

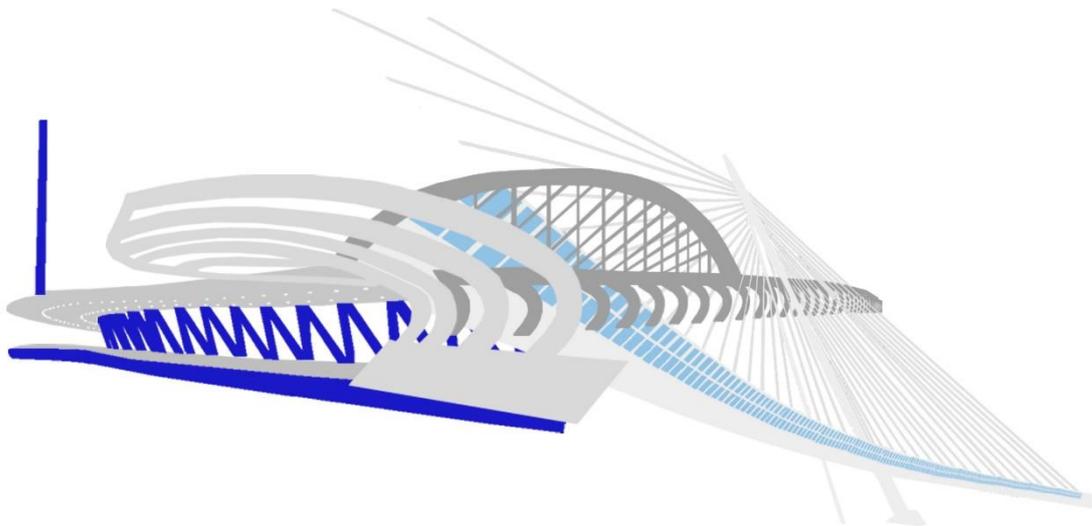


UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA
SUPERIOR DE
ARQUITECTURA

LA INGENIERÍA CIVIL Y SUS APORTACIONES A LA ARQUITECTURA CONTEMPORÁNEA



TRABAJO FINAL DE GRADO

Grado en Fundamentos de la Arquitectura

Autora: Cristina Malagón Piera

Tutor: Juan María Songel González

Escuela Técnica Superior de Arquitectura

Universidad Politécnica de Valencia

Curso 2019 / 2020

ÍNDICE

LA INGENIERÍA CIVIL Y SUS APORTACIONES A LA ARQUITECTURA CONTEMPORÁNEA.

Estudio de tres puentes de Javier Manterola Armisén

●	Resumen	4
●	Resum	5
●	Summary	6
●	0. Introducción	7
●	1. Javier Manterola	10
○	1.1. Infancia y estudios	11
○	1.2. Primeros años como ingeniero	12
○	1.3. Ingreso en la Real Academia de Bellas Artes San Fernando y discurso	13
○	1.4. Carrera Profesional	15
○	1.5. Premios y reconocimientos	17
○	1.6. Reflexiones de Javier Manterola	18
○	1.7. Puentes seleccionados para el análisis	19
●	2. Puente de Euskalduna	20
○	2.1. Emplazamiento	21
○	2.2. Objetivos	22
○	2.3. Aspectos técnicos	23
▪	2.3.1. Forma	23
▪	2.3.2. Estructura	25
▪	2.3.3. Apoyos y cimentación	27
▪	2.3.4. Resistencia	28
▪	2.3.5. Proceso Constructivo	29
▪	2.3.6. Materialidad	30
▪	2.3.7. Iluminación	31

o 2.4. Texturas y colores	32
o 2.5. Premios	34
o 2.6. Otros aspectos	35
o 2.7. Vida del puente	37
o 2.8. Bilbao en el siglo XIX	39
● 3. Puente sobre el río Galindo	40
o 3.1. Emplazamiento	41
o 3.2. Aspectos técnicos	42
▪ 3.2.1. Forma y estructura	42
▪ 3.2.2. Apoyos y cimentación	44
▪ 3.2.3. Construcción	45
o 3.3. Iluminación	46
o 3.4. Materialidad, Texturas y colores	47
o 3.5. Recorridos	49
o 3.6. Curiosidades	50
● 4. Pasarela del Voluntariado para la Exposición Universal de Zaragoza 2008	51
o 4.1. Principales características	52
▪ 4.1.1. Autor	52
▪ 4.1.2. Emplazamiento y objetivos	53
o 4.2. Aspectos técnicos	54
▪ 4.2.1. Forma y estructura	54
▪ 4.2.2. Apoyos y cimentación	55
o 4.3. Materialidad, texturas y colores	56
o 4.4. Iluminación	58
o 4.5. Referencias e inspiración	59
o 4.6. Puentes con atirantamiento extradorsal	60
o 4.7. Exposiciones internacionales	61
o 4.8. Exposición Internacional de Zaragoza 2008	62
o 4.9. Otros aspectos	64
o 4.10. Suceso julio 2020	65
o 4.11. Importancia del Ebro en Zaragoza	67

●	5. Análisis comparativo de las obras analizadas	68
○	5.1. Dificultades del ingeniero	69
○	5.2. Reconocimiento de las obras	70
○	5.3. Formas y geometría	71
○	5.4. Iluminación	72
○	5.5. Color	73
○	5.6. Imagen que proyecta	75
○	5.7. Factores externos	76
○	5.8. Inspiración	77
○	5.9. Tabla resumen	78
●	6. Conclusiones	79
●	7. Referencias Bibliográficas	82
●	8. Anexo de imágenes	86

RESUMEN

La evolución de los nuevos sistemas de construcción y tecnologías permitió que una serie de profesionales de este campo se distanciara de la tradición y buscara nuevas geometrías hasta entonces inimaginables de construir. Así fue cómo la figura del ingeniero apareció en el siglo XIX. Desde entonces, numerosos son los nombres que se han hecho eco en el mundo de la ingeniería, pero el ingeniero pamplonés del que se va a hablar destaca no solo por sus magníficas obras sino también, por su pasión por el arte y la filosofía. Gracias a esto último, ingresó en la Real Academia de Bellas Artes de San Fernando en el año 2006.

Su nombre, Javier Manterola Armisén, es conocido a nivel mundial debido a la gran lista de proyectos que ha realizado a lo largo de su carrera profesional. Muchos son los premios y reconocimientos que ha recibido en todos estos años, entre los cuales se encuentran el premio IABSE por el Puente de Euskalduna, el Premio Construmat a la innovación tecnológica por el puente sobre el río Ebro para la Línea de Alta Velocidad o la Medalla Ildefonso Cerdá del Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de Barcelona en 1995.

Entre sus obras más conocidas se encuentra el Puente de la Constitución de 1812, en Cádiz, inaugurado en 2015. Sin embargo, un ingeniero suele tener más aprecio a aquella obra que le ha supuesto un reto debido a las dificultades de geometría, terreno, materiales, etc. Es el caso de Manterola y el Puente de Euskalduna, en el cual introdujo la novedad de la viga cajón con sección en "Z". Este avance constructivo, hizo que el ingeniero se superara a sí mismo y lograra llevar a cabo un proyecto nunca antes visto.

Dada la singularidad del Puente de Euskalduna, se va a realizar su análisis para llegar a su completa comprensión. Así mismo, en este trabajo también se analizan dos obras más del ingeniero navarro. Estas construcciones son el Puente sobre el Río Galindo, en Bilbao y la Pasarela del Voluntariado para la Exposición Internacional de Zaragoza en 2008.

En cuanto al Puente sobre el Río Galindo, es un proyecto cuya sugerente estética le otorga un carácter futurista, que ha hecho que el lugar en el que se encuentra ubicado atraiga a marcas de vehículos para rodar sus anuncios publicitarios. En este caso, se tiene un ejemplo de obra que ha devuelto la vida a un barrio que se encontraba algo olvidado por el paso del tiempo.

Por último, la Pasarela del Voluntariado fue galardonada como mejor obra de la Exposición Internacional de Zaragoza de 2008. Este proyecto peatonal era una de las entradas al recinto y, aún hoy en día, forma parte del día a día de los zaragozanos ya que, se ha convertido en punto de encuentro de los habitantes de distintos barrios.

Cada una de las construcciones que se analizan en este trabajo contiene características que la diferencian de las demás y, por otra parte, que la hacen destacar. Además, se comentan intuiciones e indagaciones sobre las obras, así como una serie de conclusiones, para cerrar la investigación.

PALABRAS CLAVE: ingeniero, puente, estructura, forma, Javier Manterola

RESUM

L'evolució dels nous sistemes de construcció i tecnologies va permetre que una sèrie de professionals d'aquest camp es distanciés de la tradició i busqués noves geometries fins llavors inimaginables de construir. Així va ser com la figura de l'enginyer va aparèixer al segle XIX. Des de llavors, nombrosos són els noms que s'han fet ressò en el món de l'enginyeria, però l'enginyer pamplonès de què es va a parlar destaca no només per les seves magnífiques obres sinó també, per la seva passió per l'art i la filosofia. Gràcies a això últim, va ingressar en la Real Acadèmia de Belles Arts de San Fernando en l'any 2006.

El seu nom, Javier Manterola Armisén, és conegut a nivell mundial a causa de la gran llista de projectes que ha realitzat al llarg de la seva carrera professional. Molts són els premis i reconeixements que ha rebut en tots aquests anys, entre els quals es troben el premi IABSE pel Pont de Euskalduna, el Premi Construmat a la innovació tecnològica pel pont sobre el riu Ebre per a la Línia d'Alta Velocitat o la medalla l'home Cerdà de Col·legi d'Enginyers de Camins, Canals i Ports de Barcelona el 1995.

Entre les seves obres més conegudes es troba el Pont de la Constitució de 1812, a Cadis, inaugurat el 2015. No obstant això, un enginyer sol tenir més estima a aquella obra que li ha suposat un repte a causa de les dificultats de geometria, terreny, materials, etc. És el cas de Manterola i el Pont de Euskalduna, en el qual va introduir la novetat de la biga calaix amb secció en "Z". Aquest avanç constructiu, va fer que l'enginyer es superés a si mateix i aconseguís dur a terme un projecte mai abans vist.

Donada la singularitat de el Pont de Euskalduna, es va a realitzar la seva anàlisi per arribar a la seva completa comprensió. Així mateix, en aquest treball també s'analitzen dues obres més de l'enginyer navarrès. Aquestes construccions són el Pont sobre el Riu Galindo, a Bilbao i la Passarel·la de l'Voluntariat per a l'Exposició Internacional de Saragossa en 2008.

Pel que fa a el Pont sobre el Riu Galindo, és un projecte la suggerent estètica li atorga un caràcter futurista, que ha fet que el lloc en el qual es troba situat atregui marques de vehicles per rodar els seus anuncis publicitaris. En aquest cas, es té un exemple d'obra que ha tornat la vida a un barri que es trobava alguna cosa oblidat pel pas de el temps.

Finalment, la Passarel·la de l'Voluntariat va ser guardonada com a millor obra de l'Exposició Internacional de Saragossa de 2008. Aquest projecte vianants era una de les entrades a el recinte i, encara avui en dia, forma part del dia a dia dels saragossans ja que, s'ha convertit en punt de trobada dels habitants de diferents barris.

Cadascuna de les construccions que s'analitzen en aquest treball conté característiques que la diferencien de les altres i, d'altra banda, que la fan destacar. A més, es comenten intuïcions i indagacions sobre les obres, així com una sèrie de conclusions, per tancar la investigació.

PARAULES CLAU: enginyer, pont, estructura, forma, Javier Manterola

SUMMARY

The evolution of new building systems and technologies allowed several professionals in this field to distance themselves from tradition and to search for new geometries hitherto unimaginable to build. This is how the figure of the engineer appeared in the 19th century. Since then, many names have been heard in the world of engineering, but the Pamplona engineer we are going to talk about stands out not only for his magnificent works but also for his passion for art and philosophy. Thanks to the latter, he entered the San Fernando Royal Academy of Fine Arts in 2006.

His name, Javier Manterola Armisén, is known worldwide due to the long list of projects he has carried out throughout his professional career. Many are the prizes and acknowledgements he has received over all these years, among which are the IABSE prize for the Euskalduna Bridge, the Construmat prize for technological innovation for the bridge over the river Ebro for the High Speed Line or the Ildefonso Cerdá Medal from the Association of Civil Engineers of Barcelona in 1995.

Among his best-known works is the Constitution Bridge of 1812, in Cadiz, inaugurated in 2015. However, an engineer usually has more appreciation for that work which has been a challenge for him due to the difficulties of geometry, terrain, materials, etc. This is the case of Manterola and the Euskalduna Bridge, in which he introduced the novelty of the box girder with a "Z" section. This constructive advance made the engineer surpass himself and managed to carry out a project never seen before.

Given the uniqueness of the Euskalduna Bridge, its analysis will be carried out to reach a complete understanding. Likewise, this work also analyses two more works by the Navarrese engineer. These constructions are the Bridge over the River Galindo, in Bilbao and the Volunteers' Footbridge for the International Exposition of Zaragoza in 2008.

As for the Bridge over the River Galindo, it is a project whose suggestive aesthetics give it a futuristic character, which has made the place where it is located attract brands of vehicles to shoot their advertisements. In this case, we have an example of a work that has brought back to life a neighbourhood that was somewhat forgotten by the passage of time.

Finally, the Volunteers' Footbridge was awarded the prize for the best work at the 2008 International Exhibition of Zaragoza. This pedestrian project was one of the entrances to the site and, even today, it forms part of the daily life of the Zaragozans as it has become a meeting point for the inhabitants of different neighbourhoods.

Each of the constructions analysed in this work contains characteristics that differentiate it from the others and make it stand out. In addition, intuitions and investigations about the works are commented on, as well as a series of final conclusions, to close the investigation.

KEY WORDS: engineer, bridge, structure, shape, Javier Manterola

0. INTRODUCCIÓN

Tal y como dijo el arquitecto británico Norman Foster en una entrevista para la EFE ¹, “*Todo es diseño, y la calidad del diseño afecta a la calidad de nuestras vidas*”². Y así es, el concepto de diseño no se cierra solo a lo estético. Éste puede mejorar, resolver y transformar a la gente, a la comunicación, a la motivación e incluso a la capacidad de escuchar de las personas. Un buen diseño puede facilitar las cosas. Pero, para que éste sea un agente de cambio social, debe tener la suficiente fuerza para ser impulsado y llegar a la mayor cantidad de población posible.

Se podría decir que la historia de la arquitectura y la de la ingeniería han seguido el mismo camino hasta el siglo XIX, cuando un grupo de profesionales se separó del resto y quiso emplear la ciencia como una herramienta más en su trabajo. Es ahí donde comenzó a aparecer la figura del ingeniero. Este grupo, trataba de desarrollar el mundo formal a través de lo constructivo, es decir, a través de lo material y de lo resistente, pero sin mirar lo que el campo de la arquitectura estaba llevando a cabo en esa época.

El crecimiento de la población tuvo mucho que ver con los numerosos proyectos constructivos que se realizaron durante el siglo XX. Las dimensiones de los núcleos de población aumentaron considerablemente sin ningún tipo de planificación urbanística, lo que afectó al medio ambiente. Del desarrollo urbano nació la necesidad de ampliar las redes de comunicación terrestre, tanto las vías férreas como las carreteras. El desarrollo en la economía mundial se vio impulsado con la construcción de presas, la explotación minera o la búsqueda de energías renovables como la eólica o la hidráulica.

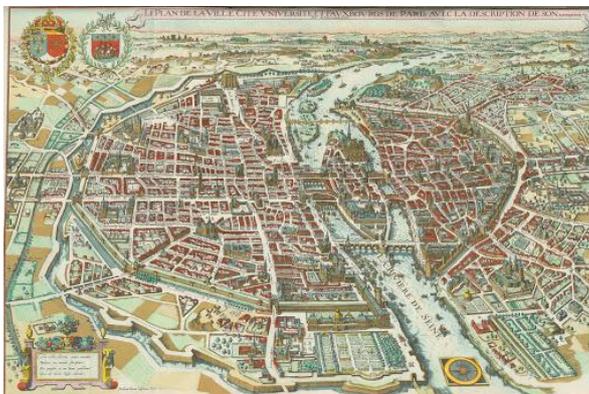


Imagen 1. Ciudad de París en el siglo XIX. Fuente: WordPress.com

Esto hizo necesaria la presencia de especialistas como ingenieros o arquitectos, para llevar a cabo el objetivo de mejorar el bienestar y la calidad de vida de los habitantes. La preservación de los espacios naturales es importante dado que “*el bienestar de un entorno natural deriva en el bienestar de la población*”³.

Es aquí donde aparece la arquitectura de paisaje, aquella que relaciona elementos de arquitectura con elementos de ingeniería y, a su vez, con elementos naturales. El objetivo de esta relación es en todo momento, la búsqueda de la belleza y la estética en conjunto. En la actualidad, se pueden encontrar proyectos sostenibles, materiales ecológicos y formas de construir respetuosas con el medio ambiente. Esto es gracias, en parte, a las nuevas tecnologías que permiten llevar a cabo estas obras, pero también, a la nueva visión constructiva de ingenieros y arquitectos.

¹. Agencia de Noticias Internacional fundada en Burgos en 1939

². Foster, Norman. (2010) EFE Agencia de Noticias

³. Arredondo González, Eliseo. (2017). Revista Bitácora Arquitectura. Nº 31

Periodos como la industrialización de mediados del siglo XX y el acelerado desarrollo urbano, causaron graves daños ambientales. Es por eso por lo que se empezó a tener consciencia del problema y a poner medios para mantener un intercambio equilibrado con el entorno natural.

Los muchos planes de regeneración del paisaje que se están llevando a cabo en los últimos años demuestran que la sociedad está empezando a comprender la importancia de convivir con la naturaleza. Pero la llamada conciencia ecológica no es algo del siglo XXI, sino que, en los años setenta del siglo XX ya estaba presente en la sociedad. Buena parte de esto es gracias a todos aquellos profesionales técnicos que pusieron de su lado, para reducir el impacto de la construcción.

La reciente aparición de los llamados “edificios verdes” está poniendo a prueba la funcionalidad de esta nueva forma de construir, que pretende crear edificios independientes, los cuales cuenten con medios adecuados para abastecerse ellos mismos de energía y otros recursos.

Pero, es cierto que todo esto no sería posible sin la ayuda de las nuevas tecnologías. La aparición de nuevas máquinas, nuevas técnicas, ensayos en laboratorios de construcción, variaciones en la composición de los materiales, etc. Todas estas incorporaciones al mundo de las infraestructuras han permitido crear nuevas técnicas más respetuosas con el medio ambiente, y más eficaces para el uso de la sociedad.

Se podría decir, que la ingeniería cambió el mundo de la construcción a lo largo del siglo XIX ya que, es entonces cuando comenzaron a surgir los primeros puentes de vigas, de celosías o puentes en arco. Fue en esta época cuando se produjo una ruptura en las formas tradicionales de construir. Antiguamente, el material de construcción por excelencia era la piedra, pero gracias a la tecnología que se comenzaba a implantar, apareció la fundición del hierro. Este proceso permitía crear barras longitudinales, las cuales daban acceso a soluciones que no se habían planteado anteriormente.

A esto se le sumó la creación de la soldadura. Gracias a la soldadura se llegó al gran invento del siglo XIX en el campo de la construcción, la viga en celosía. Esta fue la razón principal por la que los ingenieros comenzaron a plantearse nuevas formas de construcción. Estos profesionales han hecho una aportación fundamental al mundo de las formas, pero algunos han ido dejando de lado la estética.

El futuro en el mundo de los puentes dependerá de lo que se está haciendo hoy en día. La mejora del acero y la aparición de hormigones más resistentes, evolucionarán el rendimiento de la construcción según las posibilidades económicas y el análisis mecánico que proporcionen los ordenadores, la configuración de barras o los elementos finitos.

En lo que concierne a la materialización de un diseño, la elección de sus componentes debe tener en cuenta la posibilidad de emplear materiales reutilizados que ayuden a la protección del medio ambiente. El proceso constructivo de los elementos debería estar basado en energías limpias y renovables⁴. Con unos materiales elegidos conscientemente, se pueden reducir las emisiones de CO₂ del proceso de construcción, reutilizar una materia cuyo periodo de vida útil sigue siendo efectivo y ayudar en la lucha para frenar el cambio climático⁵.

⁴. Objetivos de desarrollo sostenible (ODS):
nº 7 (energía asequible y no contaminante) y nº 12 (producción y consumo responsables)

⁵. Objetivos de desarrollo sostenible (ODS):
nº 11 (ciudades y comunidades sostenibles) y nº 13 (acción por el clima).



Imagen 2. Puente Vizcaya, Bilbao, año 1893. Fuente: elcorreo.com

Por otro lado, las obras de ingeniería presentan una dificultad añadida y es la escala. Normalmente, este tipo de proyectos son de gran tamaño lo que conlleva que tengan un elevado peso, que se utilice una gran cantidad de material, que estén sometidos a unos grandes esfuerzos y, por consiguiente, que la construcción sea compleja. En cambio, las obras de los arquitectos son de un tamaño más reducido, pero su problema es hacer funcionar un edificio al completo y traducir la función en espacio.

Ambas profesiones deben enfrentarse a proyectos que suponen retos, ya sea crear un modo de atravesar de un lado a otro sin tener que dar la vuelta a una bahía o, crear espacios habitables de calidad para los habitantes de una población. Aun así, existe un objetivo común en estas obras y es el deseo o la voluntad de mejorar la vida de las personas. En el interior del ser humano ha existido siempre la intención de prosperar y, en ello, han ayudado mucho, oficios como el del arquitecto o, a partir del siglo XIX, el de ingeniero.

El trabajo conjunto de grandes ingenieros y arquitectos da lugar a proyectos significativos en el mundo de la construcción. Y muchas veces, la idea innovadora de un arquitecto puede llegar a ser realmente una solución única con la visión técnica de un ingeniero. Pero esto no siempre funciona así y son numerosos los desacuerdos entre compañeros de obra.

Dos profesionales que se entendieron muy bien y crearon un proyecto a destacar fueron el arquitecto Sáenz de Oiza y el ingeniero Javier Manterola Armisen. Juntos llevaron a cabo el diseño del edificio de Torres Blancas, en Madrid. El, por aquel entonces, estudiante Manterola participó en el diseño de la estructura, en la elección de materiales y en toda la parte constructiva.

Esto permitió al ingeniero aprender de un experimentado arquitecto. Por esa razón, el trabajo de investigación que se desarrolla a continuación, tiene como objetivo poner en valor la carrera profesional del ingeniero, anteriormente nombrado, Javier Manterola. Este análisis trata de mostrar cómo se ve la ingeniería a través de sus ojos y qué es lo que le ha llevado a ser un profesional de tan alto nivel, sin dejar de ser una persona realmente honesta, sabia y auténtica.

1. JAVIER MANTEROLA

1.1. INFANCIA Y ESTUDIOS

Si existe una figura que destaca entre los ingenieros españoles del siglo XX ese es Javier Manterola Armisén, ingeniero de caminos nacido en la ciudad navarra de Pamplona el 17 de junio de 1936. Proveniente de una familia numerosa, tenía cuatro hermanos y una hermana, fue el único de los hermanos que eligió el camino de los números y la ingeniería pues, el resto de sus hermanos decidieron ir por las ramas de la medicina, abogacía, pintura y religión.

En su familia no había antecedentes en el mundo de la construcción, fue el primero en decantarse por ese mundo. Pero, cuando era un joven niño no tenía esta idea tan clara. Pues, como la mayoría de los niños a esas edades, quería ser futbolista. Sin embargo, como él mismo cuenta en una entrevista para la Fundación Juan March, su padre siempre le dijo que, si no destacaba entre los muchos jugadores de fútbol, no podría ganarse la vida: *“Puedes ser un buen ingeniero de caminos, o un futbolista mediocre”*⁶.

Otros de sus pasatiempos eran correr los encierros de la festividad de San Fermín en su ciudad natal, Pamplona. Por otra parte, era un gran amante de las matemáticas. Por este último motivo decidió estudiar una carrera técnica.

Con 17 años decidió irse a Madrid para ingresar en la Escuela de Ingeniería. Él mismo cuenta que en esa época la mayoría de los estudios universitarios solo podían realizarse en Madrid. Así pues, se mudó a la capital y antes de empezar en la escuela, tuvo que pasar por una dura e intensa preparación que le permitió aprobar el examen de ingreso. Después de esta preparación, afirma que la carrera de ingeniero no le resultó difícil.



Imagen 3. Javier Manterola Armisén.
Fuente: Círculo de Bellas Artes de Madrid

⁶. Manterola Armisén, Javier. *El puente es la estructura por antonomasia*.
Entrevista de la Fundación Juan March

1. 2. PRIMEROS AÑOS COMO INGENIERO

En 1962 se graduó como ingeniero de Caminos, Canales y Puentes y dos años después, en 1964, terminó su doctorado y obtuvo el título de Doctor Ingeniero de Caminos. Ese mismo año, abandonó la empresa Huarte y Cía en la que había estado trabajando, para pasar a formar parte del Instituto Eduardo Torroja como investigador de plantilla. Pero no fue hasta 1966, cuando comenzó su carrera profesional en "Carlos Fernández Casado S. L." En esta oficina se convirtió en asociado y sigue formando parte del equipo, pero actualmente ocupa el puesto de Presidente y/o Consejero Delegado.

Considera a Carlos Fernández Casado como su profesor y referente en el campo de la ingeniería. La visión humanista que tenía Fernández Casado sobre las cosas, le permitía hablar de todo en cuanto a los puentes. No conversaban solo de la dificultad que acarrearán estas construcciones sino también, del paisaje que iba a configurar el puente, las formas que podía adaptar el diseño, etc.

En 1976 se convirtió en Catedrático de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos de Madrid, y comenzó a dar clase de la asignatura de Puentes en esta misma escuela. El propio Manterola afirma que su época como profesor le trae muy buenos recuerdos, pues sentía una gran alegría al conversar con sus alumnos y compartir sus visiones sobre diferentes obras.

Como bien se ha dicho antes, Manterola terminó la carrera en el año 1962 y, en ese periodo, lo habitual era que los estudiantes de ingeniería de caminos, al acabar la carrera, comenzaran a trabajar con un arquitecto, calculando las estructuras de los edificios que se iban a construir. Pero el conjunto de las variables que exige un edificio era muy diferente de las variables de las estructuras de los puentes. Los arquitectos dominaban muy bien estas variables ya en la época y, el trabajo de los ingenieros se le quedaba pequeño a J. Manterola. Él quería más, sentía la necesidad de arriesgar en otros campos y hacer cosas diferentes. Es ahí cuando decidió meterse de lleno en el mundo de la ingeniería y, sobre todo, en el de los puentes.

1. 3. INGRESO EN LA REAL ACADEMIA DE BELLAS ARTES SAN FERNANDO Y DISCURSO

Javier Manterola no es solo un apasionado de la ingeniería sino, además, del arte y de la filosofía, por ello, en 2006 se convirtió en miembro de la Real Academia de Bellas Artes de San Fernando. En el momento en el que entró a la institución, era el único ingeniero de todos los miembros. La explicación que le ve a esto es que, él mismo se define como una persona que hace puentes pero que, además, se interesa en otros temas como pintura, escultura, música, etc. Y critica a aquellos que solo se interesan en el campo al cual se dedican profesionalmente.

El día de su ingreso en esta institución, pronunció un interesante discurso en el que trató, sobre todo, el tema de la ingeniería, pero también añadió una visión crítica a este y a otros campos como la arquitectura.

Empezó su discurso expresando que los puentes y demás obras civiles forman parte de nuestra vida cotidiana pero no se suelen considerar como obras de arte. Continuó afirmando que lo mismo pasa con la mayoría de los edificios proyectados por los arquitectos, aunque en este campo, la historia facilita que las obras se muevan más a menudo por el mundo artístico. Como bien expresa textualmente Manterola, *“cuando el mundo de los críticos y entendidos en general, se manifiesta sobre una obra y la califica como arte, lo es”*⁷.

Además, en su discurso habla de la técnica, la ciencia y la historia de las formas construidas, dado que, toda construcción necesita una técnica que la dote de resistencia y haga posible su realización. Continuó mostrando lo asombroso que encuentra que se hayan podido llevar a cabo obras de arquitectura a lo largo de la historia con la escasa técnica que se conocía. Lo mismo ocurre en el campo de la ingeniería y, como ejemplo, propone el puente romano de Alcántara que data de unos dos mil años atrás.

Antiguamente la estructura y la forma de los puentes siempre eran las mismas sea quien fuere el autor y, por eso, expresa que muchas veces el ingeniero se encuentra sin historia, sin referentes en los que basarse a la hora de proyectar, es el propio autor quien va construyendo su universo formal. Esta realidad es muy cierta, y es que, el mismo Manterola ha ido investigando en las estructuras de sus propios puentes, ejemplo de ello es la estructura del puente de Euskalduna en Bilbao.

Afirma que la tecnología y la ciencia van siempre ligadas y que una da origen a la otra y viceversa. Un ingeniero no cuenta con la misma libertad que un arquitecto a la hora de elegir los materiales de sus obras, ya que, la resistencia de las obras civiles depende muchas veces de los materiales de los que estén hechas, o de las uniones de estos materiales, las cuales podrían empeorar la respuesta de la construcción si no se encontraran bien terminadas.

En cuanto a la forma de los puentes, J. Manterola expresa su pesar por la falta de sensibilidad, de algunos compañeros de profesión, a la hora de proyectar. Esto se deja ver en la gran cantidad de ingenieros que se aferran al famoso lema *“menos es más”*⁸ y a otros tantos que se niegan a indagar en la forma para llegar a un producto más artístico. La explicación que se podría dar a esto es que, los ingenieros no tienen que inventar formas ni buscar la belleza para vender sus productos, como si están obligados a hacer los arquitectos.

En cuanto a este tema Manterola comenta que anteriormente, los ingenieros y los arquitectos trabajaban conjuntamente, pero esto ha ido dejando de ser así, hasta llegar a un punto en el que el arquitecto propone una forma y el ingeniero resuelve los problemas técnicos. Y es ahí donde se han producido y

⁷. Manterola Armisén, Javier. *El puente es la estructura por antonomasia*.
Entrevista de la Fundación Juan March

⁸. Van der Rohe, Mies. 1920, *“Less is more” (Menos, es más)*

donde se producen esos pequeños enfrentamientos entre arquitectos e ingenieros. Pero, de estos desacuerdos formales y técnicos, nacieron obras realmente innovadoras y de primera calidad, como ejemplifica Manterola con el Frontón de Recoletos, obra de Eduardo Torroja donde también intervinieron el ingeniero Carlos Fernández Casado y el arquitecto Secundino Zuazo.

Estos desacuerdos entre profesionales de la ingeniería y de la arquitectura son cada vez más comunes dado que, los avances técnicos y tecnológicos permiten llegar a investigaciones formales y estructurales, las cuales eran imposibles de plantear en el pasado. Sí es cierto, que cuando un individuo se encuentra delante de una obra arquitectónicamente excelente, los halagos siempre son para el arquitecto o los arquitectos que la han concebido, olvidando a los ingenieros que también han participado y han ayudado a que se pudiera llevar a cabo la construcción.

Este podría ser el caso del Guggenheim de Bilbao. Frank Gehry es el nombre que se le viene a la cabeza a todo el mundo que observa y admira este edificio, pero nadie, o casi nadie, se para a pensar en el grupo de ingenieros que participaron en el proyecto.

Tras poner en valor la figura del ingeniero, Javier Manterola continúa su discurso de admisión a la Academia de Bellas Artes, hablando sobre la relación del puente con el terreno y el paisaje. Y es que, el autor bien dice que *“encajar es distinto que colocar”*⁹. El puente y el terreno deben interaccionar y resistir juntos, pero no solo están relacionados por ese aspecto, la forma del puente depende, muchas veces, del paisaje. Una obra variará su forma si se encuentra en un valle, entre laderas de montañas, o en medio de una gran ciudad.

Además, incluye otras obras de ingeniería como las presas, las carreteras o las líneas de ferrocarril y destaca la gran dificultad a la que se enfrentan los ingenieros al tratar de relacionarlas con el paisaje y adecuarlas al terreno. Trabajo que una vez más, tienen más fácil los arquitectos, ya que, los edificios suelen ser obras de menor tamaño que podrían ser tratados como esculturas. La escultura crea formas geométricas complejas que nos descubren las características del terreno donde se encuentran.

El objetivo de su discurso se podría resumir en poner en valor la figura del ingeniero, destacando el puente como obra dado que, *“es mucho más que fórmulas matemáticas”*¹⁰. Además de abrir un camino para *“pensar la estética de la ingeniería”*¹¹. Finaliza el discurso recalcando el amor que siente por los puentes y cómo forman parte de su vida. Los valores o significados que pueda tener una obra de ingeniería serán distintos para cada persona según sean los sentimientos que provoque esta obra y la visión artística de cada individuo.

⁹. Manterola Armisén, Javier. 2017. *El puente es la estructura por antonomasia*. Entrevista de la Fundación Juan March.

^{10,11}. Manterola Armisén, Javier: 9 de marzo de 2017 'La buena ingeniería se hace bajo presión, sin adorno' | Babelia | EL PAÍS.

1. 4. CARRERA PROFESIONAL

A lo largo de su carrera profesional, Javier Manterola ha participado en la construcción de más de 200 proyectos en Europa y América, tanto Latinoamérica como Estados Unidos y Canadá. Es el principal autor de un gran número de ellos. Entre las infraestructuras constructivas que ha llevado a cabo se pueden encontrar iglesias, campos de fútbol, torres de oficinas, naves industriales, estaciones de autobuses, metro y ferrocarril, auditorios, pero hablar de puentes en España es hablar de Javier Manterola, ya que sobre todo realizó puentes, viaductos y pasarelas.

Si se ordenan sus proyectos cronológicamente, se podría ver una intención de mejora o corrección en su línea de trabajo, como también se apreciaría que no existe repetición en sus esquemas formales. J. Manterola lo explica con sus propias palabras en una entrevista: *“Cuando uno empieza a trabajar, al principio copia mucho, pero poco a poco va incorporando a su persona cosas que han hecho los demás, cosas que ha aprendido uno. Y poco a poco se va configurando un mundo interior que sabe hacer las cosas”*¹².

Para el ingeniero, construir un puente no es construir algo para que crucen las personas y facilitarles la vida, sino que, es un reto técnico que tiene que conseguir solucionar por orgullo propio. Él mismo afirma *“Yo cuando hago un puente no pienso que estoy uniendo esta orilla con esta otra y así podrán estos señores entenderse mejor, nunca lo he pensado así, es un reto técnico, es un problema que te afecta y que quieres vencer”*¹³.

Para un ingeniero, como para un arquitecto, el primer proyecto es algo que será siempre recordado y formará parte de uno mismo. El primer proyecto en el que participó Manterola fue en la construcción del edificio de Torres Blancas, en Madrid, con el arquitecto Sáenz de Oiza. En ese entonces, J. Manterola no había terminado la carrera de ingeniero de caminos, pero ya trabajaba para Huarte y Cía. En esta obra, Manterola participó en la concepción de la estructura resistente, los materiales y todo lo relativo a la parte constructiva del proyecto.

Además, ha trabajado con algunos de los arquitectos españoles más prestigiosos de finales del siglo XX como Francisco Javier Sáenz de Oiza, en el edificio de Torres Blancas, o con Rafael Moneo en el Kursaal de San Sebastián.



Imagen 4. Edificio de Torres Blancas, Madrid. Fuente: HIC arquitectura

^{12,13}. Manterola Armisén, Javier. 2017. *El puente es la estructura por antonomasia*. Entrevista de la Fundación Juan March.

La pasión por los puentes es lo que ha hecho que Manterola profundizara en sus investigaciones estructurales y/o formales de este tipo de construcción. Él mismo afirma que *“la ingeniería no podía quedarse en una repetición al infinito de las buenas soluciones encontradas, es el momento de crear formas resistentes nuevas que amplíen las muy optimizadas formas heredadas.”*¹⁴

En las obras de J. Manterola existe un componente de atrevimiento que es necesario para crear proyectos de tal envergadura e importancia a nivel técnico. Además, muestra una gran precisión a la hora de modelar la geometría de sus proyectos. Cabe destacar la satisfacción que siente, cada vez que finaliza la construcción de uno de sus puentes curvos, puesto que, las geometrías curvas son las formas que más le apasionan.

El primer puente de Manterola como ingeniero fue el puente de Torre Baró en Cataluña. Aunque no destaque por su estructura o por su forma, esta obra es muy importante personalmente para él ya que, era el primer reto al que tenía que enfrentarse. Por esa razón, cuenta entusiasmado lo que sintió en ese momento: *“Te presentan un problema, lo dibujas, (...) pero la impresión que tienes cuando está acabado, dices esto que está ahí lo he dibujado yo y está construido. Eso es algo absolutamente impresionante (...) es como un hijo”*¹⁵.

El primer puente que dibujó era una copia de otro ya existente, él mismo era consciente de que no estaba inventando nada, pero se aferraba a la idea de que las mejores obras son copias de otras que ya existen, y estaba en lo cierto.

Otro puente al que el ingeniero le tenía un gran aprecio es el puente elevado de Cuatro Caminos, que también fue uno de sus primeros proyectos, pues se realizó en 1969, cuando ya trabajaba en la oficina de Carlos Fernández Casado. Pero este puente se derribó en 2004 cuando el Ayuntamiento de Madrid decidió llevar a cabo una reforma integral de los espacios urbanos de la ciudad, para así conseguir reducir la contaminación, evitar el colapso del tráfico y mejorar el tejido urbano.

Esta decisión fue complicada para Manterola, pues se trataba del primer puente que había construido en Madrid, en un entorno urbano, además de que la ubicación le había resultado muy difícil de resolver ya que se situaba sobre una ladera. Fue un proyecto que tuvo mucho éxito y que incluso se pensó en conservar una sección transversal como monumento recordatorio a la obra, pero que finalmente no se hizo.

A veces, se tiende a pensar que el proyecto más apreciado por un ingeniero es aquel de mayor envergadura, como sería, en el caso de Manterola, el Puente de la Constitución de 1812 en Cádiz, inaugurado en 2015. Pero, el puente al que más aprecio le tiene el ingeniero es al puente de Euskalduna, debido a las dificultades a las que tuvo que enfrentarse y a los resultados innovadores a los que llegó para resolver esos problemas. El propio ingeniero afirma que nunca se tienen todas las respuestas y rara vez se da con la solución perfecta, pero eso es lo realmente estimulante de la profesión.

¹⁴. Manterola Armisén, Javier. 7 de agosto de 2015. IX Seminario de Ingeniería Vial - Innovaciones en materia de tecnología de puentes - YouTube.

¹⁵. Manterola Armisén, Javier. 2017. El puente es la estructura por antonomasia. Entrevista de la Fundación Juan March.

1.5. PREMIOS Y RECONOCIMIENTOS

Según la opinión de Javier Manterola, existen dos tipos de ingenieros: el ingeniero de despacho y el ingeniero de obra. Él mismo se considera un ingeniero de despacho porque dibuja y realiza el diseño, el cual a veces es demasiado arriesgado y, cuando llega a la obra y muestra la propuesta, los profesionales que se encargan de la construcción, rechazan la propuesta por lo arriesgada y fantasiosa que es.

La moraleja que se puede sacar de esta reflexión es que, está bien ser ingeniero de despacho y arriesgar en los diseños para crear obras destacables, pero siempre hay que mantener los pies en la tierra y tener muy en cuenta que esos diseños van a ser construidos realmente y tendrán que cumplir una serie de condiciones estructurales necesarias para su aguante.

Manterola nunca ha buscado un premio, no trabaja para ser reconocido de esa manera. Trabaja porque es su pasión y disfruta de ello. Aun así, agradece todos los premios y reconocimientos que se le han otorgado, que son numerosos, gracias a la calidad de su trabajo.

Estos premios son tanto nacionales como internacionales y el primero de ellos lo recibió a los pocos años de comenzar en el mundo de la ingeniería, en 1974 y éste fue el Premio Sercometal a la mejor estructura metálica realizada en España, por el proyecto de la Pasarela Colgada de la Plaza de las Glorias en Barcelona. Otros premios a destacar serían la Medalla Ildefonso Cerdá del Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de Barcelona en 1995, el premio Brunel Award-Copenhagen International Design Competition al Viaducto-Túnel de Pensil en México en 1996, en 2001 recibió el premio IABSE outstanding structure award por el Puente de Euskalduna y además, en 2003 le fue otorgado el Premio Construmat a la innovación tecnológica por el puente sobre el río Ebro para la Línea de Alta Velocidad (L.A.V.) Madrid-Zaragoza-Barcelona-Frontera Francesa. El último de los reconocimientos que recibió fue el Premio ICARO de la Escuela de Ingenieros de Caminos de A Coruña en 2013.

1. 6. REFLEXIONES DE JAVIER MANTEROLA

Los puentes han formado parte de la vida del ingeniero desde sus inicios. Gran amante del arte, observaba los cuadros de pintores del romanticismo alemán, donde siempre aparecían puentes, y es que, *“desde pequeño uno sabe lo que es un puente antes de empezar a saber hacer puentes (...) es una cosa para salvar un obstáculo, pasar de un lado a otro y nada más (...) eso no es todo, cuando uno pone una estructura de un tamaño más bien considerable, el sitio, el espacio, el paisaje, cambia radicalmente con la presencia de esa obra”* ¹⁶.



Imagen 5. Javier Manterola durante la construcción del Puente de la Constitución de 1812, Cádiz, año 2014. Fuente: ABC.es

Manterola siempre ha sido un gran defensor de mirar las obras para entender los puentes. Afirma que es muy importante para un ingeniero de caminos, canales y puertos, ir a ver puentes, visitarlos, atravesarlos, analizar sus estructuras, los terrenos en los que se hallan, etc. Para así seguir aprendiendo, relacionar cómo aguantan las formas y, por supuesto, cometer el mínimo de errores posible.

“Hacer es fundamental para saber” ¹⁷. En esta entrevista también comentó el lugar que ocupa España en cuanto a la construcción de puentes. Afirma que en España *“se sabe mucho porque se ha hecho mucho”* ¹⁸ y que los estudiantes tienen que hacer puentes para aprender verdaderamente la profesión de ingeniero.

Antiguamente, cuando no existía la tecnología actual y todo se calculaba a mano, en todo el mundo se desplomaban gran cantidad de puentes que estaban siendo construidos, al contrario que en España, donde la cantidad de obras que fallaban estructuralmente y caían, era mínima. Esto se debe a que se arriesgaba poco en el diseño de los proyectos.

^{16,17,18}. Manterola Armisén, Javier. 2017. *El puente es la estructura por antonomasia. Entrevista de la Fundación Juan March.*

1. 7. PUENTES SELECCIONADOS PARA EL ANÁLISIS

Entre las más de 200 obras de Manterola se van a analizar tres de ellas, elegidas por su innovación, forma o historia. En primer lugar el Puente de Euskalduna, construido en Bilbao en 1997, el cual cuenta con una estructura nueva, nunca antes se había hecho algo similar. Está situado en una zona de alta concurrencia de peatones y por eso, se decidió hacer una estructura suelo techo que protegiera de la lluvia de Bilbao. La manera de unir el techo y el suelo fue empleando una viga en celosía curva que separara tráfico rodado y peatonal, de forma que se ven, pero no se mezclan.

En segundo lugar, se analizará el puente sobre el Río Galindo, de 2007, que también se encuentra en Bilbao, en la desembocadura de la ría del Nervión. Es un puente metálico atirantado que revitalizó el barrio en el que se encuentra situado. Además, se encuentra situado junto a un puente histórico que lleva el mismo nombre. Su estética es destacable, innovadora y no deja indiferente a nadie.

Por último, la Pasarela del Voluntariado para la Exposición Universal de Zaragoza de 2008, con su diseño querido por todos los zaragozanos. Premiada como la mejor obra de la Expo, actualmente se trata de un lugar de encuentro para los habitantes de la ciudad. Además, formó parte de las distintas actuaciones que se llevaron a cabo dentro del Plan de renovación de la ribera del río Ebro.



Imagen 6. Puente de Euskalduna, Bilbao. Fuente: skyscrapercity.com



Imagen 7. Puente sobre el Río Galindo. Fuente: sestao.eus (Ayuntamiento de Sestao)



Imagen 8. Pasarela del Voluntariado. Fuente: Oficina de Carlos Fernández Casado S. L. (CFCSL)

2. PUENTE DE EUSKALDUNA

2.1. EMPLAZAMIENTO

La primera obra que se va a estudiar es el Puente de Euskalduna, el cual se encuentra en un entorno urbano, en la ciudad de Bilbao, Vizcaya, País Vasco, a orillas de la Ría de Bilbao o Ría del Nervión, y sirve de nexo entre la Plaza del Sagrado Corazón de Jesús y la Ribera de Botica Vieja. Reduce la distancia de paso al barrio de Deusto desde la plaza del Sagrado Corazón.

La construcción comenzó en 1994 y la inauguración tuvo lugar el 18 de abril de 1997. El presupuesto que se necesitó para llevarlo a cabo fue de 2.494 millones de pesetas. Por otro lado, su nombre hace referencia a los antiguos astilleros situados en ese mismo lugar hasta finales de los años 80. A su alrededor también se encuentran algunas construcciones que recogen ese mismo nombre, como el Palacio Euskalduna de Congresos y de la Música.

Llegar hasta esta obra a pie o en transporte público es fácil dado que, a unos pocos metros se encuentran las paradas de metro de San Mamés y de Deusto, la parada de tranvía de Euskalduna y de autobús, Gran Vía. Teniendo en cuenta estas características, se puede comenzar a imaginar que se trata de una ubicación de cierta importancia dentro de la ciudad de Bilbao.



Imagen 9. Puente de Euskalduna, Bilbao, vista aérea. Fuente: argazki.irekia.euskadi.eus

2. 2. OBJETIVOS

La idea de construir este puente surgió de la necesidad de reducir el tráfico del puente de Deusto, construido de 1932 a 1936 por los ingenieros Ignacio de Rotaeché y José Ortiz de Artiñano, que dista unos 500 metros el puente de Euskalduna. Como curiosidad, hay que añadir que, éste fue derribado en 1937, durante la Guerra Civil y reconstruido entre 1938 y 1939. Era un puente móvil que permitía su apertura para dar paso a embarcaciones de grandes dimensiones, hoy en día, el mecanismo de apertura ya no se acciona dado que, el gálibo del puente de Euskalduna es inferior y bloquea la entrada de veleros por la ría del Nervión.

2. 3. ASPECTOS TÉCNICOS

2. 3. 1. FORMA

En cuanto a la forma del puente, presenta una total sensación de asimetría dado que, en planta, forma un ángulo que se acerca a los 90 grados, con un arco de circunferencia de 120 metros de radio, además de un tramo recto que desciende hasta la plaza del Sagrado Corazón de Jesús.

En alzado, la diferencia en el gálibo entre un extremo y otro, de la construcción, es de casi 11 metros de altura. Es un puente curvo, formado por tres vanos, uno central de 113 metros de anchura y dos laterales de 75,4 metros cada uno. Es el vano central, el que salta la Ría de Bilbao y, por lo tanto, es el de mayor dimensión.

Este alzado deja ver el respeto con el que el ingeniero realizó el diseño de la obra pues el puente no se acerca al agua en ningún momento, sino que, se eleva delicadamente sobre ella para sobrevolarla y volver a descender en la orilla contraria para tocar tierra unos metros después.



Imagen 10. Forma Puente de Euskalduna.
Fuente: elcorreo.com



Imagen 11. Parte interior del puente. Fuente:
Oficina de Carlos Fernández Casado S. L.
(CFCSL)

Con esta actuación, Manterola consigue camuflar el alzado, la planta y la sección en el entorno urbano en el que se encuentra. Y es que, además, desde el puente se puede contemplar una fantástica panorámica de la Ría del Nervión y sus alrededores. Esto es en principal medida, gracias a su forma curva que amplifica los márgenes de la perspectiva.

Cabe destacar la existencia de dos elementos en la margen de Botica Vieja. Estos componentes son una escalera helicoidal de dos brazos que rodean un mástil de 45 metros de alto. Las escaleras permiten a los viandantes acceder al puente desde el parque situado en la Ribera anteriormente nombrada. En cambio, la función del poste es meramente de iluminación.

Si se analiza la escalera helicoidal situada en el extremo de la Ribera de Botica Vieja, se verá que su estructura es diferente a la del resto de la obra. Esto es así puesto que, se sustenta gracias a dos vigas transversales que se colocan a ambos lados del diafragma.



Imagen 12. Escaleras y mástil en la margen de Botica Vieja. Fuente: Oficina de Carlos Fernández Casado S. L. (CFCSL)

Además, de la cubierta de la acera parten unos tubos que bajan adosados a algunos de los cordones de la celosía. Estos elementos, situados a lo largo de todo el recorrido del puente, forman el sistema de recogida de aguas. Es obvio lo bien integrados que están los tubos ya que, gracias a su forma y a su color, parecen otro elemento estructural más.

2.3.2. ESTRUCTURA

La estructura principal está formada por un dintel recto, mixto y pretensado con sección en "Z". Transversalmente el dintel o cajón, está formado por vigas que distan unas de las otras una distancia de 5,4 metros. Estas vigas se dividen en tres partes, que formarían la sección "Z". Es una solución única que nunca había sido empleada.

Así pues, los elementos que se encuentran en esta unidad estructural serían una viga de cajón horizontal en la parte inferior, una celosía vertical inclinada y una celosía horizontal superior. Es en esta parte superior donde se instala la cabeza de composición de la viga y la celosía de arriostramiento y de resistencia lateral.

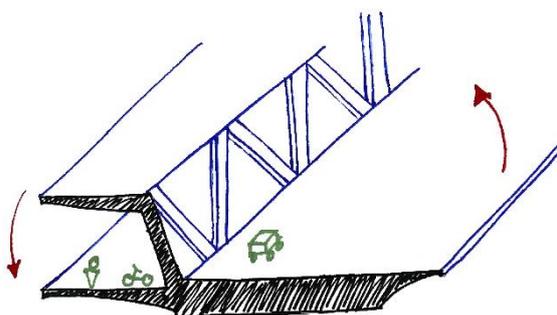


Ilustración 1. Esquema en Z del Puente de Euskalduna (elaboración propia)

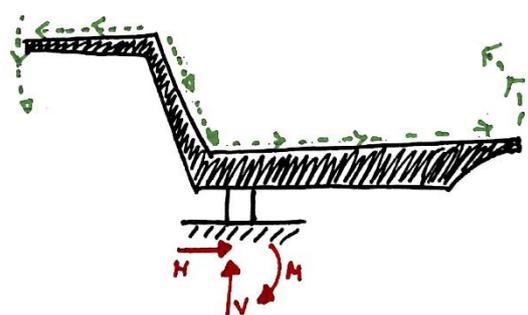


Ilustración 2. Flujo de fuerzas Puente de Euskalduna (elaboración propia)

Analizando cada una de las partes de la estructura, la sección inferior está conformada por una viga de cajón de 1,95 metros de canto y 10 metros de ancho. Su realización se llevó a cabo con chapas cuyo espesor variaba de 20 a 60 milímetros; tiene cinco almas, una central y dos en cada extremo.

El ancho del tablero es de 27,5 metros de los cuales, 14 metros quedan asignados a los vehículos para conformar los cuatro carriles que recorren el puente y una separación intermedia que diferencia los dos sentidos de los carriles rodados. Se prolonga con costillas metálicas vistas, en un voladizo de 10 metros de longitud, que formaría la solera de viandantes y ciclistas. Y, los 3,5 metros restantes están reservados para la celosía y las barreras protectoras, tanto de la curva interior como de la exterior del puente. Esta parte de la viga, que forma la componente inferior de la "Z", tiene canto variable. Así pues, su canto va desde 10,17 metros hasta 11,8 metros.

Encima del cajón y apoyada sobre las viguetas longitudinales, se situó una chapa plegada que funciona como encofrado perdido y soporta la losa de hormigón de 20 cm de espesor. Ambos elementos, viguetas y chapa plegada, quedan vistas por la cara inferior del puente.

La celosía metálica inclinada hacia el exterior de la curva forma el alma de la viga que constituye el componente vertical. Este elemento separa la circulación de tráfico rodado de la de peatones y carril-bici y actúa como viga principal de la Z.

La parte superior de la “Z” está formada por un ala triangular que mide 10 metros de ancho y sirve como cubierta de la acera de peatones. Este factor es muy apreciado por los habitantes de la población ya que, Bilbao es una ciudad muy húmeda en la que las lluvias se dan en abundantes ocasiones.



Imagen 13. Cara inferior del puente. Fuente: Euskalduna_zubia



Imagen 14. Estructura del tablero inferior. Fuente: Oficina de Carlos Fernández Casado S. L. (CFCSL)



Imagen 15. Calzada y celosía inclinada. Fuente: www.acampos.es

2.3.3. APOYOS Y CIMENTACIÓN

Dos cilindros de 2,4 y 1,6 metros de diámetro forman los apoyos principales, los centrales, que se apoyan sobre 6 pilotes de 2 metros de diámetro y 20 m de profundidad. Los estribos laterales son diferentes en cada margen del puente. A la izquierda de la Ría, el dintel se apoya sobre el borde de la plaza circular de 70,9 metros de radio. Bajo esta plaza se encuentra el parking del Palacio de Congresos, por eso, la cimentación que se empleó está compuesta por pilotes de 1,5 metros de diámetro y 20 m de profundidad.

En la margen que corresponde al lado del barrio de Deusto, en el muro frontal parte de la cimentación se repite, con los mismos 6 pilotes de idénticas medidas. Pero, además, se añadieron 2 pilotes más, de 1 metro de diámetro. Es en este estribo en el que se encuentran las instalaciones eléctricas del puente.

La cimentación de este proyecto fue algo que se estudió de manera exhaustiva dado que, el terreno en el que se encuentra el puente está compuesto de arcillas y limos. En definitiva, el equipo de profesionales que se encargó de la construcción del puente tuvo que lidiar con serios problemas para conseguir que un terreno blando como este, pudiera sostener las 1.650 toneladas que pesa la obra, sin hundirse.

Desafortunadamente aun habiendo llevado a cabo serios estudios geológicos para encontrar la cimentación adecuada, el puente ha sufrido diferentes asentamientos a lo largo de sus 23 años de vida. Estos acontecimientos serán comentados posteriormente.

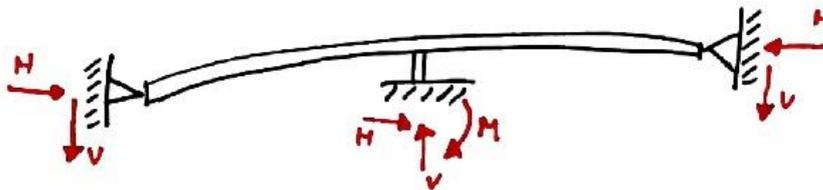


Ilustración 3. Reacciones en apoyos Puente de Euskalduna (elaboración propia)

2.3.4. RESISTENCIA

Los 2 metros de canto permiten a la celosía resistir la flexión longitudinal y actuar como ménsula empotrada en el cajón, recogiendo la componente radial de los esfuerzos axiales de los cordones superiores que son producidos por la curvatura de la planta del puente. El elemento superior del conjunto de la estructura también queda involucrado en la resistencia del conjunto, éste reparte los esfuerzos desde los apoyos hacia el interior de la curva y hacia fuera en los vanos. La estructura trabaja de esta manera a lo largo de toda la viga.

El pandeo se evita dotando a la parte superior de la viga cajón de una triangulación en forma de "K". Además, este sistema también dota al conjunto de rigidez a torsión. En definitiva, el esquema resistente queda claramente explicado con la sección.

Por otra parte, la celosía tiene varias funciones entre las que se pueden encontrar la separación de vehículos y viandantes y el actuar como viga principal y alma de una Z que, junto con el cajón, resisten la torsión. La forma curva de la obra ayuda a la estructura a soportar los esfuerzos. Si el puente hubiese sido recto hubiera tenido serios problemas y hubiera sido necesario aumentar el canto del dintel.

2.3.5. PROCESO CONSTRUCTIVO

El proceso constructivo del Puente de Euskalduna se llevó a cabo por medio del empuje del tablero. Este método consta de los siguientes pasos, primero se construye el tablero metálico por partes y en talleres. Cada una de las partes recibe el nombre de semipunte. Al finalizar su elaboración, se llevan a la obra para montar cada semipunte en la orilla que le corresponde.

A continuación, se utilizaron gatos horizontales para situarlos en el lugar exacto en el que deben ir. Una vez colocados los semipuentes, se realizó un atirantado provisional que ayudaba al ajuste de la deformación y a poder seguir con el montaje. Asimismo, este proceso permitió soportar la losa de hormigón mientras está blanda.

El siguiente paso fue el hormigonado y pretensado del tablero. Por último, cuando ya estaban todos los elementos resistentes colocados, se eliminaron los tirantes provisionales. Este paso hizo que las diferentes partes de la estructura comenzaron a trabajar.



Imagen 16. Construcción del puente. Fuente: Oficina de Carlos Fernández Casado S. L. (CFCSL)

2.3.6. MATERIALIDAD

El metal fue el material elegido para la realización de esta construcción. Una de las razones de esta elección se debe a que las secciones transversales metálicas trabajan mejor a torsión que el hormigón, el cual al fisurarse pierde mucha rigidez a torsión, lo que conllevaría un importante aumento de la flexión debido a la forma curva de la obra.

Además, otra de las razones de su elección es su larga vida útil, ya que, los puentes son estructuras que perduran muchos años en el tiempo. Esto podría deberse a los numerosos controles de calidad que pasan los distintos tipos de acero, en los laboratorios en los que se producen.

Por otra parte, el acero es un material maleable, fácil de manipular, modificar y reparar. Si se tuviera que realizar alguna intervención superficial en la estructura, esto no llevaría mucho tiempo e incluso, podría evitarse el tener que cortar el tráfico para ello. Asimismo, cambiar su aspecto es fácil aplicando un revestimiento en forma de capa de pintura.

A su alta resistencia se suman características como la uniformidad del material, la durabilidad, la ductilidad o la tenacidad. Y no se puede olvidar destacar que es un material sostenible y reciclable, dado que, si la estructura se retirara por algún motivo, sus elementos podrían ser reutilizados en otros proyectos.

Por otro lado, en construcciones de este tipo interesa que el proceso constructivo sea rápido y eficaz. Debido a esto, la elección del acero será la acertada puesto que, los diferentes elementos de una estructura metálica pueden ser prefabricados en un taller y después ser montados en la obra.

Otro punto muy importante es el peso del acero. Al ser un material ligero, no necesita de una cimentación extremadamente resistente para soportarlo. Además, esto también permite reducir el coste de la obra.

2.3.7. ILUMINACIÓN

El puente queda iluminado por diversos recursos. En primer lugar, existe una Torre de iluminación de 45 metros de altura situada enfrente del polideportivo de Deusto. Además de iluminar parte del puente da luz también al parque que se encuentra justo a los pies de esta. La Torre queda rodeada por una escalinata helicoidal que da acceso al puente en su margen derecho.

En segundo lugar, bajo la cubierta de la acera peatonal se dispusieron dos filas de focos que dirigen su luz directamente hacia el suelo para así garantizar la visibilidad de los peatones. La luz que es proyectada por estos focos es una luz blanca, cuyo resplandor hace variar el tono del pavimento de la solera de peatones, una vez que es. A nivel del suelo, la luz llega de manera muy difuminada, lo que hace que se mimetice con el color gris del hormigón del pavimento.

Y, por último, aunque no formen parte del puente directamente, los alrededores más cercanos a la obra están muy iluminados gracias a las decenas de farolas que se reparten por la zona del parque, por el Muelle Ramón de la Sota y por el Palacio Euskalduna de Congresos y de la Música.



Imagen17. Iluminación durante la noche. Fuente: elcorreo.com

2. 4. TEXTURAS Y COLORES

Se podría decir que el puente de Euskalduna tiene una imagen industrial. Son los materiales metálicos los que le otorgan este aspecto. Además, las texturas lisas de la cubierta y las vigas en celosía junto con los colores grises y azulados de los materiales acentúan esta imagen fabril.

Si se analiza el color de los elementos, se puede ver que el ingeniero quiso diferenciar cada una de las partes de la estructura, otorgándole un color distinto. Así pues, se tiene que la parte reservada a peatones y bicicletas es de hormigón, pero la zona ocupada por el carril bici ha sido coloreada de rojo, mientras que, la franja para viandantes ha conservado el color grisáceo del hormigón. De esta manera se ha creado una barrera visual que permite diferenciar, fácilmente, ambas zonas.

Aun así, la seguridad se podría haber reforzado colocando una barrera física, como podría haber sido un pequeño escalón que hiciera que el carril bici circulara 10 cm por debajo de la acera peatonal. Este elemento no solo garantizaría la sensación de tranquilidad de los viandantes que atraviesan la ría por el puente, sino que, intensificaría la seguridad de estas personas.

Sin embargo, la colocación de una barrera física vertical entre peatones y ciclistas, como una barandilla o algún tipo de límite vegetal, hubiera cambiado la sensación de amplitud de la acera, pues la habría empequeñecido visualmente.

Volviendo al color, la celosía que separa la acera de la calzada está teñida de un característico azul Klein. Del mismo color se encuentran revestidos la barandilla de la acera de peatones, los quitamiedos de la calzada rodada, el poste de iluminación de 45 metros de alto y las chapas que revisten el borde de la acera, es decir, el lateral exterior de la curva. Con este aspecto se deja entrever el deseo de mimetización con el agua de la Ría.

En cuanto a la cubierta de la acera, sigue la intención de camuflar la estructura con el entorno ya que, la parte exterior está revestida por un material reflejante, que hace que el azul del cielo se refleje en ella. En cuanto a la parte interior, está formada por unas láminas metálicas blancas, a las cuales se les ha aplicado un tratamiento para que reflejen suavemente la luz.

La luz que se refleja en la cara inferior de la cubierta es natural durante el día, pues se trata de la luz del sol que es proyectada entre los cordones de la celosía, rebota en la superficie de la acera y llega a la cubierta de manera muy suavizada. En cambio, durante la noche, la luz que se refleja en el pavimento de la solera es la que proviene de los focos encastrados en la cubierta. Estas dos filas de focos, que ya han sido comentados anteriormente, emiten una luz blanca que se difumina al llegar al suelo y crea un ambiente bien iluminado y agradable.

Por último, la cara inferior del puente deja vistos los diferentes elementos que componen la acera para los viandantes y ciclistas, y reviste, con chapas de acero, la calzada rodada por su cara inferior. Estas actuaciones acentúan el carácter industrial de la construcción. Además, el agua de la ría se refleja en estas superficies, creando efectos visuales, los cuales no son apreciables por la posición en la que están ubicados.



Imagen 18. Alzado interior. Fuente: Going Ingeniería Civil, Asociación de ingenieros de caminos, canales puertos



Imagen 19. Parte peatonal. Going Ingeniería Civil, Asociación de ingenieros de caminos, canales puertos

Las escaleras que dan acceso al puente desde el parque de Botica Vieja siguen la misma estética que el resto de la construcción: barandillas metálicas azul Klein, peldaños de hormigón y revestimiento lateral de la escalera con chapa metálica. El poste que está rodeado por los dos brazos de la escalera también tiene este característico color con la diferencia de que, el paso del tiempo, el vandalismo y los rayos del sol han ido debilitando la intensidad del tono. En el revestimiento de los laterales exteriores de los tramos de escalera, también se pueden apreciar las marcas de carteles adhesivos que alguna vez se pegaron ahí.



Imagen 20. Alzado escaleras helicoidales. Fuente: Going Ingeniería Civil, Asociación de ingenieros de caminos, canales puertos

2. 5. PREMIOS

Cuatro años después de la inauguración del puente, en 2001, Manterola recibió el premio de la Asociación Internacional de Puentes e Ingeniería Estructural (IABSE) Outstanding Structure Award, el cual reconoce las estructuras más innovadoras a nivel mundial. Este premio se atribuye a una, dos o, incluso tres proyectos, cada año desde el año 2000. Esta asociación volvió a conceder otro galardón a J. Manterola en 2006. Esta vez se le otorgó el Premio Internacional al Mérito en Ingeniería Estructural, como reconocimiento a sus aportaciones en el campo de las estructuras, más concretamente en el cálculo, proyecto y enseñanza de las mismas. Cabe añadir que Javier Manterola Armisen es el único ingeniero español que ha sido honrado con esta adjudicación.

Así pues, todo el tormento que vivieron el ingeniero y su equipo durante la construcción del Puente de Euskalduna, debido a todos los problemas que iban surgiendo durante el proceso, mereció la pena. Para Javier Manterola, sus puentes son como sus hijos, y recibir un reconocimiento como el Outstanding Structure Award, refuerza esa sensación de orgullo hacia el trabajo que desempeña.

2. 6. OTROS ASPECTOS

Incluido en las listas de los mejores puentes de España, la Diputación de Bizkaia fue la promotora de la construcción y la dueña hasta el año 2010, cuando la titularidad pasó a ser propiedad del Ayuntamiento de Bilbao. El proyecto es el resultado de una perfecta compenetración de lo funcional, lo formal y lo tecnológico. Además de ser el puente más querido por los bilbaínos, permite apreciar una fantástica panorámica de la ría del Nervión y facilita la conexión con la autovía A8 en ambos sentidos dado que, en una jornada pueden llegar a cruzarlo 40.000 automóviles.

Antes de que la construcción del puente fuera otorgada a Manterola, la administración de la localidad organizó un concurso, el cual ponía ya algunas condiciones sobre qué aspectos debía de tener un proyecto para ser elegido ganador. Una de estas características era que el puente debía de contar con dos aceras de cinco metros de ancho cada una y cuatro carriles, dos en cada dirección, de 3,5 metros de ancho cada uno.

El concurso fue lanzado a tres conocidos equipos de profesionales españoles, entre los que se encontraba la oficina de Carlos Fernández Casado S.L. De los tres grupos participantes salieron cuatro propuestas, pero finalmente el proyecto de Manterola destacó sobre el resto, y no es de extrañar viendo el resultado.

El ingeniero pamplonés pensó que sería mejor unir las dos aceras que pedían las bases del concurso, en una sola de diez metros de anchura que, además, estuviera cubierta ya que, Bilbao es una ciudad muy húmeda y las lluvias son abundantes. Por otra parte, el ingeniero se puso unos condicionantes funcionales que simbolizaban retos a superar ya que, el puente pertenecía al Plan Ría 2000 y tenía ciertas exigencias en cuanto a la estética.

El Plan Ría 2000 fue propuesto por la Diputación Foral de Vizcaya y buscaba la mejora de la Ría de Bilbao. La misión del puente de Euskalduna era unir dos zonas de la ciudad, la plaza del Sagrado Corazón y el barrio de San Ignacio dado que, la separación de estas áreas es tanto física como sociológica. Otras de las obras que formaban parte del plan eran el Museo Guggenheim y el Palacio Euskalduna.

Estos condicionantes eran características del tipo planta curva, pequeña altura sobre la ría o la necesidad de una acera peatonal cubierta y separada de la calzada rodada. Gracias a esos objetivos, el puente está dotado de gran originalidad y es único a nivel mundial por el uso de la celosía curva e inclinada como elemento resistente principal.

Otra de las variantes que Manterola añadió al proyecto fue un carril bici, y viendo el año en el que se llevó a cabo la construcción, 1997, este aspecto era algo muy innovador y que no se solía ver en el resto de las construcciones de la época. Esto evidencia la visión futurista del ingeniero, quien proyectó la obra pensando en el futuro y en la movilidad sostenible.



Imagen 21. Carril Bici. Fuente: Bilbaoturismo.net

2. 7. VIDA DEL PUENTE

La singularidad de la estructura y la buena ejecución no han podido evitar que el puente sufra algunos daños debido a las características del terreno sobre el que se encuentra construido. El último sobresalto que la obra dio a los bilbaínos ocurrió el 28 de junio de 2018, cuando una pieza, cuya función era meramente estética, colapsó y se partió, produciendo un escalón de 20 cm en la cubierta de la acera peatonal.

La madrugada del 28 de junio, la patrulla de Seguridad Ciudadana de la Ertzaintza, procedió a cerrar el puente tras escuchar un fuerte crujido que provenía de la obra de Manterola. A la incertidumbre de no saber si la causa de lo sucedido tenía que ver con la cimentación, se le sumó el avispero de tráfico que fue desviado hacia Abandoibarra y al puente de Deusto, puesto que, cada día atraviesan el puente unos 40.000 vehículos.

El puente permaneció cerrado durante once horas, tiempo en el cual, los operarios del Ayuntamiento de Bilbao examinaron la estructura y determinaron las causas de lo sucedido. Tras una primera inspección visual, se decidió abrir la circulación al completo salvo una parte peatonal. De hecho, se descartó la posibilidad de derrumbe dado que, el bulón afectado ya había sido reparado en 1999. Los causantes de su nueva rotura fueron el calor y las oscilaciones debidas al tráfico y al viento.

A pesar de que no existía riesgo de derrumbe, se decidió continuar con el cierre parcial del puente durante tres días más, hasta que se colocaron puntales que sujetaban la marquesina de la cubierta, para así, garantizar la seguridad de los viandantes. Por otra parte, elementos como los focos que iluminan la acera, también se vieron afectados por la rotura del bulón. No obstante, esto no fue un gran problema y rápidamente se procedió a su reparación.

Cabe destacar que, el puente está dividido en dos partes, una primera franja horizontal y una segunda que forma la rampa. Este último tramo termina en la rotonda de Botica Vieja y, es en la unión de ambos tramos donde se han producido la mayoría de los movimientos.

Para ajustar la unión de los dos tramos del puente y evitar que se sigan produciendo hundimientos en la cubierta, se diseñó e instaló una placa que une las dos partes de la cubierta. Esta pieza, además de alinear el techo, permite el movimiento de ambas partes, evitando así que se repitan situaciones de colapso en los distintos elementos.

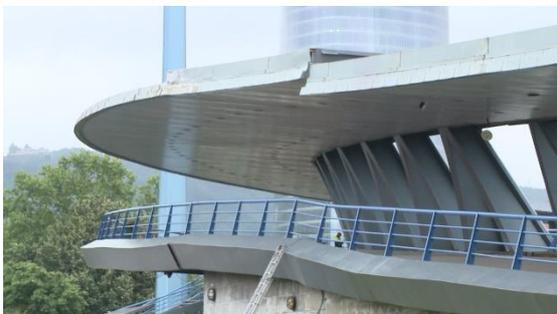


Imagen 22. Escalón de 20 cm en la cubierta. Fuente: público.es

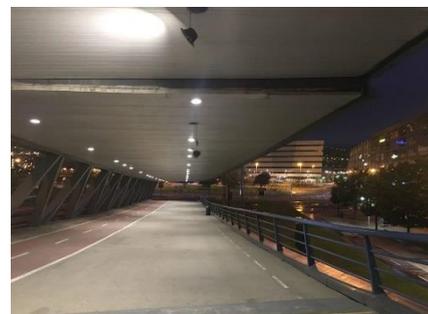


Imagen 23. Escalón en la cubierta. Fuente: cope.es

Esta reparación junto con la regularización de la solera peatonal y un estudio que evitara la posibilidad de nuevos asentamientos, se llevaron a cabo en un periodo de cuatro meses que comenzó la primera semana de octubre del año 2018. Los trabajos anteriormente mencionados, tuvieron un coste de 450.000 euros que fueron invertidos por parte de la Diputación de Bizkaia.

Sin embargo, desde casi su inauguración, se han detectado movimientos en el puente. Se barajaron varias posibles causas como la influencia de las obras del canal de Deusto o el tránsito de vehículos pesados como camiones de grandes dimensiones. Finalmente, estas causas se descartaron y se determinó que la causa principal se debía al tipo de terreno sobre el que está situado puesto que, es un terreno blando compuesto de arcillas y limos.

Cinco meses después de su apertura, el puente ya sufrió las primeras deformaciones en dos de sus pilares y un hundimiento de 5 cm en la plataforma. Un año más tarde, el hundimiento se había incrementado ya a 12 cm. No obstante, no se les otorgó gran importancia ya que, se pensó que la estructura estaba asentando en el terreno.

A pesar de la tranquilidad que se transmitió a la población en cuanto a la seguridad del puente, se llevaron a cabo 12 sondeos y se desarrolló un sistema de control de asientos. Esto sacó a la luz, que la estructura podía llegar a hundirse cuatro centímetros más, los cuales no tendrían consecuencias visibles.

En 2001, se realizaron unas obras cuyo objetivo era frenar el asentamiento. Las actuaciones que se llevaron a cabo fueron inyecciones de hormigón y la instalación de 50 micropilotes. Sin embargo, en 2014 el hundimiento era ya de catorce centímetros.

2. 8. BILBAO EN EL SIGLO XIX

El siglo XIX es denominado por los vascos como el “siglo industrial” porque fue en este periodo de tiempo cuando se llegó a la modernización de todo el País Vasco. A partir de la segunda mitad del siglo XIX, el área de la Ría de Bilbao pasó por un proceso de industrialización y modernización social. Entre las numerosas consecuencias que tuvieron estos sucesos, se puede hablar de ruptura de la sociedad tradicional y creación de una sociedad compleja y más diversificada. Este aspecto fue clave para que se llevase a cabo una gran transformación urbana y demográfica de la ciudad de Bilbao y sus alrededores, incluyendo la Ría del Nervión.

En 1876 se aprobó el Plan de Ensanche, el cual reservaba el centro de la ciudad a las clases sociales de más alto rango. Este centro urbano se construyó de manera lenta mientras que los suburbios, que habían quedado asignados al resto de la población, se desarrollaron a una velocidad notable.

En la década de 1890, Bilbao se convirtió en capital industrial y financiera, siendo el centro de la industrialización. La ciudad aumentó su población y su tamaño y, se calcula que se construyeron unos 1.758 edificios nuevos. El eje central que articuló la industrialización de Vizcaya se llevó a cabo alrededor de la Ría de Bilbao, desde Basauri hasta la desembocadura, pasando por municipios como el propio Bilbao, Barakaldo, Sestao o las poblaciones que formaban la cuenca minera.

Hubo unos factores clave que participaron en la creación de numerosas empresas a finales del siglo XIX: la extensión de las líneas de ferrocarril por toda la región, la cercanía de Bilbao con el puerto y la existencia de mano de obra suficiente. La mayoría de estos nuevos negocios se dedicaban a la siderurgia y a la minería. Estas empresas sobrevivieron a las penurias de la posguerra, pero algunas de ellas se vieron obligadas a cerrar en la crisis de la década de 1970.

El uso del acero en los puentes permitió llegar a soluciones innovadoras. Además, cada vez que se lleva a cabo un proyecto metálico en Bilbao, se está haciendo referencia a la historia metalúrgica de la ciudad.

3. PUENTE SOBRE EL RÍO GALINDO

3.1. EMPLAZAMIENTO

Como su propio nombre indica, este puente cruza el río Galindo sirviendo de conexión a los barrios de Sestao y Barakaldo. Forma parte del Eje del Ballonti, el cual es una infraestructura vial que aporta una opción para evitar tomar la carretera A8 y que comenzó a construirse en noviembre de 2004 y se abrió al tráfico rodado en 2007. Esta vía rápida recorre todo el margen izquierdo de la ría, hasta llegar a La Punta de Sestao donde se encuentra ubicado un gran proyecto urbano que cuenta con unas 1.350 viviendas. Desde ahí, continúa hacia el ensanche de Barakaldo que está en la zona Urban-Galindo.

El puente nombrado anteriormente, data del año 2007. Anteriormente ya existía un puente en ese lugar, el cual se ha conservado, pero es solo de uso peatonal. La empresa encargada de llevar a cabo esta obra fue Carlos Fernández Casado S.L. y, particularmente, los autores principales del proyecto fueron los ingenieros Javier Manterola y Miguel A. Gil. La construcción estuvo en manos de la empresa constructora bilbaína URSSA-EXBASA. El puente sirve de conexión entre ambos márgenes del río Galindo, que gracias al Eje Ballonti, ahora forman un solo conjunto urbano.



Imagen 24. Puente sobre el Río Galindo. Fuente: Oficina de Carlos Fernández Casado S. L. (CFCSL)

3. 2. ASPECTOS TÉCNICOS

3. 2. 1. FORMA Y ESTRUCTURA

Este proyecto fue el último puente con arco y tablero superior que planteó la oficina de Carlos Fernández Casado. Además, tiene una característica diferente al resto de puentes de este tipo y es que, no es un arco plano como los demás. Es un arco de planta curva. Se puede afirmar que es una estructura espacial dado que, es arco de doble curvatura, longitudinal y transversal. Esto fue el resultado de distintas soluciones intermedias combinadas y, cabe destacar, que gustó mucho a la administración.

Es una construcción metálica de 110 metros de longitud, con planta curva que forma una circunferencia de 250 metros de radio y tablero de 27 metros de anchura. Además, algo que llama mucho la atención son los tirantes verticales que se sitúan a lo largo de toda su longitud, así como los tirantes laterales que se encuentran algo rotados. Otras características de la obra son el peralte del 5% y la pendiente de la calzada la cual sería del 3%.

Está constituido por un dintel metálico de 2 metros de canto y 27 metros de ancho y con espesores de chapa que varían entre 15, 20 y hasta 30 mm, según los esfuerzos que tenga que soportar cada parte del dintel. Además, está rigidizado transversalmente con diafragmas dispuestos cada 4,4 metros y, longitudinalmente con canales y perfiles de doble T. El otro elemento por el cual está constituido el puente es un arco, también metálico, formado por dos tubos de 1,219 mm de diámetro y 50,8 mm de espesor, unidos superior e inferiormente por chapas horizontales de 50 mm de espesor. El dintel y el arco se encuentran en planos espaciales diferentes.

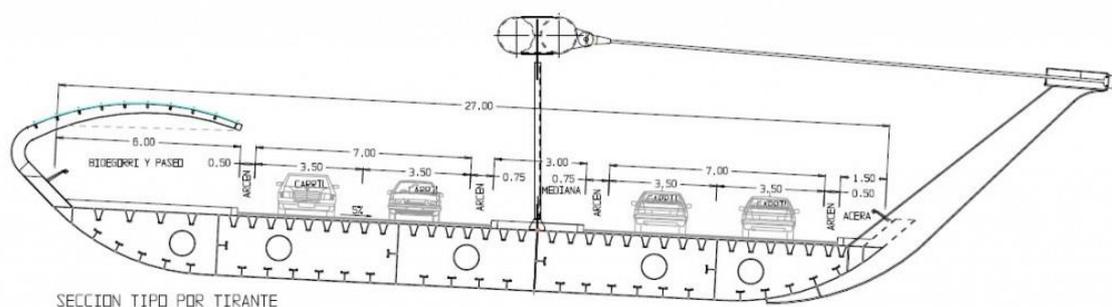


Imagen 25. Sección constructiva. Fuente: Oficina de Carlos Fernández Casado S. L. (CFCSL)

El alzado del arco deja ver el perfil parabólico de 2º grado y la planta sigue la dirección del tablero. La unión del arco con el tablero se lleva a cabo mediante cuatro chapas longitudinales de 80 y 90 mm de espesor. En cuanto a la conexión del arco con los tirantes transversales y las péndolas verticales, también se realiza con chapas transversales pero esta vez de 30 mm de espesor. Son estos tirantes transversales quienes utilizan la componente de compresión del arco para tirar de él y crear la curvatura. En cuanto a las péndolas, son postes verticales que se forman a partir de tubos metálicos de sección circular de 193,7 mm x 19 mm.

Las chapas que se nombran anteriormente permiten la unión con estos postes, como también, con los tirantes transversales activos, quienes están

compuestos por cables cerrados de 83 mm de diámetro. Todas las uniones con chapas se realizaron con penetración completa para llegar a adquirir la resistencia adecuada para soportar los esfuerzos.

A propósito de los tirantes semi horizontales, en el desapeo del puente una vez colocada la carga muerta, fue cuando se realizó la puesta en carga de estos. Sin embargo, los postes verticales se han ido poniendo en carga con la deformación que fue sufriendo la construcción a medida que se fueron eliminando los apeos provisionales y comenzaron a trabajar los tirantes activos. La opinión de algunos ingenieros dice que los tirantes no hacen falta estructuralmente y que son solo elementos decorativos, es decir, que la resistencia del puente sería la misma si estos tirantes no existieran.



Imagen 26. Vista lateral de los mástiles y tirantes. Fuente: Oficina de Carlos Fernández Casado S. L. (CFCSL)

3.2.2. APOYOS Y CIMENTACIÓN

Asimismo, el puente se encuentra biapoyado en dos estribos con forma de "L", cimentados sobre un grupo de catorce pilotes de 1,5 metros de diámetro unidos mediante un encepado rectangular de 6,6 metros de ancho, 29,8 metros de longitud y 2,5 metros de espesor. La construcción se apoya en los estribos mediante elementos de apoyo de neopreno zunchado. La cimentación del proyecto no solo está compuesta por los elementos anteriormente citados, sino también por una losa que hace de transición con el terraplén.

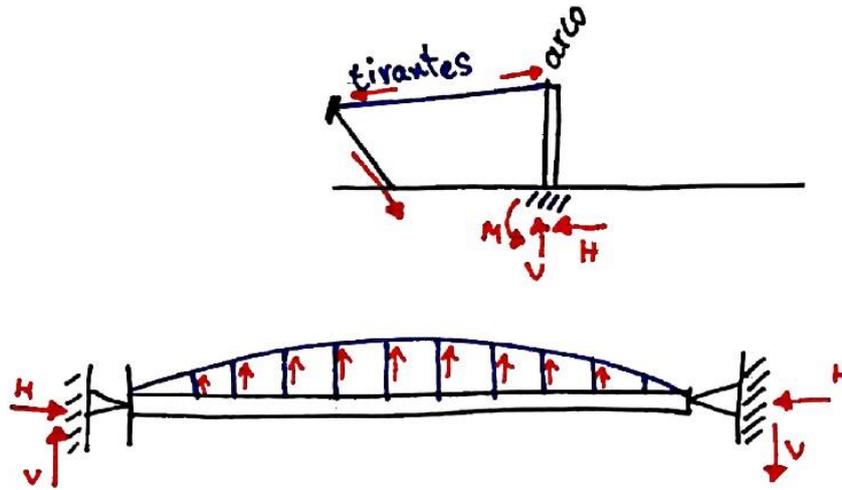


Ilustración 4. Fuerzas resultantes del Puente sobre el Río Galindo (elaboración propia)

3.2.3. CONSTRUCCIÓN

Los estribos que sujetan el puente son de hormigón armado realizados in situ. Una vez esto estuvo completado se pasó al montaje del tablero, para el que hicieron falta cuatro líneas provisionales de apoyo que se situaron dentro del cauce del río. Para su montaje, el tablero tuvo que ser dividido en tramos de 22 metros de longitud y una anchura que variaba entre 4,5 y 5,85 metros, cuyo peso rondaba las 60 toneladas por tramo.

Con anterioridad a la colocación del tablero despiezado, se situó la viga riostra que cumplía la función resistente principal. Esta pieza tiene un peso de unas 100 toneladas y es el elemento más pesado de todo el proyecto. A continuación, se fueron uniendo los diferentes tramos del tablero empezando desde el lado más cercano al estribo hasta completar el primer vano, es decir, hasta llegar al primero de los apoyos provisionales. Este proceso se repitió hasta llegar a la segunda línea provisional y así sucesivamente.

En cuanto al arco del puente, su montaje tuvo que estar presente en la mente de los ingenieros ya que, a través del tablero se necesitaba colocar un castillete, que coincidiera con cada línea de apoyo provisional, el cual permitía apoyar las cinco piezas en las que se dividía el arco. Cada una de estas piezas tiene un peso de 70 toneladas. Tras la soldadura de las diferentes piezas del arco con el tablero, se retiraron los castilletes.

El siguiente paso en la construcción fue el soldado de los postes laterales a los que posteriormente se les anclaron los tirantes. No obstante, antes de añadir los tirantes, se procedió a la colocación de toda la carga muerta, esto es, todos los elementos como pavimento, bordillos, medianas y aceras. Una vez terminada esta etapa en la construcción, se colocaron los tirantes. Es en este momento cuando el puente comienza su puesta en carga, la cual se hace de manera ordenada y controlada para obtener, al final, la carga nominal de cada tirante. Esto significa que el tablero no producirá reacción en los apoyos provisionales y éstos estarán listos para su eliminación.

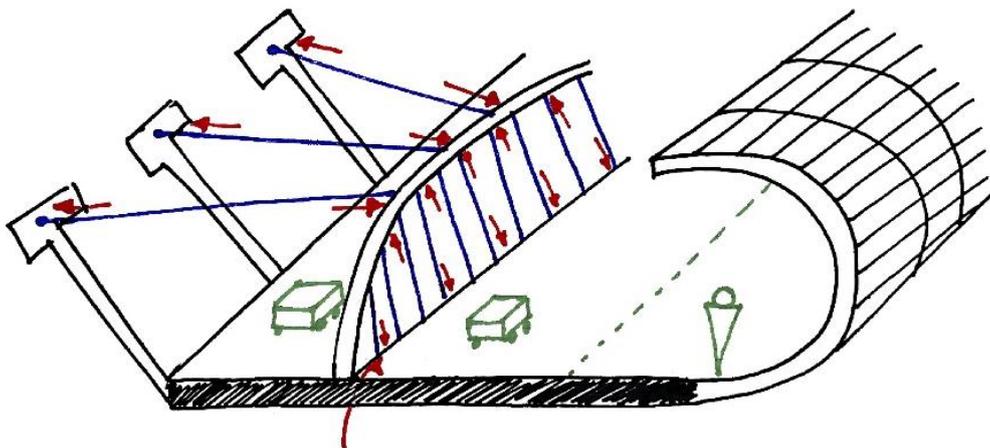


Ilustración 5. Esquema Puente sobre el Río Galindo (elaboración propia)

3. 3. ILUMINACIÓN

La iluminación es un factor crucial en la estética nocturna de un puente y en la seguridad que debe proporcionar a todo aquel que lo cruce, ya sea de manera peatonal o dentro de un vehículo. En este caso, se encuentran tres puntos constituyentes de la iluminación del puente. Se trata de tres líneas de luz continuas. La primera en la cornisa superior de la cubierta de la acera, la segunda situada en la mediana y la tercera línea de luz está colocada bajo los conectores de las péndolas y permite iluminar las calzadas por donde se mueven los automóviles.

Asimismo, a los pies de cada tirante y cada poste hay instalado un proyector que lo ilumina axialmente. Pero estos proyectores no son los únicos que existen en el proyecto, además, el puente cuenta con cuatro proyectores a lo largo del eje del arco que lo iluminan por la parte de arriba.

Finalizado el análisis de materiales, colores y texturas se procederá a poner en relación estos aspectos con la iluminación mencionada anteriormente. Lo que permitirá entender mejor las elecciones llevadas a cabo por el ingeniero Manterola y su equipo.



Imagen 27. Iluminación de noche. Fuente: Oficina de Carlos Fernández Casado S. L. (CFCSL)

3. 4. MATERIALIDAD, TEXTURAS Y COLORES

El Puente sobre el Río Galindo es una construcción metálica que destaca por su apariencia futurista. Tanto su forma, como su color y textura, hacen de él una obra que destaca sobre el paisaje. Los numerosos elementos que componen su estructura hacen que la mirada de los espectadores se quede prendada de tal volumetría. Durante el análisis de su aspecto se podrá comprobar como todos los elementos siguen una misma línea de diseño.

La cubierta de la acera de peatones se compone de una estructura de elementos perpendiculares entre sí, que sustentan una lámina de vidrio, la cual protege a los viandantes en días de lluvia. Esta protección sólo está colocada en la parte superior de la estructura, de manera que, el lateral queda abierto y permite la circulación de aire. El extremo en voladizo de la cubierta es un tubo circular de unos 20 centímetros de diámetro, el cual realiza la función de recogida de aguas pluviales. El aspecto más futurista del puente se halla en esta cubierta debido a su forma serpenteante y al efecto óptico que crea la repetición de sus elementos. Al atravesar el río a pie por esta pasarela, el viandante puede sentir una sensación de estar, incluso, en una nave espacial o en un pasaje de lo más futurista. Uno imagina que, al llegar al otro extremo del puente, va a aparecer en mitad del siglo XXII.

En cuanto a la acera, la solera está recubierta por un pavimento de laminas de madera de un tono oscuro. La disposición de estas es en perpendicular a la carretera y a la cubierta. En uno de los extremos del pavimento, se levanta un pequeño murete inclinado de hormigón, donde se apoya la cubierta que protege la acera. En este muro hay colocada una sencilla barandilla metálica. Llama la atención la austeridad de la barandilla si se compara con el diseño del resto de la construcción, ya que, este elemento de protección se podría encontrar en cualquier otra obra.

En el otro extremo del pavimento de madera se colocó un tipo de quitamiedos que separa peatones de vehículos. Este elemento sigue la estética del resto del puente: metálico, en tonos grisáceos y de sección circular. Su altura no supera los 20 o 25 centímetros, pero es suficiente para marcar el límite de ambas zonas. Los cuatro carriles de calzada rodada asfaltada están divididos en dos secciones según la dirección de éstos.

Así pues, la barrera divisoria de ambos sentidos de la carretera está formada por el arco y las péndolas que lo sustentan. De modo similar a la cubierta, el metal del arco es de color blanco y se le aplicó un tratamiento al material que permite que se reflejen algunas formas en él. Y, como no podía ser de otra forma, su sección es circular de nuevo.

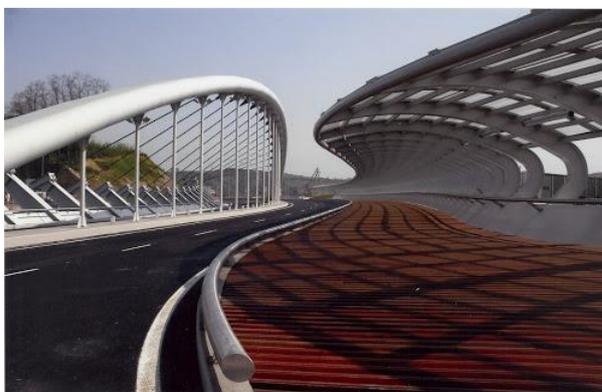


Imagen 28. Parte peatonal del puente. Fuente: Universidad Politécnica de Madrid. (UPM)



Imagen 29. Parte rodada del puente. Fuente: Oficina de Carlos Fernández Casado S. L. (CFCSL)

Si se analizan los perfiles y demás componentes de la parte interior de la curva del puente, se puede ver claramente que siguen la estética del resto de la obra, con la única diferencia de que los perfiles no tienen sección circular sino de doble T. Aun así, estos integrantes de la estructura son los que más apariencia industrial poseen. Si anteriormente se decía comentaba que los peatones tienen su propio túnel del tiempo en este puente, los automóviles cuentan con un pasaje industrial que bien podría parecer que se encuentran circulando entre las grúas de un puerto marítimo.

Todos los elementos vistos anteriormente tienen superficies con texturas lisas. Esto da un aspecto más contemporáneo al proyecto y, además, permite que la luz de los focos instalados a lo largo de todo el recorrido pueda reflejarse y crear efectos luminosos.

Una vez realizada la descomposición de la obra según sus colores y materiales, es el momento de relacionarlos con la iluminación. En cuanto a la cubierta en voladizo, es la parte donde se crea el efecto más interesante. La línea de luces colocada bajo la barandilla se refleja en la superficie de la mediana y llega hasta el pavimento de madera de la solera. Aunque la consecuencia de este reflejo es impactante, no es suficiente iluminación para dar lugar a una sensación de seguridad en los peatones.

De esta manera, se establece una segunda línea de iluminación en la cornisa, donde termina la lámina de vidrio y aparecen las aberturas de ventilación. Esta vez se habla de tubos fluorescentes, los cuales solo se ven interrumpidos por los componentes transversales de la estructura que forma la cubierta. Estas luminarias permiten asegurar una clara visión nocturna en la acera peatonal.

Sin embargo, el extremo interior de la curva tiene solo iluminación que se podría clasificar como puntual o de ambiente. En el arco, se situaron focos en los conectores de las péndulas, enfocados en la dirección de los tirantes, pero estas luminarias proyectan una luz sutil, al igual que los proyectores colocados en la base de los mástiles y que enfocan de manera vertical hacia el arco. En el extremo contrario de los tirantes, es decir, en el remate de los perfiles de sección doble T, existe un alumbrado en forma de luminarias puntuales y de pequeño tamaño, cuya única función es decorativa, dado que su intensidad no es suficiente para aclarar la calzada.

No obstante, la elección de este tipo de iluminación débil es entendible debido a que los automóviles tienen sus propios faros y no necesitan un gran alumbrado para circular con seguridad. Definitivamente, el resultado deja ver que el ingeniero pensó en todos los detalles y necesidades de cada individuo u objeto que pudiera cruzar el puente.

3. 5. RECORRIDOS

En cuanto al recorrido del puente, se puede cruzar de manera peatonal gracias a las 2 aceras con las que cuenta. Una acera, en el borde exterior de la curva, de 6 metros de ancho protegida por una cubierta, al igual que en el puente de Euskalduna, y otra acera en el interior de la circunferencia, de solo un metro y medio de anchura. La cubierta de la acera está compuesta por una marquesina de 8,19 metros de voladizo que soporta un techo transparente y liso de metacrilato. Si se elige atravesar la construcción en automóvil, el puente cuenta con 4 carriles rodados, dos en cada sentido. Estos carriles están separados según su dirección, por el arco y sus péndolas.

Como puede verse en el pavimento de madera que cubre la solera peatonal, no existe ningún tipo de marca en la superficie, que indique la circulación de bicicletas. Sin embargo, en ambos márgenes del río, se pueden encontrar carriles bici que desaparecen al llegar al puente. Cabe imaginar que este tipo de transporte circulará por la acera de igual manera que lo hacen los viandantes. Esto no resultará un problema gracias a la amplia anchura de la solera.

3. 6. CURIOSIDADES

A consecuencia de la construcción del puente de Manterola, la zona en la que está ubicado se vio revitalizada. Esta regeneración ha conllevado incluso, que este fuera el lugar elegido por casas de automóviles para el rodaje de algunos anuncios publicitarios para la promoción de vehículos. Marcas como Skoda, Opel, Hyundai o la casa de vehículos de alta gama Infinity, eligieron Sestao y el puente sobre el Río Galindo, como escenario para sus spots publicitarios y sesiones fotográficas.

El mismo Gorka Egia, concejal de Seguridad Ciudadana e Interior en el año 2012, afirmaba que: *“Al final es publicidad gratuita para Sestao, ya que los anuncios son vistos por millones de personas en varios países (...) “el acierto que tuvieron la Diputación Foral de Bizkaia y el Ayuntamiento cuando eligieron este diseño para el puente que iba a rematar el Eje del Ballonti en la desembocadura del río Galindo”*¹⁹. Resulta evidente el honor que esto significa para el Ayuntamiento de Sestao y lo agradecidos que están al ingeniero Manterola por su esfuerzo para llegar a ese resultado de proyecto tan cautivador.

¹⁹. Egia, Gorka. (2012) *“El puente sobre el río Galindo asoma a Sestao al mundo de la publicidad”*, Noticias ayuntamiento de Sestao. [Consulta: 15 de julio 2020]

4. PASARELA DEL VOLUNTARIADO PARA LA EXPOSICIÓN UNIVERSAL DE ZARAGOZA 2008

4.1. PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS

4.1.1. DIRECCIÓN DE LA OBRA

La obra que se va a analizar a continuación es la Pasarela del Voluntariado, situada en Zaragoza y construida en 2008 para la Exposición Internacional que tuvo lugar en esa misma ciudad y en ese año. El autor es de nuevo el ingeniero y catedrático pamplonés Javier Manterola Armisen y su equipo de la oficina Carlos Fernández Casado S.L. La Pasarela del Voluntariado no es el único proyecto del ingeniero navarro que existe en Zaragoza, pues también fue el autor del puente de Manuel Giménez Abad y participó en la reforma del puente de Nuestra Señora del Pilar, también conocido como el Puente de Hierro.



Imagen 30. Alzado de la Pasarela. Fuente: Oficina de Carlos Fernández Casado S. L. (CFCSL)

4.1.2. EMPLAZAMIENTO Y OBJETIVOS

Esta obra está incluida en el proyecto para la recuperación de riberas del Parque de Almozara - El Soto - Tiro Pichón - Playa de los Ángeles. Supuso la inversión de 6.216.048 euros de los 12.560.000 euros totales que se dedicaron en este plan. La recuperación urbana de este tramo tenía como objetivo principal la conexión de la avenida de la Almozara con el río Ebro y la creación de un parque de ribera en tres niveles: un espacio natural en la franja inferior, una zona bien equipada en el espacio superior y un área de transición entre ambas franjas.

Otro elemento que se buscó fue la relación con el Parque San Pablo por debajo del Puente de La Almozara. De esta manera se pretendía lograr la regeneración de los espacios naturales de ribera, la recuperación de las orillas, la consolidación de los márgenes del río y la eliminación de cualquier tipo de materia que pusiera en peligro el cauce.

En el momento de la construcción de la obra, Juan Alberto Benlloch, quien era alcalde de Zaragoza, mostró su agradecimiento a Manterola durante la inauguración de la pasarela ya que, según él, ese proyecto hacía realidad el sueño de convertir el río Ebro en la "calle Mayor" de Zaragoza, es decir, de mejorar el cauce y sus alrededores para convertirlos en un lugar de reunión social, donde los zaragozanos pudieran disfrutar de la vida en ciudad de una forma agradable y segura. Fue este día, en la inauguración del puente, cuando 1.200 voluntarios de la Exposición Internacional fueron los encargados de atravesar por primera vez el camino metálico que los llevaría del barrio de la Almozara hasta el barrio del Actur. Este acto fue una muestra de agradecimiento a los 30.000 voluntarios que apoyaron la Muestra Internacional antes, incluso, de que se designara a Zaragoza como sede de la edición de 2008. Además, la obra lleva el nombre de "Pasarela del Voluntariado" por ese mismo factor.

4. 2. ASPECTOS TÉCNICOS

4. 2. 1. FORMA Y ESTRUCTURA

En cuanto a la composición del proyecto, se trata de una pasarela metálica de planta curva, la cual, teniendo en cuenta todo su recorrido mide 235 metros de longitud y 4,5 metros de ancho, de los cuales solo se pierden 30 cm en el pasamanos, así pues, los 4,2 metros restantes son de uso peatonal. De los 235 metros de longitud del puente, 141 cruzan el río, en cambio, los 94 metros restantes se despliegan en ambas orillas.

Se divide en dos vanos de 140 metros de luz por un lado y 90 por el otro. El elemento que separa los vanos es un poste que tiene una longitud total de 90 metros y una inclinación respecto de la vertical de $29,5^\circ$. Este ángulo de desplome hace que la longitud en perpendicular a la superficie sea de 77,75 metros hasta el extremo del mástil.

Con razón estructural se colocaron 46 tirantes que tienen la función de sostener la base de la pasarela. Estos tirantes parten del extremo más alto del poste central. Asimismo, estos elementos otorgan al puente una sensación de ligereza e incluso, podría decirse que imita la figura de un ave volando. Es una obra esbelta, permeable visualmente, moderna y tecnológicamente avanzada para la época.

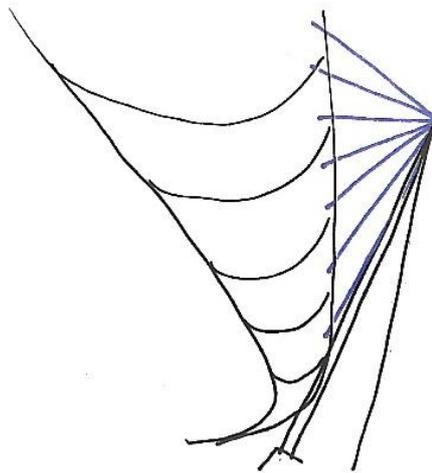


Ilustración 6. Esquema Pasarela del Voluntariado
(elaboración propia)

4. 2. 2. APOYOS Y CIMENTACIÓN

La pasarela queda apoyada en tres puntos, uno central y dos a los extremos. Cada uno de los estribos que permiten el apoyo de la pasarela, está sostenido por 52 micropilotes de 200 mm de diámetro y 30 metros de longitud. Además, se utilizó el acoplamiento entre torsión y flexión en toda la curva del puente.



Imagen 31. Vista de la Pasarela. Fuente: Oficina de Carlos Fernández Casado S. L. (CFCSL)

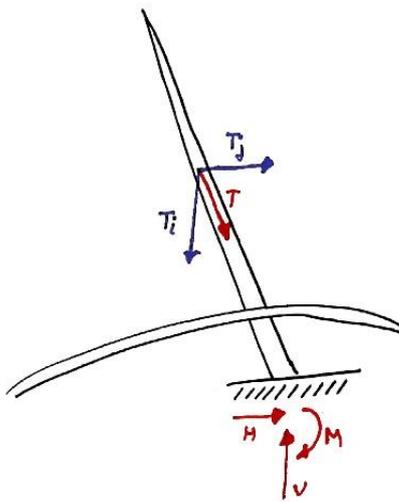


Ilustración 7. Fuerzas resultantes de la Pasarela del Voluntariado. Alzado (elaboración propia)

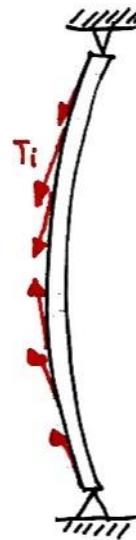


Ilustración 8. Flujo de fuerzas de la Pasarela del Voluntariado. Planta (elaboración propia)

4. 3. MATERIALIDAD, TEXTURAS Y COLORES

La gran mayoría de proyectos de Javier Manterola han sido realizados en acero, y esta pasarela no podría haber sido construida en otro material. Esta ave de metal cuenta con tonos blancos, pero también incluye algunos elementos en un color inesperado e innovador.

Así pues, el gran mástil de sección circular, posee un brillante color blanco en toda su superficie. Lo que permitirá que las luces se reflejen en él. Aunque los 46 tirantes sean de tonos grises, no existe disparidad con el resto de tonos claros de la estructura. En cambio, al llegar a la parte más horizontal de la pasarela, se localizan los aspectos estéticos más resaltables.

Lo más sencillo de ver es la superficie de la solera. Es una superficie de hormigón que ha conservado su color original. A ambos lados de ésta, se colocaron unas barreras de seguridad para evitar caídas. Los antepechos están compuestos por diferentes elementos, el primero de ellos es una estructura metálica formada por perfiles verticales y horizontales. Esta cuadrícula metálica es la base que sujeta los paneles de vidrio rectangulares que permiten cerrar la barandilla. Finalmente, se colocó un perfil metálico curvo, de un característico tono azul cielo, que hace de pasamanos y a la vez, protege el borde de la estructura que contiene los vidrios.

Por otro lado, a la superficie transitable se le aplicó un tratamiento antideslizante, además, tanto la barandilla del borde exterior como el pavimento de la cara interior de la pasarela se componen de una estructura de acero y vidrio de seguridad. Para completar la seguridad de la obra, se instalaron un pararrayos y una baliza de señalización aérea en el extremo más alto del mástil. Otro aspecto que señalar es que la pasarela tiene una pendiente media del 1,1 %.

En el exterior de la curva, la altura del antepecho es de poco más de un metro, al contrario que en el interior de la curva de la pasarela, donde la altura se incrementó hasta rozar los dos metros. La razón del aumento de la barrera se debe a la dirección habitual en la que sopla el Cierzo. En la ciudad de Zaragoza, las ráfagas de este viento pueden llegar a ser muy violentas, por lo cual, el ingeniero quiso proteger a los peatones de esta circunstancia. En todo caso, si la altura de la barrera fuera por seguridad, para evitar accidentes mayores, se habría ubicado en ambos extremos de la pasarela, no solo en el interior.



Imagen 32. Construcción de los antepechos. Fuente: rimasa

En este lado de la plataforma, el pasamanos curvo azul que se ha mencionado antes circula a media altura del antepecho, de modo que, si algún peatón necesita apoyarse, pueda hacerlo cómodamente. La elección de este color, junto con el metal blanco, fue acertada ya que, hace que la figura del puente se funda con el cielo, pareciendo un ave que alza el vuelo sobre el río Ebro.

Del mismo modo, la forma y la estética de la pasarela le otorgan un aspecto que hará volar la imaginación de los viandantes hasta la cubierta de un barco velero, gracias al perfil que dibujan el mástil y los tirantes. Sea cual sea la imagen que se tenga de la obra, ésta será siempre querida por Zaragoza y sus habitantes, ya que la creación de este proyecto, galardonado como mejor obra de la Expo 2008, no solo dio un acceso al parque de exposiciones durante ese periodo de tiempo, sino que, sigue siendo un punto de encuentro para la población.



Imagen 33. Interior de la Pasarela. Fuente: Oficina de Carlos Fernández Casado S. L. (CFCSL)

4. 4. ILUMINACIÓN

La pasarela se encuentra iluminada mediante diversos elementos. El primero y más evidente son los tubos fluorescentes que recorren de manera continua la parte inferior del pasamanos. Esta hilera de luz crea una fantástica panorámica de la obra que puede ser vista desde lejos, en parte gracias al mástil, el cual recibe luz de ocho proyectores.

Otro método empleado en la iluminación del proyecto fue la colocación de 46 proyectores que enfocan e iluminan de forma directa los 46 tirantes de la pasarela. Pero, lo más impresionante en una vista nocturna son los ocho proyectores que dan luz al poste central el cual, debido a la luz recibida, parece, incluso, de mayor longitud.



Imagen 34. Iluminación de la Pasarela. Fuente: Oficina de Carlos Fernández Casado S. L. (CFCSL)

4.5. REFERENCIAS E INSPIRACIÓN

En cuanto a los factores que inspiraron a Manterola para diseñar el puente con esa geometría podrían incluirse el meandro de Ranillas que se une al Ebro en ese punto del cauce, o el viento más conocido por los zaragozanos, el Cierzo, que sopla constantemente por las calles de la ciudad. Por otra parte, una característica que cabe destacar es la dirección del poste. Ésta es tal, que si se trazara un eje desde él, que siguiera su misma dirección, se podría ver como la línea que une la Torre del Agua, la cual es un edificio situado al oeste del recinto de la Expo cuya planta tiene forma de gota de agua, con la Pasarela y con la Basílica de Nuestra señora del Pilar.

Las aves que sobrevuelan el río Ebro podrían haber sido otro de los factores que inspiraron al ingeniero. El mástil representaría el cuerpo del animal y sus tirantes, las alas. Además, esta forma de ave que alza el vuelo podría considerarse como una metáfora a la ciudad de Zaragoza que se embarcaba en la Exposición Internacional de 2008.

Siguiendo esta metáfora, es fácil encontrar otra similitud a la forma de la pasarela: un barco. La imaginación de algunas personas también ha llegado a relacionar la pasarela con una embarcación velera que navega por el río Ebro.

4.6. PUENTES CON ATIRANTAMIENTO EXTRADORSAL

La Pasarela del Voluntariado forma parte del tipo de proyectos de puentes con atirantamiento extradorsal. Reciben este nombre debido a la relación entre la altura del mástil y el claro del puente. Cuando esta relación es del orden de 0-2, y se aplica la sobrecarga encima del tablero, la deformación vertical hace que la tensión estire los tirantes inclinados y se produzca una carga muy variable en ellos.

Como consecuencia de esto, pueden aparecer problemas en la zona de los anclajes de los tirantes. Por esta razón, los ingenieros han estudiado la manera de reducir la carga variable y así, eliminar cualquier tipo de preocupación. Esto conllevó la aparición de otro tipo de puente cuya relación entre la altura del poste y la luz oscila entre 0-1. De este modo, cuando se aplique la sobrecarga, como la inclinación del tirante con respecto al dintel es muy pequeña, cualquier deformación vertical del dintel, producirá un mínimo incremento de tensión en el tirante que será constante a lo largo de toda su vida.

Este modelo de puente tiene dos ventajas y un inconveniente. La primera ventaja es que, debido a la falta de variación de tensión en el cable, todos los problemas de fatiga de la torre o del dintel que se produzcan en el anclaje del cable, desaparecerán porque no variará la carga. Y la segunda ventaja es que, esto permitirá que no se pongan anclajes de cables en la torre, sino que el cable pase directamente de un lado a otro sin anclaje intermedio. Este factor dotará de gran economía para el tirante. Por otro lado, el inconveniente que presenta esta solución es que el tirante no ayuda al dintel en su resistencia.

La solución que se ha explicado en las líneas anteriores es adecuada para puentes de 100 a 250 metros de luz. Ya que, a partir de 250 metros se pierden las ventajas de un puente con atirantamiento extradorsal y la estructura comienza a trabajar como un atirantamiento normal. Además, este resultado da la posibilidad de jugar con la dirección e inclinación del mástil, haciéndolo más atractivo visualmente sin encarecer el precio.

4. 7. EXPOSICIONES INTERNACIONALES

Las Exposiciones Internacionales son muestras a nivel mundial en las que se llevan a cabo exposiciones, conferencias entre otras actividades que giran en torno a un tema elegido. El origen de estas exposiciones se remonta a la tradición de las exposiciones nacionales francesas, las cuales tenían como objetivo promover mejoras en la agricultura progresiva y en la tecnología. Comenzaron a celebrarse en el año 1798, unos años después de la revolución francesa. Posteriormente a estos eventos, hubo algunas imitaciones de exposiciones nacionales en otras ciudades europeas como Madrid, Berlín, Londres, San Petersburgo o Lisboa. A partir de aquí, se decidió sustituir esas pequeñas muestras por exposiciones internacionales, en las que se vieran representados varios países en una misma localidad. Pero, sin ninguna duda, la edición más conocida fue la de 1889 celebrada en París y, debido a la construcción de la Torre Eiffel esta muestra tendrá algo que la diferencie de las demás ediciones.

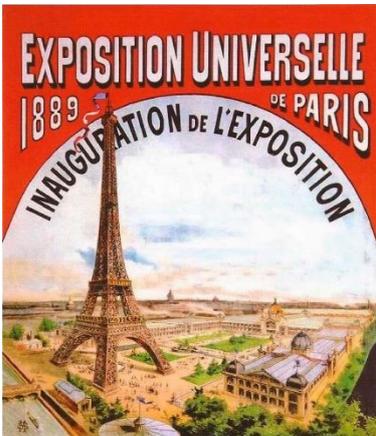


Imagen 35. Cartel apertura
Exposición Universal de París 1889.
Fuente: research gate

4. 8. EXPOSICIÓN INTERNACIONAL DE ZARAGOZA 2008

El 16 de diciembre de 2004, la Oficina Internacional de Exposiciones (BIE)²⁰, eligió a la ciudad de Zaragoza como representante de la edición de 2008. Desde ese momento, las administraciones de la ciudad aragonesa comenzaron con los preparativos para que la edición que les tocaba representar dejara a Zaragoza en una posición destacada. El lema que se eligió para la exposición fue “Agua y desarrollo sostenible” y, por eso se decidió ubicarla junto al cauce del Ebro y el meandro Ranillas.

A consecuencia de la Expo de 2008, se construyeron cinco nuevos puentes que permitían atravesar el río Ebro y cruzar de una orilla a otra de manera fácil y rápida. La Pasarela del Voluntariado fue el primero en ser inaugurado, el día 24 de abril de 2008. Por otra parte, uno de los extremos del puente está situado en el barrio de la Almozara, en la calle de Sierra Vicor, al lado del instituto de educación secundaria Luis Buñuel. En cuanto al otro extremo, éste recae en la calle de Clara Campoamor, en el barrio de el Actur. Precisamente es en este extremo donde la pasarela salva un pequeño meandro llamado meandro de Ranillas, el cual, podría haber inspirado a Javier Manterola para proyectar el puente con forma curva.

La administración zaragozana tenía el objetivo de convertir a la ciudad de Zaragoza en referente mundial, en cuanto a asuntos relacionados con el agua y el medio ambiente, dado que ese era el tema en torno al que giraba la exposición. Gracias a la construcción de muchos pabellones y puentes como el que está siendo analizado en este momento, se consiguió que la ciudad fuera un espectáculo constante. Por el día, la luz del sol reflejada sobre las superficies y materiales empleados en las construcciones creaba colores, perspectivas y figuras que dotaban de vida al lugar. Pero, por la noche, los encargados de seguir creando esta vida eran los numerosos focos que se habían colocado a lo largo de las circulaciones y sobre las obras, como por ejemplo los puntos de luz que iluminan los tirantes de la Pasarela del Voluntariado.

El 19 de diciembre de 2005, comenzaban las obras que transformarían no sólo los alrededores del meandro de Ranillas, sino toda la ciudad. Con actuaciones como la recuperación de las riberas o la ampliación del aeropuerto entre otros, el 14 de junio de 2008, después de dos años y medio de obras y preparativos, Zaragoza abrió las puertas de su Expo.

El gran protagonismo se lo llevaron el río y los nuevos puentes y pasarelas, dado que el tema era, como bien se ha dicho anteriormente, “Agua y desarrollo sostenible”. Se desarrolló un gran proyecto urbanístico que convirtió al cauce en un eje vertebrador de un sistema de espacios abiertos a lo largo de 17,34 km, desde el puente de la A-2 hasta el puente Giménez Abad.

Desde el principio del proyecto de recuperación de las riberas del Ebro, uno de los principales objetivos fue *“devolver la naturalidad del paisaje y aprovechar las energías del sistema natural”*²¹.

Las obras realizadas potenciaron la realización de actividades entre los dos meandros de los extremos de la ciudad y crearon nuevos elementos de transición entre las zonas urbanas y las áreas naturales. Esto fue posible gracias a la creación de un gran parque fluvial en el interior del cual se construyeron dos puentes y dos pasarelas que, sumándose a los 6 puentes existentes, facilitan el cruce entre las riberas.

²⁰. Bureau International de Expositions, organización internacional intergubernamental, con sede en París, Francia, encargada de vigilar y proveer la aplicación de la Convención relativa a las Exposiciones Internacionales.

²¹. Corellano, F. P. Universidad de Zaragoza, AGE (2015). *La recuperación de las riberas del Ebro en Zaragoza. Un efecto perdurable del evento efímero Expo 2008*

Entre las nuevas construcciones, se encuentra el Puente del Tercer Milenio, obra del ingeniero Juan José Arenas. Este puente es de tipo arco-atirantado y tiene un único vano de 216 metros. Su ubicación le permite cerrar el Tercer Cinturón de Zaragoza o Z-30 y conecta la Estación Intermodal de Delicias con el barrio del Actur.

El segundo puente que se construyó fue el Pabellón Puente, diseñado por la arquitecta y premio Pritzker Zaha Hadid. Esta construcción de aire futurista está compuesta por cuatro bóvedas-cascarón o también llamados pods y una estructura de celosía en fachada. Este puente consta de dos vanos de 155 y 125 metros de luz, y un apoyo en el interior del cauce.

Además de los dos puentes, también se había hablado de dos pasarelas, una de las cuales es la Pasarela del Voluntariado del ingeniero Javier Manterola, la cual se analizará con detalle posteriormente. La última de las obras de conexión realizadas fue la Pasarela sobre el Azud de Vadorrey. Este espacio peatonal fue diseñado por el arquitecto Isidro Navarro Delgado.

Por otro lado, también se realizaron las obras de la Z-40, la autovía de circunvalación que recorre la ronda exterior de la ciudad y aligera el tráfico del centro urbano.

Como conclusión a este punto se podría decir que la Exposición Internacional de 2008 conllevó una etapa de renovación para la ciudad de Zaragoza. Este lugar que ya contaba con unas condiciones envidiables debido a sus infraestructuras, agua y posición estratégica, se vio envuelto en un renacimiento urbano y fluvial. Gracias a esto, paralelamente también se llevó a cabo una recuperación histórica en cuanto a la relación de Zaragoza con el río Ebro. Éste pasó de barrera inaccesible a lugar de encuentro.



Imagen 36. Logo de la Exposición de Zaragoza de 2008. Fuente: elconfidencial.com

4.9. OTROS ASPECTOS

Doce años después de su inauguración, esta pasarela se ha visto afectada diversas veces por actos de vandalismo como pintadas en los paneles acristalados que hacen de barandilla. Algunos de estos paneles han recibido impactos tan fuertes que han causado su rotura. Aun así, esto no impide que el puente siga siendo lugar de reunión de vecinos de diferentes barrios que, a diario lo cruzan a pie, bicicleta o patín eléctrico.

Por otra parte, con anterioridad a este proyecto, J. Manterola diseñó otra propuesta que valía 40.000 pesetas por metro cuadrado. La forma de la obra imitaba a la de un tubo abierto. Según las palabras del propio ingeniero *“parecía que era la exposición del 98, suelos de acero inoxidable, techos con una pintura como en el Reina Sofía y el rojo de Jean Nouvel en el Pompidou. 140 metros de luz. Era una idea espléndida”*²². Pretendía hacer una estructura en forma de C en la que los peatones pasaran por el interior de esa C y vieran al fondo la panorámica de la Expo, pero, además, el ingeniero pretendía curvar el puente. Finalmente, la administración de Zaragoza accedió a darle otra oportunidad y pidió al ingeniero otra idea de proyecto que fuera más accesible económicamente hablando.

La siguiente propuesta fue algo que, según el ingeniero, *“gusta a todo el mundo: palo de 90 metros de alto equivalente a un edificio de 30 plantas, con una pasarela que cuelga del palo gracias a una serie de tirantes”*²³. Este diseño ya fue el definitivo y fue el que actualmente se conoce como Pasarela del Voluntariado o Pasarela de Manterola, como lo llaman los habitantes de la localidad. Gracias a este proyecto, el ingeniero recibió un premio que reconocía la Pasarela del Voluntariado como mejor obra de la Expo de Zaragoza de 2008.

^{22,23}. Manterola Armisén, Javier. 2017. *El puente es la estructura por antonomasia*. Entrevista de la Fundación Juan March.

4. 10. SUCESO JULIO DE 2020

Como en todo tipo de construcciones, en ocasiones, se producen movimientos de los componentes estructurales. Esto fue lo que ocurrió el 19 de julio de este mismo año. Vecinos de la ciudad que circulaban por la Pasarela, dieron aviso al Ayuntamiento y a los bomberos, al escuchar un golpe seco. Rápidamente, la policía local, los bomberos y los técnicos de la Administración se desplazaron hasta el lugar, donde se volvieron a escuchar dos estruendos más.

Inmediatamente, se procedió al cierre del puente, por ambas márgenes del río. Seguidamente, a primera hora de la mañana del día 20 de julio, se realizó una primera inspección visual, así como otras revisiones del tipo revisión de la punta del mástil mediante prismáticos o la obtención de imágenes de alta resolución de la base del poste, tomadas por el cuerpo de buceadores de los bomberos. Estos controles fueron llevados a cabo por el equipo de profesionales de conservación y mantenimiento de puentes del ayuntamiento de Zaragoza y por otros técnicos de infraestructuras.



Imagen 37. Profesionales inspeccionando la Pasarela.
Fuente: El Periódico de Aragón

Tras inspeccionar visualmente la disposición de los 46 tirantes, su unión con el tablero y con la punta del mástil, la inclinación a 30 grados de este y el sistema de amortiguación del puente, no se encontró nada preocupante, además de algunos cristales rotos fruto del vandalismo. Pero se decidió continuar con su cierre y contactar con la oficina del ingeniero Javier Manterola ya que, al ser el autor de este proyecto, conoce perfectamente cómo trabajan todos los elementos de la pasarela a flexión, tracción, torsión, etc.

En paralelo, también se avisó a una empresa que ya realizó peritaciones al puente en los años 2013 y 2015. De hecho, en el 2017 la pasarela pasó la última inspección. Fue en 2015, cuando se produjo algo parecido, pero se acató al viento, al Cierzo, que ese día circulaba por la ciudad, y que creó un efecto de resonancia y una vibración de los tirantes de la pasarela.

Asentamientos y factores climáticos fueron los posibles factores que se barajaron como causantes de los crujidos del día 19. Cabe destacar que, en días de Cierzo hay ciudadanos que se quejan del movimiento del puente. Por otro lado, no se teme que pueda caerse porque no circulan por él vehículos pesados. No obstante, hasta que no recibieron la respuesta de Manterola, prefirieron mantener el puente cerrado. La llegada de este informe se produjo una semana después, confirmando que no se presentaba ningún problema estructural y que la causa de los estruendos fue una dilatación térmica. Esto mismo dictaron los técnicos municipales y el coordinador general de infraestructuras en el Ayuntamiento de Zaragoza Gerardo Lahuerta.

En cuanto a la repetición del fuerte sonido, se trataba del asentamiento del amortiguador hidráulico colocado entre el tablero y el mástil. Este elemento se deslizó varias veces hasta asentar, lo que explica que se escucharan varios ruidos secos. Además, estos sonidos se amplificaron dado que, el tablero funcionó como caja de resonancia.

La apertura de la Pasarela del Voluntariado se produjo el 28 de julio. Tras lo sucedido, el Ayuntamiento de Zaragoza ha decidido revisar los cinco puentes que atirantados con los que cuenta la ciudad. El Puente del Tercer Milenio, el puente de Giménez Abad, la pasarela de la calle Sarrión y la pasarela peatonal que une la Estación de Delicias y el Centro de Arte y Tecnología ETOPIA.

Además, de realizarse los trabajos que se consideren necesarios, se procederá a la renovación de los 30 cristales rotos debido al vandalismo que está sufriendo últimamente la Pasarela del Voluntariado.

4. 11. IMPORTANCIA DEL EBRO EN ZARAGOZA

Un río es sinónimo de agua, navegación, energía, huerta y, antiguamente, defensa. A veces, el agua toma el poder y crea una barrera que puede ser positiva o negativa, pero, en estos últimos casos, la ciudad acaba imponiéndose. Desde el principio, el hombre ha librado una batalla para controlar el agua y aprovecharla para su beneficio propio. En el pasado, el recorrido de un río era una barrera física que impedía el crecimiento de una población, era un límite insalvable entre lo urbano y lo rural.

Por otra parte, la existencia de un río aumenta los recursos naturales de un sistema urbano y hace que éste se diferencie de los demás. A su vez, estos recursos naturales favorecen la capacidad del lugar para llevar a cabo su industrialización. Usando el río como centro de gravedad, las ciudades se han ido acercando cada vez más al cauce y han conseguido conducir el crecimiento de su tejido urbano por ambas márgenes. *“Efectivamente el río es la ciudad, y viceversa.”*²⁴.

Una ciudad siempre tiene deudas con su río debido a la acción degradadora del hombre, quien usa sustancias en los campos de agricultura como abonos, pesticidas o fertilizantes, los cuales son nocivos para el agua. La ciudad de Zaragoza trató de saldar estas deudas con el Plan de regeneración de los espacios naturales de la ribera.

Gracias al tema elegido para la Expo de 2008, Zaragoza mostró al mundo lo importante que es estar concienciado con el cuidado del planeta Tierra y su conservación. De la misma manera, todas las exposiciones que tuvieron lugar, trataron de sacar a la luz los terribles cambios que se están produciendo en cuanto al clima, las temperaturas, las sequías, etc. Ahora bien, el objetivo principal era sensibilizar a la población de lo muy necesario que es cambiar el estilo de vida que lleva actualmente la sociedad.

Aquí es donde entró en juego el Plan de regeneración de la ribera del Ebro. Cuidando las márgenes de su río, Zaragoza dio una lección de concienciación en cuanto a la sostenibilidad y a la recuperación de sus entornos naturales. Para que pudieran apreciarse fantásticas panorámicas de la naturaleza regenerada y cómo acceso al recinto de exposiciones, se crearon los tres puentes mencionados anteriormente: el Puente del Tercer Milenio, el Pabellón Puente y, por supuesto, la Pasarela del Voluntariado.

²⁴. Sardà Ferran, Jordi. Solans Ibáñez, Indibil. Burgui Moreno, Mikel. 3er ISUF-H Congreso Internacional 18-20 septiembre 2019. Guadalajara, México

5. ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS OBRAS ANALIZADAS

5.1. DIFICULTADES DEL INGENIERO

Javier Manterola ha dedicado toda su vida a proyectar puentes y demás infraestructuras, las cuales ha ido evolucionando y perfeccionando, hasta llegar a resultados únicos. Todo su esfuerzo ha merecido la pena puesto que, se ha convertido en el mejor ingeniero de caminos, canales y puertos español, de las últimas décadas.

Nunca se conoce todo lo necesario para proyectar un buen puente. Un ingeniero ha de tener una idea que prevalezca desde el inicio de la construcción hasta el final, es decir, ha de ser fiel a sus diseños. El autor no puede meterse en la cabeza de los espectadores para saber qué piensan esas personas al admirar el proyecto. Además, la visión que se tiene de las infraestructuras es diferente en cada individuo.

Generalmente, el tipo de puentes que más cruza la población son pasarelas peatonales que salvan obstáculos dentro de los municipios, pero también, puentes rodados en autovías que cruzan cauces de ríos o barrancos. La mayoría de estas estructuras están por debajo del tablero así que, no es posible apreciarlas. Esto hace que se olvide gran parte del trabajo de los ingenieros.

Sin embargo, esto no ocurre de igual manera en el caso de los arquitectos. Normalmente, un edificio muestra la mayor parte de sus componentes; dejando de lado el interior de vigas, pilares o cimentación en esta comparación. De ese modo, es fácil ver el trabajo de un arquitecto y su equipo, así como, apreciar la belleza de los elementos.

5. 2. RECONOCIMIENTO DE LAS OBRAS

Afortunadamente, Manterola se ha alejado de la figura del ingeniero que únicamente soluciona problemas técnicos y, siempre ha tratado de conseguir la percepción estética y formal en sus obras. Ha diseñado estructuras que nunca se habían proyectado como es el caso del Puente de Euskalduna en Bilbao. Su viga cajón con sección en Z le hizo merecedor del premio de la Asociación Internacional de Puentes e Ingeniería Estructural (IABSE) Outstanding Structure Award. Lo que quiere decir que algunas de sus estructuras son tan innovadoras que están reconocidas a nivel mundial.

En cuanto a los otros dos puentes analizados, la Pasarela del Voluntariado fue galardonada como mejor obra de la Expo de Zaragoza 2008 y, aún hoy sigue dejando sorprendido a todo aquel que la contempla. En cambio, el Puente sobre el Río Galindo de Bilbao, no recibió ningún premio como tal, pero tras su construcción atrajo a algunas marcas de automóviles, que rodaron anuncios publicitarios en él e hicieron sesiones fotográficas de nuevos vehículos. Ya sea por su diseño moderno, sus curvas o el conjunto de su geometría, esta obra consiguió adentrarse en el corazón de los habitantes del barrio en el que se encuentra, puesto que, dio valor a la zona y los hizo sentir orgullosos del lugar en el que viven. Y, aunque esto no sea un trofeo físico en forma de medalla o copa, es seguro que la población le estará siempre agradecida a Javier Manterola.

5. 3. FORMAS Y GEOMETRÍA

Para el ingeniero Manterola, una forma curva es más bella porque encaja mejor con el espacio y, además, exhibe el poder de los profesionales de la ingeniería. En la época de los romanos, éstos ya utilizaban curvas en sus puentes, pero lo hacían incluyéndolas en los arcos. Al igual que los maestros de obra que diseñaban iglesias, añadían cúpulas y bóvedas que ayudaban a la estructura a resistir, pero también embellecían las formas interiores y exteriores. Los gustos de Manterola, en cuanto a la forma, se decantan también por puentes colgados, los atirantados y las grandes celosías. Él mismo afirma en su discurso de ingreso en la Real Academia de Bellas Artes San Fernando, que *“un puente es mucho más que fórmulas matemáticas”*²⁵. Por eso cabe destacar que el ingeniero prefiere las geometrías que mejor muestran las capacidades técnicas de su profesión.

En las tres obras analizadas existen curvas. Quizás sea por la visión de belleza de Manterola, quizás porque es un hombre interesado en el arte o quizás por motivos resistentes. Lo que está claro es que son trabajos excepcionales que están en las listas de mejores puentes de España. Se podría decir que esto es en parte gracias al lado artístico del ingeniero. Miembro de la Academia de Bellas Artes San Fernando, ha aprendido a fusionar estética, historia, resistencia e innovación para llegar a resultados absolutamente remarcables.

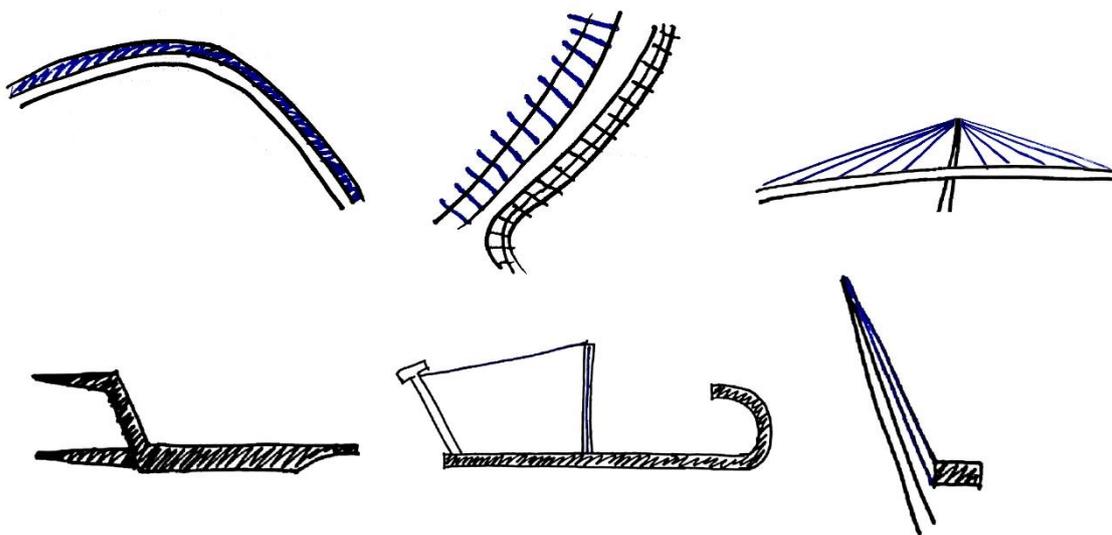


Ilustración 9. Planta y sección de los tres puentes. Forma curva común (elaboración propia)

²⁵ Manterola Armisén, Javier. *Discurso de ingreso a la Real Academia de Bellas Artes San Fernando*. 17 de diciembre de 2006

5.4. ILUMINACIÓN

Por otra parte, en las estructuras siempre se ha tenido en cuenta la forma, al hablar de belleza, pero es cierto que, a veces se olvida considerar la luz como un factor clave en la estética. La iluminación es un punto clave dado que, influye en la manera en la que los sujetos contemplan las construcciones. Es por ello que, el ingeniero Manterola trata con igual importancia al modo de iluminar sus obras, como a su diseño o materiales.

Ejemplo de esto podría ser la iluminación del puente sobre el Río Galindo, donde se crea un escenario futurista gracias a la combinación de la forma de la estructura con las luminarias. Lo mismo ocurre en la Pasarela del Voluntariado de Zaragoza. En este caso se hablaría de figuras que sobrevuelan el río Ebro, creadas por efecto lumínico. Por esta razón, existen proyectores instalados específicamente para reflejar en la superficie de los elementos y producir efectos ópticos que, gracias a la imaginación de los viandantes, se conviertan en esbeltas siluetas.

Por lo contrario, en el caso del puente de Euskalduna, no se trata de una iluminación decorativa sino, de iluminación funcional. Cabe la posibilidad de que, al ser una construcción por la que pasan más de 40.000 vehículos al día, el ingeniero prefiriera ir directo a lo práctico y disponer luminarias que garanticen la seguridad de automóviles, viandantes y bicicletas.

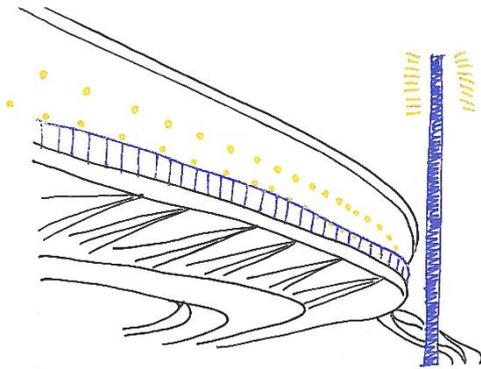


Ilustración 10. Esquema de iluminación del Puente de Euskalduna (elaboración propia)

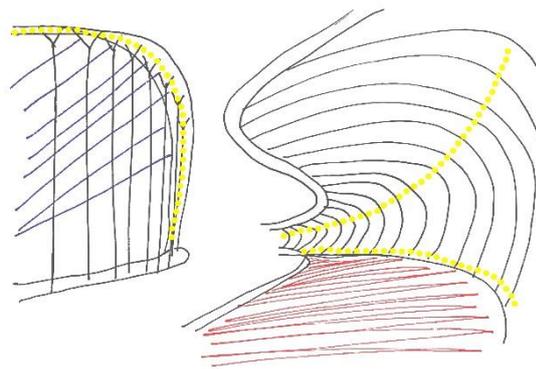


Ilustración 11. Esquema de iluminación del Puente sobre el Río Galindo (elaboración propia)

5.5. COLOR

No se debe olvidar el papel fundamental del color en la estética. El color interfiere en la forma de ver las cosas, actúa psicológicamente sobre nosotros y modifica el espacio, como bien reconocía el arquitecto suizo Le Corbusier. Si cada individuo tiene una forma diferente de ver el mundo, lo mismo pasa con la percepción de los colores. Estos influyen en las emociones y sentimientos del observador, ya que, existen tonos fríos que paralizan y tranquilizan la escena, cálidos que la vuelven más dinámica, energética o extrovertida, y neutros o versátiles los cuales invisibilizan la obra.

Además, el peso visual de la construcción también puede variar con los colores, esto es así puesto que, los colores cálidos, claros o saturados son más densos que los fríos, oscuros y desaturados. Otros aspectos que influyen en este factor es el tamaño dado que visualmente pesa más una construcción mayor, y la textura. Una superficie lisa y homogénea es más ligera para la vista que una superficie rugosa y con resaltes.

En la Bauhaus, escuela que contribuyó a formar las bases normativas y patrones del diseño gráfico e industrial tal y como lo conocemos hoy en día, el color era un tema de gran importancia, ya que, interfiere en las características visuales de la forma, logrando mimetizar las estructuras con el entorno, destacar alguna parte de estas, incorporar un valor artístico o bien vincular la estructura con la cultura local. En otras palabras: la armonía o el contraste de colores permite crear una composición que influirá en el resultado final de la construcción.

Aquí surge un pequeño inconveniente, y es que normalmente las obras de ingeniería se encuentran a la intemperie y deben resistir los efectos climáticos que, a veces, pueden llegar a ser extremos. Debido a esto, los diferentes elementos que forman las estructuras han de estar realizados con materiales que puedan superar esas condiciones sin problemas.

El color en los puentes viene dado por la capa protectora que se aplica a las estructuras sobre todo a las metálicas. Los pigmentos se utilizan para proteger aglomerados asfálticos o estructuras de hormigón. El color puede introducirse incluso con soluciones más atípicas como podría ser incorporando especies vegetales. En las obras de ingeniería, el color es lo más visible y lo más económico.

El metal es una buena solución cuyas propiedades están siendo mejoradas con el paso de los años, gracias a las nuevas tecnologías que permiten estudiar su comportamiento y corregirlo, ya sea con aleaciones o con otro tipo de tratamientos. Algunos de estos procesos pueden corresponder a la aplicación de películas que contengan sustancias que, al reaccionar con el material, prolonguen su vida útil.

Aquí es donde entra en juego el color. Los recubrimientos de los que se hablaba antes pueden contener también pigmentos que otorguen tonos a los materiales, diferentes de los originales. En el caso de los puentes de Manterola, se ve claramente su inclinación por los blancos o los azules. Tanto en Euskalduna como en la Pasarela del Voluntariado, añade el color azul, en diferentes tonos, para llamar la atención de la gente. En el primero, lo hace con un azul Klein en la celosía metálica inclinada hacia el exterior de la curva que forma el alma de la viga, y separa peatones de automóviles. La intensidad del color, junto con la dimensión de la celosía, hacen que los elementos destaquen fácilmente entre el resto de las partes.

En el caso de Zaragoza, la intensidad del azul utilizado es menor. En este puente utiliza el color como herramienta de fusión, el ingeniero intenta mimetizar la silueta esbelta del puente con el cielo. Todo lo contrario, ocurre en el Puente sobre el Río Galindo. Esta vez, no existe intención de disimulo, quiere destacar la forma serpenteante de la estructura y darle un carácter innovador. Es por eso por lo que utiliza un color puro como el blanco brillante, el cual combinado con el gris de los tirantes, da una imagen futurista y nueva.

5.6. IMAGEN QUE PROYECTA

La opinión de la sociedad sobre las cosas depende de lo que les transmitan. Del mismo modo, la sensación y los sentimientos que desprendan las obras de ingeniería y de arquitectura, estarán ligados a la imagen que los individuos tengan de ellas. Además, esta imagen la compondrán todos los elementos analizados anteriormente: la luz, el color, los materiales, las texturas y, por supuesto, la forma, la geometría y la escala.

Como ejemplo se podría hablar de un puente mal iluminado, el cual no aportaría la suficiente confianza a los peatones como para sentirse seguros al cruzarlo. Otro ejemplo sería una obra sin barreras entre viandantes y vehículos. Por otra parte, si un proyecto está revestido con colores agradables visualmente, hará que la gente se sienta atraída por él y quieran caminar e incluso sacarle fotografías.

Un proyecto muy querido por los habitantes de su localidad es la Pasarela del Voluntariado. Gracias a su diseño ligero, su acertada iluminación y su significado, se convirtió, desde los primeros meses después de su inauguración, en un punto de encuentro para los zaragozanos. Tal es el sentimiento de la población por su pasarela, que algunos hasta la llaman Pasarela de Manterola, cosa que sorprende porque no es habitual que la sociedad retenga el nombre de ingenieros o arquitectos. La mayoría de las personas pasan por al lado de construcciones y no desconocen quien fue su creador, pero esto no es así en el caso de la Pasarela. Se puede afirmar con seguridad que Javier Manterola dejó su huella en el corazón de los zaragozanos.

5.7. FACTORES EXTERNOS

Paralelamente a los factores estudiados, existen otras circunstancias que influyen en la imagen que desprende una infraestructura o en cómo la ve la sociedad. Estos causantes son físicos y externos, es decir, son objetos que se pueden encontrar cerca de los puentes, pero sin tener que estar sobre ellos necesariamente. Efectivamente se está hablando del mobiliario urbano y de la importancia que tiene el tratar los espacios abiertos con mayor atención

La manera en la que se iluminan las calles es un punto importante para tener en cuenta, porque puede dar una visión de un edificio o de una obra de infraestructura, diferente a la imagen que su autor quería que tuviera. Las luminarias deben de tener un adecuado diseño y estar ubicadas en lugares estratégicos para enfatizar la estética del espacio, incluso en pleno día. Además, su escala también influye en cómo se ven los elementos que tienen a su alrededor.

A su vez, los pavimentos juegan un papel del mismo valor que el de las luminarias. Elementos como el color, las formas geométricas, las texturas, los materiales empleados o el diseño de un pavimento, son factores clave en la relación de una construcción con el entorno que la rodea. La distinción entre calzada de vehículos y acera de peatones es algo crucial. Ésta debe de estar representada de manera clara y es algo que influirá en el nivel de seguridad con el que circulen los viandantes. A veces, la colocación de algún elemento del tipo barrera, que puede ser vegetal, contribuye a crear esa sensación de seguridad en el peatón.

Un claro ejemplo de buena relación entorno-obra es el caso del Puente de Euskalduna y las márgenes de la Ría del Nervión. Las obras llevadas a cabo para mejorar la estética de esta zona dieron muy buenos resultados. Hoy en día se pueden observar unos espacios abiertos llenos de zonas verdes, parques, edificios públicos como el Palacio Euskalduna de Congresos y de la Música o el muelle Ramón de la Sota.

Si se habla de espacios naturales no se puede olvidar mencionar el Plan de renovación que regeneró la ribera del río Ebro en Zaragoza. De esta manera, se tiene que los alrededores de la Pasarela del Voluntariado desprenden pureza y vida, dado que se trata de naturaleza en medio de una ciudad. Además, este plan combinó la recuperación de los bordes del cauce, con la creación de espacios para la población.

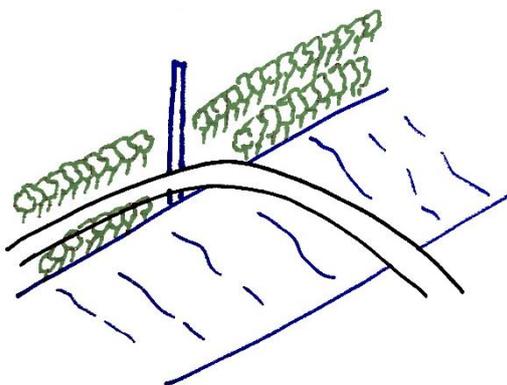


Ilustración 12. Entorno vegetal Puente de Euskalduna (elaboración propia)

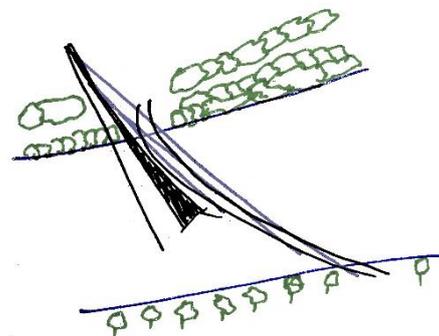


Ilustración 13. Entorno vegetal Pasarela del Voluntariado (elaboración propia)

5.8. INSPIRACIÓN

En cuanto a la inspiración que lleva a la forma final de los proyectos, lo más utilizado es la naturaleza y el entorno de la obra. La mimetización de una estructura con el paisaje es algo que no siempre se busca, pero que cuando se llega a ello, surgen perspectivas realmente extraordinarias y acabados que no se habían imaginado. Los ingenieros tratan de conseguir el mejor resultado, minimizando la estructura lo máximo posible para evitar construcciones másicas y toscas. El trabajo de los ingenieros se basa en la búsqueda de la eficiencia.

Es difícil pretender separar el arte de la ciencia o, la tecnología del diseño. Afortunadamente, el trabajo de Manterola une ambos aspectos para crear sus obras. El lado artístico del ingeniero le permite crear formas basadas en el paisaje, como es el caso de la Pasarela del Voluntariado, la cual está inspirada en las aves que sobrevuelan el río Ebro. Cabe destacar que, aun siendo una construcción metálica de 230 metros de longitud, J. Manterola consiguió llegar a una estética que dotara de ligereza a la obra.

Se podría decir que, en el Puente de Euskalduna es el movimiento de las aguas de la Ría de Bilbao, quien inspiró al ingeniero a la hora de trazar la planta curva del puente. Del mismo modo, las exigencias resistentes y formales propiciaron la curvatura y la decantación por materiales metálicos. Contrariamente a lo anterior, en el Puente sobre el Río Galindo, no se ve una influencia por parte de la naturaleza. Se intuye que, en este caso, el ingeniero quiso innovar en la estética de la obra y, gracias a ello, llegó a una forma totalmente futurista. Ciertamente es que este puente parece sacado de una película de ciencia ficción y, aunque su presencia destaque sobre el paisaje, no lo hace de manera peyorativa sino todo lo contrario. La aparición del puente ha supuesto una inyección de vida a los barrios que conecta.

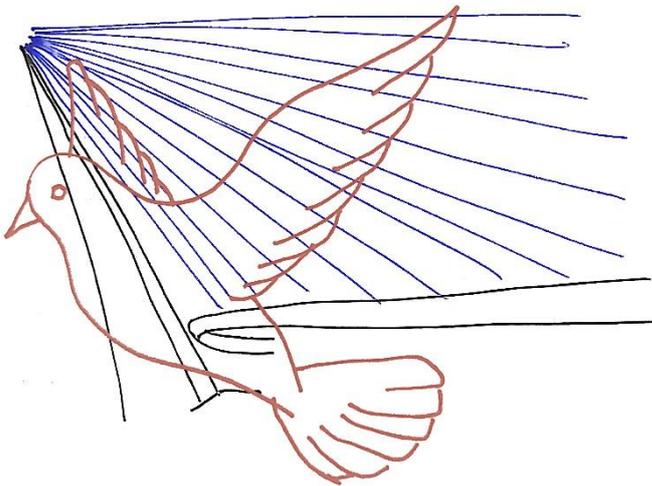


Ilustración 14. Inspiración en las aves de la Pasarela del Voluntariado (elaboración propia)

5.9. TABLA RESUMEN

La tabla que aparece a continuación contiene algunas de las características principales de las tres obras analizadas.

PUENTE	EUSKALDUNA	PUENTE SOBRE EL RÍO GALINDO	PASARELA DEL VOLUNTARIADO
LOCALIZACIÓN	Bilbao, País Vasco	Bilbao, País Vasco	Zaragoza, Aragón
AÑO DE CONSTRUCCIÓN	1997	2007	2008
TIPO DE ESTRUCTURA	Viga cajón	Puente con arco de doble curvatura	Pasarela curva con atirantamiento extradorsal
TIRANTES	No	Sí (Semihorizontales)	Sí (Verticales)
APOYOS Y CIMENTACIÓN	Pilotes de 20 m de profundidad	Pilotes de 29,8 m de profundidad, con encepado	Pilotes de 30 m de profundidad
MATERIALIDAD	Metal	Metal	Metal
PREMIOS	Outstanding Structure Award		Mejor obra de la Expo 2008
RECORRIDOS	Automóvil, a pie, bicicleta	Automóvil, a pie, bicicleta	A pie
PRIMERAS IMPRESIONES	Industrial	Futurista	Estructura ligera
APORTACIONES AL ENTORNO	Alivio del tráfico rodado de la zona	Aporte de vida y sentimiento de orgullo a los vecinos del barrio	Aporte de un lugar de encuentro

* Tabla de elaboración propia

6. CONCLUSIÓN

Tras el análisis anterior, se puede ver que el proceso de proyección y diseño de arquitectos e ingenieros no es tan diferente como se piensa. Sin olvidar que cada uno tiene sus limitaciones, el camino para llegar a la estética deseada está lleno de problemas a resolver. El resultado final dependerá de las soluciones que se empleen desde los primeros pasos en el diseño, hasta los inconvenientes que aparezcan durante la construcción.

Un arquitecto juega con el diseño de sus proyectos, crea formas y geometrías diversas, altera la escala de los componentes de la estructura y tiene más libertad a la hora de imaginar. En el caso contrario se encuentran los ingenieros. Éstos se enfrentan a una mayor cantidad de variables y limitaciones, que coartan su creatividad. Podría ser esto lo que ha llevado a la mayoría de dichos profesionales, a no indagar en cuanto a inventiva.

La mayoría de los problemas con los que tienen que lidiar los ingenieros tienen que ver con la escala. La dimensión de los perfiles necesarios no siempre es la deseada por el ingeniero, pero es la que se debe instalar para garantizar el correcto funcionamiento de la estructura. Eduardo Torroja afirmaba que *“La estética surge del deseo último de fundir en un mismo ser la forma artística con la resistente”*²⁶. Lo mismo ocurre con los materiales. Algunos tienen unas características más apropiadas para cubrir luces determinadas y por eso son más recomendables que otros.

Los puentes de Manterola son esculturas, son arte. Algunos de estos puentes resisten grandes cargas y fatigas, como los puentes para los trenes de alta velocidad, cuya gran belleza sorprende, teniendo en cuenta las limitaciones estructurales a las que se vieron sometidos en su fase de diseño.

Otro gran ingeniero llamado Juan José Arenas dijo que *“contraponer funcionalidad y belleza es tomar el camino equivocado”*²⁷. Se conoce que el lenguaje visual está formado por diferentes elementos como el punto, la línea, las superficies y el volumen. Esto crea formas y volúmenes los cuales, en la obra civil, se integran en el paisaje, es decir, se habla de composición, lo cual en pintura o fotografía es considerado como arte, pero ¿por qué no hablar de arte en la ingeniería?

La manifestación del arte en las estructuras fue nombrada como *“arte estructural”*²⁸. En las estructuras siempre se ha tenido en cuenta la forma al hablar de belleza, sin embargo, es cierto que, a veces se olvida otro pilar fundamental de la estética: la luz. La luz influye en la manera en la que el sujeto contempla las construcciones. Junto a las luminarias artificiales que recorren los puentes para dotarlos de seguridad y destacar algunos puntos de su geometría, se encuentra la luz natural. Los rayos del sol pueden transformar los tonos de una estructura en colores más cálidos y, además, pueden llegar a desgastar el pigmento que reviste los materiales de la obra.

Por otra parte, en la oscuridad de la noche, los puentes pueden dar otra imagen distinta a la deseada por el autor. Pueden incluso, llegar a desaparecer visualmente, en una noche de niebla densa. Es ahí donde entran en juego las luminarias, como se ha explicado anteriormente.

El objetivo de un puente es salvar un obstáculo, que normalmente suele ser una barrera natural como un río o un barranco, así como reducir el tiempo que se tarda en cruzar de un extremo a otro. Las obras de infraestructura facilitan las actividades humanas y sus diversas funciones y servicios como la eficiencia y fluidez del tráfico, el estacionamiento de vehículos, la gestión de

²⁶. Torroja, Eduardo (1950)

²⁷. Arenas de Pablo, Juan José. 1995. *“La calidad visual a través del color. Cuadernos de Diseño en la Obra Pública”*. El blog de Victor Yepes. 2019

²⁸. P. Billington, David. (2013)

desperdicios, el reciclaje, el abastecimiento de agua, etc. Pero, todas estas construcciones deben participar en la estética del paisaje. Si el diseño urbano introduce un equipamiento equilibrado y agradable en el lugar, esto hará aumentar la satisfacción de la población y, a su vez, la calidad de vida.

Esto se puede explicar con el orgullo que sienten los habitantes de un barrio al verlo renovado y con una buena estética. Las personas tienen un instinto de competición, de querer ser siempre mejores que el resto, y esto se puede ver también en el paisaje urbano. Una comunidad orgullosa de su ciudad tiene la fortaleza de unirse y mantener cuidado y libre de vandalismo su barrio. En resumen, un adecuado mobiliario urbano y unas infraestructuras que se relacionen correctamente con el paisaje, se traducirán en bienestar y seguridad para todo aquel que viva o pase por el lugar.

Por otra parte, desde hace ya años, se están llevando a cabo investigaciones para encontrar nuevos materiales de construcción, los cuales estén compuestos por fibras de vidrio, fibras de carbono o, que contengan resinas y propiedades que nunca se habían imaginado. Materiales más resistentes, pero también, más ligeros; para los que la corrosión no sea un problema. Que sean capaces de cambiar de rígidos a flexibles según las exigencias de su entorno. Y que, en el caso de producirse una grieta en su superficie, ellos mismos puedan cerrarla.

Algunas de estas innovaciones ya existen, es lo que se denomina estructuras inteligentes, pero cierto es, que aún necesitan perfeccionarse. Aunque, en un futuro cercano, se irán introduciendo poco a poco en el mundo de la construcción. Cabe destacar que, la invención del pretensado fue un adelanto de la modernización que acechaba al campo de las obras de infraestructura. Dentro de unos años, la sociedad vivirá un cambio equiparable al que se produjo a principios del siglo XIX, con la incorporación de la ciencia en la construcción.

En cuanto al mundo de los puentes, no hay que esperar un cambio radical en este campo, pero sí, una evolución hacia formas mejor estudiadas, más estéticas y de cara a conseguir puentes eficaces, estructuralmente resistentes y económicos, pero con un poco de valor añadido. Cuidar las formas del puente para hacerlas más agradables al uso, es una buena solución para que se produzca un avance notable en el mundo de las infraestructuras de este tipo.

Dicho de otro modo, el planteamiento de los diseñadores debería evolucionar para así conseguir una estética eficiente. Por otro lado, junto con las exigencias anteriores, debería tenerse en cuenta que el diseño no encarezca la estructura y así, mantener el proyecto dentro de un presupuesto abordable para las administraciones. De este modo, las oficinas de ingeniería tendrían más oportunidades a la hora de que se les adjudiquen obras.

Cuando un ingeniero ve finalizado un proyecto que él mismo dibujó, siente una sensación de satisfacción inexplicable. Es una sensación comparable a la que sienten los arquitectos cuando termina la construcción de un edificio, vivienda, etc., que ellos mismos han diseñado. La primera obra en la carrera profesional de estos expertos quedará siempre en su memoria, y es que, a partir de ese momento comienza la evolución de su manera de diseñar. Es, precisamente, esta transformación la que hará que la figura de un profesional destaque sobre sus demás compañeros de profesión.

Ejemplo de esto es el ingeniero Javier Manterola. Como se ha visto en este análisis, ha conseguido que su figura destaque gracias a sus esfuerzos y su

trabajo. Los tres proyectos que se han desarrollado a lo largo de este trabajo son solo una pincelada de su obra, la cual no hubiera sido igual sin los métodos modernos que han facilitado llegar a figuras más limpias.

En cuanto a la arquitectura, ésta también se ha visto afectada positivamente por la introducción de los nuevos métodos constructivos. Gracias a los profesionales que han sabido adaptarse a los avances tecnológicos y aprovechar sus posibilidades, el mundo de la construcción está viviendo una época de experimentación, de la que están surgiendo verdaderas obras de arte.

Javier Manterola supo ver lo que estaba sucediendo y explotarlo para enriquecer su obra. Sus capacidades como profesional de la ingeniería son infinitas. Así mismo, a todo esto, hay que sumarle el interés que siente por el arte y otros campos humanísticos, lo que ha influido de manera positiva, en toda su trayectoria profesional.

Pero, Manterola no es solo un gran ingeniero, sino también un excelente docente que ha tratado de transmitir su conocimiento a los estudiantes y futuros ingenieros, con la intención de extender su forma de ver el mundo y la ingeniería. En conclusión, no cabe duda de que Javier Manterola es un gran profesional en su campo, que siempre ha tenido ganas de aprender y progresar, así como, transmitir su conocimiento a los demás.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alcalá, A. L., Manuel, J., Gimeno, F., Blasco, J. A., Lezáun Martínez, L., & Resumen, U. (2011). *Estudio comparativo de los puentes de la Expo 2008 de Zaragoza* *Comparative study of bridges in the Zaragoza Expo 2008*. <http://www.tecnicaindustrial.es/TIFrontal/a-3749-estudio-comparativo-puentes-expo-2008-zaragoza.aspx>
- Armisen, M. (2008). Tendiendo puentes (Building bridges). In *Rev. int. estud. vascos* (Vol. 53).
- Arenas de Pablo, Juan José. (2007). *Caminos en el aire*. Madrid. Editorial Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos
- Arenas de Pablo, Juan José. (1984). *Calidad en la edificación*. Madrid. Editorial AUTOR-EDITOR 15
- Arenas de Pablo, Juan José. (1995). "La calidad visual a través del color. Cuadernos de Diseño en la Obra Pública". *El blog de Víctor Yepes*. 2019. Retrieved July 28, 2020, from <https://victoryepes.blogs.upv.es/tag/javier-manterola/>
- Arredondo González, Eliseo. Bitácora 26 | Bitacora Arquitectura. (Diciembre de 2017). Retrieved August 4, 2020, from <http://bitacora.arquitectura.unam.mx/category/bitacora-26/page/3/#>
- Ayuntamiento de Sestao - El puente sobre el río Galindo asoma a Sestao al mundo de la publicidad. (2012). Retrieved July 28, 2020, from <http://www.sestao.eus/es-ES/Noticias/Paginas/ElpuentesobreelríoGalindoasomaaSestaoalmundodelapublicidad.aspx>
- CFCSL Pasarela sobre el río Ebro. Expo 2008. Zaragoza. España. 2008. - CFCSL. (n.d.). Retrieved August 20, 2020, from <http://www.cfcsl.com/pasarela-rio-ebro-expo-2008-zaragoza-espana-2008/>
- CFCSL Puente de Euskalduna. Bilbao. España. 1999 - CFCSL. (n.d.). Retrieved August 20, 2020, from <http://www.cfcsl.com/puente-de-euskalduna-bilbao-espana-1999/>
- CFCSL Puente sobre el río Galindo. Vizcaya. España. 2008. CFCSL. (n.d.). Retrieved August 20, 2020, from <https://www.cfcsl.com/portfolio/puente-sobre-el-rio-galindo-vizcaya-2008/>

- Construcciones y Reformas de Puentes y Pasarelas en Bilbao y Bizkaia | Page 30 | SkyscraperCity. (2018). Retrieved August 11, 2020, from <https://www.skyscrapercity.com/threads/construcciones-y-reformas-de-puentes-y-pasarelas-en-bilbao-y-bizkaia.198912/page-30#post-149923833>
- Corellano, F. P. Universidad de Zaragoza, AGE (2015). *La recuperación de las riberas del Ebro en Zaragoza. Un efecto perdurable del evento efímero Expo 2008*.
- De las Heras, Ainhoa. Un tramo peatonal del puente Euskalduna seguirá cerrado tres o cuatro días por seguridad | El Correo. (n.d.). Retrieved August 11, 2020, from <https://www.elcorreo.com/bizkaia/cierran-puente-euskalduna-20180628072231-nt.html>
- EFE. Zaragoza. Los voluntarios de la Expo estrenan la pasarela de Manterola, primera obra de las riberas acabada. (n.d.). Retrieved June 18, 2020, from <https://www.heraldo.es/noticias/aragon/zaragoza/2008/04/24/los-voluntarios-la-expo-estrenan-pasarela-manterola-primera-obra-las-riberas-acabada-10534-2261126.html>
- EiTB. Fotos del deslizamiento en la estructura del puente Euskalduna de Bilbao | Sociedad |. (n.d.). Retrieved August 13, 2020, from <https://www.eitb.eus/es/noticias/sociedad/fotos/detalle/5695731/fotos-deslizamiento-estructura-puente-euskalduna-bilbao/>
- Fernández Casado, Carlos. (1976). *Estética de las artes del ingeniero*. Madrid. Editorial AUTOR-EDITOR 15
- Fernández Casado, Carlos. (2008). *Historia del puente en España. Puentes Romanos*. Madrid. Editorial Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos
- Fernández Casado, Carlos. (2006). *La arquitectura del ingeniero*. Madrid. Editorial Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos
- GOING | Puente Euskalduna. (n.d.). Retrieved August 11, 2020, from <http://ingenieria-civil.org/GOING/obra.php?id=53>
- Gómez, Borja. Puente sobre el Galindo de Javier Manterola: Ingeniería y belleza se hacen uno. | Bilbao en Construcción! (n.d.). Retrieved June 18, 2020, from <https://bilbaoenconstruccion.com/2007/11/24/puente-sobre-el-galindo-de-javier-manterola-ingenieria-y-belleza-se-hacen-uno/>
- Laríadelocio. La Diputación de Bizkaia invertirá 450.000 euros en el Puente Euskalduna - la ría del ocio. (n.d.). Retrieved August 12, 2020, from <http://lariadelocio.es/la-diputacion-de-bizkaia-invertira-450-000-euros-en-el-puente-euskalduna/>

- López, M. La pasarela del Voluntariado de Zaragoza permanecerá cerrada esta semana por seguridad. (n.d.). Retrieved August 17, 2020, from <https://www.heraldo.es/noticias/aragon/zaragoza/2020/07/20/la-pasarela-del-voluntariado-zaragoza-permanecera-cerrada-esta-semana-por-seguridad-1386995.html>
- M. M. M. La pasarela que roza el cielo y a la que acaricia el cierzo | Noticias de en Heraldo.es. (n.d.). Retrieved July 29, 2020, from <https://www.heraldo.es/noticias/ocio-cultura/2018/12/15/la-pasarela-que-roza-cielo-que-acaricia-cierzo-1283140-1361024.html>
- Manterola Armisén, Javier. IX Seminario de Ingeniería Vial - Innovaciones en materia de tecnología de puentes - YouTube. (n.d.). Retrieved June 24, 2020, from <https://www.youtube.com/watch?v=fuWtFkShH9w>
- Manterola Armisén, Javier. (1977) *Análisis de tableros de puentes por métodos armónicos*. Madrid. Instituto Eduardo Torroja de la Construcción y del Cemento
- Manterola Armisén, Javier. Discurso de ingreso Biblioteca. (n.d.). Retrieved June 25, 2020, from <https://realacademiabellasartessanfernando.com/es/archivo-biblioteca/biblioteca/discursos-de-ingreso>
- Manterola Armisén, Javier. (2016) *El oficio del ingeniero*. Madrid. Ediciones Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos
- Manterola Armisén, Javier. (2018) *Historia de los puentes*. Madrid. Ediciones arte y Estética
- Manterola Armisén, Javier: "La buena ingeniería se hace bajo presión, sin adorno" | Babelia | EL PAÍS. (n.d.). Retrieved July 23, 2020, from https://elpais.com/cultura/2017/03/02/babelia/1488467446_441861.html
- Manterola Armisén, Javier. (2010) *La obra de ingeniería como obra de arte*. Madrid. Editorial Laetoli
- Manterola Armisén, Javier. (2000) *Puentes. Puentes arcos y puentes atirantados*. Madrid. Editorial Universidad Politécnica de Madrid. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos
- Manterola Armisén, Javier. Fernández Alba, Antonio (2007) *Relación entre la estructura resistente y la forma*. Madrid. Editorial Biblioteca Nueva

- Manterola Armisén, Javier - MOS INGENIEROS - BLOG DE INGENIERÍA. (n.d.). Retrieved July 23, 2020, from <http://www.mosingenieros.com/2010/08/javier-manterola-armisen.html>
- Manterola Armisén, Javier., & Ginés, M. A. G. (n.d.). *PUENTE SOBRE EL RÍO GALINDO EN BARACALDO*.
- Muñoz, I. El Ayuntamiento reabre la pasarela del Voluntariado de Zaragoza. (n.d.). Retrieved August 17, 2020, from <https://www.heraldo.es/noticias/aragon/zaragoza/2020/07/28/el-ayuntamiento-reabrira-esta-semana-la-pasarela-del-voluntariado-de-zaragoza-1388198.html>
- OP Primeros Números. (n.d.). Retrieved June 25, 2020, from <http://www.ciccp.es/revistaIT/Anteriores/upabase8.html>
- Puente Euskalduna, historia y curiosidades del puente más bonito. (n.d.). Retrieved June 18, 2020, from <https://www.debilbaopues.com/puente-euskalduna/>
- REVISTA DE OBRAS PÚBLICAS. (n.d.). Retrieved June 25, 2020, from http://ropdigital.ciccp.es/detalle_articulo.php?registro=18579&anio=2007&numero_revista=3476
- Río, Lorenzo. Aragón Radio. Estado de la Pasarela del Voluntariado - Ésta es la Nuestra - 4 - Programas - Podcasts y Audios - Retrieved August 17, 2020, from <http://www.aragonradio.es/podcast/emision/estado-de-la-pasarela-del-voluntariado>
- Schlaich, M. (2019). Diseño de puentes: el enfoque español por Javier Manterola y su similitud en Alemania. *Hormigón y Acero*, 70(289), 95-102. <https://doi.org/10.33586/hya.2019.2073>
- Universidad de Navarra. Noticias, Últimas noticias, Javier Manterola: “El Premio Príncipe de Viana ha supuesto un mayor reconocimiento del trabajo de los ingenieros” . (n.d.). Retrieved August 27, 2020, from <http://www.unav.es/noticias/030306-11.html>

8. ANEXO IMÁGENES

- *Imagen 1. Ciudad de París en el siglo XIX. Fuente: WordPress.com*
<https://geography10.wordpress.com/2013/10/16/modernity-throughout-paris-city-from-the-17th-century-onwards-by-aoife-daly/>
- *Imagen 2. Puente Vizcaya, Bilbao, año 1893. Fuente: elcorreo.com*
<https://puente-colgante.com/blog/page/10/>
- *Imagen 3. Javier Manterola Armisen. Fuente: Círculo de Bellas Artes de Madrid*
<https://www.circulobellasartes.com/revistaminerva/index.php?id=21>
- *Imagen 4. Edificio de Torres Blancas, Madrid. Fuente: HIC arquitectura*
[https://www.pinterest.es/pin/22166223155004584/?amp_client_id=CLIENT_ID\(\)&mw_eb_unauth_id=%7B%7Bdefault.session%7D%7D&from_amp_pin_page=true](https://www.pinterest.es/pin/22166223155004584/?amp_client_id=CLIENT_ID()&mw_eb_unauth_id=%7B%7Bdefault.session%7D%7D&from_amp_pin_page=true)
- *Imagen 5. Javier Manterola durante la construcción del Puente de la Constitución de 1812, Cádiz, año 2014. Fuente: ABC.es*
https://www.abc.es/sociedad/abci-fundacion-entrecanales-ibarra-premia-manterola-no-podia-quedar-sin-este-reconocimiento-201712142216_noticia.html
- *Imagen 6. Puente de Euskalduna, Bilbao. Fuente: skyscrapercity.com*
<https://www.skyscrapercity.com/threads/construcciones-y-reformas-de-puentes-y-pasarelas-en-bilbao-y-bizkaia.198912/page-30#post-149923833>
- *Imagen 7. Puente sobre el Río Galindo. Fuente: sestao.eus (Ayuntamiento de Sestao)*
<http://www.sestao.eus/es-ES/Noticias/Paginas/Elpuentesobreeel%C3%ADoGalindoasomaaSestaoalmundodelapublicidad.aspx>
- *Imagen 8. Pasarela del Voluntariado. Fuente: Oficina de Carlos Fernández Casado S. L. (CFCSL)*
<https://www.cfcs.com/pasarela-rio-ebro-expo-2008-zaragoza-espana-2008/>
- *Imagen 9. Puente de Euskalduna, Bilbao, vista aérea. Fuente: argazki.irekia.euskadi.eus*
<https://argazki.irekia.euskadi.eus/es/photos/16728>
- *Imagen 10. Forma Puente de Euskalduna. Fuente: elcorreo.com*
<https://www.elcorreo.com/bizkaia/detalles-puente-euskalduna-20180629224339-in.html>
- *Imagen 11. Parte inferior del puente. Fuente: Oficina de Carlos Fernández Casado S. L. (CFCSL)*
<https://www.cfcs.com/en/euskalduna-bridge-bilbao-spain/>
- *Imagen 12. Escaleras y mástil en la margen de Botica Vieja. Fuente: Oficina de Carlos Fernández Casado S. L. (CFCSL)*
<https://www.cfcs.com/en/euskalduna-bridge-bilbao-spain/>
- *Imagen 13. Estructura del tablero inferior. Fuente: Oficina de Carlos Fernández Casado S. L. (CFCSL)*
<https://www.cfcs.com/en/euskalduna-bridge-bilbao-spain/>
- *Imagen 14. Cara inferior del puente. Fuente: Euskalduna_zubia*

- https://sustatu.eus/arg_doneperiaga/1424785274
- Imagen 15. Calzada y celosía inclinada. Fuente: www.acampos.es
<https://www.acampos.es/galeria/arquitectura>
 - Imagen 16. Construcción del puente. Fuente: Oficina de Carlos Fernández Casado S. L. (CFCSL)
<https://www.cfcsl.com/en/euskalduna-bridge-bilbao-spain/>
 - Imagen 17. Iluminación durante la noche. Fuente: elcorreo.com
<https://www.elcorreo.com/bizkaia/detalles-puente-euskalduna-20180629224339-in.html>
 - Imagen 18. Alzado interior. Fuente: Going Ingeniería Civil, Asociación de ingenieros de caminos, canales puertos
<http://ingenieria-civil.org/GOING/obra.php?id=53>
 - Imagen 19. Parte peatonal. Going Ingeniería Civil, Asociación de ingenieros de caminos, canales puertos
<http://ingenieria-civil.org/GOING/obra.php?id=53>
 - Imagen 20. Alzado escaleras helicoidales. Fuente: Going Ingeniería Civil, Asociación de ingenieros de caminos, canales puertos
<http://ingenieria-civil.org/GOING/obra.php?id=53>
 - Imagen 21. Carril Bici. Fuente: [Bilbaoturismo.net](http://bilbaoturismo.net)
<https://www.bilbaoturismo.net/BilbaoTurismo/eu/ibilbideak-oinetz/zubien-ibilbideak>
 - Imagen 22. Escalón de 20 cm en la cubierta. Fuente: [público.es](http://publico.es)
<https://www.publico.es/videos/680106/el-puente-euskalduna-de-bilbao>
 - Imagen 23. Escalón en la cubierta. Fuente: cope.es
https://www.cope.es/emisoras/pais-vasco/noticias/puente-euskalduna-bilbao-cerrado-debido-deslizamiento-estructura-20180628_232758
 - Imagen 24. Puente sobre el Río Galindo. Fuente: Oficina de Carlos Fernández Casado S. L. (CFSSL)
<https://www.cfcsl.com/en/bridge-galindo-river-vizcaya-spain/>
 - Imagen 25. Sección constructiva. Fuente: Oficina de Carlos Fernández Casado S. L. (CFSSL)
<https://www.cfcsl.com/en/bridge-galindo-river-vizcaya-spain/>
 - Imagen 26. Vista lateral de los mástiles y tirantes. Fuente: Oficina de Carlos Fernández Casado S. L. (CFSSL)
<https://www.cfcsl.com/en/bridge-galindo-river-vizcaya-spain/>
 - Imagen 27. Iluminación de noche. Fuente: Oficina de Carlos Fernández Casado S. L. (CFSSL)
<https://www.cfcsl.com/en/bridge-galindo-river-vizcaya-spain/>
 - Imagen 28. Parte peatonal del puente. Fuente: Universidad Politécnica de Madrid. (UPM)
<http://w3.mecanica.upm.es/-goico/puentes/>
 - Imagen 29. Parte rodada del puente. Fuente: Oficina de Carlos Fernández Casado S. L. (CFSSL)

- <https://www.cfcsl.com/en/bridge-galindo-river-vizcaya-spain/>
- *Imagen 30. Alzado de la Pasarela. Fuente: Oficina de Carlos Fernández Casado S. L. (CFCSL)*
<https://www.cfcsl.com/pasarela-rio-ebro-expo-2008-zaragoza-espana-2008/>
 - *Imagen 31. Vista de la Pasarela. Fuente: Oficina de Carlos Fernández Casado S. L. (CFCSL)*
<https://www.cfcsl.com/pasarela-rio-ebro-expo-2008-zaragoza-espana-2008/>
 - *Imagen 32. Construcción de la Pasarela. Fuente: rimasa2006.com*
<http://www.rimasa2006.com/estructuras-metalicas/pasarela-del-voluntariado/>
 - *Imagen 33. Interior de la Pasarela. Fuente: Oficina de Carlos Fernández Casado S. L. (CFCSL)*
<https://www.cfcsl.com/pasarela-rio-ebro-expo-2008-zaragoza-espana-2008/>
 - *Imagen 34. Iluminación de la Pasarela. Fuente: Oficina de Carlos Fernández Casado S. L. (CFCSL)*
<https://www.cfcsl.com/pasarela-rio-ebro-expo-2008-zaragoza-espana-2008/>
 - *Imagen 35. Cartel apertura Exposición Universal de París 1889. Fuente: researchgate.com*
https://www.researchgate.net/figure/Cartel-de-la-Exposicin-Universal-Internacional-de-Pars-1889_fig4_309505011
 - *Imagen 36. Logo de la Exposición de Zaragoza de 2008. Fuente: elconfidencial.com*
https://www.elconfidencial.com/mercados/fondos-de-inversion/2008-06-17/los-visitantes-puntuan-con-un-notable-alto-a-la-expo-en-su-primer-fin-de-semana-de-apertura_824709/
 - *Imagen 37. Profesionales inspeccionando la Pasarela. Fuente: El Periódico de Aragón*
https://www.elperiodicodearagon.com/noticias/aragon/pasarela-voluntariado-queda-cerrada-semana_1429058.html

