

Grado en Ingeniería Civil. Curso 2013 – 2014  
ETSICCP – UPV

# Proyecto básico para el concurso de pasarela sobre el río Segura en Blanca (Murcia)

– Solución B –

Análisis estructural y proceso constructivo

Junio 2014



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

Alumno: Alejandro Sánchez Calatayud  
Tutor: Carlos Lázaro Fernández  
Co-Tutor: Francisco Izquierdo Silvestre

Roberto Piñol Gómez  
Salvador Monleón Cremades  
Alberto Domingo Cabo

Manuel Sánchez-Solís Rabadán  
José Casanova Colon  
Carmen Castro Bugallo



# Índice del Trabajo



DOCUMENTO nº. 1.

MEMORIA .....9

1.1. Objeto del documento ..... 11

1.2. Objeto del proyecto básico ..... 11

1.3. Antecedentes, situación actual, limitaciones y condicionantes ..... 12

    1.3.1. Antecedentes ..... 12

    1.3.2. Situación actual ..... 13

    1.3.3. Limitaciones y condicionantes ..... 14

1.4. Estudio de soluciones ..... 15

    1.4.1. Alternativas evaluadas ..... 15

    1.4.2. Criterios de selección ..... 15

1.5. Descripción de la solución adoptada ..... 16

    1.5.1. Geometría en planta ..... 16

    1.5.2. Tipología ..... 16

    1.5.3. Sistema primario ..... 16

    1.5.4. Tablero ..... 17

    1.5.5. Subestructuras ..... 17

    1.5.6. Equipamiento ..... 17

1.6. Geología y geotecnia ..... 18

    1.6.1. Informe geotécnico ..... 18

    1.6.2. Modelo de cálculo ..... 18

    1.6.3. Acciones ..... 18

    1.6.4. Verificación de los Estados Límite ..... 18

1.7. Cálculo ..... 18

    1.7.1. Normativa aplicada ..... 18

    1.7.2. Modelo de cálculo ..... 18

    1.7.3. Materiales ..... 19

    1.7.4. Acciones ..... 19

    1.7.5. Coeficientes de seguridad ..... 19

    1.7.6. Combinación de acciones ..... 19

    1.7.7. Verificación de Estados Límite ..... 19

1.8. Proceso constructivo ..... 19

1.9. Plazo de ejecución ..... 20

1.10. Resumen del presupuesto ..... 20

1.11. Conclusión ..... 20

ANEJO I. ESTUDIO DE SOLUCIONES ..... 21

    I.1. Programa de necesidades ..... 23

        I.1.1. Condicionantes geométricos ..... 23

        I.1.2. Condicionantes hidrológicos ..... 23

        I.1.3. Condicionantes naturales ..... 23

        I.1.4. Condicionantes sociales ..... 24

        I.1.5. Factor estético ..... 24

    I.2. Encaje geométrico y funcional de la solución ..... 24

        I.2.1. Encaje geométrico de la pasarela ..... 24

        I.2.2. Encaje funcional de la pasarela ..... 24

    I.3. Evaluación de propuestas tipológicas ..... 25

        I.3.1. Soluciones en acero ..... 25

        I.3.2. Soluciones en hormigón ..... 25

        I.3.3. Consideraciones respecto a la selección de la solución ..... 25

    I.4. Diseño estructural ..... 26

        I.4.1. Principios de diseño: geometría en planta de la pasarela ..... 26

        I.4.2. Principios de diseño: geometría de las vigas ..... 26

        I.4.3. Principios de diseño: subestructuras ..... 27

        I.4.4. Principios de diseño: enlace vigas - subestructuras ..... 27

        I.4.5. Principios de diseño: barandillas ..... 28

        I.4.6. Principios de diseño: tablero ..... 28

        I.4.7. Conclusión ..... 28

    I.5. Apéndice de soluciones valoradas ..... 29

    I.6. Vista general de la solución final ..... 32

ANEJO II. EVALUACIÓN AMBIENTAL ..... 33

    II.1. Introducción ..... 35

        II.1.1. Motivación y objeto ..... 35

        II.1.2. Legislación ..... 35

        II.1.3. Antecedentes y situación actual ..... 35

    II.2. Descripción del proyecto ..... 36

        II.2.1. Localización ..... 36

II.2.2.	Descripción de las obras a realizar .....	36	III.2.2.	Descripción de la campaña geotécnica .....	47
II.2.3.	Materiales empleados .....	36	III.2.2.1.	Sondeo .....	47
II.2.4.	Residuos generados.....	36	III.2.2.2.	Niveles freáticos .....	47
II.2.5.	Acciones susceptibles de causar impacto .....	37	III.2.2.3.	Ensayos de laboratorio .....	47
II.3.	Examen de alternativas .....	37	III.2.3.	Otros parámetros del terreno.....	47
II.4.	Inventario ambiental .....	37	III.3.	Verificación de la estabilidad en fase constructiva. Tablestacas .....	50
II.4.1.	Medio físico y natural .....	37	III.3.1.	Estabilidad de la pantalla frente a empujes .....	50
II.4.1.1.	Climatología .....	37	III.3.1.1.	Resultante de empujes activos de acuerdo con la teoría de Rankine.....	51
II.4.1.2.	Geología y Litología.....	37	III.3.1.2.	Resultante de empujes pasivos de acuerdo con la teoría de Rankine.....	52
II.4.1.3.	Geomorfología y Edafología.....	37	III.3.1.3.	Resultante de empujes del agua .....	52
II.4.1.4.	Hidrología .....	37	III.3.1.4.	Acodalamiento.....	52
II.4.1.5.	Vegetación .....	38	III.3.2.	Comprobación frente a levantamiento de fondo.....	53
II.4.1.6.	Fauna .....	38	III.3.3.	Comprobación frente a sifonamiento .....	54
II.4.1.7.	Espacio protegido .....	38	III.4.	Dimensionamiento de las subestructuras .....	55
II.4.1.8.	Paisaje .....	38	III.4.1.	Reducción de acciones al plano de cimentación.....	55
II.4.2.	Medio socioeconómico .....	39	III.4.1.1.	Resultante de empujes activos de acuerdo con la teoría de Rankine.....	56
II.4.2.1.	Población.....	39	III.4.1.2.	Resultante de empujes al reposo de acuerdo con la teoría de Rankine .....	56
II.4.2.2.	Actividades económicas.....	39	III.4.2.	Estabilidad global .....	57
II.4.2.3.	Infraestructura y equipamientos.....	39	III.4.3.	Estado Límite de Hundimiento .....	57
II.4.2.4.	Patrimonio cultural e histórico .....	40	III.4.4.	Estado Límite de Deslizamiento.....	59
II.4.2.5.	Actividades lúdicas.....	40	III.4.5.	Estado Límite de Vuelco .....	60
II.5.	Descripción de los efectos del proyecto sobre el medio .....	40	III.4.6.	Comprobación de asiento .....	61
II.6.	Medidas protectoras y correctoras.....	41	III.4.7.	Socavación .....	61
II.7.	Vigilancia ambiental .....	41	ANEJO IV. JUSTIFICACIÓN RESISTENTE .....	63	
II.8.	Síntesis.....	41	IV.1.	Generalidades .....	65
ANEJO III. ESTUDIOS GEOTÉCNICOS Y DISEÑO DE CIMENTACIONES .....	43	IV.1.1.	Objeto del presente anejo .....	65	
III.1.	Objeto del presente anejo .....	45	IV.1.2.	Condicionantes y limitaciones .....	65
III.2.	Informe geotécnico .....	45	IV.1.3.	Descripción general de la pasarela .....	65
III.2.1.	Marco geológico .....	45	IV.2.	Bases de cálculo .....	66
III.2.1.1.	Geología regional .....	45	IV.2.1.	Normativa y recomendaciones .....	66
III.2.1.2.	Tectónica .....	47	IV.2.2.	Ambiente y recubrimientos. Estado Límite de Durabilidad .....	66
III.2.1.3.	Geomorfología .....	47	IV.2.3.	Características de los materiales .....	67
			IV.2.4.	Coefficientes de seguridad.....	67
			IV.2.5.	Combinaciones de acciones.....	68

IV.3.	Acciones.....	69	V.5.1.	Selección de la junta .....	116
IV.3.1.	Acciones permanentes .....	69	V.5.2.	Construcción de la junta .....	116
IV.3.2.	Acciones variables .....	70	V.6.	Barandillas.....	117
IV.4.	Modelización .....	73	V.6.1.	Montantes .....	117
IV.4.1.	Modelización de la superestructura.....	73	V.6.2.	Pasamanos.....	117
IV.4.2.	Modelización de las subestructuras.....	87			
IV.5.	Hipótesis de carga .....	96	ANEJO VI. PLAN DE OBRA.....		119
IV.5.1.	Estados Límite Últimos. Situación de proyecto persistente .....	96	VI.1.	Tareas del proceso constructivo.....	121
IV.5.2.	Estados Límite de Servicio. Combinación característica.....	96	VI.2.	Tareas introducidas en el diagrama de Gantt .....	124
IV.5.3.	Estados Límite de Servicio. Combinación cuasi-permanente y frecuente .....	96	VI.3.	Diagrama de Gantt.....	125
IV.6.	Comprobación de Estados Límite Últimos.....	97	ANEJO VII. FOTOGRAFÍA E INFOGRAFÍA .....		127
IV.6.1.	Superestructura .....	97	VII.1.	Lámina nº. 1. Ubicación de la pasarela.....	131
IV.6.2.	Subestructuras.....	100	VII.2.	Lámina nº. 2. Panorámicas de Blanca.....	133
IV.7.	Comprobación de Estados Límite de Servicio.....	104	VII.3.	Lámina nº. 3. Vistas de Blanca .....	135
IV.7.1.	Estado Límite de Deformaciones .....	104	VII.4.	Lámina nº. 4. Vista conceptual 1 .....	137
IV.7.2.	Estado Límite de Fisuración.....	104	VII.5.	Lámina nº. 5. Vista conceptual 2 .....	139
ANEJO V. DISEÑO DE EQUIPAMIENTOS .....		109	VII.6.	Lámina nº. 6. Vista conceptual 3 .....	141
V.1.	Drenaje de pluviales .....	111	VII.7.	Lámina nº. 7. Vista conceptual 4 .....	143
V.1.1.	Pendientes .....	111	VII.8.	Lámina nº. 8. Vista conceptual 5 .....	145
V.1.2.	Obtención del caudal de referencia .....	111	VII.9.	Lámina nº. 9. Vista conceptual 6 .....	147
V.1.3.	Obtención del número y separación de sumideros.....	113	VII.10.	Lámina nº. 10. Vista conceptual 7 .....	149
V.1.4.	Comprobación de los sumideros.....	114	VII.11.	Lámina nº. 11. Pasarela sobre el terreno .....	151
V.2.	Iluminación de la pasarela.....	115			
V.2.1.	Ambiente .....	115			
V.2.2.	Selección de las luminarias.....	115			
V.2.3.	Lámparas.....	115			
V.3.	Pavimentos .....	115			
V.3.1.	Acera .....	115			
V.3.2.	Carril bici .....	115			
V.4.	Losa de transición.....	116			
V.5.	Juntas de dilatación.....	116			

DOCUMENTO nº. 2.

PLANOS .....	153
1.    Situación y emplazamiento .....	157
2.    Planta y topografía de la zona de actuación.....	159
3.    Planta general de la obra .....	161
4.    Vistas generales. Planta, alzado y perfiles .....	163
5.    Planta de replanteo .....	165
6.    Subestructuras. Planta de cimientos .....	167
7.    Subestructuras. Estratigrafía y gálidos.....	169
8.    Subestructuras. Definición geométrica .....	171
9.    Subestructuras. Armado de muros longitudinales .....	173
10.   Subestructuras. Armado de muros transversales y de zapata .....	175
11.   Vigas longitudinales. Definición geométrica.....	177
12.   Vigas longitudinales. Armado longitudinal de una viga (1) .....	179
13.   Vigas longitudinales. Armado longitudinal de una viga (2) .....	181
14.   Vigas longitudinales. Armado transversal de una viga .....	183
15.   Vigas de piso. Vistas generales.....	185
16.   Vigas de piso. Definición geométrica .....	187
17.   Tablero. Secciones transversales .....	189
18.   Equipamientos. Sumideros .....	191
19.   Equipamientos. Barandillas.....	193
20.   Fases del proceso constructivo (1) .....	195
21.   Fases del proceso constructivo (2) .....	197
22.   Fases del proceso constructivo (3) .....	199

DOCUMENTO nº. 3.

PRESUPUESTO .....	201
1.    Mediciones.....	205
2.    Cuadro de precios 1 .....	209
3.    Presupuesto .....	213
4.    Resumen del presupuesto .....	217



Documento nº. 1

# Memoria



## MEMORIA.

1.1.	Objeto del documento .....	11
1.2.	Objeto del proyecto básico .....	11
1.3.	Antecedentes, situación actual, limitaciones y condicionantes.....	12
1.3.1.	Antecedentes.....	12
1.3.2.	Situación actual.....	13
1.3.3.	Limitaciones y condicionantes .....	14
1.4.	Estudio de soluciones.....	15
1.4.1.	Alternativas evaluadas.....	15
1.4.2.	Criterios de selección .....	15
1.5.	Descripción de la solución adoptada .....	16
1.5.1.	Geometría en planta.....	16
1.5.2.	Tipología.....	16
1.5.3.	Sistema primario.....	16
1.5.4.	Tablero .....	17
1.5.5.	Subestructuras.....	17
1.5.6.	Equipamiento.....	17
1.6.	Geología y geotecnia.....	18
1.6.1.	Informe geotécnico .....	18
1.6.2.	Modelo de cálculo .....	18
1.6.3.	Acciones .....	18
1.6.4.	Verificación de los Estados Límite .....	18
1.7.	Cálculo .....	18
1.7.1.	Normativa aplicada.....	18
1.7.2.	Modelo de cálculo .....	18
1.7.3.	Materiales .....	19
1.7.4.	Acciones .....	19
1.7.5.	Coeficientes de seguridad .....	19
1.7.6.	Combinación de acciones.....	19
1.7.7.	Verificación de Estados Límite .....	19
1.8.	Proceso constructivo.....	19
1.9.	Plazo de ejecución .....	20
1.10.	Resumen del presupuesto .....	20
1.11.	Conclusión .....	20

## 1.1. Objeto del documento.

PROYECTO BÁSICO PARA EL CONCURSO DE PASARELA SOBRE EL RÍO SEGURA EN BLANCA (MURCIA).  
SOLUCIÓN B. ANÁLISIS ESTRUCTURAL Y PROCESO CONSTRUCTIVO

El presente proyecto básico se plantea como el Trabajo Final de Grado del autor, Alejandro Sánchez Calatayud, estudiante de cuarto curso de Grado en Ingeniería Civil de la Universitat Politècnica de València. Ha sido tutorado por el Doctor Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos D. Carlos Manuel Lázaro Fernández, y co-tutorado por el Catedrático de Ingeniería del Terreno de la Universitat Politècnica de València D. Francisco Ángel Izquierdo Silvestre.

El Trabajo Final de Grado (TFG) que aquí se presenta se ha desarrollado en un equipo formado por Roberto Piñol Gómez, Alejandro Sánchez Calatayud y Manuel Sánchez-Solís Rabadán (compañeros de promoción del Grado). Periódicamente los profesores nos han reunido en talleres para revisar las tareas completadas y para determinar en qué dirección debíamos avanzar. En los talleres han participado tres equipos, cada uno de los cuales ha propuesto una solución. La que se presenta en este TFG es la "Solución B".

Los integrantes del equipo "Solución B" hemos trabajado conjuntamente durante gran parte del tiempo dedicado al TFG, y no ha sido hasta la fase final cuando nos hemos centrado de forma individual en secciones específicas. Con esto pretendemos recalcar que, si bien cada documento del presente trabajo está firmado por uno o varios de nosotros, el resultado de todas las secciones es fruto del pensamiento colectivo.

Para concluir este preámbulo, queremos recordar a todos los profesores que han estado implicados en este taller: Dr. Casanova Colon, Josep (Profesor Titular de Universidad); Dra. Castro Bugallo, Carmen (Profesora Titular de Universidad); Dr. Domingo Cabo, Alberto (Profesor Titular de Universidad); Dr. Izquierdo Silvestre, Francisco (Catedrático de Universidad, Dpto. de Ingeniería del Terreno, UPV); Dr. Lázaro Fernández, Carlos (Profesor Titular de Universidad); Dr. Monleón Cremades, Salvador (Catedrático de Universidad, Dpto. de Mecánica de los Medios Continuos y Teoría de Estructuras, UPV). Consideramos que entre todos han hecho posible que se llegara a buen puerto.

## 1.2. Objeto del proyecto básico.

El Ayuntamiento de Blanca (Región de Murcia, España) aprobó en su sesión plenaria de 27 de abril de 2006 el pliego de cláusulas jurídicas, económico-administrativas y técnicas que regirían el concurso de diseño para el acondicionamiento del espacio público "PASARELA PEATONAL SOBRE EL RÍO SEGURA".

Este Trabajo Final de Grado se plantea como una propuesta de proyecto básico de pasarela peatonal sobre el río Segura en Blanca, con el fin de entrar en contacto con un caso verídico tanto a nivel de ingeniería como a nivel formal.

Por tratarse de una situación real, se tiene la información de base del concurso que el propio Ayuntamiento de Blanca aportó a los equipos que participaron en la competición. Adicionalmente, y ante la imposibilidad de recabar más datos por limitaciones de tiempo y presupuesto, se dispone de material proporcionado por el equipo de profesores para el completo desarrollo del Trabajo.

## Localización.

El municipio de Blanca se sitúa en el norte de la Región de Murcia, en la Vega Alta del Segura. Al norte limita con el término municipal de Abarán, al sur con los de Ulea y Ojós, al este con los de Molina de Segura y Fortuna, y al oeste con el de Ricote. Dista 35 km de Murcia-capital, y, según los datos del Instituto Nacional de Estadística, en 2011 contaba con 6489 habitantes.



Figura nº. 1 – Localización geográfica de Blanca (municipio de la Región de Murcia, España).

El término municipal tiene una extensión de 87.7 kilómetros cuadrados, y su altura media es de 233 metros (la orografía es de naturaleza montañosa). Blanca está situada en un valle por el centro del cual discurre el río Segura, que por término medio transporta una caudal de 26.3 metros cúbicos por segundo.

De hecho, es en esta zona donde el Segura presenta el mayor caudal de todo su curso. Por esta razón, aguas abajo de Blanca, la presa del Azud de Ojós embalsa alrededor de 1 hectómetro cúbico para distribución. Esta presa cuenta con un solo aliviadero, y es capaz de desaguar 766.7 metros cúbicos por segundo.

La pasarela ha de conectar los paseos de ribera del río. En la margen izquierda existe una zona ajardinada conocida como “Parque de Las Cuevas”, y en la derecha una superficie plana no edificada ni cultivada. La pasarela arranca desde el centro de una plaza semicircular situada en dicho parque, y su directriz es perpendicular al lado recto de la plaza.



Figura nº. 2 – Ubicación prevista de la pasarela.



Figura nº. 3 – Vista del río Segura a su paso por Blanca, desde mirador. La pasarela conecta la plaza semicircular con la margen opuesta.

### 1.3. Antecedentes, situación actual, limitaciones y condicionantes.

#### 1.3.1. Antecedentes.

El río Segura, a su paso por Blanca, constituye una considerable barrera geográfica. Se tiene constancia de que desde mediados del S. XVI se han construido puentes en la zona para cruzarlo.

En 1566 se construye un puente colgante a base de madera y esparto, popularmente conocido como “cuna” por los movimientos que sufría. Es bien sabido que no era sencillo de cruzar.

Como anécdota, cabe destacar que también se atravesó el Segura mediante barcas. En diciembre de 1860 se contrata el servicio de paso mediante barca por 1.500 reales. Tres años más tarde, el ayuntamiento hace comparecer al contratista de la barca por los desperfectos que se habían producido en las orillas. El contratista argumenta que el muelle está estropeado por culpa de la presa construida aguas abajo. Se hizo patente la necesidad de una solución permanente y más cómoda.

A finales del siglo XIX el político Pascual Madoz comenta que la localidad vecina de Cieza estaba y había estado mal provista de puentes a lo largo de toda su historia. Incluso destaca que durante las grandes avenidas desaparecían los tres puentes de madera de Cieza. Los problemas derivados de la escasez de puentes y pasarelas en el área han sido, pues, notables desde antaño.

Años más tarde se volvió a construir un puente en Blanca, esta vez de madera. En 1897, el arrendatario del puente cobraba 1000 pesetas anuales. En 1906 precisa una reparación que cuesta 350 pesetas. Un año después se vuelve a reparar, y al siguiente de nuevo por 133 pesetas. En 1919 se decide reconstruir la parte vieja del puente de madera. En 1924 el arriendo anual ascendía a 1500 pesetas (este mismo año se instala luz eléctrica). Seis años después se vuelve a reparar el puente. Estaba claro que se necesitaba una nueva solución que no presentara tantos problemas de durabilidad.

El 16 de marzo de 1929 se aprueba el proyecto de construcción de un nuevo puente metálico para vehículos y peatones. Se concluye el 18 de junio de 1934, por una cantidad total de 358.238 pesetas. La técnica de unión de las piezas metálicas fue el roblonado. El 1 de octubre del mismo año se abre al público, y desde entonces se conoce como Puente de Hierro. Actualmente

este puente sigue abierto al uso, y es el único paso de vehículos a la altura del municipio de Blanca. Pese a ser el único puente por el que pueden cruzar vehículos, no es muy amplio; de hecho, dos vehículos no pueden atravesarlo en paralelo.



Figura nº. 4 – Puente de Hierro sobre el río Segura en Blanca (construido en el año 1934).

El 11 de enero de 2013 se inauguran dos pasarelas de uso exclusivo para peatones y ciclistas. Con ellas se pretende revitalizar las márgenes del Segura en Blanca mediante la apertura de nuevos espacios para el uso y disfrute de vecinos y turistas (un mirador, una zona de baño, una zona de paseo, y un largo sendero para rutas a pie).



Figura nº. 5 – Pasarela peatonal y ciclista sobre el río Segura en Blanca (construida en el año 2013).

Mediante estas dos pasarelas se da también continuidad a las dos rutas ciclistas y peatonales ya existentes en las márgenes. En definitiva, suponen una mejora de las infraestructuras lúdico deportivas y de conexión, mejora que se apreciará dado que en los últimos años se ha acrecentado el interés turístico en Blanca.

Las dos pasarelas, idénticas, tienen un ancho de carril bici de 2.50 metros, y de 1.50 metros para uso peatonal. En planta el tablero describe una línea alabeada. El importe total del proyecto fue de 515.424 euros, 386.571 de los cuales fueron aportados por la Comunidad a través de la Dirección General de Transportes y Puertos. Conjuntamente, la Comunidad financió con 23.500 euros más el proyecto arquitectónico, seleccionado en 2008 a través de un concurso de ideas convocado por el Ayuntamiento de Blanca.

### 1.3.2. Situación actual.

En este momento existen en Blanca tres pasos sobre el río: el Puente de Hierro para vehículos y peatones (conectando el casco urbano de Blanca), y las dos pasarelas peatonales (ubicadas aguas arriba). En este Proyecto se plantea la construcción de una tercera pasarela peatonal (situada aguas abajo respecto a los tres pasos anteriores) a la altura del Parque de Las Cuevas.



Figura nº. 6 – Puente de Hierro (rojo), pasarelas año 2013 (amarillo) y proyecto de nueva pasarela (azul).

### 1.3.3. Limitaciones y condicionantes.

Para definir una solución adaptada al entorno se identifican todos los condicionantes que existen. Los condicionantes se agrupan por categorías en función de su naturaleza.

#### Condicionantes geométricos.

- Vano único. Se trata de un requisito impuesto por la Administración. No se contemplan diseños que precisen apoyos en el interior del cauce del río Segura.
- Luz. La longitud mínima de la pasarela será de aproximadamente 47 metros. No existen restricciones en cuanto a forma de la pasarela en planta, ni tampoco de cruce ortogonal con el río.
- Márgenes. La cota de ambas márgenes es de 140.96 metros.
- Pendiente longitudinal máxima. Según el artículo 6º (Disposiciones en alzados) de la Guía de Accesibilidad de la Región de Murcia, la pendiente longitudinal máxima será del 6% por ser una rampa situada en espacio público, y por tanto, itinerario adaptado.
- Pendiente transversal máxima. Para la evacuación de aguas pluviales se establece de partida el requisito de que la pendiente transversal sea del 1.5%.
- Ancho útil mínimo. El ancho útil mínimo para la circulación de peatones es de 3 metros. Se contempla la incorporación de un carril bici.
- Rampas de acceso. La Guía de Accesibilidad establece que la pendiente longitudinal máxima será del 6%. En cuanto al ancho mínimo, este será de 1.5 metros, aunque se aconseja un ancho mínimo de 1.8 metros. Cada 10 metros de rampa se deberán disponer rellanos de 1.5 por 1.5 metros.
- Escaleras de acceso. La Guía de Accesibilidad exige un ancho mínimo de 1.5 metros para la escalera. La tabica máxima será de 16 centímetros y la huella aconsejable será de 32 centímetros. Como máximo, los tramos de escalera tendrán 16 escalones.

#### Condicionantes hidrológicos.

- Avenida de periodo de retorno máximo. Para la avenida de periodo de retorno 500 años, la cota de agua es de 140 metros (la cota de las márgenes es de 140.96 metros). Para esta situación crítica, la velocidad del flujo de agua es de 1.8 metros por segundo.
- Cota de agua. La cota de agua se sitúa en el entorno de los 138.35 metros.
- No entrada en carga. Se ha de garantizar que exista resguardo entre la lámina de agua y el puente para que no se produzca una entrada en carga del flujo.

#### Condicionantes naturales.

- Topografía. En el Anejo de estudios geotécnicos y diseño de cimentaciones se describen los estratos del suelo. Esta información ha sido proporcionada por los profesores ante la inexistencia de datos geotécnicos en la información del Concurso, y la imposibilidad de realizar una campaña geotécnica en el marco de este Trabajo.
- Climatología. El clima en la localidad de Blanca se puede describir como mediterráneo semiárido. La oscilación térmica diaria puede llegar a los 20°C. La temperatura supera los 30°C entre 80 y 120 días al año, y el periodo libre de heladas está entre 270 y 350 días al año.

Al año hay más de 2800 horas de insolación anual, lo que supone una evapotranspiración potencial entre 750 y 900 mm sumada a una pluviometría de registros bajos (335 mm) y focalizados (torrenciales). El resultado es un importante déficit hídrico de entre 400 y 700 mm anuales.

En general se trata de temperaturas medias suaves: meses de verano calurosos y secos, inviernos con temperaturas mínimas no extremas, y otoños y primaveras apacibles. Las precipitaciones están concentradas en los meses de primavera (mayo) y sobre todo otoño (octubre).

- Entorno. El área de Blanca es rica en términos medioambientales. La ejecución de las obras no puede comprometer esta riqueza. En el Anejo de evaluación ambiental se ahonda en este tema.

#### Condicionantes sociales.

- Deportes acuáticos. La cota de agua en condiciones no excepcionales se sitúa en el entorno de los 138.35 metros. Puesto que en la zona hay afición al piragüismo, se prevé un resguardo de 2 metros en el tercio central del río para la seguridad de los piragüistas.

#### Factor estético.

- Integración. La pasarela se encuentra en el Parque de Las Cuevas, dentro del municipio de Blanca. Esta zona está escasamente urbanizada. Se busca alcanzar una solución integrada en el paisaje, y que a la vez imprima carácter y dé atractivo visual.

## 1.4. Estudio de soluciones.

### 1.4.1. Alternativas evaluadas.

La pasarela proyectada es fruto de un proceso de evaluación de alternativas. Se plantean diferentes tipologías de pasarela para los materiales acero y hormigón, a fin de determinar qué solución es óptima en función de las condiciones de contorno expuestas.

Soluciones en acero.

- Arco con tablero inferior a tracción (bowstring).

La primera alternativa que se baraja en acero consta de un sistema primario a base de arcos y un tablero inferior que trabaja a tracción. Por su comportamiento estructural este tipo de puente es conocido como bowstring. Su particularidad radica en que la estructura no transmite componente de fuerza horizontal al terreno gracias a la acción tensora del tablero. En este caso supone una ventaja puesto que el terreno no es especialmente competente en los estratos más someros, lo cual podría derivarse en una cimentación más sencilla.

Es compatible con el entorno; la superestructura es vistosa, por lo que una solución trabajada en el apartado visual puede enriquecer el paisaje. No existen limitaciones específicas que hagan que se descarte de partida esta solución.

- Pasarela atirantada.

Otra opción es proyectar una pasarela soportada por un sistema de tirantes. Aunque formalmente volvería a encajar, las condiciones de contorno geotécnicas complicarían la materialización de la cimentación. La subestructura debería penetrar más en el suelo para alcanzar estratos más resistentes.

Normalmente esta tipología se suele reservar para luces en el intervalo de los 150 – 1000 metros. Sí sería posible transportar el concepto a una pasarela de menor luz (50 metros en este caso), pero probablemente se incurriría en complicaciones que no aparecerían en pasarelas mejor adaptadas a pequeñas luces.

- Viga metálica triangulada con tablero inferior.

El único puente en Blanca por el que pueden transitar vehículos es de esta clase. Se trata de una viga Pratt articulada en extremos, de aspecto recio y que presenta gran abundancia de uniones bulonadas.

Si bien una viga metálica triangulada es una solución completamente apta como demuestra la experiencia, al mismo tiempo lo son pasarelas de distintas tipologías. Con el ánimo de dar variedad al paisaje urbano, y siendo que este proyecto representa una ocasión para enriquecerlo, se cree más conveniente decantarse por otro tipo de pasarela.

Soluciones en hormigón.

- Viga prefabricada.

Aunque es factible prefabricar una viga de 50 metros de longitud, no es posible transportarla de una pieza hasta la obra dado que los accesos son bastante complicados. Otra cuestión es que una solución completamente prefabricada puede no encajar con la estética que se pretende lograr en esta ocasión.

Sin ánimo de descartar las soluciones prefabricadas, que en ocasiones resultan ampliamente ventajosas, se considera que en este proyecto encaja mejor una pasarela ejecutada in situ, o al menos no prefabricada en su totalidad.

No se descarta la prefabricación en partes de la pasarela; de hecho, en pro de abaratar costes y de disminuir plazos, se tendrá en cuenta recurrir a tal modalidad cuando sea posible.

- Viga armada de canto variable.

La alternativa que se plantea frente a la viga prefabricada de hormigón es una viga armada ejecutada in situ. Buscando una estructura sólida a la par que limpia y de formas minimalistas, se plantea biempotrar la viga en estribos. Los estribos se conciben como cajas que se rellenan de tierras para compensar el peso de la pasarela. Se trataría de una estructura monolítica, en la que no aparecerían aparatos de apoyo.

Biempotrar la viga supone que los mayores momentos flectores se van a concentrar en los extremos (flectores positivos), quedando sometido el centro de luz a momentos negativos de menor valor absoluto que los anteriores. Por este motivo se puede conseguir un canto mínimo en centro de luz, concentrando la carga visual de la viga en los extremos. De esta manera se conseguiría un alzado de las vigas realmente dinámico.

A fin de aumentar la comodidad y seguridad de los usuarios de la pasarela, se opta por disponer un carril bici. Existe la opción de alojar acera y carril bici en el mismo tablero, o en tableros separados. Se plantea esta alternativa para cada una de las tipologías propuestas.

### 1.4.2. Criterios de selección.

Dentro del taller no se han impuesto restricciones de presupuesto para la construcción de la pasarela. Dicho esto, se destaca que el aspecto económico sí se ha considerado de manera general a la hora de seleccionar la pasarela a construir, aunque no ha sido una prioridad encontrar una solución ceñida a una cantidad prefijada.

Por encima del precio, los aspectos decisivos han sido la coherencia estructural del conjunto, la accesibilidad a obra, el proceso constructivo, y, ponderado de igual manera, el resultado estético.

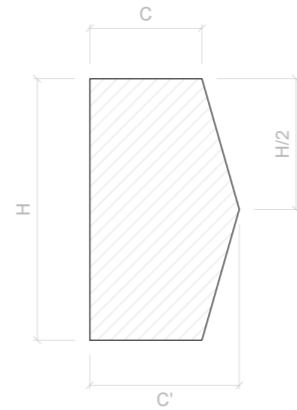
Dado el objeto de este proyecto, no se ha utilizado una técnica de evaluación multicriterio para la selección de la pasarela. Se disponía de cierta libertad en relación a elección, y se utilizó para seleccionar una pasarela que en términos generales podría adaptarse adecuadamente al caso real de proyecto.





Las vigas son de canto y sección variable. Esta geometría confiere al conjunto un contraste lumínico muy interesante, a la par que un aspecto macizo y limpio.

- Las vigas arrancan con un canto "H" de 2.90 metros, y van perdiéndolo a través de un arco de círculo hasta llegar a 0.70 metros en centro-luz.
- "C" varía entre 1.00 metros en arranque, y 0.30 metros en centro-luz. La variación también se produce a través de un arco de círculo
- "C'-C'" tiene en toda sección transversal un valor de 10 centímetros.
- La arista exterior dista en alzado H/2 de las aristas superiores e inferiores.



#### 1.5.4. Tablero.

El tablero, de hormigón, está soportado por perfiles IPE distanciados en planta 2.50 metros. El hormigonado se ejecuta sobre una chapa grecada atornillada a los perfiles de acero. La acera va elevada 15 centímetros respecto al carril bici para materializar una separación entre peatones y ciclistas. En la parte peatonal se dispone un piso de madera.

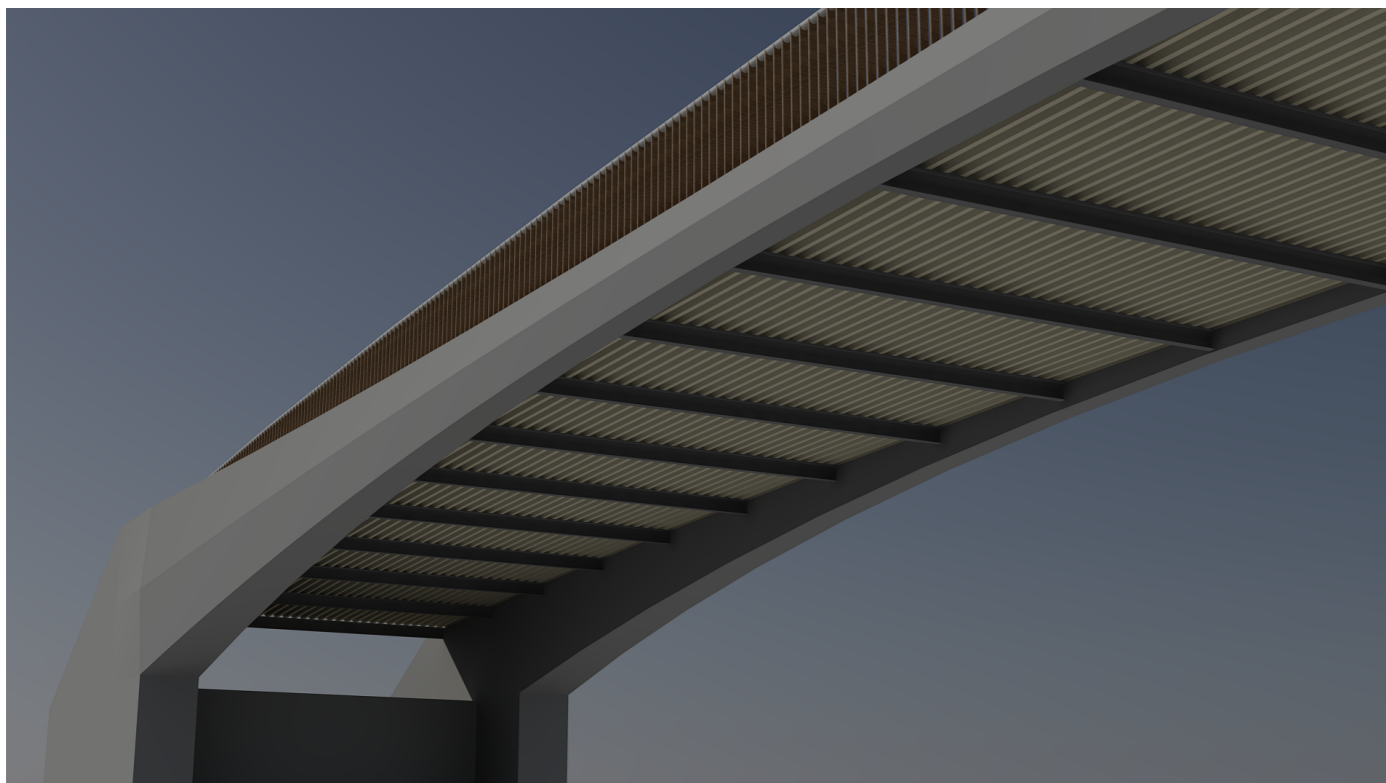


Figura nº. 9 – Vista de la pasarela desde la parte inferior.

#### 1.5.5. Subestructuras.

Puesto que los componentes de la pasarela forman una unidad monolítica, la relación sistema primario – subestructuras es íntima desde un primer momento. Para encauzar el diseño de los estribos se realiza la hipótesis de que cada estribo tiene que resistir en el límite la mitad de la pasarela en voladizo, como si se tratara de una ménsula de longitud equivalente a la mitad de luz de la pasarela.

El peso de este voladizo se compensaría con el peso del estribo. Los estribos se diseñaron como cajas que albergarían terreno en su interior para ganar masa.

Desde este punto de partida se inician las comprobaciones geotécnicas, llegándose, tras un proceso de cálculo iterativo, a una solución no sólo estructuralmente muy eficiente sino también de dimensiones muy contenidas y proporcionadas con el conjunto de la pasarela.

Las vigas se empotran en muros laterales de 1.00 metro de espesor, y la caja se cierra con otros dos muros de 0.60 metros. Todos los muros tienen una altura mínima de 3.79 metros, y descansan sobre una zapata cuadrada de 9 metros de lado.

#### 1.5.6. Equipamientos.

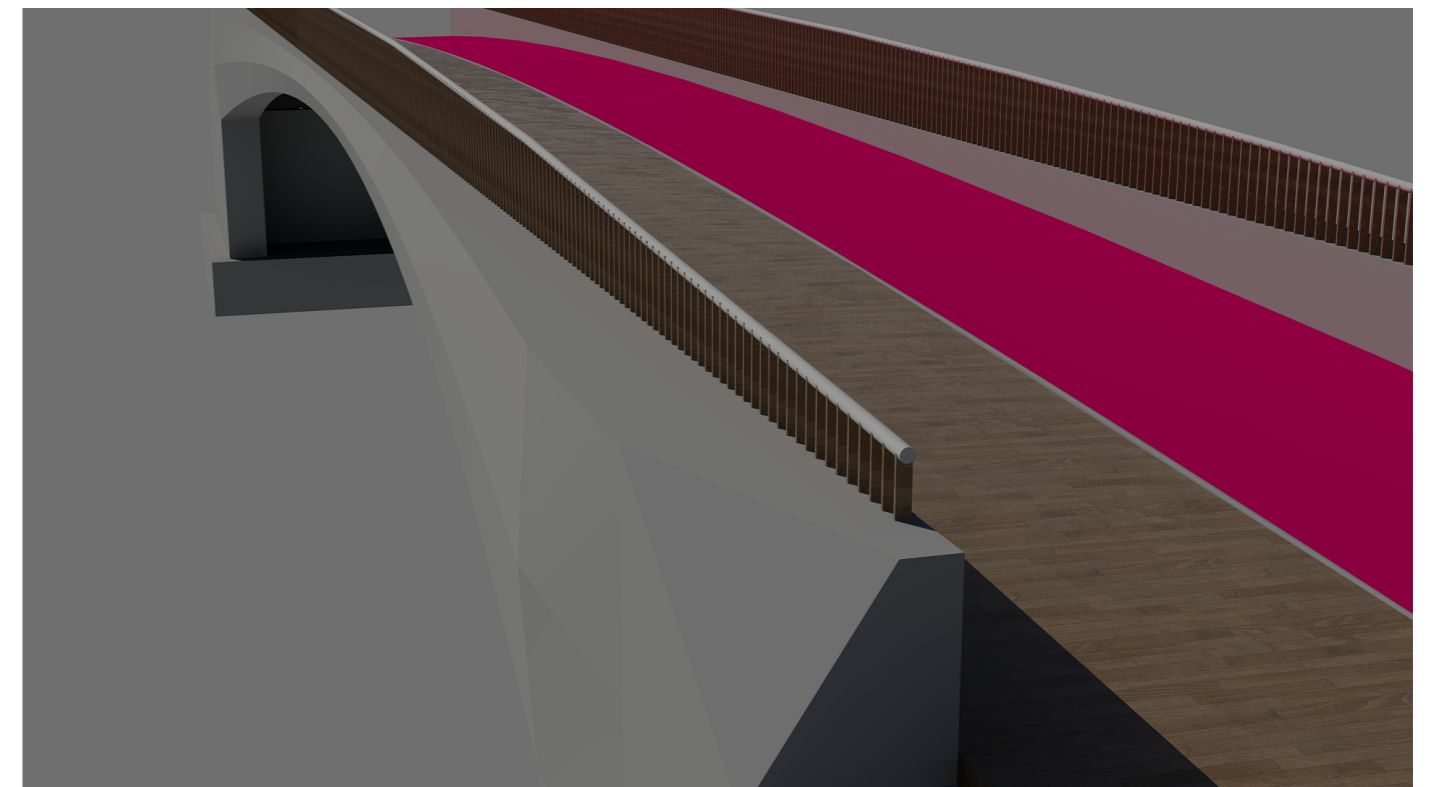


Figura nº. 11 – Vista tridimensional del conjunto pasarela-estribos.

Las barandillas juegan un papel esencial en la vista general de la pasarela. Puesto que las aristas superiores de las vigas permanecen en un plano horizontal, y dado que la directriz del tablero describe en alzado un arco de círculo, la altura de viga sobre tablero va disminuyendo a medida que el usuario se aproxima al centro de la pasarela.

El pasamanos de la barandilla es paralelo a la directriz del tablero, a 1.20 metros de distancia. De esta manera, mientras las vigas pierden sección, los montantes la ganan. En todo punto de la pasarela la altura combinada de muro sobre tablero y de montante suma el metro veinte de barandilla exigido por la normativa.

Para conferir más atractivo a la barandilla en las horas de oscuridad, se introduce iluminación en el interior del pasamanos. La iluminación pretende balizar la pasarela más que garantizar unos niveles lumínicos determinados.

## 1.6. Geología y geotecnia.

### 1.6.1. Informe geotécnico.

El Taller del Trabajo ha sido el encargado de proporcionar los datos geológicos y geotécnicos suficientes para la caracterización geomecánica del terreno de cimentación en la zona de ubicación de la pasarela. Debe señalarse que dichos datos no son reales, habiendo sido planteados en base a la experiencia en ubicaciones similares y de una hipotética campaña de reconocimiento. En consecuencia, su uso solamente puede ser académico y exclusivo para el desarrollo del Trabajo Fin de Grado.

### 1.6.2. Modelo de cálculo.

Con la finalidad de reducir los esfuerzos en la superestructura, y en consecuencia, reducir las dimensiones de las subestructuras, se ha optado por introducir en el modelo la interacción terreno-estructura. Para ello se introducen unas barras infinitamente rígidas que representan los elementos de hormigón armado que constituyen el estribo. En su contacto con el terreno disponen de unos muelles afectados por un módulo de balasto que ofrece cierta rigidez en sentido vertical, liberando el resto de movimientos. Dicha modelización conlleva a unas dimensiones convencionales con las que se procede a la verificación de los estados límite.

Todos estos valores son introducidos en el programa SAP2000 con una unión a la superestructura mediante nudos de dimensión finita que representan la rigidez de los elementos de cimentación.

### 1.6.3. Acciones.

Se considera la combinación característica de los esfuerzos transmitidos por la superestructura, así como todos los pesos propios de los elementos de hormigón armado que conforman la subestructura, los pesos propios del terreno que descansa sobre la zapata y los empujes laterales que inducen los mismos. A todo ello se le descontará el efecto de la subpresión para poder trabajar en tensiones efectivas.

### 1.6.4. Verificación de los estados límite.

Para verificar la estabilidad de las subestructuras se sigue la Guía de Cimentaciones en Obras de Carretera (2009). El modelo planteado permite afinar en todas las comprobaciones, obteniendo unos resultados que indican la eficiencia geotécnica de la subestructura, quedando en todos los casos del lado de la seguridad, ya que se ha considerado la posibilidad de desaparición de las tierras del trasdós en supuestas obras posteriores que pudieran afectar al entorno de la pasarela. Los cálculos correspondientes se detallan en el Anejo nº 3. Estudios Geotécnicos y Diseño de Cimentaciones.

Es preciso señalar, que la intención de contrarrestar los esfuerzos transmitidos por la pasarela, mediante un estribo masivo, conlleva a una subestructura muy segura frente a vuelco, quedando la resultante vertical efectiva de todas las cargas actuantes, dentro del tercio central de la cimentación, evitando de esta manera el despeque. Ello facilita las comprobaciones estructurales posteriores que se detallan en el anejo nº 4. Justificación Resistente.

## 1.7. Cálculo.

### 1.7.1. Normativa aplicada.

- Instrucción sobre las acciones a considerar en el proyecto de puentes de carretera (IAP-11).
- Instrucción Española de Hormigón Estructural (EHE-08).
- Eurocódigo 2. Proyecto de estructuras de hormigón (UNE-EN 1992-1-1).
- Instrucción Española de Acero Estructural (EAE-2011).
- Guía de cimentaciones en obras de carretera 2009.

### 1.7.2. Modelo de cálculo.

El modelo usado para la obtención de esfuerzos y flechas en ELU y ELS es una estructura tridimensional a base de elementos lineales (barras) con nudos rígidos.

- Las vigas longitudinales se modelizan como una sucesión de barras en las que cada nudo coincide con una de las secciones definidas en el plano nº 16.

Para reproducir la variación real de sección en las vigas longitudinales, primero se definen las secciones asociadas al nudo inicial y al nudo final de cada barra. Después, se interpolan linealmente las secciones extremas, creando así la geometría de la barra.

- Las vigas transversales se introducen como barras de sección constante conectadas a las dos vigas longitudinales por medio de nudos de dimensión finita.
- Los extremos de las vigas longitudinales se conectan con nudos de dimensión finita a las subestructuras.
- La rigidez proporcionada por la losa de hormigón del tablero no se ha introducido en el modelo; tan solo la carga que transmite a la estructura.

Inicialmente, las coacciones introducidas en las subestructuras materializaban una estructura hiperestática biempotrada. Sin embargo, este modelo implicaba unos esfuerzos inasumibles para el terreno y la estructura.

Con el fin de crear un modelo que se ajustara más al comportamiento real del conjunto estructura-terreno y para reducir los esfuerzos, se liberan ciertos grados de libertad en las subestructuras, y se introducen muelles en la dirección vertical para reproducir la rigidez y deformabilidad del terreno.

En cuanto a las acciones, se introducen cargas puntuales, cargas distribuidas y variaciones de temperatura que reproducen los pesos propios, cargas muertas, sobrecargas y acciones térmicas actuantes sobre la estructura.

Toda esta información se introduce en el programa SAP2000, programa ampliamente contrastado en el ámbito del cálculo estructural. Se obtienen esfuerzos y deformaciones que se evalúan con los procedimientos descritos en la EHE-08.

### 1.7.3. Materiales.

- En las subestructuras se emplea hormigón HA-25/B/20/IIb (tanto en zapatas como en muros).
- En las vigas longitudinales se emplea hormigón HA-40/20/IIb (menos en el tramo central de 10 metros; aquí se utiliza hormigón HA-50/B/20/IIb).
- Las vigas de piso se materializan con acero S275 JR.
- El acero de todas las armaduras pasivas es B500 SD.
- En el tablero mixto colaborante se utiliza HA-25/B/20/IIb.

### 1.7.4. Acciones.

Las acciones a considerar son las indicadas en la IAP 11. En el anejo nº 4 de Justificación Resistente se detalla cada una de ellas..

### 1.7.5. Coeficientes de seguridad.

Se introducen coeficiente de minoración de resistencias y de mayoración de acciones. Los coeficientes vienen marcados por la IAP-11.

### 1.7.6. Combinación de acciones.

Las hipótesis de carga a considerar se forman combinando los valores de cálculo de las acciones cuya actuación pueda ser simultánea según los criterios establecido en la IAP-11.

### 1.7.7. Verificación de Estados Límite.

El dimensionamiento en Estado Límite Último y la comprobación de los Estados Límites de Servicio se desarrolla en el Anejo nº 4: Justificación Resistente.

## 1.8. Proceso constructivo.

La obra comienza con el replanteo topográfico de los puntos característicos definidos en proyecto a partir de las bases de replanteo detalladas en el plano nº 5. El siguiente paso es el acondicionamiento del entorno de trabajo para la circulación de maquinaria y el acopio de materiales, para lo cual se procede a desbrozar la maleza existente en las inmediaciones del emplazamiento de la pasarela. Se nivela el terreno, generando explanadas para el acopio de tierras, se valla el perímetro de la zona de trabajo, y se instalan los equipos auxiliares de obra. Los accesos a obra se finalizan.

Cuando se han llevado a cabo estas actuaciones previas, se inicia la ejecución de las subestructuras. El primer paso es retirar con pala cargadora la capa de tierra vegetal existente. Esta tierra se acopia para su reposición al término del proyecto. Después se hincan las tablestacas machihembradas en la margen izquierda utilizando un martillo percutor sobre grúa autopropulsada, configurando así un recinto.

Una vez cerrado el recinto de excavación y con las tablestacas apuntaladas, la maquinaria se traslada a la margen derecha para repetir el proceso mientras que en la margen izquierda una excavadora sobre neumáticos (apoyada por una bomba autoaspirante para agotar el nivel freático dentro del recinto de tablestacas) comienza la excavación del estribo izquierdo.

Terminada la excavación del estribo izquierdo, la excavadora se traslada a la margen derecha y en la margen izquierda se procede a la regularización del fondo de excavación con una capa de hormigón de limpieza vertida con camión bomba. La regularización del fondo de excavación se hace análogamente en la margen derecha cuando la excavación del estribo está terminada.

Una grúa autopropulsada baja hasta el fondo de excavación del estribo de la margen izquierda el encofrado de madera de la zapata y las armaduras pasivas de la zapata (previamente cortadas y dobladas en obra y suministradas en barras de 12 m). Una vez montado el encofrado y dispuestas las armaduras se hormigona la zapata vertiendo desde el camión-bomba; se vibra con vibrador de aguja, y se le da el tratamiento de curado oportuno. Al endurecer el hormigón HA-25/B/20/IIb lo suficiente, se retira el encofrado de la zapata y se traslada a la margen derecha para comenzar con la ejecución de la zapata del estribo derecho.

En la margen izquierda se limpian las juntas zapata-muro, se colocan las armaduras de los muros del estribo y se empieza a montar los paneles que conforman el encofrado metálico de los muros. El hormigonado de los muros se hace vertiendo desde camión-bomba. El vibrado se efectúa con vibradores de aguja, y posteriormente se efectúa el tratamiento de curado oportuno. Cuando el hormigón HA-25/B/20/IIb haya fraguado lo suficiente, se procede al desencofrado para su reutilización en la margen derecha con idéntico procedimiento.

Tras pasar un tiempo que asegure una resistencia mínima de los estribos, estos se rellenan simultáneamente con tierras procedentes de excavación. La tierra se verterá mediante palas cargadoras y se compactará con bandejas vibrantes. El siguiente paso es conformar las isletas que soportarán la cimbra porticada. Estas isletas han de dejar un espacio suficiente para el correcto funcionamiento del flujo de agua. Camiones basculantes vierten la tierra cerca del cauce del río, que se extiende con palas cargadoras. Por último se compactan las isletas con un rodillo autopropulsado de patas apisonadoras para asegurar la estabilidad de la cimbra.

El siguiente paso es el montaje de la cimbra tubular porticada y del encofrado de madera de las dos vigas longitudinales con el apoyo de una grúa autopropulsada, tras lo cual se procede a la colocación de las armaduras de las vigas y después al hormigonado de las dos vigas simultáneamente. El hormigonado se efectúa por bombeo desde camión-bomba, siguiendo unas fases previamente estudiadas. Primero se hormigón un tramo de 10 m desde el estribo izquierdo con hormigón HA-40/B/20/IIb, después se hormigón un tramo de 10 m desde el estribo derecho con hormigón HA-40/B/20/IIb, después se avanza desde margen izquierda con otro tramo de 12.5 m de largo con hormigón HA-40/B/20/IIb, se continúa avanzando desde la margen derecha con otro tramo de 12.5 m con hormigón HA-40/B/20/IIb y se termina hormigonando el tramo central de 10 m con hormigón HA-50/B/20/IIb. Las juntas de hormigonado se generan colocando parapastas de nervometal.

Cuando las vigas han adquirido suficiente resistencia para ser autoportantes, se puede desencofrar y desmontar la cimbra. Entonces es el momento de colocar las vigas de piso soldándolas a las placas de anclaje que se han dejado dispuestas en el paramento interior de las vigas longitudinales. Para esta tarea es necesaria una grúa autopropulsada.

Una vez se han colocado todas las vigas de piso, se puede proceder a ejecutar el tablero mixto colaborante. Primero se coloca chapa grecada sobre las vigas de piso, se fijan a estas mediante pernos y se sellan las juntas para darle estanqueidad; después se posiciona la armadura de retracción en forma de malla electrosoldada y por último se hormigona la losa con camión-bomba confiriéndole la pendiente transversal considerada en el proyecto. En todo este proceso se debe considerar la ubicación de los sumideros lo cual implicar cortar unas aperturas en la chapa grecada y colocar unos parapastas al hormigonar para que se puedan alojar. Simultáneamente a la ejecución del tablero mixto, se retiran las isletas de ambos márgenes con una excavadora y se acopian en obra con una pala cargadora.

Con el hormigón de la losa ya endurecido se procede a extender una capa de pintura impermeabilizante que no sólo cierra los poros del hormigón, sino que también proporciona propiedades antideslizantes necesarias para el carril bici. Cuando ha pasado el tiempo prescrito por el fabricante de la pintura impermeabilizante, se continua ejecutando la acera peatonal: primero se colocan los bordillos de 15 cm de altura sobre un lecho de mortero, después se tienden las conducciones contempladas en proyecto y por último los listones de madera de conforman la acera se colocan sobre los bordillos y se fijan con adhesivo.

Al mismo tiempo que se ejecuta la acera, se acoplan en obra los montantes metálicos forrados de madera y el pasamanos tubular de acero que componen la barandilla. Conforme se van montando tramos de barandilla, se colocan en la cara superior de las vigas longitudinales y se sueldan los montantes a unas placas de anclaje previamente embebidas en el hormigón. Cuando se ha fijado toda la barandilla se procede a la instalación del sistema de iluminación. Primero se colocan focos en las aperturas del pasamanos que el fabricante ha realizado conforme a las indicaciones del proyecto, después se realiza la instalación del cuadro eléctrico y de todo el tendido correspondiente y por último se efectúa la conexión a la red.

Para concluir la obra, se restituye la capa de tierra vegetal hasta la cota de acceso a la pasarela con una pala cargadora, se repone el ajardinado del Parque de las Cuevas y la escollera de los taludes de los márgenes con un camión-grúa. Antes de entregar la obra se transportan a vertedero, con camión basculante, las tierras sobrantes procedentes de excavación que estaban acopiadas en obra.

## 1.9. Plazo de ejecución.

El plazo de ejecución de las obras, conforme se especifica en el Anejo nº 6: Plan de Obra, es de aproximadamente siete meses (30 semanas).

## 1.10. Resumen del presupuesto.

El total del coste de licitación de la obra, conforme se detalla en el Documento nº3: Presupuesto, asciende a CUATROCIENTOS SESENTA Y CINCO MIL SEISCIENTOS OCHENTA Y NUEVE con SETENTA Y DOS CÉNTIMOS (465.689,72€).

## 1.11. Conclusión.

Este proyecto básico pretende describir una solución de pasarela adaptada a todas las particularidades del entorno. El objetivo del proceso de diseño ha sido desde el primer momento proyectar una pasarela atractiva a nivel estético, eficiente a nivel estructural y factible en términos económicos.