

ANEJO Nº5. ESTUDIO DE SOLUCIONES

Índice

1	Objeto	3
2	Antecedentes	3
3	Condicionantes.....	4
4	Materiales	4
4.1	Hormigón armado	4
4.1.1	Hormigón Armado postensado in-situ	4
4.1.2	Hormigón Armado pretensado prefabricado	4
4.2	Acero.....	4
4.3	Mixto.....	4
4.4	Madera.....	4
4.5	Polímeros.....	4
5	Material Escogido.....	5
5.1	Superestructura de la pasarela.....	5
5.2	Subestructura de la pasarela	5
6	Tipologías estructurales	5
6.1	Superestructura de la pasarela.....	5
6.1.1	Arco triarticulado	5
6.1.2	Puente Colgante/atirantado	6
6.2	Subestructura de la pasarela	6
7	Tipología escogida.....	6

1 Objeto

El objeto del presente anejo es doble: por una parte, se estudiarán las diferentes alternativas de materiales a utilizar en la estructura principal, tales como el hormigón armado pretensado, acero, mixto, madera y polímeros. Entre estas, se escogerá siguiendo un procedimiento de ventajas y desventajas la que se considere más ventajosa para la ejecución de este proyecto básico. Asimismo, también se decidirá por los materiales empleados para las subestructuras.

El segundo objeto de este anejo es presentar, una vez seleccionado el material a emplear en la estructura principal, las diferentes tipologías que permitan cumplir con lo descrito en el *Anejo nº2. Topografía y Cartografía*. De ellas, se decidirá cuál es la más apropiada y en base a ello se procederá a calcular con ella en el *Anejo nº6. Análisis Estructural*.

2 Antecedentes

Primero, nos tenemos que poner en situación de la zona de actuación. Nuestra pasarela debe, principalmente, cruzar el río Serpis. Además, dicho cruce se produce en su desembocadura, por lo que el mar está presente en nuestro proyecto. Entorno al río Serpis existen varios pasos a nivel realizados, siendo la mayoría de paso rodado y peatonal, realizados en hormigón armado o pretensado y con tipología en vigas o bóveda. En las inmediaciones hay dos ejemplos de pasarelas peatonales: ambas realizadas con hormigón pretensado, una mediante vigas y otra atirantada.

Sin embargo, el puente del Acceso Sur al Puerto de Gandía, construido mediante vigas cajón mixtas de acero y hormigón, afecta de forma directa a nuestro proyecto, ya que se encuentra a escasos metros de nuestra estructura. Ello condiciona varios aspectos de nuestro proyecto básico, como la cimentación a usar, el material y la tipología (esta última es inherente al aspecto estético y paisajístico). Es por ello que, en este anejo se ha de tener muy en cuenta dichos aspectos.



Ilustración 1. Puente del Acceso Sur al Puerto de Gandía (Fuente: Propia)

3 Condicionantes

Tanto para la elección del material, como la selección de la tipología estructural hemos de tener en cuenta diversos factores que cumplir para nuestro caso. Para ello, los analizaremos según sean determinantes en cualquiera de los dos casos que nos atañen:

- El vano de mayor longitud es de 57 metros. Por lo tanto, hemos de seleccionar un material que sea capaz de lograr dichas distancias, así como una tipología estructural que permita generar dicho diseño.
- El uso de la pasarela es peatonal y ciclista, por lo que las solicitaciones no son muy elevadas. Esto permite un uso más amplio de materiales y tipologías
- La pasarela se encuentra ubicada sobre un río. Por ello, hemos de tener en cuenta la presencia de un entorno húmedo para la selección del material.
- La pasarela se encuentra ubicada cerca del mar (<1km). Por lo tanto, la estructura está expuesta a corrosión y exposición salina.

Con todos estos factores en cuenta, ahora hemos de analizar las propiedades de los distintos materiales que se pueden emplear, así como las características de cada tipología.

4 Materiales

De la inmensa variedad de materiales a emplear, se han optado por cinco alternativas, las cuales son las más características para una pasarela como la nuestra: hormigón armado pretensado, acero, mixto, madera y polímeros.

4.1 Hormigón armado

Es uno de los materiales constructivos de mayor aplicación para realizar pasos a nivel. Normalmente, se suele dar de dos maneras: in situ postensado o prefabricado pretensado. Se ha decidido descartar el hormigón armado pasivo debido a su contraparte pretensada, de mayores capacitaciones.

4.1.1 Hormigón Armado postensado in-situ

- Ventajas:
 - o Opción relativamente económica
 - o Factible para las luces de nuestra pasarela
- Desventajas:
 - o Requiere de mucha mano de obra
 - o Requiere de mayor tiempo de puesta en obra
 - o Relación peso/resistencia alta

4.1.2 Hormigón Armado pretensado prefabricado

- Ventajas:
 - o Opción relativamente económica
 - o Factible para las luces de nuestra pasarela

- o Requiere de poca mano de obra
- o Rapidez de puesta en obra

- Desventajas:
 - o Relación peso/resistencia alta

4.2 Acero

- Ventajas:
 - o Vulnerabilidad estructural frente a incendios
 - o Factible para las luces de nuestra pasarela
 - o Rapidez de puesta en obra. Posibilidad de montaje por vanos
 - o Relación peso/resistencia baja
- Desventajas:
 - o Susceptible frente a corrosión si no se trata adecuadamente
 - o Vulnerabilidad estructural frente a incendios
 - o Coste alto

4.3 Mixto

- Ventajas:
 - o Factible para las luces de nuestra pasarela
 - o Estética por la estructura anexa
- Desventajas:
 - o Coste medio-alto
 - o Susceptible frente a corrosión si no se trata adecuadamente
 - o Vulnerabilidad estructural frente a incendios
 - o Relación peso/resistencia media

4.4 Madera

- Ventajas:
 - o Relación peso/resistencia baja
 - o Factible para las luces de nuestra pasarela
 - o Material sostenible, natural y ecológico (baja emisión de CO₂)
 - o Buen comportamiento frente al fuego (resistencia estructural buena frente al incendios)
 - o Integración paisajística con el entorno.
- Desventajas:
 - o Coste medio-alto
 - o Susceptible a hongos e insectos xilófagos si no se trata adecuadamente.
 - o Mal comportamiento con humedad alta si no se trata adecuadamente.

4.5 Polímeros

- Ventajas:

- Material de baja densidad y relación peso/resistencia baja
- Buena resistencia a corrosión
- Baja conductividad térmica
- Diversidad de tamaños y formas
- Rapidez de puesta en obra
- Factible para las luces de nuestra pasarela
- Desventajas:
 - Coste muy elevado
 - Tecnología poco desarrollada en la zona
 - Carencia de normas técnicas y recomendaciones
 - Vulnerabilidad estructural frente a incendios

5 Material Escogido

5.1 Superestructura de la pasarela

Frente a las diversas alternativas de materiales propuestos para la realización de nuestra estructura, finalmente se ha tomado la decisión de escoger la madera como material estructural de la superestructura, que incluye el tablero, vigas u arcos y otros tales como elementos de seguridad. Esta decisión se ha tomado basándose en los pros y contras de cada material, pero, sobre todo, teniendo en cuenta el peso en aumento que tiene el medio ambiente en nuestra profesión. Por tanto, la madera se convierte en un material ideal para realizar la pasarela, tanto por sus buenas propiedades estructurales como su baja contaminación y emisión de CO₂. Además, al ser la desembocadura del río Serpis un espacio paisajístico y ecológico protegido, una pasarela cuyo principal material es la madera integrará a la estructura en el entorno, tratando de generar un impacto mínimo en el ecosistema.

Finalmente, dentro de las diversas opciones de materiales de madera se optará por la **madera laminada encolada de clase 3** como material escogido. Esto se debe a su versatilidad en cuanto a formas y dimensiones que obtiene sin ello repercutir en su resistencia, el uso de la dirección resistente a flexión de las fibras en sentido longitudinal, su carencia de defectos en las fibras, así como su uso en clase 3 que es la que concierne a ambientes con mucha humedad como es en nuestro caso, con la presencia del río y del mar próximos.

La madera deberá llevar su obligado marcado CE. Asimismo, debido a ser clase 3 la madera tiene de sufrir un tratamiento de autoclave antes de comenzar el proceso de fabricación. En cuanto a la clase estructural de esta, se escogerá a la hora de calcular la estructura en el *anexo nº6 "Análisis estructural"*, buscando que esta sea GL24 o GL28, tanto homogénea como combinada, debido a su mayor disponibilidad entre los fabricantes.

5.2 Subestructura de la pasarela

Para la subestructura, que incluye las pilas, la cimentación y los estribos, se optará por un material diferente a la madera. Esto es debido a que dichas estructuras, al entrar en contacto con el terreno y el

agua de forma permanente, así como la cantidad de material necesaria por ejemplo en los estribos, conviene emplear otros materiales. Separando las diversas partes, tenemos que:

- Para las pilas, que en el caso de la central se verá afectada por corrientes de agua, utilizar hormigón armado, preferiblemente prefabricado ya que existe la logística en la zona y ello reduce los costes de personal. El ambiente del cemento, debido a la posibilidad de mareas y oleaje, será IIIc según la EHE. No obstante, como dicho tipo de cemento no es compatible con una estructura de hormigón armado (EHE, capítulo 26), se utilizará el IIIb al igual que la subestructura, como se verá a continuación.
- Para las cimentaciones, por motivos similares a los de las pilas, se procederá con el mismo material, teniendo la consideración de que, debido a la zona, el agua freática sufre de intrusión salina y por ello, el ambiente del cemento deberá ser IIIb según la EHE.
- Para los estribos, se optará por varios materiales según los tramos:
 - En la margen derecha, se optará por un estribo de hormigón armado con talud vertical ya que no existe el espacio suficiente para otro tipo de taludes.
 - En la margen izquierda, en el tramo curvo de mayor radio se optará por un terraplén de talud 3H:2V cubierto por escollera en su superficie.
 - El resto de tramo en la margen izquierda, correspondiente con el tramo circular de menor radio y el acceso del estribo, se realizarán de hormigón armado con talud vertical.

6 Tipologías estructurales

6.1 Superestructura de la pasarela

Al seleccionar la madera como material constructivo, ello nos condiciona las diferentes tipologías que se pueden seleccionar para la pasarela. Debido a que el vano de mayor longitud es de 57 metros, la tipología estructural seleccionada debe de ser capaz de permitir dicha luz. Bien para el resto de los vanos, como los de 9 y 10 metros, el número de tipologías posibles aumenta, aunque por motivos de diseño y prácticos, se decide mantener una tipología estructural homogénea para los dos vanos principales, pudiendo ser los demás de una tipología de mayor orden de sencillez estructural que el resto.

En el caso del tablero, se decide optar por uno simple, de madera serrada con tabloneros en disposición perpendicular al eje de la pasarela y apoyados sobre dos vigas de madera laminada encolada en sus laterales.

6.1.1 Arco triarticulado

Esta tipología es de las más empleadas en madera para luces de tamaños similares a la de la pasarela. Consiste en el uso generalmente de dos arcos en cuya parte media se incluye una rótula que reduce los momentos generados en la estructura. El material predominante es la madera, pudiéndose usar péndolas en caso de que se suspenda el tablero de ellas. Esta tipología presenta, por tanto, las siguientes características:

- Ventajas:
 - o Gran empleo y conocimiento de este tipo de tipologías.
 - o Menor impacto ambiental si se reduce su altura de coronación de los arcos
 - o Buen comportamiento frente a flexión.
- Desventajas:
 - o Mayor empleo de la madera, lo cual encarece su uso.
 - o Necesidad de un buen arriostramiento para evitar problemas de torsión/pandeo.



Ilustración 2. Pasarela de madera con arcos triarticulados con cubierta, de 60 metros de luz en Vizcaya
(Fuente: www.mediamadera.com)

6.1.2 Puente Colgante/atirantado

Esta tipología supone el empleo generalmente de columnas de gran tamaño situadas a continuación de las pilas del puente, de las cuales parte, según si es colgante un cable de un lado del vano al otro del cual surgen péndolas que se unen verticalmente al tablero. Esta tipología presenta, por tanto, las siguientes características:

- Ventajas:
 - o Tipología con alta resistencia, empleada hasta en puentes de madera de tráfico rodado
- Desventajas:
 - o El empleo de tirantes o cable se tiene que hacer hacia ambos lados para contrarrestar esfuerzos, lo cual está muy limitado por la geometría existente de la pasarela
 - o Uso de acero como material para los tirantes o cables y las columnas, lo encarece el empleo de esta tipología.
 - o Poca aplicación a puentes de madera.

- o Poca integración paisajística respecto al puente existente y el entorno de la desembocadura del Serpis.



Ilustración 3. Pasarela de madera atirantada con columnas y cables de acero, de 46 metros de luz en Alemania
(Fuente: www.ib-miebach.de)

6.2 Subestructura de la pasarela

La subestructura se resolverá conforme a lo recomendado en el **Anejo nº3: Estudio Geotécnico**, mediante micropilotes. Ello se llevará a cabo principalmente en las tres pilas principales de la pasarela, así como en aquellas que se encuentran en la margen izquierda del río. En las rampas de acceso se procederá conforme a lo descrito en el **apartado 5.2** del presente anejo.

7 Tipología escogida

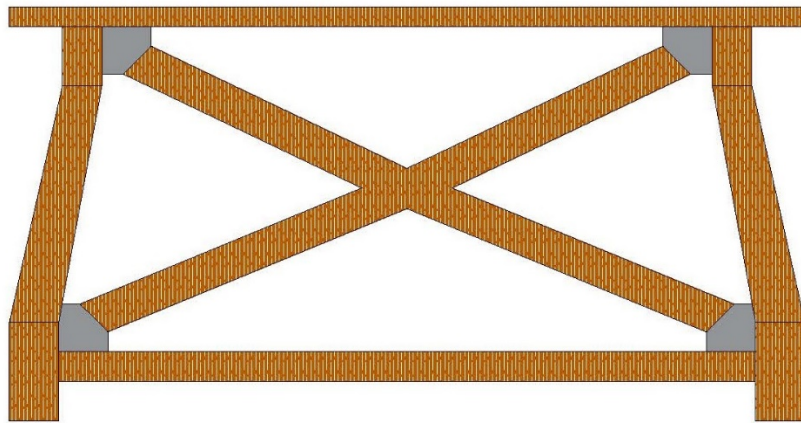
Ante las dos soluciones propuestas, se ha considerado que la más idónea de cara al proyecto básico es la tipología de arcos triarticulados. Esta ofrece una mejor solución ante los vanos de 57 y 47 metros de nuestra pasarela sin ello incrementar excesivamente los costes de la estructura. Asimismo, permite una mejor integración en el entorno ya que el empleo de arcos genera un menor impacto ambiental que el uso de altas columnas de acero con cables/tirantes.

Además, investigando sobre la bibliografía existente sobre ambos métodos, así como en cuanto a la simplicidad del cálculo estructural, la opción de los arcos triarticulados supera a la de un puente colgante/atirantado.

La solución escogida, por tanto, consistirá en dos arcos triarticulados por vano, cada uno en un lateral de la pasarela de igual forma que se puede observar en la Ilustración 2. Se tratará de integrar, asimismo, los

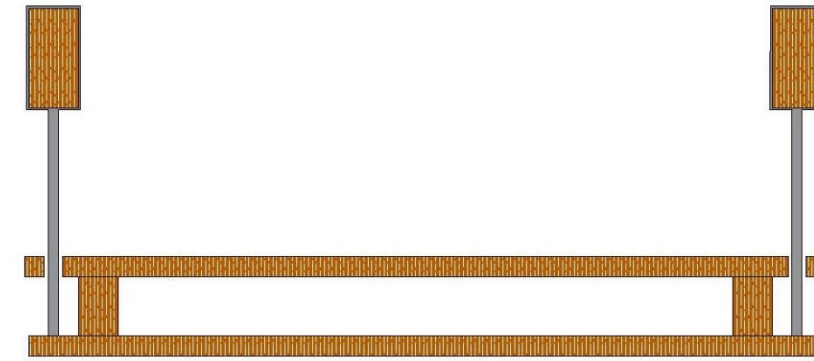
arcos junto con los elementos de seguridad, así como de intentar bajar la altura del arco para no sobresalir en el entorno. Para ello, los arcos se dispondrán, en sus extremos por debajo del tablero y en su parte central por encima de este, ya que de esta forma podemos reducir su altura sin llegar a reducir demasiado los apoyos de los arcos, que debido al entorno fluvial no pueden ser excesivamente rebajados. La pasarela no ira cubierta, ya que las condiciones climáticas de la zona son favorables y su uso conllevaría un sobre coste adicional al proyecto.

En las partes en las que los arcos queden por debajo del tablero, se arriostrarán estos entre sí y sujetarán las vigas del tablero mediante bielas, arriostrándose a su vez estas con cruces de San Andrés. Esta disposición se refleja en la **Ilustración 4**. En el cruce que se produce entre los arcos y las vigas del tablero, se realizará una unión en tijera entre ambos elementos.



*Ilustración 4. Croquis de unión Arcos-Tablero cuando el tablero se encuentra por encima de las vigas
(Fuente: Propia)*

Por último, en la zona en la cual los arcos queden por encima del tablero, estos irán sujetos a las vigas del tablero mediante péndolas, de forma que cables de acero queden amarrados a los arcos mediante abrazaderas y estos atraviesen en tablero hasta amarrarse a otras vigas, de 4 metros de longitud, en las que se apoyen de forma perpendicular las vigas del tablero de forma que este quede suspendido sobre el arco, tal y como refleja la **Ilustración 5**.



*Ilustración 5. Croquis de unión Arcos-Tablero cuando el tablero se encuentra por debajo de las vigas
(Fuente: Propia)*