatorio de las superficies individuales de cada ranura. Por tanto, a falta de la información exacta de la disposición de las ranuras, se hará la suposición de que la raíz cuadrada de este parámetro coincide con el sumatorio de la anchura de las ranuras.

Por último, se hallará el número de sumideros necesarios para cada planteamiento:

- **P₁**: Se dividirá el caudal de referencia total entre el caudal por sumidero:

$$n_1 = \frac{Q}{q} = \frac{0,01325}{2,8286 \cdot 10^{-3}} = 4,68 \approx 5 \text{ sumideros}$$

A continuación, se realizará el cálculo de la capacidad de desagüe horizontal. Al ser la altura del sumidero $H = 2,15$ cm, que es menor de 12 cm, se aplicará la siguiente fórmula:

$$Q_1 = \frac{P \cdot H^{\frac{3}{2}}}{60}$$

Donde:

- P será el perímetro exterior de la rejilla, equivalente a $4 \cdot 20 = 80$ cm.
- H será la profundidad o calado del agua, ya definida como 2,15 cm.

Aplicando estos valores, el resultado obtenido es $Q_1 = 4,2034$ l/s. El número de sumideros correspondiente a este caudal se hallará del siguiente modo:

$$n_2 = \frac{2Q}{Q_1} = \frac{2 \cdot 0,01325}{4,2034 \cdot 10^{-3}} = 6,3 \approx 7 \text{ sumideros}$$

El total de sumideros será:

$$n = \max(n_1, n_2) = 7 \text{ sumideros para medio tablero}$$

Lo que supone un sumidero cada 40 m/14 sumideros = 2,85 m.

- **P₂**: En este caso, la única variación con la otra alternativa es el parámetro Q. Aplicando las mismas fórmulas, se obtiene que $n_1 = 9$ sumideros, $n_2 = 12$ sumideros = n, que supone una separación de 1,67 m.

Multiplicando el número de sumideros por franja por la cantidad de estas en cada alternativa, se observa que el total será de 42 y 48, respectivamente, por lo que el planteamiento P₁ resultará más económico.

4.4. Conclusiones

En definitiva, se elegirá el planteamiento P₁. Cabe destacar que, con el objetivo de no coincidir con secciones que presenten cuchillos transversales, y estableciendo una coordenada longitudinal x a lo largo de la extensión drenada del puente ($x \in [0,40]$ m), el desagüe se realizará en $x = 0,6; 3,45; 6,3; 9,15; 12; 14,85; 17,7; 20,55; 23,15; 26; 28,85; 31,7; 34,55; 37,1; 39,75$ m. El espaciamiento se ha reducido a 2,6 m entre la 8ª y la 9ª línea de sumideros, así como entre la 13ª y la 14ª, ya que coincidían con cuchillos transversales. Además, para quedar del lado de la seguridad, se ha añadido una 15ª línea de drenaje, a 0,25 m del final de la extensión drenada.

Asimismo, se ha optado por igualar el número de sumideros en las tres franjas longitudinales. A pesar de quedar el drenaje sobredimensionado en la zona de las aceras, la sencillez de ejecución y la estética son mejores que si se optimizaran al máximo los cálculos y, por tanto, se dispusieran los sumideros al tresbolillo. Además, el número adicional de sumideros no es tan elevado como para suponer un sobre coste sustancial y desaconsejar esta hipótesis.

Las franjas de drenaje se materializarán mediante rigolas prefabricadas de 20 cm de anchura, en las zonas que se han indicado. Se empleará el modelo 20x20x4 cm gris de la empresa Graus Terrazos y Pavimentos (o similar), que presenta las siguientes características:



Medida	Espesor	Ud/ml	Kg/Ud
20x20	4cm	5	3.30

Figura 7. Representación de la rigola y características. Fuente: Graus Terrazos y Pavimentos.

En la coordenada longitudinal del puente, la modulación de la rigola no siempre coincidirá de manera exacta con la posición de las rejillas. Por tanto, se fragmentarán rigolas hasta las dimensiones requeridas para completar estos espacios.

Asimismo, se incluirán sumideros sifónicos de salida integrada de PVC, de modelo PGR de la empresa Adequa (o similares), que partirán desde la rejilla y servirán de transición desde la forma cuadrada de esta a la circular de la tubería posterior. Se optará por retirar la pieza central, para no restringir el caudal que puede asimilar el sumidero. El espacio restante hasta las rigolas se rellenará de mortero.

Por debajo de esta pieza se posicionará una tubería normalizada de PVC, que proporciona estanqueidad, nula reactividad química, durabilidad y bajo peso a un coste razonable. Se empleará el modelo 411002 de la empresa Clearplast (o similar), que presenta un diámetro exterior de 90 mm y un espesor de 3 mm. Al proporcionarse en tramos de 3 m, se optará modular la longitud de los sumideros para un divisor de este valor. En consecuencia, la longitud del tubo será de 30 cm.

Por último, cabe destacar que el vertido se realizará directamente sobre la rambla. Todos estos detalles se pueden consultar en el plano nº 12.3.

5. ILUMINACIÓN

5.1. Iluminación de la calzada

La iluminación de la calzada consistirá en 10 luminarias individuales situadas cada 7 m, en la parte superior de cada péndola rígida, dejando en todas un margen de 25 cm con el entronque péndola-arco. Esto es debido a las dimensiones de la propia luminaria, así como para facilitar los trabajos de montaje y conservación o reemplazo. Por lo tanto, los puntos de luz describirán una trayectoria curva, siguiendo el arco y proporcionando una visión agradable, y siempre conforme a las indicaciones del manual *Recomendaciones para la iluminación de carreteras a cielo abierto*, publicado por el Ministerio de Fomento.

5.1.1. Parámetros iniciales

Es fundamental en primer lugar definir los parámetros que guiarán los cálculos y ayudarán a decidir sobre el tipo de luminaria a emplear. La clase de alumbrado considerada es la ME 4b, correspondiente a parámetros específicos para vías urbanas con IMD menor de 7000 vehículos al día. Con esta elección quedan automáticamente definidos los valores mínimos de los parámetros estudiados, como se describe en la siguiente tabla:

Tabla 1. Valores mínimos de los parámetros para una clase de alumbrado ME 4b. Fuente: Recomendaciones para la iluminación de carreteras y firmes

LUMINANCIA DE LA SUPERFICIE DE LA CALZADA EN CONDICIONES SECAS			DESLUMBRAMIENTO PERTURBADOR	ILUMINACIÓN ALREDEDORES
Luminancia media L_m (cd/m ²)	Uniformidad global U_0	Uniformidad longitudinal U_l	Incremento umbral TI (%)	Relación entorno SR
0,75	0,40	0,50	15	0,50

5.1.2. Propuesta de iluminación planteada

Con la ayuda del programa DIALux, de la compañía alemana DIAL GmbH, se calcularán los valores actuales para la situación definida en el puente, buscando que como mínimo alcancen los resultados de la tabla previa. Como se ha comentado anteriormente, las luminarias estarán situadas en la parte superior de cada péndola rígida. La consecuencia de esta disposición es que se deberá buscar una combinación de potencias que proporcione condiciones uniformes de iluminación a pesar de las variaciones entre las alturas de los puntos de luz. Tras buscar en los catálogos de varias empresas, se ha optado por escoger los modelos Novara L TC-DEL 18W SKI y Novara ML LED LEVO 25W SKI (3000K)/S-OPTIK, y su equivalente de 50W, de la empresa Hess GmbH Licht+Form (o similar). La decisión estriba en su coherencia con el aspecto general del puente y la posibilidad de articular la luminaria, lo que permitirá emplear las rotaciones que mejor se ajusten a los parámetros indicados. Los modelos, con un peso de 5 y 11 kg, respectivamente, y realizados en fundición de aluminio, con un brazo atornillable de acero inoxidable, presentan las siguientes dimensiones y disposición:

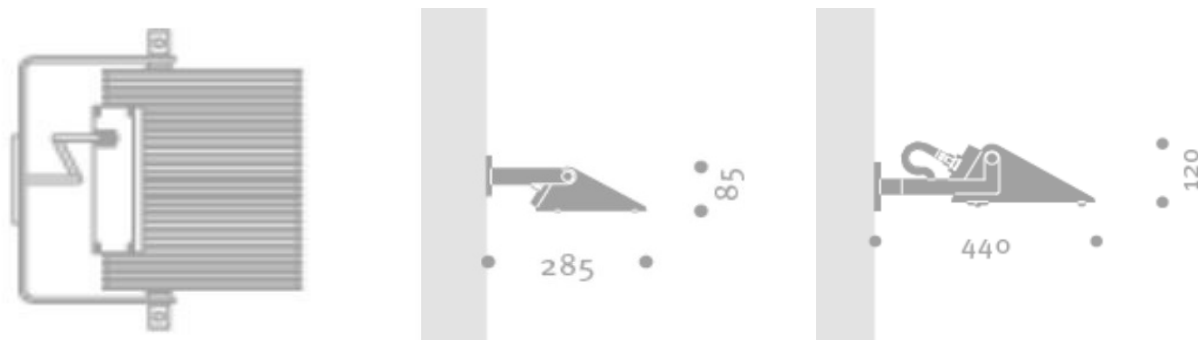


Figura 8. Diferentes vistas del modelo Novara L y ML, respectivamente (cotas en mm). Fuente: Hess GmbH.

Para la modelización, como se desconocen las características de la iluminación situada en la zona urbana adyacente al puente, se supondrá que esta equivaldrá a luminarias de modelo Novara ML de 50 W, situados a 1 m de ambos extremos, a ambos lados de la calzada y a 5 m de altura. En cuanto a la iluminación de la calzada, el modelo, la posición y rotación de cada luminaria puede consultarse en la tabla siguiente:

Tabla 2. Posición y rotación relativa de cada luminaria. Elaboración propia.

LUMINARIA	MODELO	POSICIÓN (m)		ROTACIÓN (º)	
		Altura	Longitudinal	X	Y
1	L - 18W	3	7	30	0
2	L - 18W	3	7	-30	0
3	ML - 25W	5	14	0	-10
4	ML - 25W	5	14	0	-10
5	ML - 50W	5,65	21	-10	0

6	ML - 50W	5,65	21	10	0
7	ML - 25W	5	28	0	10
8	ML - 25W	5	28	0	10
9	L - 18W	3	35	30	0
10	L - 18W	3	35	-30	0

El eje de referencia para la posición se sitúa en la sección de apoyo del estribo izquierdo (visto desde aguas abajo) y enrasado con la parte superior del firme. Las luminarias pares estarán situadas en el arco de aguas abajo y las impares, en el arco de aguas arriba. La rotación está referida a un sistema local para cada luminaria, con origen centrado en su parte inferior, y positiva si el giro es horario. El eje X será paralelo a la dirección longitudinal de avance del puente. El eje Y será perpendicular a este, formando un plano horizontal, y apuntará hacia aguas arriba. El eje Z sería el perpendicular al plano formado por ambos y representará una dirección vertical, aunque ninguna luminaria presentará rotación en este eje.

Los valores obtenidos tras el cálculo de los parámetros por el programa se resumen en la siguiente tabla:

Tabla 3. Valores obtenidos para la situación de iluminación analizada. Elaboración propia.

LUMINANCIA DE LA SUPERFICIE DE LA CALZADA EN CONDICIONES SECAS			DESLUMBRAMIENTO PERTURBADOR	ILUMINACIÓN ALREDEDORES
Luminancia media L_m (cd/m ²)	Uniformidad global U_0	Uniformidad longitudinal U_l	Incremento umbral TI (%)	Relación entorno SR
1,83	0,645	0,509	13	0,60

Representando el resultado calculado en una vista con colores falsos, se obtiene:

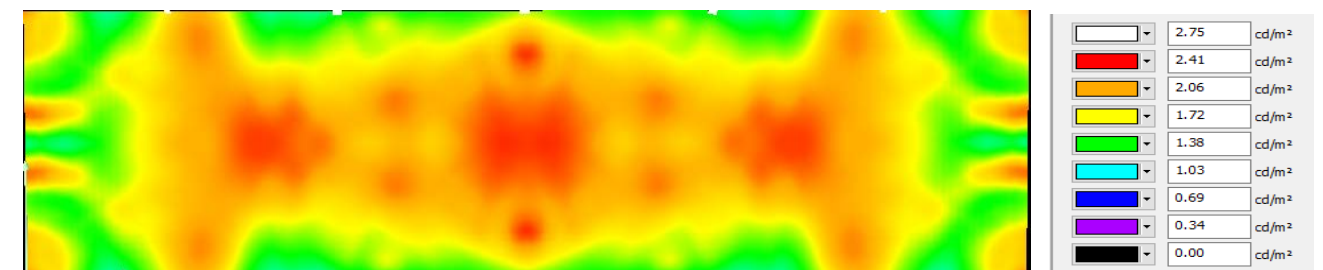


Figura 9. Distribución de la luminancia a lo largo del tablero. Elaboración propia con DIALux.

Como se puede observar, los valores son superiores a lo recomendado por el Ministerio de Fomento, por lo que se aceptará este planteamiento.

Es importante mencionar que también se consideraron diferentes variantes, como situar las luminarias a la misma altura para todas las péndolas, utilizar postes (separando por tanto las luminarias de las péndolas) o emplear la misma potencia en todas ellas. En los tres casos, las alternativas fueron descartadas, pues se comprobó que no eran tan agradables visualmente ni quedaban bien integradas en el conjunto en los dos primeros casos, y que no se alcanzaban los valores mínimos de uniformidad en el tercero.

5.2. Iluminación de las aceras

Respecto a la iluminación de las aceras, no existe actualmente ninguna normativa que regule este aspecto. Su función es la de proporcionar seguridad a los peatones durante su recorrido por la estructura e indicarles la trayectoria a seguir.

La solución adoptada consistirá en emplear iluminación rasante mediante una serie de luminarias cada 3 metros. Siguiendo la coordenada longitudinal definida previamente, con $x \in [0, 40]$ m, estarán posicionados en $x = 0, 3, 6, 9, 12, 15, 18, 21, 24, 27, 30, 33, 36$ y 39 m. Las luminarias, de modelo 22230+K4 de la empresa BEGA (o similares), se situarán en la superficie externa de los muros que recaen a cada acera. Sus características son las siguientes: se trata de focos LED de 2,2 W, con una intensidad lumínica de 245 lumen y una autonomía de servicio de mínimo 50.000 horas, están realizados en aluminio y vidrio de seguridad, y sus dimensiones son 80 x 80 x 80 milímetros.



Figura 10. Representación de la iluminación rasante. Fuente: Catálogo de BEGA.

6. DEFENSAS

Las defensas planteadas para la estructura se dividen en dos categorías: aquellas que separan el tránsito de vehículos motorizados de la zona peatonal o reservada para ciclistas, a la vez que protegen y delimitan el espacio del arco y las péndolas (muros separadores), y aquellas que proporcionan seguridad a los viandantes, evitando caídas a diferente altura (barandillas).

6.1. Defensas sobre calzada y aceras

En total, se plantean cuatro muros separadores continuos a lo largo del puente, iguales dos a dos:

- El primer grupo se posicionará entre la acera (aguas arriba) o el carril reservado para ciclistas (aguas abajo) y las zonas de arco y péndolas. No recibirá impactos de previsible gran magnitud, por lo que sus dimensiones serán reducidas, y se prefabricará en tramos de hormigón armado HA-30/F/20/IIIa.
- El segundo grupo se situará a ambos lados de la calzada, contiguo a las zonas de arco y péndolas. Consistirá en una barrera rígida de protección, también prefabricada, de hormigón armado HA-30/F/20/IIIa.

La geometría concreta de cada grupo y su integración con el entorno puede encontrarse en el plano nº 12.1. En ambos casos se deberá prever el correspondiente anclaje a la losa y la ejecución de una junta en los extremos, a partir de la cual se realizará una transición acompañando al arco.

La razón de delimitar las zonas de arco y péndolas estriba no solo en un tema de eliminación de riesgo de impacto sobre un elemento estructural, sino que también sirve para habilitar un espacio de fácil acceso por el que circularán las conducciones necesarias. Así, aprovechando el espacio superior que queda entre la losa estructural y la cara superior de las defensas, junto al arco, discurrirán los conductos para servicios, de PVC y 100 mm de diámetro, protegidos por una rejilla extraíble de tipo Tramex (o similar).

6.2. Barandillas

Las barandillas serán idénticas a ambos lados del puente y buscan conferir un aspecto singular a la estructura. El diseño propuesto combina estética, seguridad y funcionalidad, a la vez que proporciona una visión dinámica del conjunto.

Los montantes tendrán una altura libre de 1,17 m (esto es, medida en vertical desde que sobresale de la imposta, con lo que en total serán 1,57 m). Su sección será rectangular variable, con un máximo de 10 x 2 cm en la sección de empotramiento y un mínimo de 3,5 x 2 cm en la parte más alta, lo que le confiere un aspecto elegante. El material empleado será acero S275 J2, con el correspondiente tratamiento inoxidable. La separación entre los montantes será de 1,75 m. Dicha separación coincide con la mitad del espaciamiento entre cuchillos transversales. Por lo tanto, de cada dos montantes, uno estará anclado al cuchillo correspondiente, a través del perfil de borde longitudinal soldado, y el siguiente estará sujeto únicamente a dicho perfil de borde. Los últimos montantes se colocarán a una separación de 0,75 m, con el fin de ajustarse al inicio y final de la luz a salvar, así como para permitir la continuación de la barandilla en perpendicular, a lo largo del cajero.

El espacio entre montantes se completa con un marco rectangular de fundición, fabricado en taller en base a un molde, y unido a cada montante por medio de tornillos de cara plana M12C4,6 (o similares), colocados a 10 cm de cada extremo de montante. El interior de este marco presentará un patrón de rectas aleatorias, que se repetirá para cada unidad. El objetivo será evitar que los huecos presentes en los primeros 60 cm de altura tengan un diámetro mayor de 15 cm. Además, por la disposición de las rectas, se dificultará la escalabilidad de la barandilla, y los propios marcos proporcionarán rigidez al conjunto, evitando problemas de flechas excesivas.

La durabilidad se tendrá en cuenta de idéntica manera a los elementos estructurales (ver anejo nº 5): capa de imprimación con base de zinc tipo Epomix Primer Zinc o similar, capa intermedia epoxi de alto espesor tipo Epomix Intercoat Miox HB o similar y capa de acabado de poliuretano alifático gris tele 4, color RAL 7047, tipo Epomix PU A/AL o similar.

El pasamanos tendrá forma curva, buscando representar la ley de momentos de la carga aplicada. Presentará un diseño suave de la cara vista hacia el peatón, que le invitará a apoyarse. Estará realizada en aluminio fundido 5083 (denominación del Eurocódigo EN 1999-1:2007), material que permite adoptar las formas buscadas, a la vez que se garantiza la durabilidad y se reduce el peso. El espesor, en consecuencia, será variable entre 11 cm en los puntos de momento máximo y 3,5 cm en los puntos de momento mínimo. La altura será constante, de 3 cm.

6.2.1. Comprobaciones resistentes de las barandillas

Según la norma UNE-EN 1317, las barandillas deben resistir una carga lineal, repartida uniformemente sobre el pasamanos, y equivalente a 1,5 kN/m. A través de los montantes, esta carga deberá ser transmitida a la estructura.

En el caso de los montantes, teniendo en cuenta su separación (1,75 m) y la altura de aplicación de la carga (1,6 m), el momento en la sección de empotramiento será:

$$M_{Ed} = 1,5 \cdot \left(1,5 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \cdot 1,75 \text{ m} \cdot 1,6 \text{ m} \right) = 6,3 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Como se puede observar, se ha incluido el coeficiente de mayoración equivalente a 1,5.

Por otro lado, se tendrá un momento resistente del siguiente valor:

$$W = \frac{a \cdot b^2}{6} = \frac{2 \cdot 10^2}{6} = 33,33 \text{ cm}^3$$

Se tendrá una tensión admisible de:

$$\sigma_{adm} = \frac{f_{yk}}{\gamma_M} = \frac{275}{1,05} = 261,9 \text{ MPa}$$

La condición buscada es que el cociente entre el momento de cálculo y el momento resistente sea menor que la tensión admisible:

$$\frac{M_{Ed}}{W} = \frac{6,3 \cdot 10^{-3} \text{ MN} \cdot \text{m}}{33,33 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3} = 189,02 \text{ MPa} \leq \sigma_{adm} = 261,9 \text{ MPa} \rightarrow \text{Cumple}$$

En el caso del pasamanos, el momento máximo se producirá en la sección intermedia entre apoyos:

$$M_{Ed} = 1,5 \cdot \left(\frac{1,5 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \cdot (1,75 \text{ m})^2}{8} \right) = 0,86 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

El momento resistente se asimilará al de un rectángulo, aplicando un coeficiente reductor de 0,5 para quedar del lado de la seguridad. El resultado será, en este caso, el siguiente:

$$W = \frac{a \cdot b^2}{6} = \frac{3 \cdot 11^2}{6} \cdot 0,5 = 30,25 \text{ cm}^3$$

La tensión admisible, recurriendo a la tabla 3.2b del Eurocódigo EN 1999-1:2007, será, para un espesor menor de 15 mm:

$$\sigma_{adm} = \frac{f_0}{\gamma_{M2}} = \frac{110}{1,25} = 88 \text{ MPa}$$

Aplicando la misma condición que anteriormente:

$$\frac{M_{Ed}}{W} = \frac{0,86 \cdot 10^{-3} \text{ MN} \cdot \text{m}}{30,25 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3} = 28,43 \text{ MPa} \leq \sigma_{adm} = 88 \text{ MPa} \rightarrow \text{Cumple}$$

6.2.2. Comprobación de las uniones

La unión de los montantes a la placa de borde se materializará mediante soldadura. En consecuencia, esta deberá resistir los esfuerzos a los que se ve sometida la sección de empotramiento. Previamente, se ha definido el valor del momento flector de cálculo como 6,38 kN·m. El esfuerzo de tracción máximo se producirá en el extremo de la base, con el siguiente resultado:

$$F_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b} = \frac{6,38}{0,1} = 63,8 \text{ kN}$$

Según el apartado 60.1.1 de la *Instrucción de Acero Estructural* (en adelante, EAE), publicada por el Ministerio de Fomento español, se debe cumplir que:

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

Donde:

- $F_{w,Ed}$ es el esfuerzo de tracción máximo, calculado anteriormente.
- $\sum a_i$ es el sumatorio de espesores de garganta, equivalente a dos veces cada espesor individual, que será la incógnita a despejar.
- L_{wi} es la longitud de los cordones que forman la unión, que del lado de la seguridad se supondrá como la mitad del parámetro b , ya que se estima que la tracción la absorbe medio cordón de soldadura. Por tanto, su valor será 50 mm, superior a 30 mm y cumpliendo la prescripción del apartado 59.8.1 de la EAE.
- f_u es la resistencia a tracción del acero de las piezas a soldar, que equivaldrá a 430 MPa.
- β_w es un coeficiente de correlación, determinado en la tabla 59.8.2 de la EAE. Para un acero S275, su valor será 0,85.
- γ_{M2} es un coeficiente de minoración de resistencia, de valor 1,25.

Sustituyendo todos estos parámetros en la inequación anterior, el espesor mínimo de garganta en cada cordón de soldadura es de 2,73 mm. No obstante, tal y como indica el apartado 59.3.2 de la EAE, en el caso de cordones en ángulo que se depositen sobre piezas de entre 10 y 20 mm de espesor (la placa de borde tiene un espesor de 20 mm), el espesor de garganta no será inferior a 4,5 mm. Por lo tanto, se tomará este valor. Puede comprobarse también que la longitud del cordón (50 mm) es superior a 6 veces el espesor de garganta ($6 \cdot 4,5 = 27 \text{ mm}$), tal y como prescribe el apartado 59.8.1.

Por otro lado, cabe destacar que ambos cordones no deben terminar en las esquinas del montante, sino que se prolongarán a su alrededor, en el mismo plano, y en una longitud mínima igual a 3 veces el espesor de garganta ($3 \cdot 4,5 = 13,5 \text{ mm}$). Al medir 20 mm el lado correspondiente, se optará por prolongar el cordón a lo largo de toda esta longitud.



7. IMPOSTA

El diseño de la imposta es alargado, buscando ocultar las distintas partes internas del puente y conferir un aspecto de continuidad estructural. Consistirá en un primer tramo de sección rectangular, de 420 x 300 mm, seguido de un segundo tramo más estilizado, de 300 x 75 mm. En el plano nº 12.1 podrá consultarse con más detalle la geometría de la imposta, así como su anclaje.

Su ejecución será a partir de módulos prefabricados de 1,75 m, lo que corresponde a la separación entre montantes de las barandillas. Entre ellos se dejará una junta, que se regruesará formando una cavidad correspondiente a la mitad de la sección rectangular del montante en ese punto. De esta forma, al unir ambos módulos de imposta, encajarán de manera precisa con los montantes, soldados previamente.

Además, de cada módulo saldrán las esperas de las armaduras, que posteriormente se embeberán en la contraimposta, hormigonada tras la losa en una segunda fase.