

Proyecto Fin de Carrera  
Ingeniería Industrial

# **Levantamiento, modelado y recreación virtual del Puente de Isabel II de Sevilla con CATIA V.5**

Autor:

Jesús Cortés Domínguez

Tutor:

Manuel Morato Moreno

Profesor titular de universidad

Departamento de Ingeniería Gráfica  
Escuela Técnica Superior de Ingeniería  
Universidad de Sevilla

Sevilla, 2018

En este proyecto de fin de carrera se lleva a cabo un proceso de recreación del puente de Isabel II de Sevilla, popularmente conocido como puente de Triana. Para ello se ha utilizado el Software CATIA en su versión V5 para el modelado y ensamblaje de las distintas partes del puente

Para ello se ha realizado un proceso de búsqueda de toda la información de planimetría existente en las distintas instituciones, que van desde el ámbito municipal al estatal, pasando por el provincial y autonómico. De esta búsqueda se ha obtenido gran parte de la información necesaria para el modelado del puente, aunque, debido a la escasez de información, es insuficiente para la reconstrucción total del puente.

Para completar esta información se han realizados análisis fotográficos ayudados por la información proporcionada por la documentación encontrada.

Una vez disponibles todos los datos requeridos para el modelado, se aborda el proceso de modelado propiamente dicho de las diferentes piezas, así como el ensamblaje final de todas ellas.

<b>Agradecimientos</b>	<b>ix</b>
<b>Resumen</b>	<b>xi</b>
<b>Índice</b>	<b>xiii</b>
<b>Índice de Figuras</b>	<b>xiv</b>
<b>1 Objeto del proyecto</b>	<b>1</b>
1.1. Objeto	1
1.2. Justificación	1
1.3. Sumario	2
<b>2 Historia del puente</b>	<b>3</b>
2.1 Orígenes	3
2.2 Puente de barcas	4
2.3 Primeros proyectos de un puente fijo	7
2.4 Construcción y legado	10
<b>3 Elementos constructivos</b>	<b>15</b>
3.1 Búsqueda de información	15
3.2 Partes del puente	17
3.2.1 Arcos y Anillos	17
3.2.2 Arriostramientos	18
3.2.3 Barandilla	19
3.2.4 Pilas y estribo	21
3.2.5 Tablero	21
3.2.6 Elementos no modelables	22
<b>4 Modelado de puente</b>	<b>23</b>
4.1 Introducción a CATIA	23
4.2 Modelado del puente en CATIA	25
4.2.1 Arcos y anillos	25
4.2.2 Arriostramientos	28
4.2.3 Barandilla	31
4.2.4 Pilas y estribos	34
4.2.5 Tablero	36
4.2.6 Entorno	37
4.2.7 Montaje	38
<b>5 Conclusiones</b>	<b>45</b>
<b>6 Bibliografía</b>	<b>47</b>

# ÍNDICE DE FIGURAS

---

Figura 2-1: Puente romano de Córdoba	3
Figura 2-2: Puente de barcas a la altura de la Maestranza durante la construcción del puente de Triana	5
Figura 2-3: Riada del río Guadalquivir, 1925	6
Figura 2-4: Copia del proyecto de Andrés de Oviedo	8
Figura 2-5: Vista d Sevilla desde Triana en 1738; Pedro Tortolero (Biblioteca Nacional de España)	9
Figura 2-6: Proyecto de Silvestre Pérez (1824)	10
Figura 2-7: Alzado del proyecto de 1845	11
Figura 2-8: Obras de sustitución del tablero, 1917	12
Figura 2-9: Hermandad de la Esperanza de Triana cruzando el Puente de Triana	13
Figura 3-1: Pasarela del agua. Puente del ferrocarril Sevilla – Huelva al fondo.	15
Figura 3-2: Elementos de la división de anillos y arcos	18
Figura 3-3: Entramado de arriostramientos	19
Figura 3-4 Conjunto de elementos presentes en la barandilla	20
Figura 3-5: Estribo oeste y pila central	21
Figura 4-1: Entorno de CATIA en <i>Part design</i>	24
Figura 4-2: Entorno de CATIA en <i>Assembly design</i>	25
Figura 4-3: Diseño de los arcos	26
Figura 4-4: Ejemplo de anillo (Diámetro 2.58m)	26
Figura 4-5: Unión del anillo mayor (4.1m de diámetro) con la pared	27
Figura 4-6: Ejemplo de apoyo superior	27
Figura 4-7: Apoyos inferiores (De diámetro 4.1m)	28
Figura 4-8: Arriostramientos horizontales	28
Figura 4-9: Arriostramientos diagonales simétricos	29
Figura 4-10: Arriostramientos diagonales.	29
Figura 4-11: Arriostramientos finos	29
Figura 4-12: Apoyo simple	30
Figura 4-13: Apoyo triple	30
Figura 4-14:Extracto del pasamanos	31
Figura 4-15: Tramo a reproducir del ornamento	31
Figura 4-16: Patrón completo del ornamento	32
Figura 4-17: Tramo de pasamanos inferior	32
Figura 4-18: Tramo de barras verticales	33
Figura 4-19: Barras de inercia	33
Figura 4-20:Barandilla ornamentada	34

Figura 4-21:Pilas centrales del puente	35
Figura 4-22:Estribo Oeste (Triana)	35
Figura 4-23: Estribo Este (Sevilla)	36
Figura 4-24:Tablero	37
Figura 4-25: Ejemplo de entorno, Entorno de Sevilla con la recreación del muelle de la sal	37
Figura 4-26: Conjunto de Anillos, arcos y arriostramientos renderizados	38
Figura 4-27: Conjunto de barandilla renderizado	39
Figura 4-28: Subconjunto del tablero	40
Figura 4-29: Perfil el vano central del puente	41
Figura 4-30: Vista completa del puente	41
Figura 4-31: Vista del lado de Triana	42
Figura 4-32: Vista del lado de Triana	42
Figura 4-33: Vista en detalle del conjunto	43

# 1 OBJETO DEL PROYECTO

---

## 1.1. Objeto

A lo largo de mi vida ha habido varias ramas del conocimiento que me han atraído en especial, además de la ingeniería. Una de ellas es la historia y en este proyecto de fin de carrera pretendo aunarlas.

A partir de esta idea, surge la opción de realizar el modelado y recreación de algún elemento histórico que no estuviera previamente realizado y, realizando la búsqueda, doy con el Puente de Isabel II, o puente de Triana, de Sevilla. Este puente es un elemento que pertenece a la historia viva de esta ciudad y que está presente en el día a día de miles de personas que diariamente cruzan por el hacia ambos lados de la ciudad

Para este proceso se ha realizado una exhaustiva búsqueda de información acerca del puente durante sus distintas épocas en los archivos pertinentes de numerosas instituciones desde el ámbito municipal al estatal. Esta búsqueda ha aportado unos resultados en forma de planimetría con la que se ha podido abordar el modelado del puente.

Dicho modelado ha sido realizado con el software CATIA en su versión V5R21. Este software se utiliza ampliamente en la industria para el diseño y modelado de piezas, siendo principalmente utilizado en los sectores aeronáutico y automotriz.

Con este software y sus distintos módulos se ha sido capaz de llevar a cabo la reconstrucción del Puente de Triana yendo desde el modelado con más detalle de orfebrería, hasta el montaje final de todas las piezas.

De la realización de este proyecto se extrae la capacidad del programa CATIA, capaz de llevar el modelado desde las escalas más pequeñas a niveles mucho más completos y dar un buen resultado.

## 1.2. Justificación

Este proyecto se enmarca dentro del ámbito de la recuperación histórica. Durante la historia de la humanidad el ser humano ha ideado artilugios y avances con los que hacer su vida más fácil, pero la mayoría de ellos pasan a la historia como simples menciones en algún documento. Para

que esto no suceda, se vienen realizando recuperaciones digitales de elementos de ingeniería que tengan un cierto interés o lo hayan tenido a lo largo de la historia

En particular el puente de Triana a pesar de que hoy en día se conserve, no lo hace de la misma manera de la que fue concebido o construido, sino que ha sufrido numerosas modificaciones a lo largo de su historia.

Para ello ese proyecto ayudará a preservar en formato digital el estado actual del puente. Este modelado podrá además ser de gran utilidad a nivel estructural ya que se podrán realizar análisis computacionales sobre la estructura del puente. Algunos de estos ensayos podrían ser el comportamiento ante cargas dinámicas a lo largo del tiempo o la simulación de la respuesta estructural ante un sismo. Además, el modelo tridimensional puede ser utilizado para su reproducción mediante técnicas de fabricación digital.

### **1.3. Sumario**

Este documento se va a dividir en un conjunto de 5 capítulos en los cuales se mostrará la historia del puente de Triana a lo largo de los siglos, como fue realizado y posteriormente se realizará el modelado y ensamblaje del puente usando la herramienta CATIA en su versión V5.

En el capítulo 2 se narra el contexto histórico-cultural que rodeó la construcción del puente de barcas y el posterior puente de Triana. Para este último se muestran los diversos proyectos que fueron realizados y se introduce la historia de su construcción y su legado.

En el capítulo 3 se presenta la búsqueda de información que se llevó a cabo para dar soporte a este proyecto, así como describir las diferentes partes y elementos que componen el puente.

En el capítulo 4 se presentan brevemente los módulos de CATIA que se van a utilizar durante el modelado con sus respectivas herramientas. Una vez presentadas, se pasa al modelado de los elementos, su realización en CATIA y finalmente su montaje como conjunto.

En el capítulo 5 se analiza la importancia que este puente ha tenido y mantiene para la ciudad el puente de Triana, así como el potencial de la herramienta que se ha utilizado para llevar a cabo el levantamiento del puente.

## 2 HISTORIA DEL PUENTE

### 2.1 Orígenes

El río Guadalquivir es uno de los grandes ríos de los que se encuentran en la Península Ibérica por lo que a lo largo de los siglos, numerosas civilizaciones fueron asentándose a sus orillas aprovechando la importancia que suponía contar con un recurso tan vital como el agua.

Sería una de las grandes civilizaciones de la historia, los romanos, los que fueron capaces de construir el primer puente sobre el río Guadalquivir (río Betis durante la época romana), en la ciudad de Corduba (actual Córdoba) durante el siglo I d.C. Dicho puente, conservado hasta nuestros días, está realizado en piedra, cuenta con una longitud de 331 metros y tiene 16 arcos, que originalmente fueron 17. Durante más de diez siglos, el puente romano de Corduba fue el único puente sobre el río Guadalquivir desde su nacimiento en la provincia de Jaén hasta su desembocadura en Sanlúcar de Barrameda, Cádiz.



Figura 2-1: Puente romano de Córdoba

Las características fluviales del río Guadalquivir permitieron que desde el asentamiento de las primeras civilizaciones, como los fenicios, este río fuera navegable hasta Corduba. Esto permitió un gran crecimiento comercial de las ciudades asentadas a la orilla del río, entre las que se encontraba Sevilla (o Hispalis como era conocida por los romanos). Esta importancia comercial llegó a convertir a Sevilla en



capital de una de las cuatro provincias de la Bética romana junto a Corduba, Gades (La actual Cádiz) y Astigi (la actual Écija). Sin embargo, durante el período romano, nunca se llegó a llevar a cabo una obra de ingeniería civil como la que fue llevada a cabo con el puente romano de Córdoba.

No sería hasta el siglo XII cuando, durante el periodo almohade (1147 a 1248), bajo el dominio musulmán, cuando exista en Sevilla (Ishbilya durante el período musulmán) una conexión entre ambas orillas del río Guadalquivir. Esta unión entre el arrabal de Triana y la ciudad de Sevilla se llevaría a cabo mediante la construcción de un puente de barcas.

## 2.2 Puente de barcas

En el periodo almohade, el califa Abu Yakub Yusuf ordenó el 5 de Septiembre de 1171 la construcción de un puente de barcas que uniese ambas orillas del río Guadalquivir. Para la construcción de dicho puente solo se necesitó un período de tiempo de 36 días, quedando inaugurado el 10 de octubre de 1171.

Para esta construcción se utilizaron once barcas, posteriormente reducidas a diez. Dichas barcas estaban aseguradas entre sí por fuertes maderos, así como al lecho del río mediante grandes anclas sostenidas por gruesos cables. El peso de las anclas oscilaba entre 6 y 9 quintales de peso, lo que equivaldría a un peso de entre 600 y 900 kilogramos.

Para construir el suelo del puente se utilizaron tableros de madera apoyados sobre fuertes vigas que, a su vez, descansaban sobre los maderos encargados de unir las barcas. El puente tenía una longitud de 156 varas por 15 de ancho, que equivaldrían a 130,4 metros de longitud por 12,5 metros de ancho.

Mediante unos cables sujetos a cada barca por los extremos, se conseguía aumentar la resistencia del puente. Según las descripciones antiguas, dichos cables tenían un diámetro de 12 pulgadas que, teniendo en cuenta la redacción castellana (el valor de la pulgada castellana es de 23,22 milímetros), equivaldría a un diámetro de dichos cables de 27.86 centímetros.

Las barcas eran de considerable altura para evitar que el flujo del río y el efecto de las mareas hicieran que aquellas barcas se llenasen del agua del propio río.

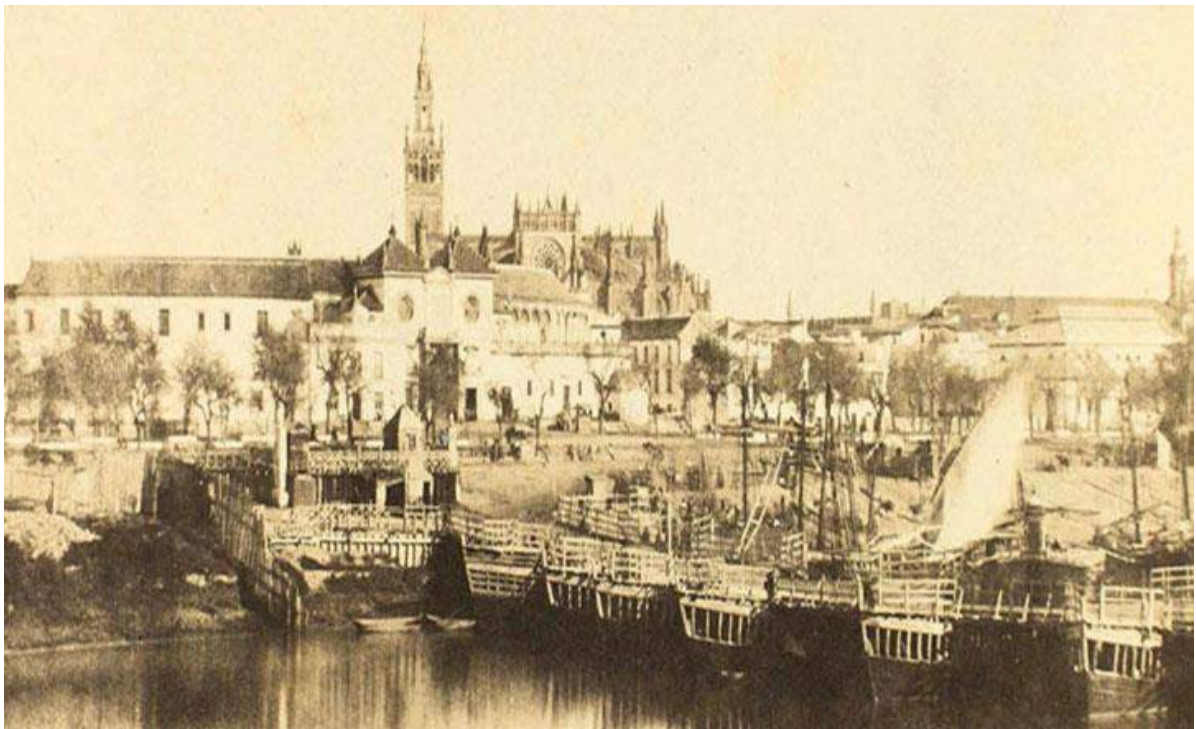


Figura 2-2: Puente de barcas a la altura de la Maestranza durante la construcción del puente de Triana

Sin embargo este puente no sería la perfecta solución para salvar la distancia entre ambas orillas del por entonces ya bautizado por los musulmanes como río Guadalquivir. La utilización de la madera como uno de los materiales principales de construcción del puente hacía que estuviera expuesto a los efectos de la humedad y la podredumbre con el paso del tiempo. Este hecho requería de acciones de rehabilitación del puente para poder conservar su estructura en un estado aceptable para el tránsito de personas y carromatos.

Además de estos factores, existía otro factor que azotaría a la ciudad hasta el año 1948 con el cambio del cauce activo del río: las riadas. A lo largo de los siglos la ciudad de Sevilla ha sufrido numerosas riadas que han devastado los alrededores del río. Durante estas riadas, las bravas aguas del río arremetían contra la estructura de madera provocando grandes desperfectos y, en muchas ocasiones, la ruptura de las uniones del puente entre si. Estas rupturas podían llegar a soltar la estructura de barcas llevando los restos del puente a la deriva río abajo dejando ambas orillas incomunicadas durante el tiempo que durasen las reparaciones.



Figura 2-3: Riada del río Guadalquivir. 1925

En el año 1248, Sevilla fue conquistada por el rey Fernando III, el santo, aunque el cambio del dominio de la ciudad no hizo que el puente de barcas fuera reemplazado.

Durante el paso de los siglos la ciudad mantuvo su importancia dentro del reino, pero no se llegó a abordar la posibilidad de la construcción de un puente fijo sobre el río Guadalquivir. El motivo de la ausencia de un puente fijo se debía a la inseguridad que generaba el lecho del río, lo que provocaba que cualquier puente que se construyese conllevara un gran coste.

En 1481 la Inquisición Española toma posesión del Castillo de San Jorge, que se encontraba en el arrabal de Triana junto al puente de barcas. Dicho castillo, de origen visigodo, fue la sede del Santo Oficio hasta 1785 con un breve abandono durante el siglo XVII (desde 1626 a 1639). Dicha institución, que se encargaba del cumplimiento de fe católica, tuvo una gran importancia en los siglos posteriores. Todos los acusados debían cruzar el puente durante el traslado al Castillo de San Jorge.

Con el descubrimiento de América por parte de Cristóbal Colón en 1492, la ciudad de Sevilla sufriría una grandísima expansión, llegando a convertirse en una de las grandes ciudades de la época. Con el fin de centralizar el monopolio del comercio con las indias (que incluían tanto a América como al sudeste asiático) se creó en 1503 la Casa de la Contratación en Sevilla.

Esta institución se construyó en la ciudad de Sevilla en detrimento de otras como Huelva o Cádiz. Esto se debió a su mejor comunicación terrestre y a la protección que le proporcionaban los 80

kilómetros que habían de navegarse desde la desembocadura del Guadalquivir en Sanlúcar de Barrameda hasta Sevilla.

La construcción de esta institución supuso la llegada a Sevilla de numerosos productos hasta ese momento inéditos en la Europa del siglo XVI como los tomates, las patatas o los pimientos. Además de estos productos, llegaban numerosos recursos, como oro y plata, que servirían para sufragar los importantes gastos militares de la corona.

Este continuo flujo de recursos llevaba consigo un gran flujo de barcos y marineros, así como comerciantes que deseaban poder obtener todos los exóticos productos provenientes de las Indias. Esto llevó a Sevilla a tener un crecimiento que llevaría a la ciudad a una población de más de 100.000 personas, una de las mayores urbes de la época en Europa.

Con este crecimiento de la ciudad, sería cuando se planteasen los primeros proyectos de un puente fijo sobre el río Guadalquivir en Sevilla.

### **2.3 Primeros proyectos de un puente fijo**

Con el paso de los siglos, el crecimiento de la ciudad hizo que la construcción de un puente fijo que no necesitase reparaciones continuas se convirtiese en un tema principal. Sería en el siglo XVI cuando se propusieran los primeros proyectos.

Hay referencia sobre dos proyectos diferentes durante este siglo. El primero, de 1563, fue propuesto por el matemático italiano Fabricio Mondente, que proyectaba un puente cuyos principales elementos de construcción fueran la madera y el hierro. Más adelante, el Conde de Barajas postuló al cabildo de la ciudad la necesidad de un puente fijo que evitase los continuos costes derivados del mantenimiento del puente. Sin embargo, esta propuesta tampoco llegó a buen puerto.

Durante el siguiente siglo, se producirían más intentos de llevar a cabo la construcción de un puente fijo sobre el Guadalquivir. De entre ellos, cabe destacar el Proyecto realizado por el mayor de obras de la ciudad, Andrés de Oviedo, entre los años 1629 y 1634.

Dicho proyecto contaba con un total de 9 arcos de piedra para salvar ambas orillas del río. Aquellos arcos tenían un diseño arquitectónico acorde con los del período del bajo Renacimiento. Cabe destacar que la ubicación de este puente se encontraba 100 metros más arriba del río de la posición en la que se encontraba el puente de barcas. Esta ubicación se debía a la menor profundidad del lecho del río en esa localización. Sin embargo este proyecto estaba presupuestado en 5.000 ducados, lo que

requería una subida de los impuestos para sufragar su coste. Dicha subida de impuestos fue la causante de que el proyecto no se llevara finalmente a cabo.

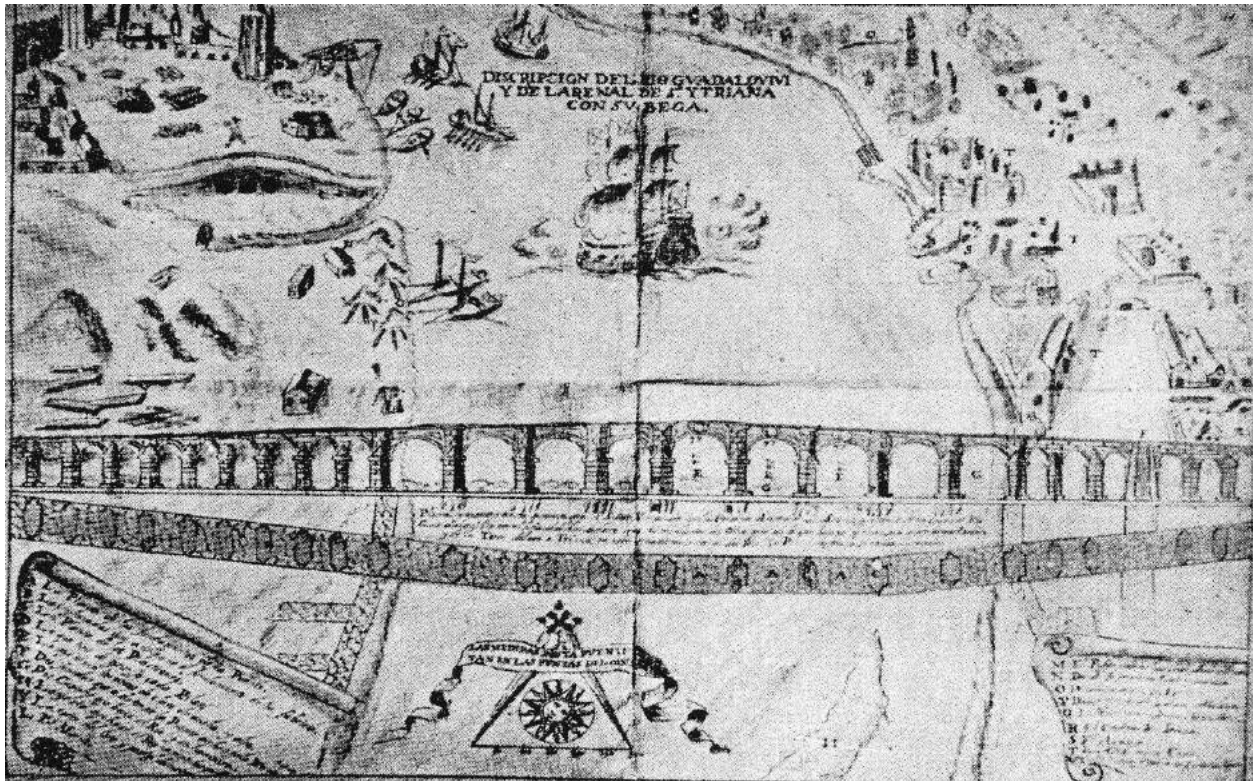


Figura 2-4: Copia del proyecto de Andrés de Oviedo

Es a mediados de el siglo XVII cuando Sevilla sufre una de las mayores epidemias que se registran en la ciudad: la epidemia de peste bubónica de 1649. Durante esta epidemia en la ciudad murieron gran cantidad de personas. Aunque no existe consenso en las cifras de fallecidos, se acepta que fueron al menos unos 60.000 fallecidos. Sin embargo la peste no sería el único problema.

Durante la segunda mitad de siglo, la monarquía Española regentada por la Casa Habsburgo no pasaba por su mejor momento por los numerosos enfrentamientos internacionales. Este hecho se vio agravado con la muerte sin descendencia de Carlos II en el año 1700, lo que desencadenó en la Guerra de Sucesión Española. Esta Guerra llevó finalmente al poder a la Casa de Borbón y a Felipe V como Rey de España.

Durante su reinado, en 1717, se decide trasladar la sede de la anteriormente citada Casa de la Contratación a la ciudad de Cádiz. Este traslado de instituciones supone una importante pérdida de poder para la ciudad. Con esta pérdida de poder, unida a la que ya había sufrido con la epidemia de la peste y la propia reducción de poder del imperio español, la ciudad de Sevilla no contemplaría un nuevo proyecto de puente hasta el siglo XIX. Aunque sería después de la Guerra de Independencia.





Figura 2-5: Vista d Sevilla desde Triana en 1738; Pedro Tortolero (Biblioteca Nacional de España)

El puente de barcas viviría de cerca la reconquista de la ciudad de Sevilla durante la Guerra de Independencia Española frente al Imperio Napoleónico. Desde la invasión del ejército francés en 1808, la ciudad de Sevilla y casi la totalidad del reino se encontraba bajo el gobierno de José Bonaparte, hermano de Napoleón Bonaparte.

Durante la batalla, el contingente español con apoyos ingleses presionó sobre el puente para hacerse con su poder desde la plaza del altozano, por la vega de Triana. Tras dos embites fallidos, a la tercera consiguieron hacerse con el control del puente de barcas. Este hecho supuso la huida del ejército francés que se encontraba en la otra orilla.

En 1824 con José Manuel de Arjona como Asistente (cargo similar al de alcalde) gracias a una Real Orden, se favoreció la construcción de un puente fijo en la ciudad de Sevilla. Desde ese momento se sucederían varios proyectos que desembocarían en el actual Puente de Isabel II o puente de Triana. Uno de los primeros proyectos sería realizado por Silvestre Pérez:

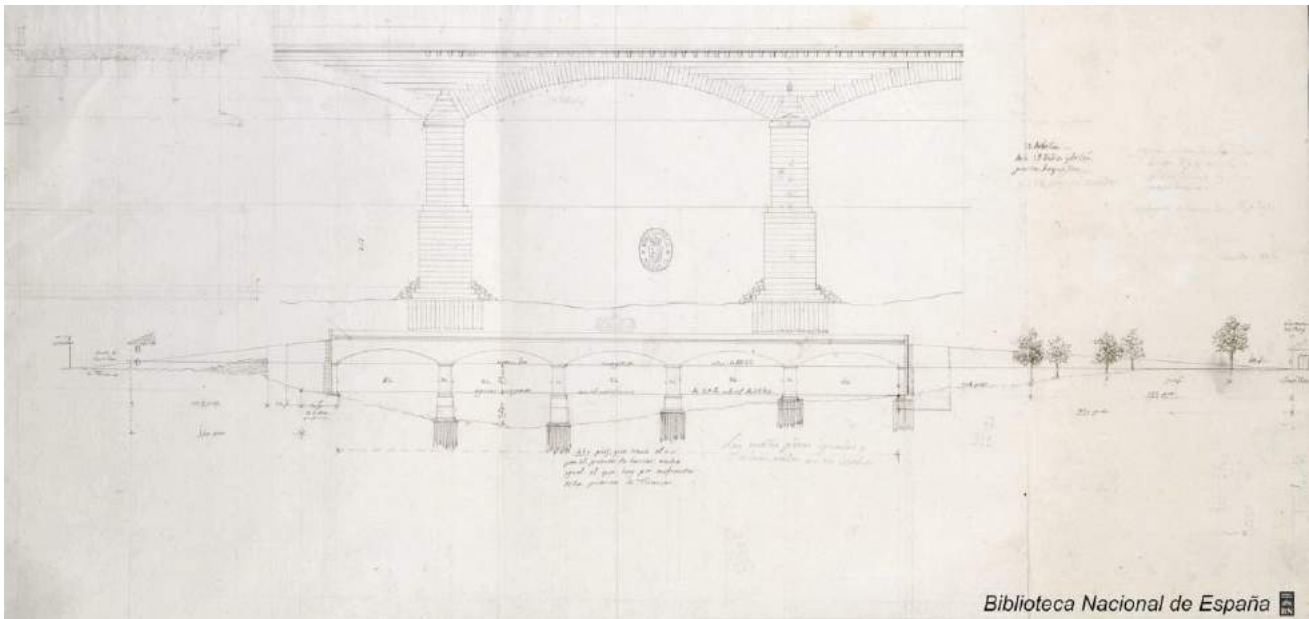


Figura 2-6: Proyecto de Silvestre Pérez (1824)

A este Proyecto sucedieron varios: Bellevue (1827), otros dos de José Agustín de Larramendi (un puente de hierro y otro colgante) otro de piedra, presupuestado en 4.877.036 reales de vellón (7.327€) u otro de Pedro Miranda (1833). No sería hasta 1844 cuando los ingenieros franceses Fernando Bernadet y Gustavo Steinacher presentarían tres propuestas: un puente de piedra, uno colgado de alambres y un tercero de hierro colado con dos pilastras centrales.

## 2.4 Construcción y legado

De los tres proyectos presentados por Bernadet y Steinacher, fue el tercero el que convenciera al ayuntamiento: un puente de hierro colado con dos pilastras centrales. En su elección se valoró la belleza del diseño, así como la experiencia existente con un diseño de esas características con el puente del carrusel de París. La construcción del puente tuvo un presupuesto de 12 millones de reales, el equivalente de 18.000€. Para ayudar a sufragar este gasto, se implantó un pontazgo (impuesto por cruzar el puente).

A mediados de 1845 se trasladó el puente de barcas a la ubicación temporal en que aparece en la figura 2-2 durante la construcción del puente. La primera piedra se colocó el 12 de diciembre de ese mismo año en la orilla este, la orilla de la ciudad. Fueron los mismos Bernadet y Steinacher los que gestionaron la obra del puente.

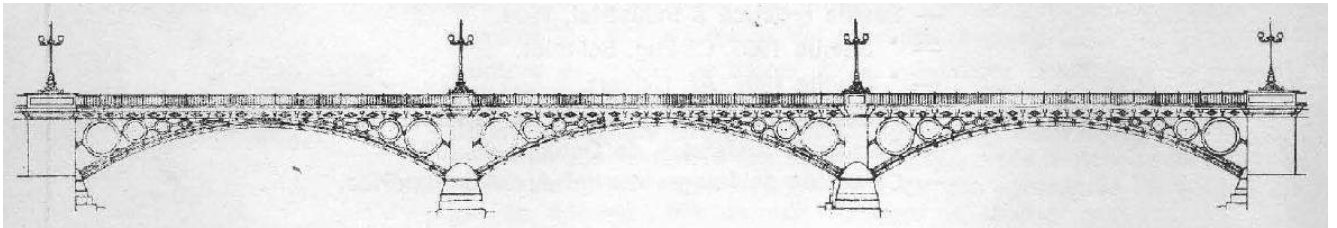


Figura 2-7: Alzado del proyecto de 1845

La construcción del puente estaba planificada para una duración de 3 años, sin embargo, su construcción no se encontró exenta de problemas. Durante 1846 Bernadet abandonó el proyecto, dejando como único gestor a Steinacher. En 1848 solicitó una prórroga para construcción, aunque durante ese mismo año tuvo problemas con la financiación del puente, llegando a paralizarse la construcción. Este hecho provocó que el contrato de construcción le fuera retirado a Steinacher en enero de 1849.

No sería hasta 1851 cuando el ingeniero Canuto Corroza se hiciera cargo de la construcción, finalizándose la construcción a comienzos de 1852, siendo inaugurado el día 23 de febrero de 1852. Este es el puente definitivo que ha llegado hasta nuestros días y, aunque durante su vida ha sido sometido a numerosas intervenciones, su aspecto es prácticamente idéntico al que tuviera originalmente.

No habían pasado dos décadas desde la construcción del puente cuando se descubrió que la cimentación del puente no estaba realizada de manera correcta. Durante los siguientes años se realizaron varias acciones de refuerzo y rehabilitación sobre los cimientos que culminarían en 1881.

Después de estas acciones, se instalaría sobre el puente el tranvía, primero mediante tracción animal (en 1889) y más tarde se modernizó para funcionar mediante electricidad en 1897. La acción del paso del tranvía, así como el comienzo del tráfico rodado motorizado a través del puente fue ejerciendo progresivamente un desgaste en el tablero del puente. Dicho desgaste desembocaría en la sustitución del tablero en el año 1918.

En la imagen se puede apreciar la colocación de las vigas sobre los anillos para distribuir el peso del tablero por ellos hasta las pilas y estribos del puente a través de los arcos. También se observa el tablero de hormigón que añadía un importante peso extra, eliminando capacidad portante del puente. Otro elemento que también aparece es el de los distintos suministros que aprovechaban el puente para salvar el lecho del río



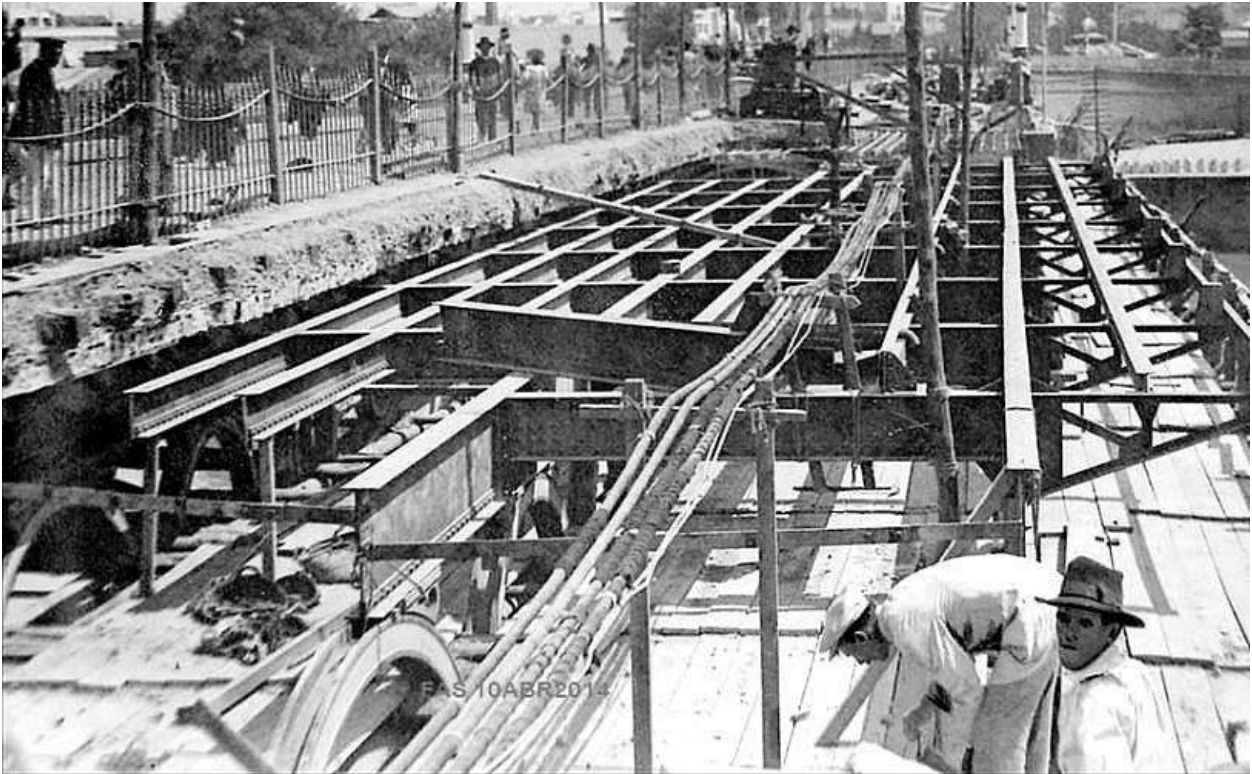


Figura 2-8: Obras de sustitución del tablero, 1917

Con el refuerzo de los cimientos y la colocación de un nuevo tablero, durante las siguientes décadas el puente solo requirió de reparaciones menores. Sin embargo, con el paso de los años, el tráfico de automóviles fue aumentando, lo que derivó en un deterioro progresivo el conjunto del puente. En 1958, tras realizar un informe sobre el estado del puente, se decidió restringir el tráfico de vehículos pesados por el puente.

A pesar de esta medida, el puente continuaría empeorando paulatinamente hasta 1974. Durante la madrugada del Viernes Santo, con el paso de la Hermandad de la Esperanza de Triana, el puente sufre unas vibraciones que suponen una fuerte alarma social. Tras este hecho, acompañado de los informes de los que se disponía, el 10 de Agosto se decide cerrar completamente al tráfico el puente

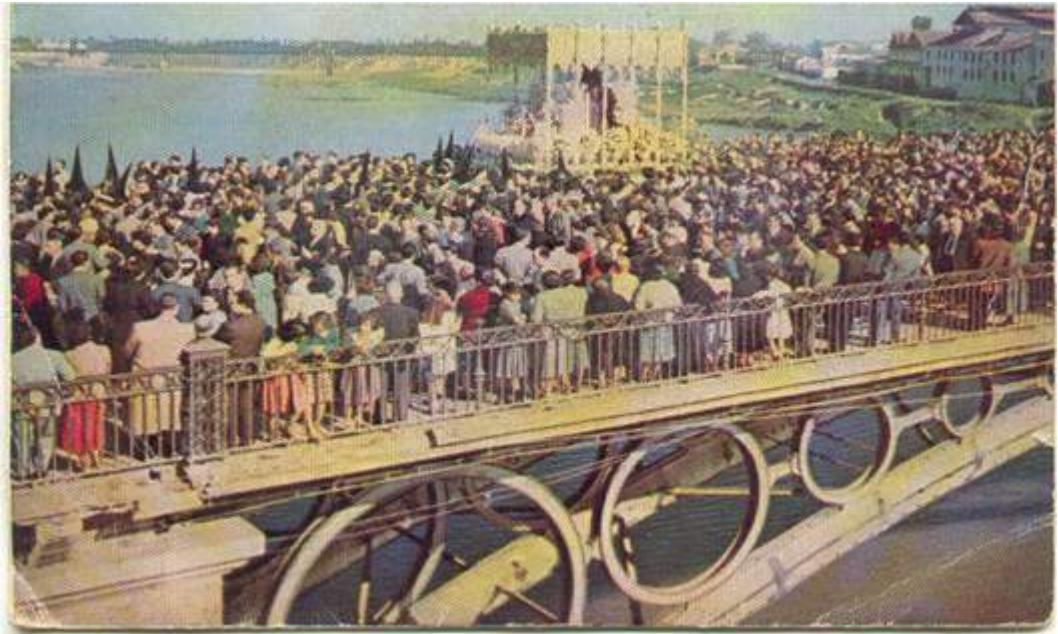


Figura 2-9: Hermandad de la Esperanza de Triana cruzando el Puente de Triana

La situación del puente dividió a la población sevillana entre los que querían la total funcionalidad del puente con la construcción de un nuevo puente y aquellos que querían conservar la apariencia del puente. Se presentaron varios proyectos que aconsejaban derruir el puente, aunque el apego social por el puente de Triana fue clave para la elección de un proyecto que lo conservara. Dicho proyecto fue el del onubense Juan Batanero. La formula propuesta para salvar el puente conservando su estética pasaba por la sustitución del tablero por uno nuevo, pero con modificaciones. El tablero pasaría a estar apoyado unicamente en las pilas centrales y los estribos del puente, dejando los arcos y anillos tan característicos como meros elementos decorativos.

Las obras sobre el tablero no comenzarían hasta marzo de 1976. En Abril de ese mismo año, el Puente de Triana fue declarado Monumento Histórico Nacional. La rehabilitación del puente duraría hasta el año siguiente, siendo inaugurado el 13 de Junio de 1977. El presupuesto de la obra fue de casi cien millones de pesetas, unos 600.000€

Con esta rehabilitación, la estructura del puente se ha mantenido sin problemas reseñables hasta nuestros días



## 3 ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS

En este capítulo se van a desarrollar los diferentes elementos constructivos que componen el puente

### 3.1 Búsqueda de información

Para poder caracterizar todos los elementos que forman el conjunto del Puente de Triana, el primer pasó que se llevó a cabo durante este proyecto fue la recopilación de información acerca del puente.

La búsqueda de información comenzó en los archivos municipal y provincial de Sevilla. En ellos se encontró planimetría del puente del siglo XIX perteneciente a una instalación de distribución del agua en el puente. Dicha obra se encontraba recogida en el proyecto de la construcción de la pasarela del agua construida en la ubicación del actual Puente del Cristo de la Expiración en 1884. Esta pasarela tenía la función de albergar los conductos de agua, así como servir como medio de tránsito peatonal entre ambas orillas.



Figura 3-1: Pasarela del agua. Puente del ferrocarril Sevilla – Huelva al fondo.

Los planos encontrados contenían información correspondiente con la distancia entre las pilas del puente, así como la distancia entre los apoyos de los arcos. También indicaciones sobre la sección del puente con el tablero de la época.

La búsqueda continuó en el archivo del Puerto de Sevilla. En él se encuentran los planos de muchos de los puentes sobre el Guadalquivir ya que las competencias de su construcción recayeron sobre esta institución. Sin embargo, en la construcción del Puente de Triana el Puerto de Sevilla no tuvo participación directa por lo que dispone de información acerca de su proceso constructivo.

La misma suerte se corrió en la búsqueda en otras instituciones como la Gerencia de Urbanismo, la Biblioteca Militar o el Instituto Cartográfico de Andalucía. Uno de los principales avances en la investigación se produjo al ponerse en contacto con el Ministerio de Fomento, antiguo Ministerio de Obras Públicas.

Durante este contacto se descubrió que la construcción del puente quedó registrada en su construcción como parte de la carretera 431 entre Alcalá de Guadaíra y Huelva. Con esta información se abrió una rama importante en la búsqueda de información acerca del puente en las diferentes entidades públicas. Desde el Ministerio de Fomento se me indicó que la información referente al puente de que disponían estaba archivada en el Archivo General de la Administración Pública en Alcalá de Henares, Madrid.

Sin embargo, para acceder a la documentación del Archivo General de la Administración la única manera que se ofrece es de manera presencial. Tras contactar con ellos, no se consiguió la información que esos documentos contenían, por lo que se descartó trasladarse a Alcalá de Henares dado el desconocimiento del contenido de los archivos.

A pesar de no poder acceder a esa información, el dato de que el puente pertenecía a la carretera Alcalá de Guadaíra-Huelva sería vital. Con esta información se contacta con la demarcación de carreteras en Sevilla, parte del Ministerio de Fomento. Al contactar con ellos, se encuentra una persona que pertenecía al ministerio cuando se llevó a cabo el proyecto de Juan Batanero en 1976. Esta persona, Diego García, es la que indica que el proyecto de Batanero fue coordinado con la demarcación y posteriormente traspasado a la consejería de fomento. Dicho proyecto sería trasladado junto con numerosa documentación desde la demarcación de carreteras al Archivo Provincial de Sevilla en 1996 durante el traslado de la sede de la demarcación a la Cartuja tras la Expo del 92.

Con esta información, se realiza una búsqueda de información en los archivos de la Consejería de Fomento del Archivo Provincial. En esta búsqueda se encuentra el proyecto original de Juan Batanero. Este documento sería clave para la ejecución del proyecto que se aborda en este documento. De él se ha obtenido gran parte de la información necesaria para el modelado de numerosos elementos que conforman el conjunto del puente.

Además del proyecto de reforma del tablero de 1974, se encontró información acerca de la instalación del tranvía eléctrico en 1897. Dicho proyecto fue realizado por The Seville Trainway Company y entre sus páginas también se obtuvo información relevante para la realización de este proyecto.

Con la información que se ha obtenido de los documentos anteriormente citados se han realizado los diferentes elementos que conforman el puente. Sin embargo la información que se ha encontrado no es suficiente para definir todas las piezas por lo que algunas de las medidas se han estimado con técnicas fotográficas.

## 3.2 Partes del puente

Para la elaboración del proyecto, se ha decidido representar aquellos elementos que tengan o hayan tenido capacidad portante. Además, como elemento decorativo se ha decidido incluir la barandilla con sus diferentes elementos.

Se ha decidido hacer una división para organizar los diferentes elementos que conforman el conjunto del puente. Dicha división es la siguiente:

- Arcos y anillos
- Arriostramientos
- Barandilla
- Pilas y estribos
- Tablero

En las siguientes páginas se va a ir desglosando aquellos elementos que se han realizado durante la realización de este proyecto.

### 3.2.1 Arcos y Anillos

En esta división se recoge la mayoría de elementos que se han modelado. Dentro de esta división se realiza una segunda división con la que se precisan más los elementos:

- **Arcos:** junto con los anillos, son los elementos más característicos del puente. Su función era la de recibir las cargas provenientes de los anillos y distribuirlas a los estribos y pilas

respectivamente. Existen 5 arcos equidistantes por cada vano del puente.

- **Anillos:** Una de las señas de identidad del puente. Se encargaban de transmitir las cargas procedentes del tablero a los arcos del puente. Según la ubicación, hay 6 tamaños diferentes simétricos desde el centro del vano y repartidos sobre los diferentes arcos.
- **Uniones:** Son los elementos que se encargan de unir entre si los diferentes anillos, así como con los estribos o pilas correspondientes.
- **Apoyos superiores:** Estos elementos ayudaban a transmitir las cargas del tablero a los anillos aumentando su superficie de contacto.
- **Apoyos inferiores:** Análogamente a los apoyos superiores, los apoyos inferiores estaban encargados de la ayuda de la distribución de las cargas desde los anillos hacia los arcos.



Figura 3-2: Elementos de la división de anillos y arcos

Estos elementos se encargaban de la transmisión de las cargas desde el tablero hasta las pilas y estribos pero con la sustitución del tablero en 1974 su función pasó a ser únicamente estética.

### 3.2.2 Arriostramientos

Estos elementos son barras cuya misión es aportar inercia al conjunto del puente evitando el pandeo de los arcos dada su esbeltez. Dentro de los arriostramientos podemos definir tres tipos diferentes de arriostramientos:

- **Arriostramiento horizontal:** Son barras cuyo posicionamiento es perpendicular a los arcos. Tienen una sección con 4 aspas cuya medida decrece hacia los bordes del arriostramiento.



- **Arriostramiento diagonal:** estas barras se encuentran colocadas de manera transversal entre los diferentes arcos. Tienen idéntica sección que el arriostramiento horizontal, pero su longitud es mayor
- **Arriostramiento fino:** Son pequeñas barras de sección circular colocadas perpendicular a la cara de los arcos. Al observarse se aprecia que su diseño difiere de los otros dos tipos anteriores, siendo más moderno que los anteriores y más simple. Esto sugiere que estos arriostramientos fueron colocados posterior a la construcción del puente como refuerzo.



Figura 3-3: Entramado de arriostramientos

Además de los arriostramientos, en este apartado también se incluyen los apoyos que se utilizan para unir los arriostramientos con los arcos. Los hay de dos tipos:

- **Apoyo simple:** cuando sobre una superficie reducida del arco se apoya solamente un arriostramiento.
- **Apoyo triple:** cuando sobre una superficie reducida del arco se apoyan tres arriostramientos.

### 3.2.3 Barandilla

En este apartado se ha englobado los elementos ornamentales que adornan los extremos laterales del puente. Los elementos que componen este apartado son los siguientes:



- **Pasamanos superior:** Barra superior de la barandilla. Sigue el eje del tablero y tiene una sección curva en la parte superior para ayudar a su ergonomía.
- **Ornamento:** Barras de sección rectangular que forman dibujos curvos a lo largo del eje del tablero.
- **Pasamanos inferior:** Son dos barras de sección rectangular. La primera está en la parte inferior del conjunto y la segunda bajo la barra con dibujo.
- **Barras verticales:** son barras perpendiculares al tablero, de sección cuadrada variable, con un tramo helicoidal. Son, junto al ornamento, los elementos que ayudan en el ámbito estético debido a la sensación de movimiento que genera su tramo helicoidal.
- **Barra de inercia:** Son barras perpendiculares al tablero, de sección variable circular. Aportan inercia al conjunto de la barandilla. Su colocación cada varios metros genera un patron visual de la barandilla que se repite a lo largo del puente.
- **Barandilla ornamentada:** Se trata de una pequeña estructura ornamentada sobre 4 barras de sección circular variable. En la cara exterior e interior cuenta con un diseño de patrones curvos. La parte superior cuenta con un prisma rectangular sobre el que se apoya un pirámide truncada, rematada por un ornamento oval. Están colocados a lo largo del puente en lugar de la barra de inercia flanqueando las posiciones en las que están las farolas.



Figura 3-4 Conjunto de elementos presentes en la barandilla

### 3.2.4 Pilas y estribo

Las pilas centrales y los estribos de los extremos son elementos de piedra, encargados de recibir las cargas del puente. En la actualidad estas cargas se transmiten directamente desde el tablero en su apoyo sobre estos elementos, aunque hasta 1974 se transmitían a través de los arcos. Podemos diferenciar tres elementos:

- **Pilas centrales:** Son dos pilas visualmente idénticas, cuyas únicas diferencias se encuentran en su cimentación. La parte superior tiene una sección cuadrada a diferentes alturas, mientras que la parte inferior tiene una sección rectangular con la parte exterior circular, que aumenta conforme se acerca al nivel del río.
- **Estribo Oeste (Triana):** Tiene una sección rectangular. La cara enfrentada a la pila correspondiente tiene un diseño simétrico al de esta.
- **Estribo este (Sevilla):** Es simétrico al estribo y cuenta con el añadido de otra sección rectangular atravesada por un arco. De esta forma se consigue un paso inferior por la ribera este del río que conecte la zona de Chapina con el Muelle de la sal.



Figura 3-5: Estribo oeste y pila central

### 3.2.5 Tablero

El último elemento portante del que se compone el puente. Está compuesto por vigas transversales en “I” y nervios longitudinales en “V” para la rigidización. Sobre estos se encuentra la chapa rígida metálica y sobre esta, el acerado y carriles. El asiento del tablero sobre los pilares y los estribos se realiza mediante la utilización de dos vigas de cajón.

### **3.2.6 Elementos no modelables**

Además de los elementos anteriormente señalados, existen más componentes en la estructura del puente. Estos elementos son principalmente estructuras sobre las que se apoyan las diferentes redes de distribución (agua, eléctrica, etc...) así como elementos para arriostrar dichas estructuras.

En este apartado también se incluyen las farolas. Se ha decidido incluirlas en este apartado debido a su nivel de ornamentación. Para su sustitución se valoró la inclusión de un elemento farola previamente modelado y disponible como recurso libre en internet. Sin embargo esta opción fue descartada debido al diseño modernista que presentaban los diseños que cumplan las condiciones de recurso libre.


## 4 MODELADO DE PUENTE


Una vez definidos todos los elementos que componen el Puente de Isabel II, se va a abordar el modelado de las diferentes piezas. Para este modelado se va a utilizar el software CATIA en su versión V5. Antes de abordar el modelado, se va a presentar brevemente los módulos de catia que se han utilizado para llevar a cabo este proyecto.

### 4.1 Introducción a CATIA

CATIA es un software de diseño que abarca gran cantidad de ámbitos de la ingeniería. Se divide en diferentes módulos según el ámbito sobre el que se quiera trabajar. En este proyecto se ha utilizado principalmente el módulo de diseño mecánico (*Mechanical Design*) y dentro de este, las funciones de diseño de piezas y de ensamblaje, *Part design* y *Assembly design* respectivamente.

La función de *Part design* cuenta con numerosas herramientas para poder realizar el modelado de las diferentes piezas. Las diferentes piezas realizadas se guardan en archivos de extensión .CATPart. Las más utilizadas durante este proyecto han sido las siguientes:

- **Sketch** (23

- **Edge fillet** (  ): Sirve para redondear una arista, uniendo dos caras mediante un radio de curvatura que se defina.

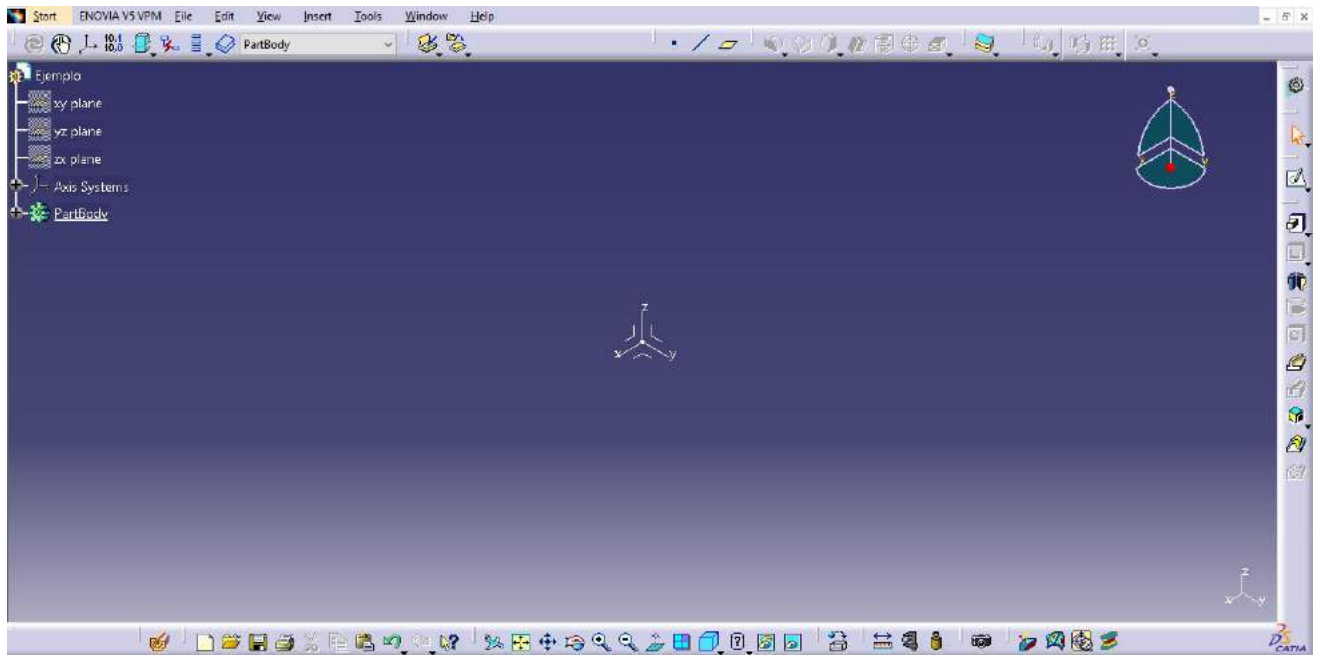






Figura 4-1: Entorno de CATIA en *Part design*

La otra función que se ha utilizado principalmente durante la realización de este proyecto es la de *Assembly design*. Los archivos generados con este módulo se guardan con la extensión .CATProduct. En este módulo se pueden insertar tanto archivos .CATPart como .CATProduct para poder formar el conjunto del puente. Para poder ensamblar de manera precisa las diferentes piezas del puente, las herramientas que se han utilizado son las siguientes:

- **Insert existing component** (  ): Con esta herramienta introducimos un determinado elemento que hayamos modelado y se coloca en entorno de ensamblaje libremente para restringirlo mediante otras herramientas.
- **Contact constraint** (  ): Permite mantener en contacto permanente dos caras de dos superficies diferentes.
- **Offset constraint** (  ): Se utiliza para mantener dos caras paralelas a una distancia determinada.
- **Angle Constraint** (  ): Esta herramienta posiciona dos caras formando un determinado ángulo entre ellas.

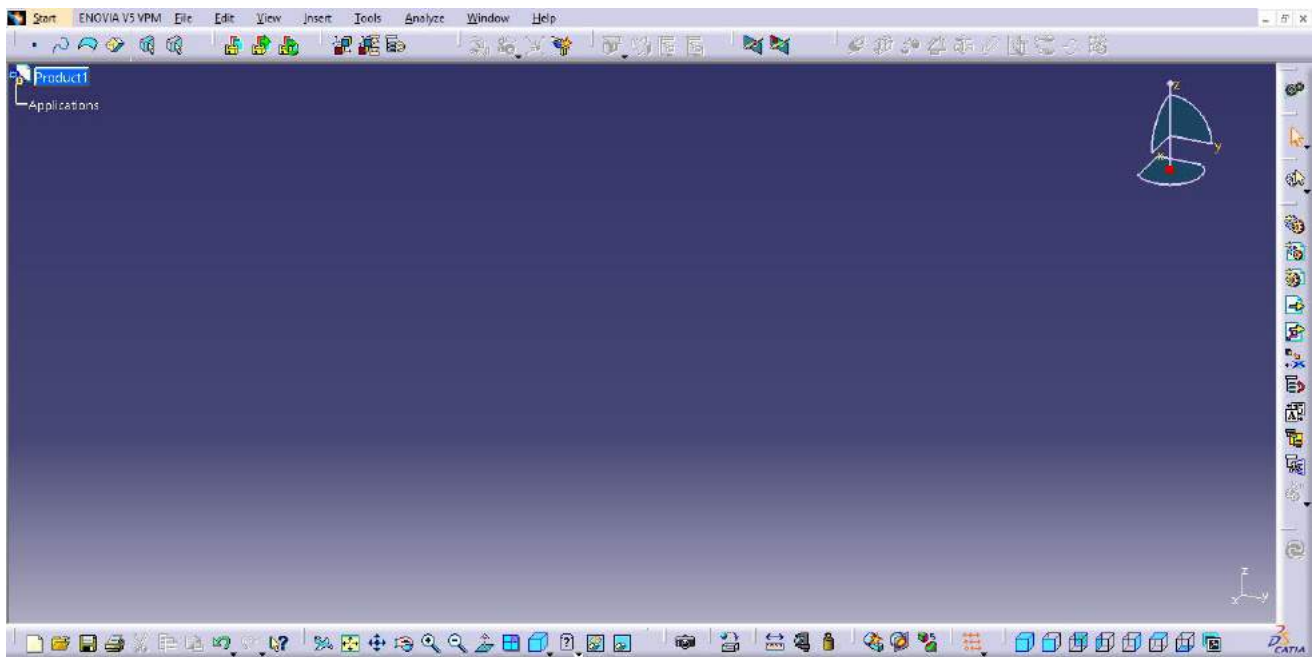


Figura 4-2: Entorno de CATIA en *Assembly design*

## 4.2 Modelado del puente en CATIA

Una vez se conoce las herramientas con las que se va a realizar el modelado, se va a explicar como se ha llevado a cabo el modelado de las diferentes partes del puente. Para estructurar el apartado, se va a utilizar el mismo esquema que se ha utilizado en el apartado 3.2 de este proyecto.

### 4.2.1 Arcos y anillos

En este apartado se encontraban los arcos del puente, los anillos y los diferentes elementos que los componen.

- **Arcos:** Para su modelado se ha definido un plano oblicuo a los ejes cartesianos sobre los que se ha dibujado la mitad de la sección de los arcos. Una vez dibujada la sección, se dibuja el arco decurva que sigue el centro de los arcos y, con la herramienta *rib*, se extruye hasta conseguir el perfil. Por ultimo, con la herramienta *mirror* se completa la mitad restante de la sección. Una vez se tiene el arco completo, se reproduce para completar los cinco arcos de los que se compone cada vano.



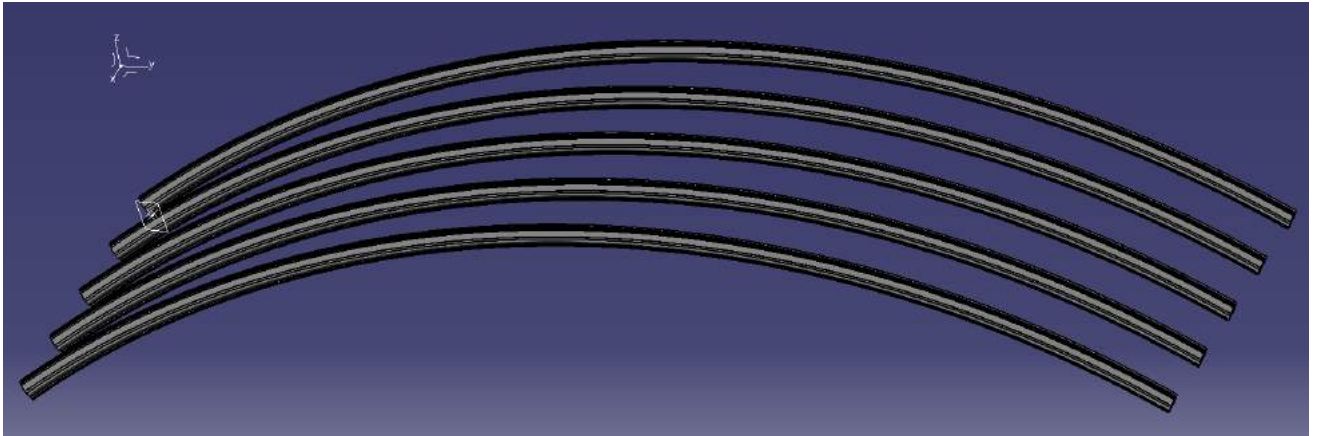


Figura 4-3: Diseño de los arcos

- **Anillos:** Para realizar los anillos de los diferentes diámetros se ha utilizado en todos la misma línea de diseño: Se dibuja sobre un plano la sección de los anillos y se dibuja una circunferencia que sea perpendicular a la sección, cortándola por el centro de la sección. Con esto, se extruye con la herramienta *rib* la sección a lo largo de los anillos. Por último se reproducen los anillos hasta tener cinco de cada diámetro.

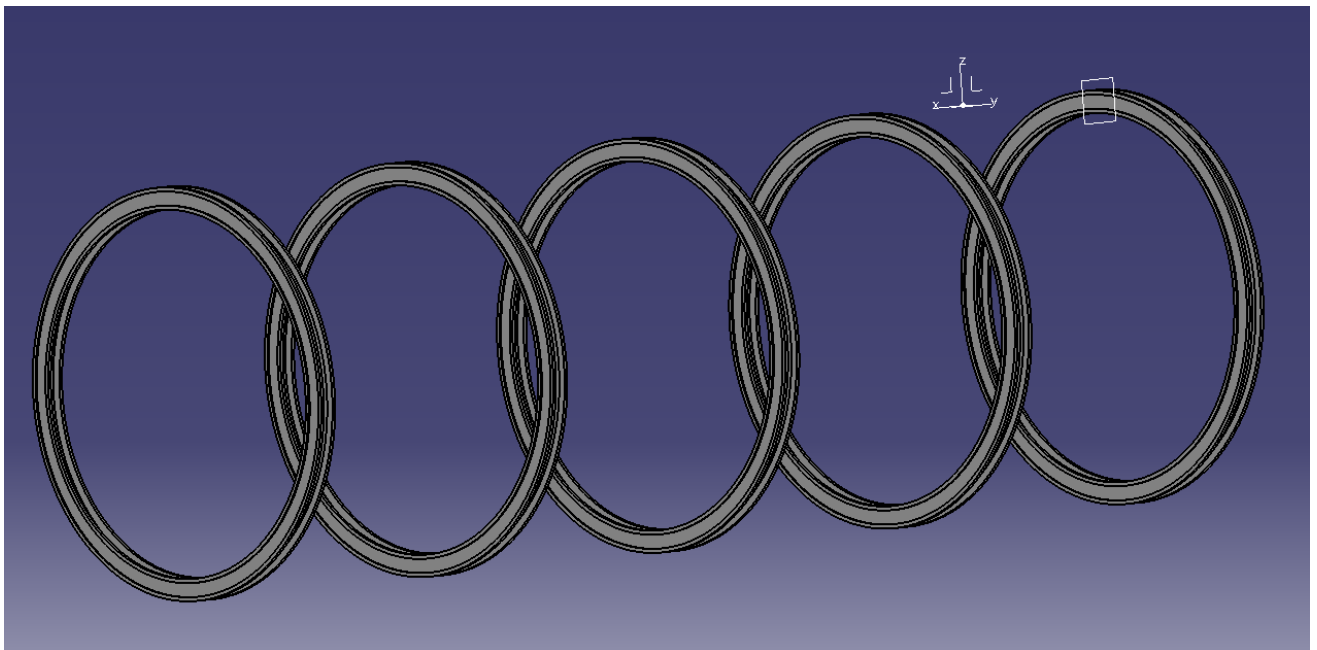


Figura 4-4: Ejemplo de anillo (Diámetro 2.58m)

Para cada tamaño de anillo, el único dato que se variará será el del diámetro de la circunferencia, excepto en la de menor diámetro, cuya sección es menos gruesa.

- **Uniones:** El modelado de las uniones tiene 3 partes que son las uniones propiamente dichas a cada lado y una barra central que une ambas. Para el modelado de las uniones se

han dibujado sus secciones, se han extruido y por ultimo se ha hecho un *pocket* con la forma del diámetro exterior del anillo que une. Cabe destacar que la unión entre el anillo mayor y el estribo o pila correspondiente se realiza mediante una sección en cuña y no se le aplica ningún *pocket*

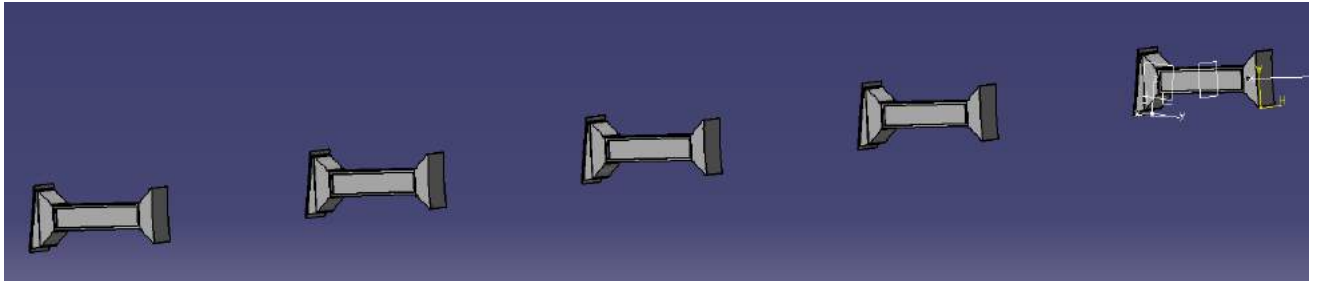


Figura 4-5: Unión del anillo mayor (4.1m de diámetro) con la pared

Para la barra central, se dibuja la sección sobre la unión y se extruye hasta la siguiente unión. Estas barras tienen un vaciado en sus caras realizado con un *pocket*, reproducido desde un solo vaciado mediante un patrón circular. La unión entre los dos anillos más grande no cuenta con barra central, teniendo unicamente las uniones.

Como en los arcos y los anillos, cada unión se reproduce mediante un patron hasta completar las 5 uniones que existen en paralelo.

- **Apoyos Superiores:** Existen apoyos superiores en los 4 tamaños de anillos más grandes y hay 2 diseños diferentes. Para ambos se ha dibujado su sección correspondiente y se han extruido mediante la herramienta *Pad*. La diferencia entre los ellos es el vaciado que tengan. El apoyo del anillo mayor cuenta con dos vaciados realizados mediante la herramienta *pocket* mientras que los tres tamaños de anillo siguientes solo tienen un vaciado. También se ha reproducido para completar las 5 filas de arcos y anillos.



Figura 4-6: Ejemplo de apoyo superior

- **Apoyos inferiores:** Este elemento se encuentra presente en todos los anillos salvo del de menor tamaño. Se ha realizado dibujando su sección y extruyéndola, vaciando la zona en que encajará con los arcos.





Figura 4-7: Apoyos inferiores (De diámetro 4.1m)

#### 4.2.2 Arriostramientos

En este apartado se va a explicar el modelado de los diferentes tipos de arriostramientos que componen el puente. En el capítulo anterior se distinguieron tres diferentes de arriostramientos:

- **Arriostramiento horizontal:** Para el modelado de estos elementos se ha dibujado el perfil que forma una de las 4 aletas que componen la barra en una sección y, con la herramienta *rib*, se ha extruido a lo largo de la barra. Con el patrón circular se ha completado la sección de la barra.

Para los extremos se ha realizado una simplificación, tomándose la articulación con el apoyo con sobre el que se fija al arco como un sólido. Esta decisión se debe a la laboriosidad que requeriría en el posterior ensamblaje del conjunto, sobrepasando los requerimientos de un proyecto de fin de carrera. Para su modelado se ha dibujado la sección y se ha extruido con la herramienta *pad*.

Finalmente se ha reproducido hasta un total de 4 arriostramientos coaxiales que arriostran los 4 vanos existentes entre los distintos arcos.

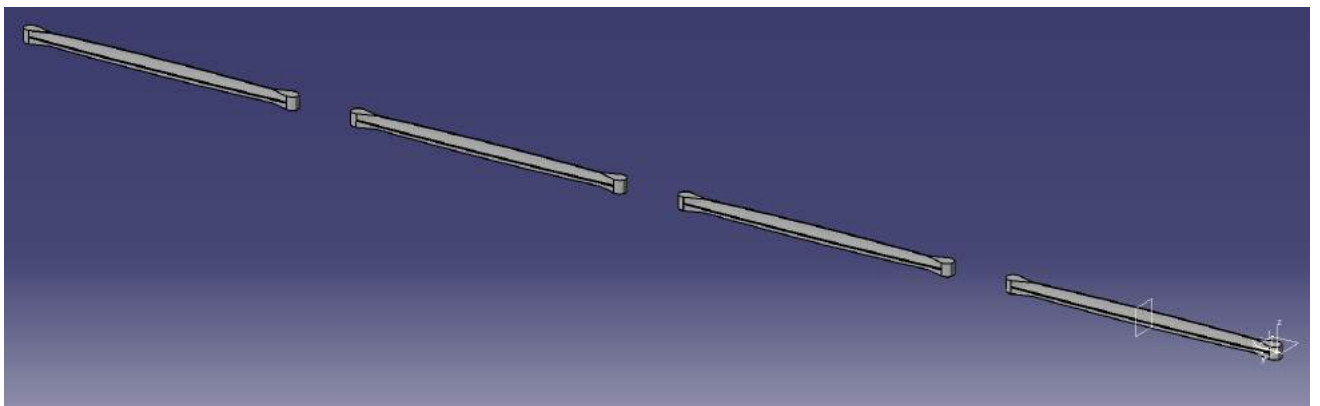


Figura 4-8: Arriostramientos horizontales

- **Arriostramientos diagonales:** individualmente, su diseño es idéntico al de los horizontales, simplemente aumentando su longitud. Según el ángulo que formen con los arcos, agudo u obtuso, se han realizado dos modelos diferentes para crear el patrón.

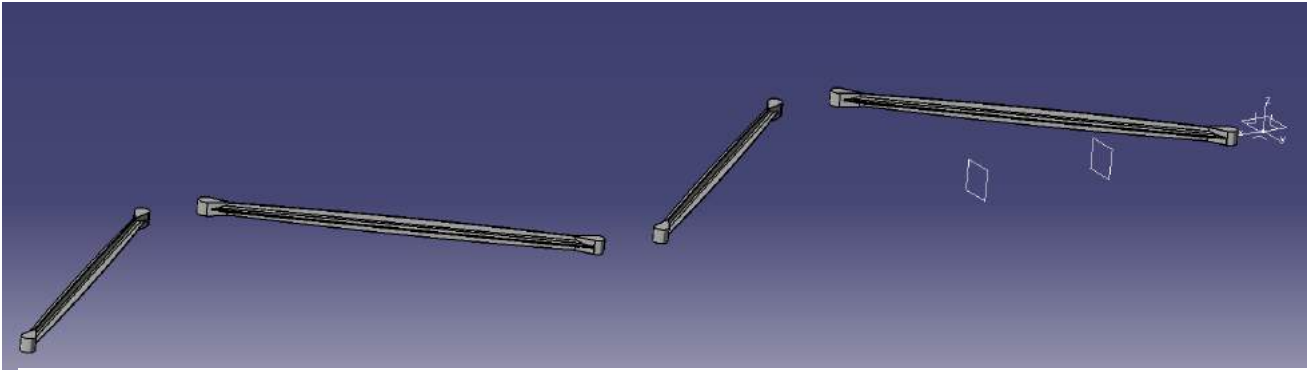


Figura 4-10: Arriostramientos diagonales.

Para modelarlos se ha girado la barra y se ha creado el arriostramiento simétrico respecto al plano que crea el centro del arco sobre el que se apoya el arriostramiento. Una vez se tienen estos dos arriostramientos en forma de "V" se reproduce el conjunto de ambos, obteniendo los 4 arriostramientos necesarios.

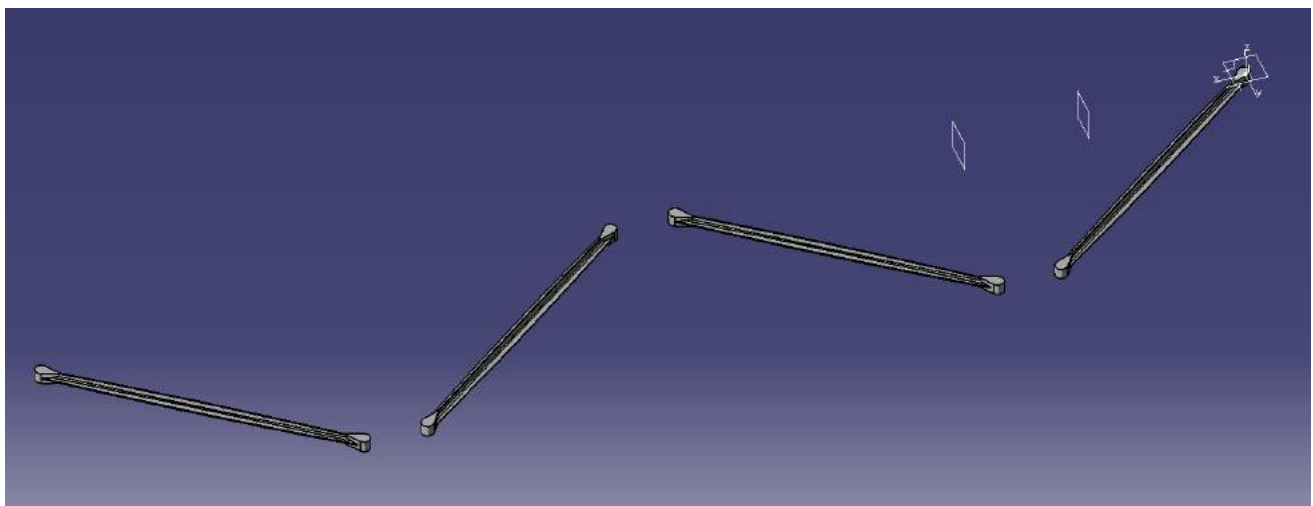


Figura 4-9: Arriostramientos diagonales simétricos

- **Arriostramientos finos:** para su modelado simplemente se ha dibujado su sección circular y se ha extruido sobre el eje del río.



Figura 4-11: Arriostramientos finos

En este apartado también se incluyen los apoyos de los arriostramientos sobre los arcos. En este apartado, acorde a la simplificación realizada en el modelado de los arriostramientos, se elimina la articulación que lo une con los arriostramientos. El proceso de modelado que se ha llevado a cabo es el

siguiente:

- **Apoyo simple:** su modelado se compone de dos secciones extruidas, una inferior y encima la otra de menor tamaño. Las aristas existentes entre ambas secciones se encuentran rebordeado con la herramienta *edge fillet*.

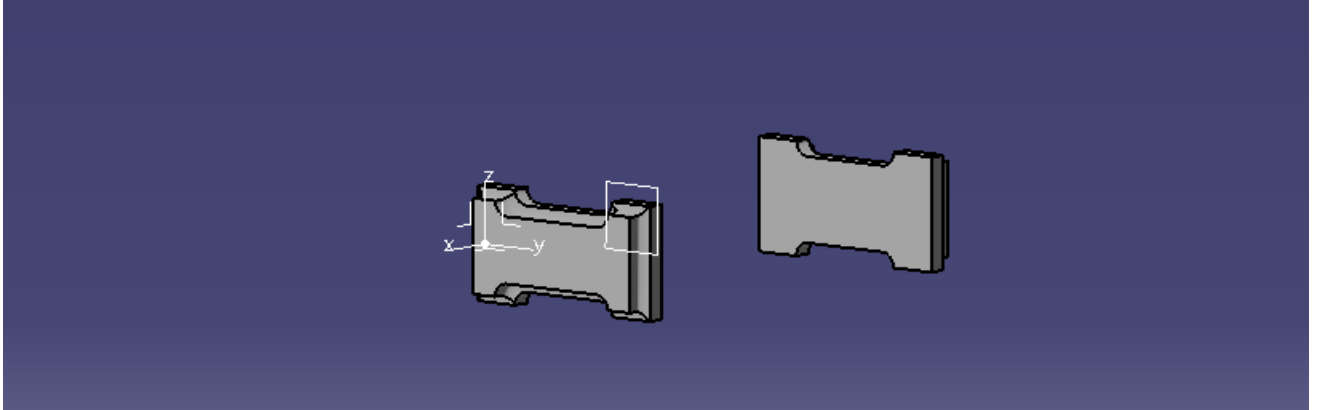


Figura 4-12: Apoyo simple

De igual modo que con los arriostramientos diagonales, existen diferentes configuraciones de apoyos, por lo que han realizado dos archivos realizando la simetría correspondiente para cada caso.

- **Apoyo triple:** su modelado es análogo al del apoyo simple, aumentando el apoyo simple para que existan tres zonas de apoyo. Su reproducción también se lleva a cabo en varios archivos según el patrón que siga.

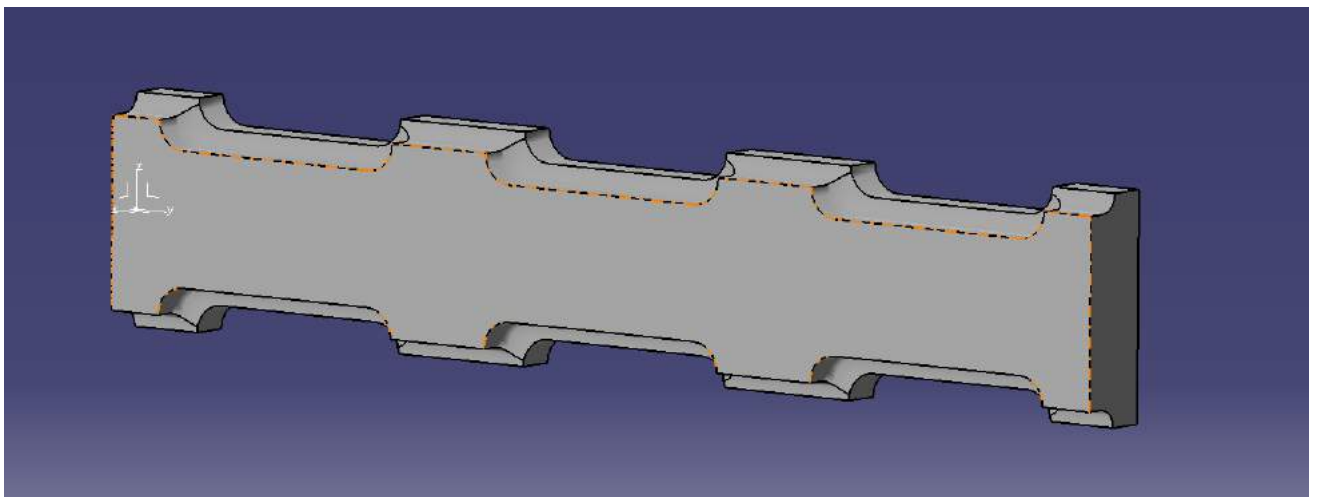


Figura 4-13: Apoyo triple

### 4.2.3 Barandilla

En este apartado se encuentran varios de los elementos cuyos modelos representan la mayor carga computacional sobre el conjunto del proyecto junto al tablero:

- **Pasamanos:** para su modelado simplemente se ha dibujado su sección y se ha extruido a lo largo del puente.



Figura 4-14: Extracto del pasamanos

- **Ornamento:** Junto con las barras verticales, uno de los elementos con mayor coste computacional en el proyecto. Tras examinar el patrón que sigue el dibujo que forma el diseño, se comprueba que son 4 trazos curvos los que se repiten a lo largo de la barandilla.

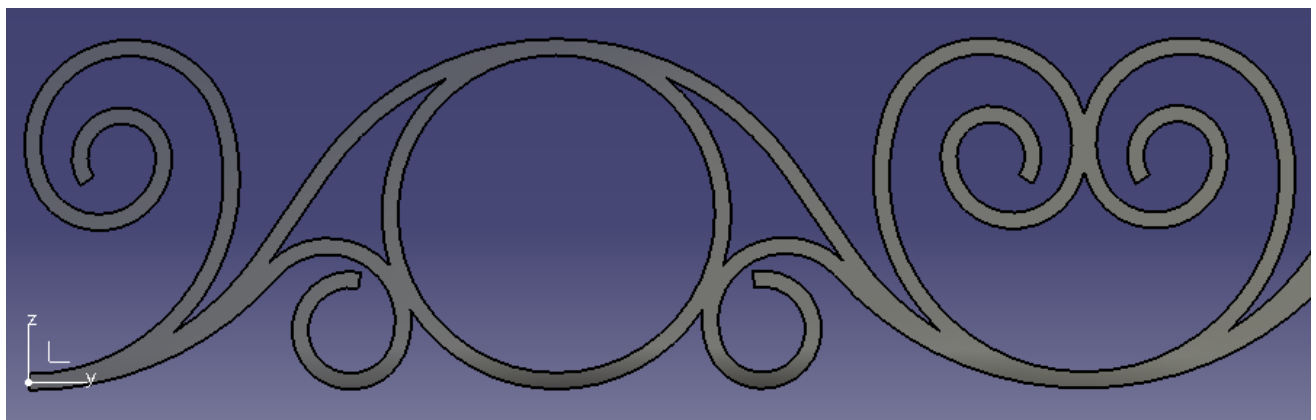


Figura 4-15: Tramo a reproducir del ornamento

Su modelado consta de varias partes. Primero se dibujan en la herramienta *sketch* las diferentes curvas y, con la herramienta *rib*, se extruyen las secciones sobre esa curva. Una vez obtenidas estas secciones, se aplica simetría para completar el dibujo que se repite a lo largo de la barandilla. A continuación, se reproduce el diseño hasta completar el espacio que hay entre dos barras de inercia. Finalmente se crea el patrón con este diseño hasta completar la longitud del puente, teniendo en cuenta el espaciado entre las diferentes barras de inercia.



Figura 4-16: Patrón completo del ornamento

- **Pasamanos inferior:** Al igual que en pasamanos anterior, se ha dibujado la sección rectangular y se ha extruido a la dimensión total del largo del puente.

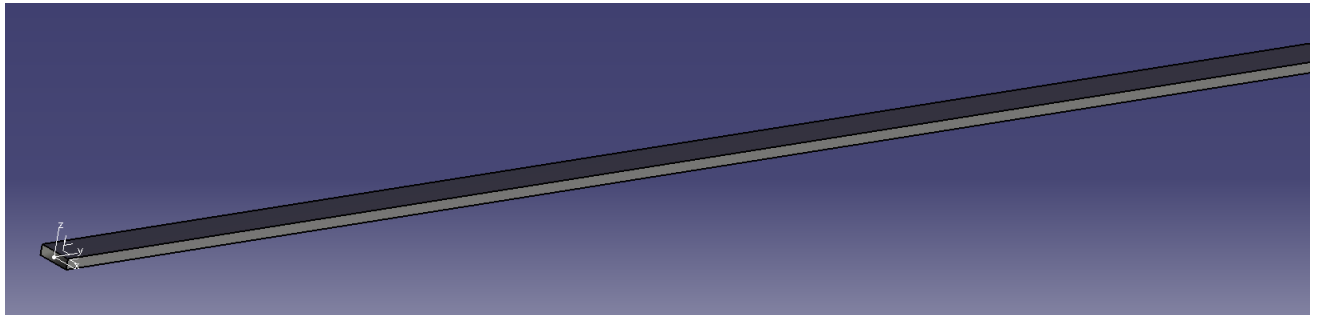


Figura 4-17: Tramo de pasamanos inferior

- **Barras verticales:** Es el elemento con mayor peso computacional del proyecto. Para su modelado se van extruyendo secciones cuadradas de diferentes tamaños. La parte que hace que este elemento sea el de mayor carga computacional se encuentra en la parte intermedia, donde la sección avanza a lo largo de la barra formando una hélice.

Para el modelado de dicha hélice se ha utilizado un módulo de CATIA diferente al de *Mechanical Design* utilizado hasta ahora: el módulo *shape*. Dentro de este módulo, en la función *Generative Shape Design*, encontramos la herramienta *Helix* (🔗) con la que se genera la hélice que sigue el centro de la barra. Por último, con la herramienta *Rib*, se extruye la sección a lo largo de la hélice, continuando hasta abajo con la herramienta *Pad*.

Una vez se obtiene una barra completa se reproduce hasta completar el dibujo entre dos barras de inercia. Por último, al igual que con el ornamento, se copia el patrón a lo largo de los diferentes tramos entre barras de inercia para completar el total de la barandilla.

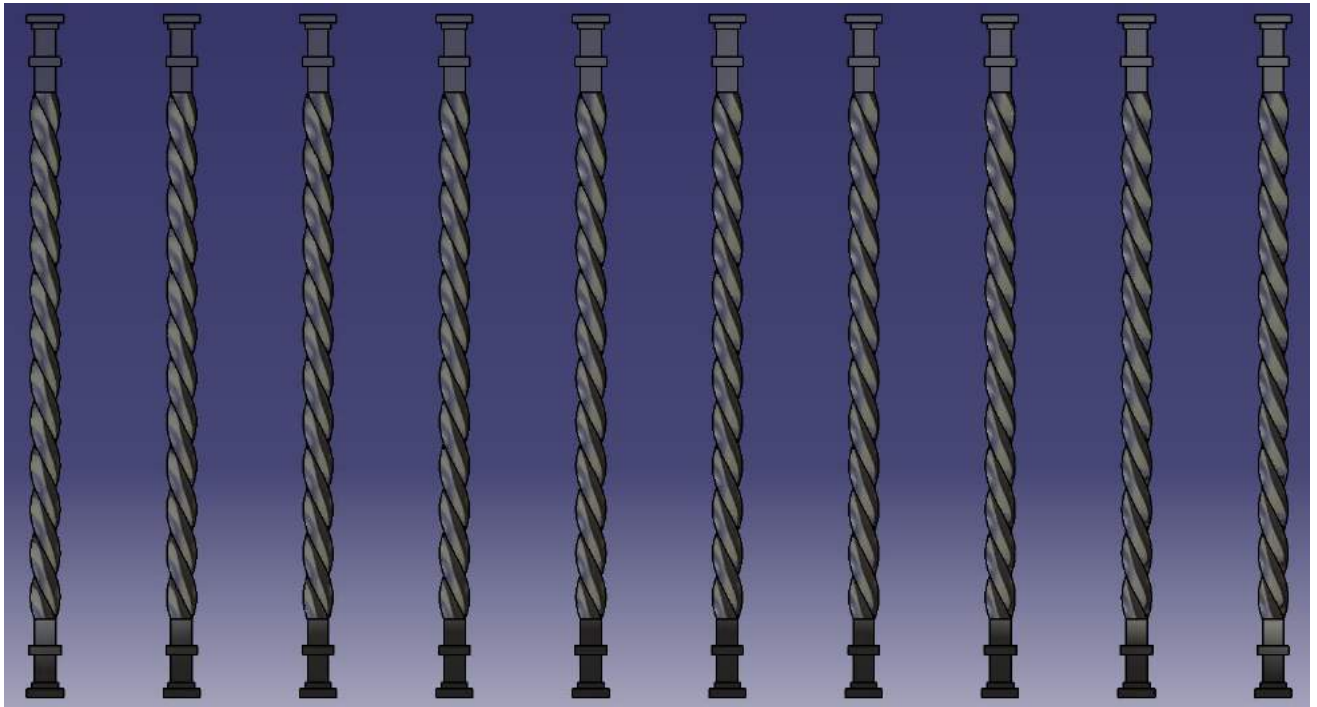


Figura 4-18: Tramo de barras verticales

- **Barras de inercia:** Este elemento cuenta con numerosos diámetros diferentes y muchos detalles de ornamentación, por lo que se ha decidido simplificar su diseño en el modelado. Para el modelado, se ha dibujado la sección aproximada sobre su eje de simetría y posteriormente se ha revolucionado alrededor de dicho eje utilizando la herramienta shaft (🔧). Por último se ha reproducido a lo largo del eje del puente creando las diferentes partes visuales que componen la barandilla.



Figura 4-19: Barras de inercia

- **Barandilla ornamentada:** Para el modelado de las zonas curvas se ha actuado como en el ornamento, dibujando los perfiles y extruyendo sobre ellos la sección rectangular.

Mediante patrones, se ha completado toda la zona posterior, haciendo un mirror sobre el eje de la barandilla para completar la zona trasera.

Las barras laterales de la estructura se han tomado como barras prismáticas dado su nivel de ornamentación. Se han modelado dibujando su sección y extruyéndolas. De igual manera se dibuja la zona prismática obviando su ornamentación. La pirámide superior se dibuja como un tronco de prisma al que se le da forma mediante un vaciado.

Por último, para la parte superior oval, se dibuja la sección respecto a su eje de simetría y se revoluciona con la herramienta shaft. En este remate también se simplifica su diseño en el modelo debido a la dificultad que supondría llevar a CATIA la orfebrería realizada sobre este elemento.



Figura 4-20: Barandilla ornamentada

#### 4.2.4 Pilas y estribos

Las pilas y estribos son unos de los elementos mejor documentados y en los que menos contradicción existía entre los diferentes documentos que han servido de referencia para su modelado. Su modelado se ha realizado de la siguiente manera:

- **Pilas:** para su modelado, desde la parte superior al comienzo de la zona curvada, se han extruido las diferentes secciones rectangulares de que se compone la pila. Para la parte superior rebordeada, se ha realizado con la herramienta *edge fillet*.

Para la zona inferior se ha extruido una sección tronco cónica sobre el centro siguiendo el eje del río. La zona exterior curva se ha dibujado sobre su eje de revolución y arrastrada 180°



completando el diseño. El reborde al igual que en el la parte superior, se ha realizado con *edge fillet*.

Por último, para la base de los cimientos se ha dibujado la sección y ha sido extruida.

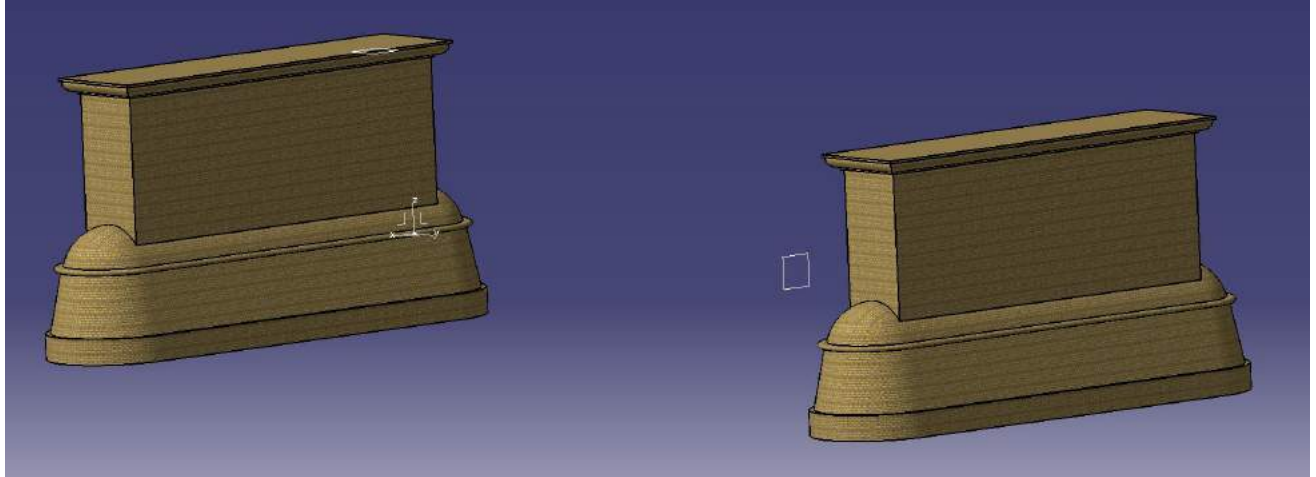


Figura 4-21:Pilas centrales del puente

- **Pila oeste (Triana):** su modelado se divide en dos partes. La zona más cercana al río cuyo diseño es simétrico a la cara de la pila correspondiente, exceptuando la zona exterior curva. La segunda parte conformaría la unión entre la primera parte y el asiento del puente sobre la orilla de Triana. Para esta parte simplemente se ha dibujado la sección rectangular y se ha extruido.

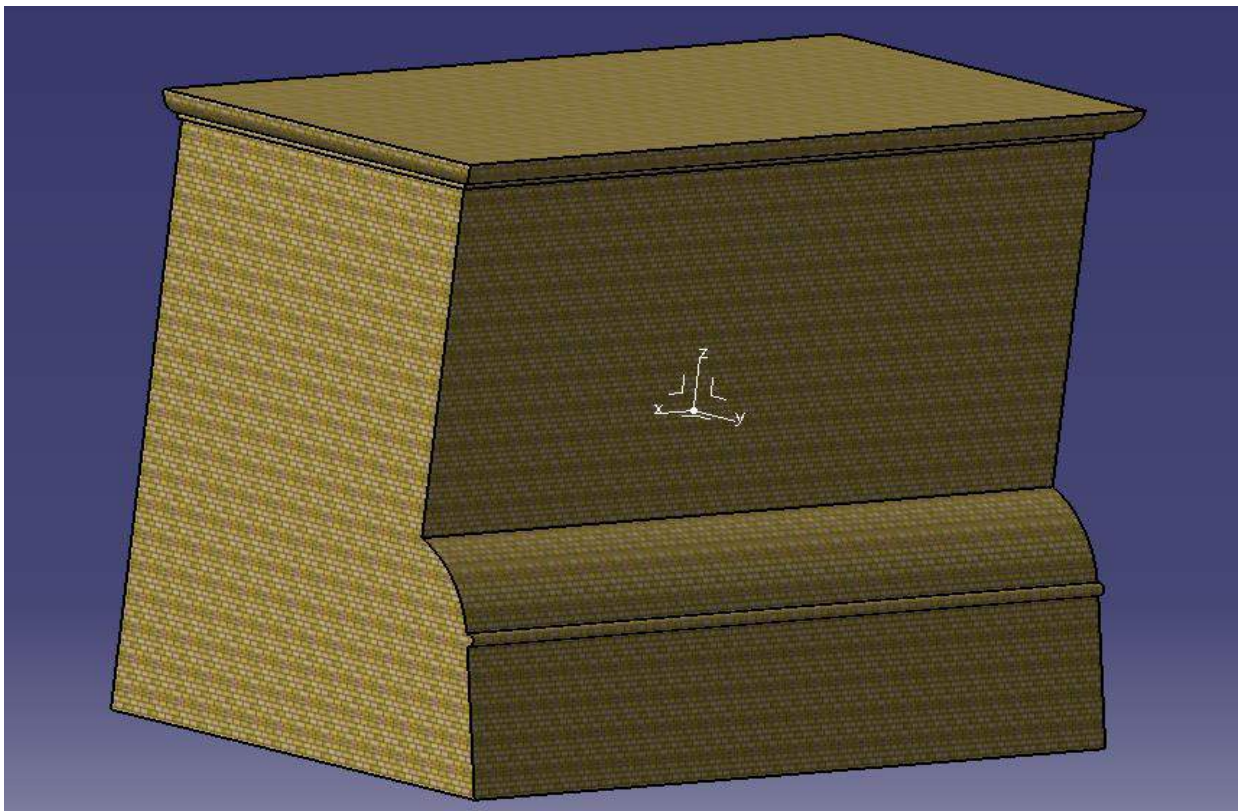


Figura 4-22:Estribo Oeste (Triana)



- **Pila este (Sevilla):** El modelado, al igual que la pila oeste, tiene dos partes. La primera sería simétrica al conjunto de la pila oeste. La segunda, la que contiene al arco, se dibuja el perfil del tramo, incluyendo el arco elíptico que forma el arco, extruyéndolo hasta su dimensión total.

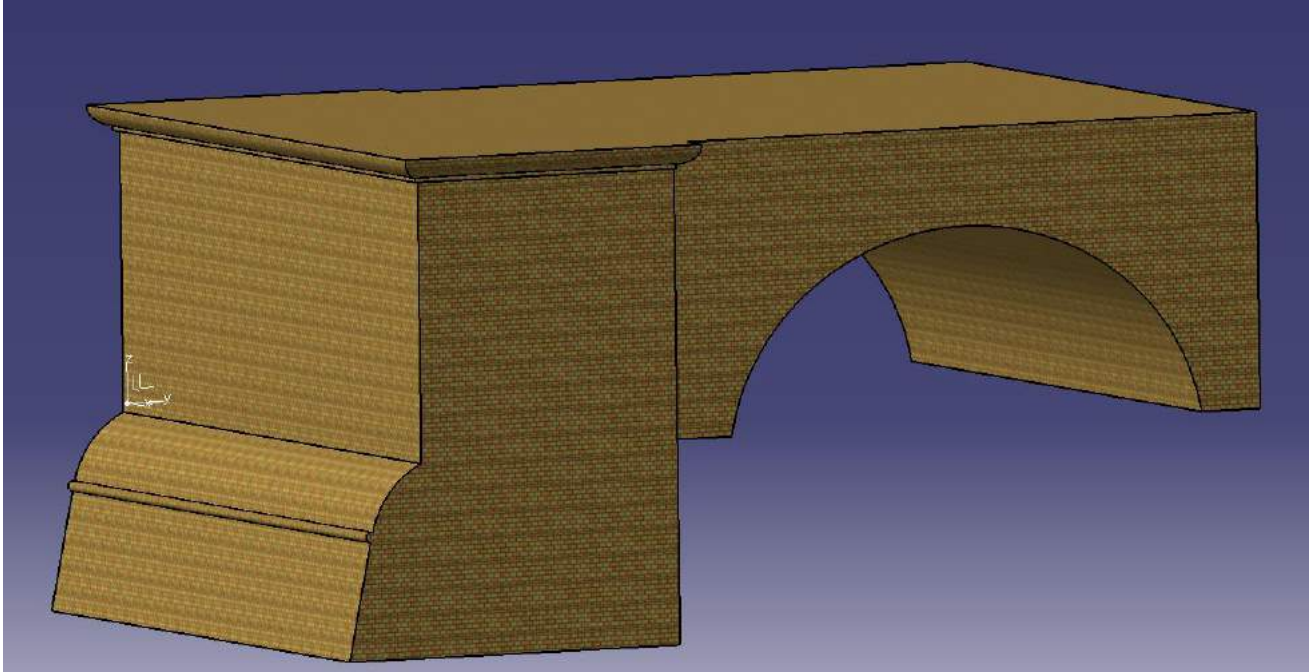


Figura 4-23: Estribo Este (Sevilla)

#### 4.2.5 Tablero

La realización del tablero se ha llevado a cabo en diferentes documentos para aportar las diferentes texturas y apariencias que componen el tablero. La carretera y el carril bici se han modelado como elementos lámina y se les ha dado un espesor y a cada uno se le ha especificado la textura/material correspondiente. El borde existente entre ambos se ha realizado modelado el su sección y extruyédola.

El modelado del tablero como tal es, junto a los elementos citados en el apartado 4.3, uno de los de mayor carga computacional del proyecto debido a su gran cantidad de aristas. Se han modelado los nervios en “v” dibujando la sección de uno y extruyéndola sobre la dirección del puente, reproduciendo dicho nervio sobre la dirección transversal del puente. De igual manera se ha procedido con las vigas de cajón, extruyendo la sección correspondiente y reproduciéndola. Las vigas transversales también se realizan de

Para completar la forma del tablero, sobre el emparrillado que forman las vigas se modela una lámina rectangular que conformará el suelo del puente. Sobre este suelo posteriormente se

montarán los elementos previamente citados en este apartado. Por último, del mismo modo que con el tablero, se modelan dos láminas que se encuentra a cada lado del tablero para proteger las vigas.

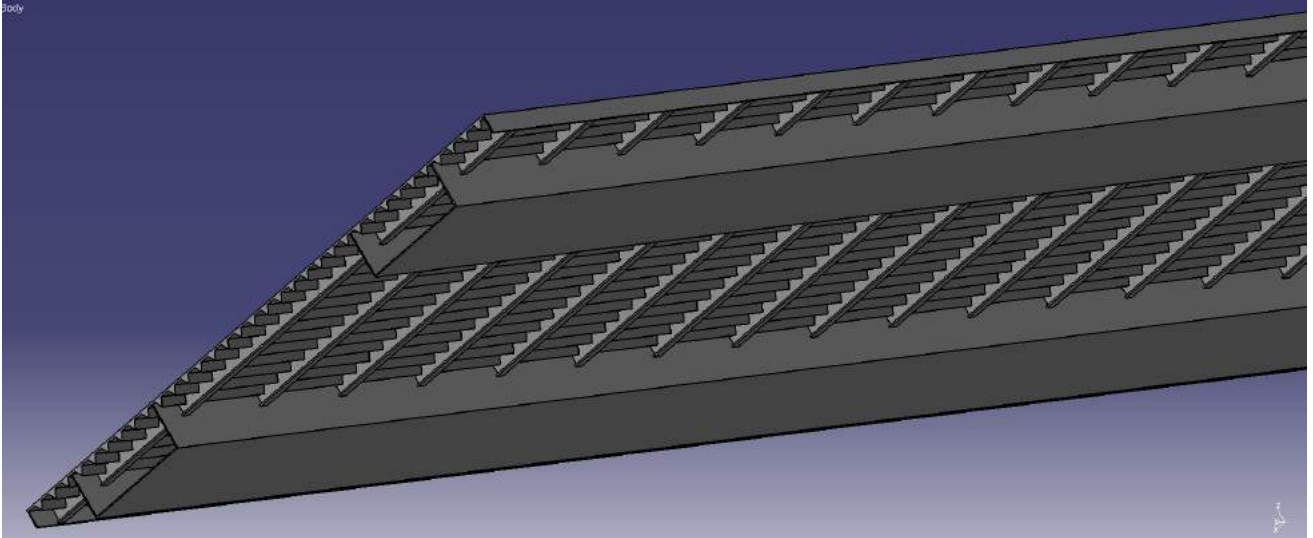


Figura 4-24: Tablero

#### 4.2.6 Entorno

Además de los elementos constructivos del propio puente, se han modelado varios elementos que contextualizan el puente con su entorno. Estos elementos son el agua que fluye por el cauce del río, su lecho y las orillas del río

El agua del río se ha modelado como una gruesa lámina a la que se le ha aplicado las propiedades de agua. Para la orilla del río se han extruido dos prismas rectangulares. Sobre la orilla este además se ha incluido una reproducción a escala del muelle de la sal sobre el margen sur, realizada mediante vaciados de diferentes medidas. A ambas orillas se han definido como elementos de piedra. Por último, el lecho se ha realizado como una lámina.

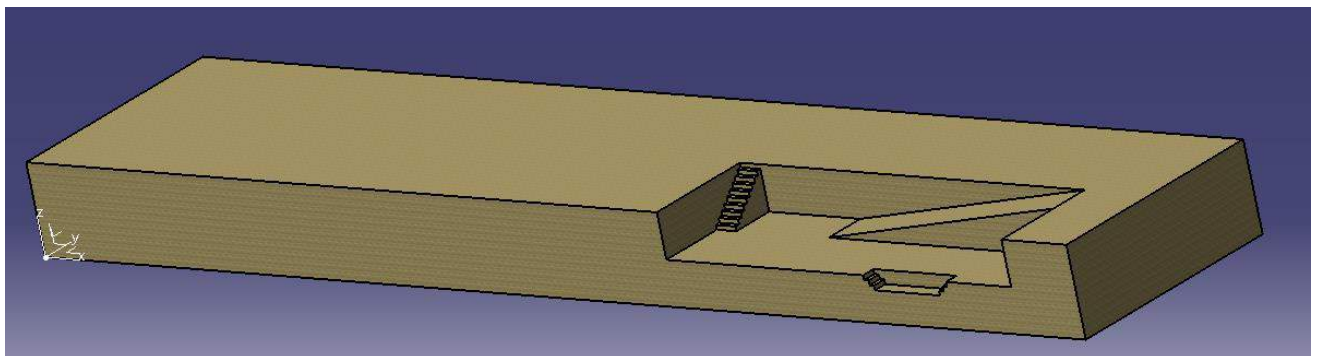


Figura 4-25: Ejemplo de entorno, Entorno de Sevilla con la recreación del muelle de la sal

#### 4.2.7 Montaje

Una vez modelado todos los elementos se van a ensamblar. Para hacer el proyecto más manejable, se ha dividido el montaje en varios subconjuntos: arcos y uniones, barandilla y tablero; uniendo finalmente estos subconjuntos y los elementos independientes en el conjunto del proyecto.

- **Arcos, anillos y arriostramientos.** En este archivo se ensamblan los elementos modelados en el apartado 4.1 y 4.2. Para el ensamblaje, se insertan las pilas del puente que servirán de referencia de ensamblaje, aunque posteriormente serán eliminadas de este subconjunto. Sobre la posición de las pilas se insertan los arcos y se fijan en el espacio de trabajo para que sirvan de referencia para el resto de elementos. Se inserta la unión entre la pared y el primer anillo, alineando con un *offset* sobre la pila y la herramienta de contacto entre caras para los arcos. El siguiente paso es insertar el anillo de mayor tamaño y posicionarlo utilizando el contacto entre caras en la cara externa del anillo y la parte de la unión correspondiente.

Una vez posicionado el primer anillo, se fija en el espacio el primer anillo y se elimina la pila del subconjunto. Los siguientes anillos y uniones se insertan de la misma manera que los dos anteriores obligando al contacto entre caras. Los siguientes elementos que se insertan son los apoyos superiores e inferiores, los cual se realizan de la misma manera. Con estos elementos se completaría el montaje de los elementos del apartado 4.1.

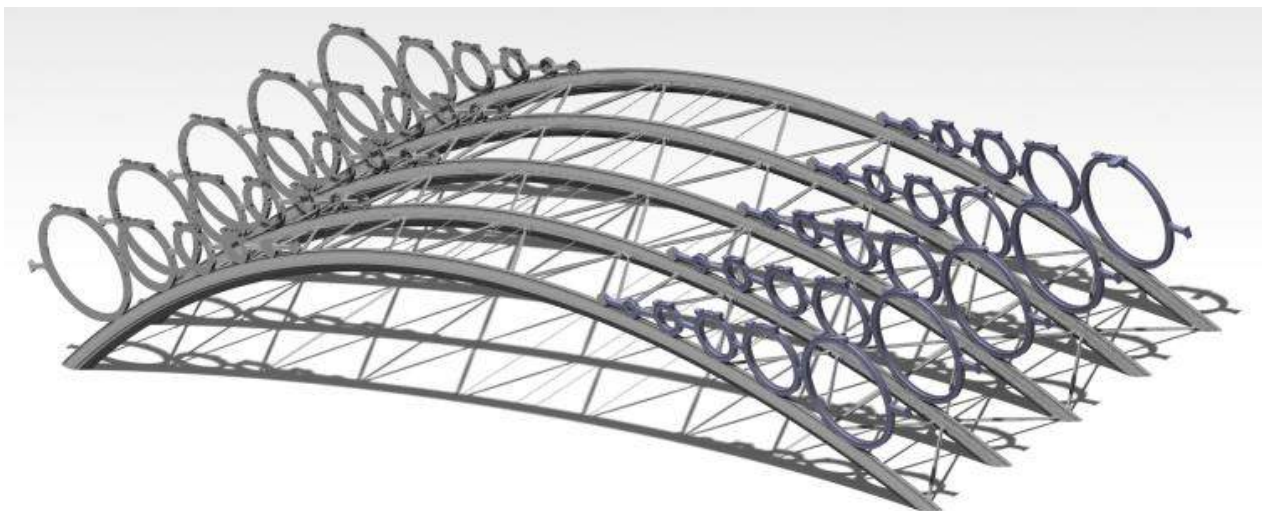


Figura 4-26: Conjunto de Anillos, arcos y arriostramientos renderizados

Sobre este conjunto se inserta también los elementos del apartado 4.2. Las uniones correspondientes los arriostramientos se colocan obligando al contacto entre caras y se fija su ángulo mediante una arista de la unión del arriostramiento y la unión entre arcos. Los diferentes arriostramientos se posicionan mediante ángulos y se ubican en el espacio para fijar posteriormente su posición. Los arriostramientos finos únicamente necesitan un contacto entre caras (de los arcos) para fijar su posición.

El conjunto de anillos, arcos y arriostramientos conformarían todos los arcos de un vano, siendo idéntico los tres vanos existentes.

- **Barandilla:** para este elemento se ha insertado el pasamanos y las barras inferiores, ubicándolas mediante *offsets* entre sí. El ornamento se posiciona con el contacto entre su parte superior e inferior y un *offset* con el lateral de la inferior para centrarlo. Para la barra vertical también queda posicionado superior e inferiormente por las barras inferiores. Mediante un *offset* se centra al ancho y con otro se posiciona longitudinalmente sobre la barandilla. La barra de inercia se coloca mediante *offsets* respecto a su eje de revolución. Por último, la estructura ornamentada se ubica de idéntica manera.

El resultado del conjunto en un tramo que contiene todos los elementos sería de la siguiente manera renderizado en CATIA:



Figura 4-27: Conjunto de barandilla renderizado



- **Tablero:** Para su montaje simplemente se han ido poniendo en contacto las caras de los elementos que representan la carretera, carril bici y bordillo sobre el tablero propiamente dicho, centrándolos mediante *offsets*.

En el conjunto del tablero también se colocan dos subconjuntos de barandilla que se posicionan sobre los respectivos laterales mediante *offsets* para obtener en un subconjunto toda la parte superior del tablero.

El extracto del subconjunto en este caso no se ha podido renderizar debido a la carga computacional del subconjunto que incluye los 3 elementos más pesados del puente: el tablero, el ornamento de la barandilla y las barras verticales. Este mismo hecho se dará también en el conjunto final del puente. El resultado del subconjunto del tablero sería el siguiente:

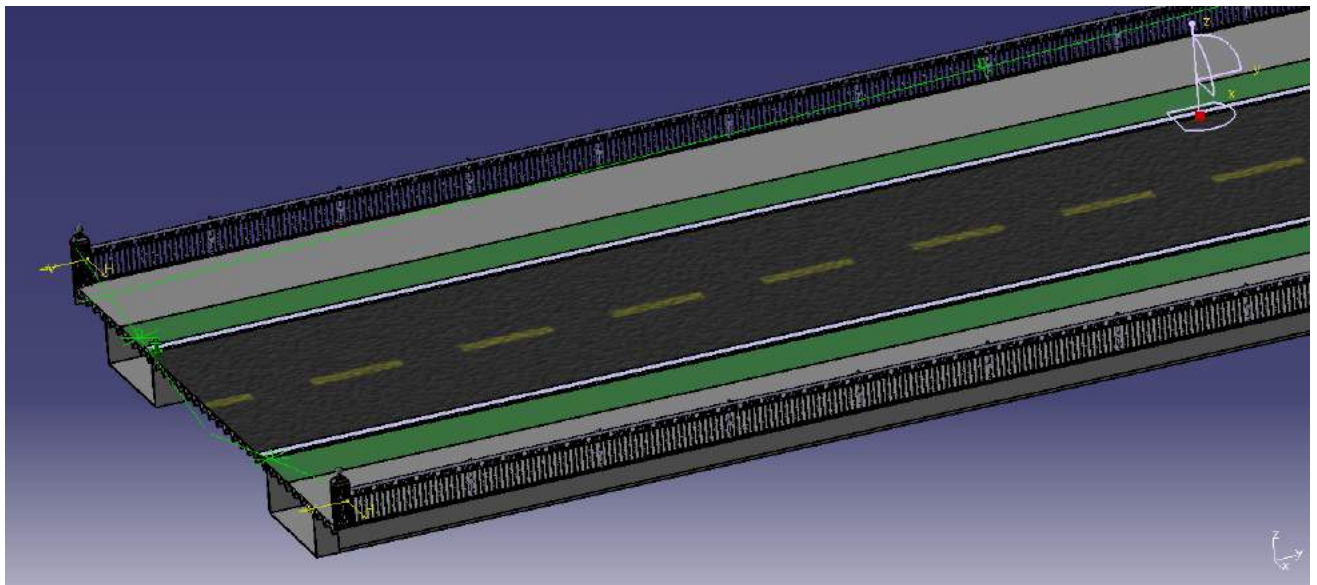


Figura 4-28: Subconjunto del tablero

Una vez se han realizado dichos subconjuntos, se procede al montaje del conjunto final.

Primero se insertan las pilas y estribos, fijando las pilas en el espacio y posicionando los estribos mediante *offsets*. Posteriormente se insertan tres subconjuntos de arcos, anillos y arriostramientos, los cuales se ponen en contacto de caras con los asientos del estribo o pila correspondiente.

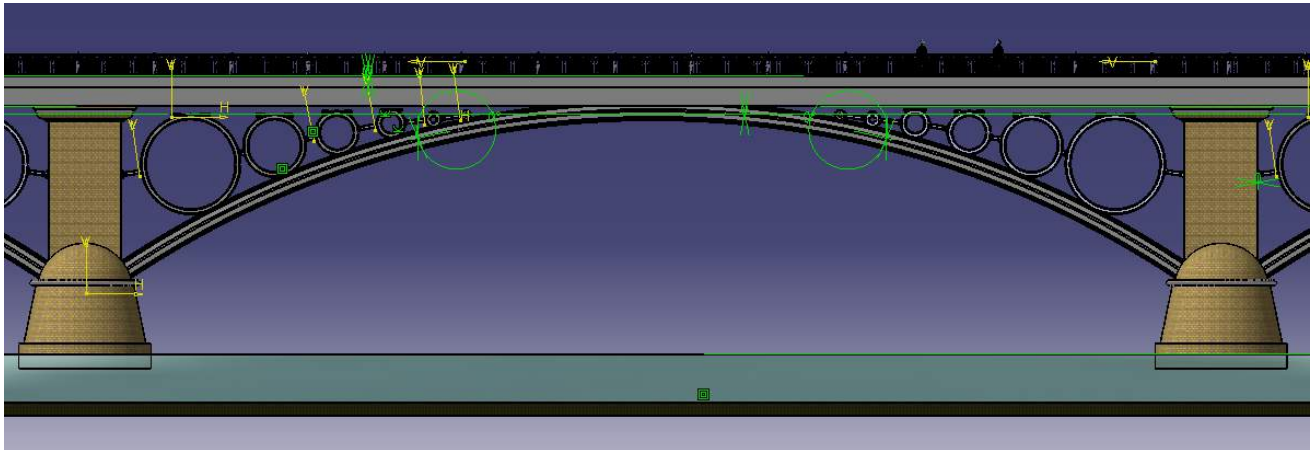


Figura 4-29: Perfil el vano central del puente

Después se coloca el tablero sobre la parte superior de las pilas y estribos poniendo en contacto dicha parte superior con la inferior de las vigas de cajón del tablero. Lateralmente se posiciona con *offsets* sobre el lateral de alguna de las pilas o estribos.

Por último, se ubican los elementos de entorno. Se pone en contacto el tramo de suelo de la orilla este contactando la cara superior con la inferior del estribo de Sevilla y ubicándolo con *offsets* sobre este. Posteriormente se coloca las láminas de suelo y agua una sobre otra y se posicionan con la profundidad de las pilas y lateralmente sobre el entorno de la zona de Sevilla. Por último, se coloca en entorno de Triana al igual que los anteriores mediante *offsets*, completando así el modelado del puente.

Al igual que con los subconjuntos, se ha intentado realizar un renderizado del proyecto completo. Sin embargo, en este caso no ha sido posible llevarlo a cabo debido a la carga computacional que requiere. Por este motivo, se van a mostrar las imágenes del modelado completo del puente extraídas directamente de la ventana de CATIA sin renderizado previo. A continuación se muestran cuatro imágenes del conjunto del puente desde diferentes perspectivas y

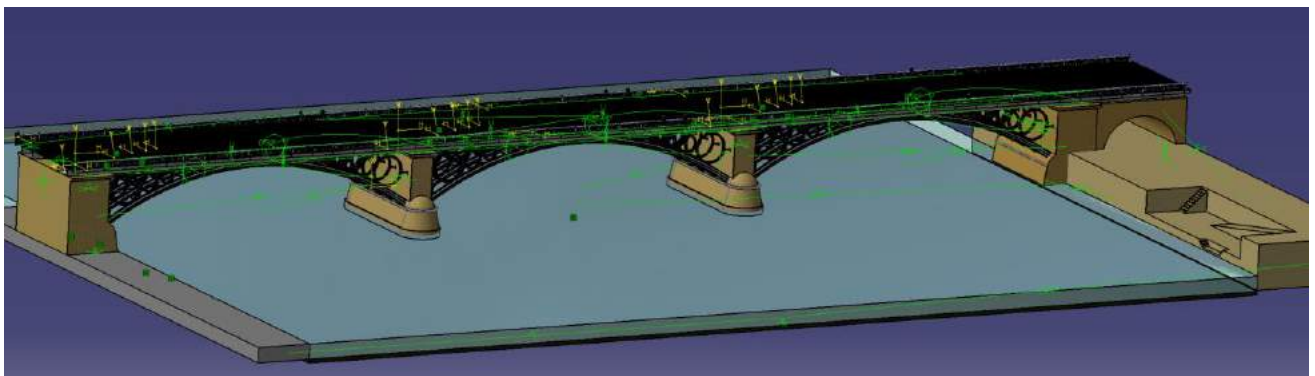


Figura 4-30: Vista completa del puente

cercanías:

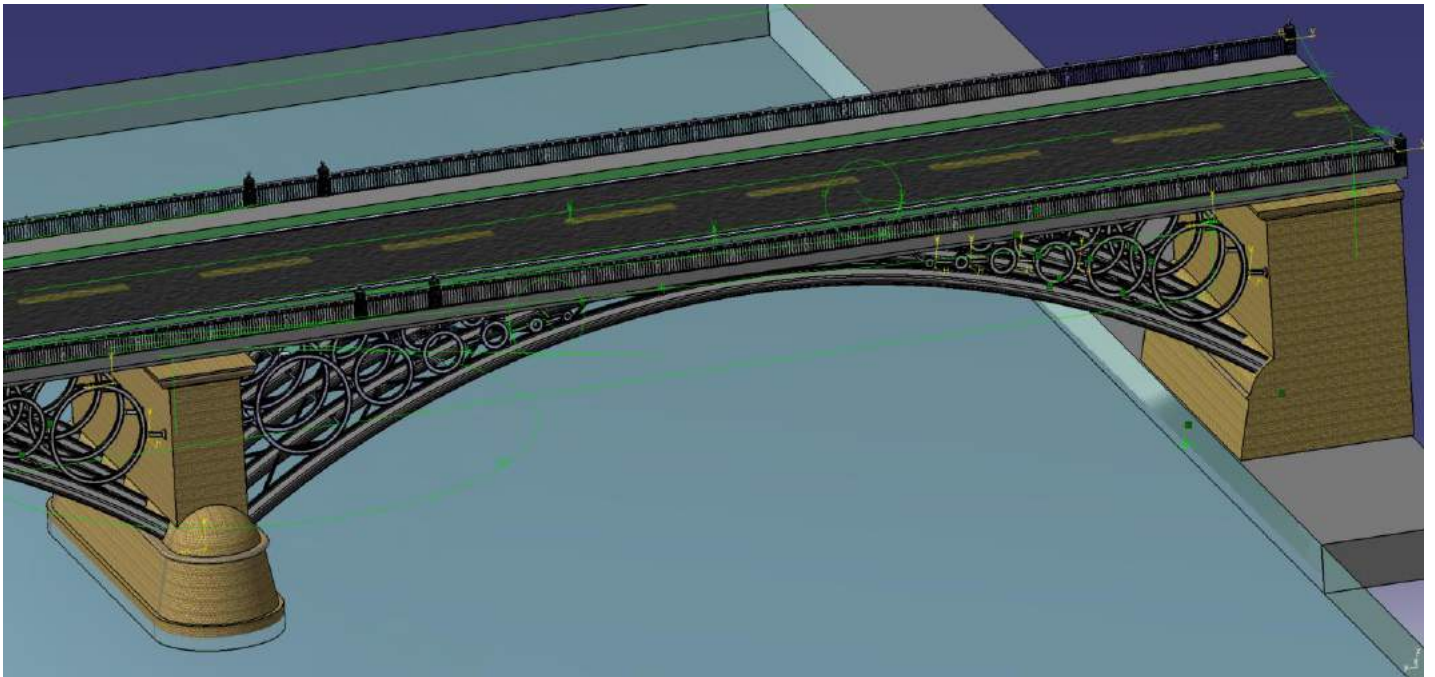


Figura 4-31: Vista del lado de Triana

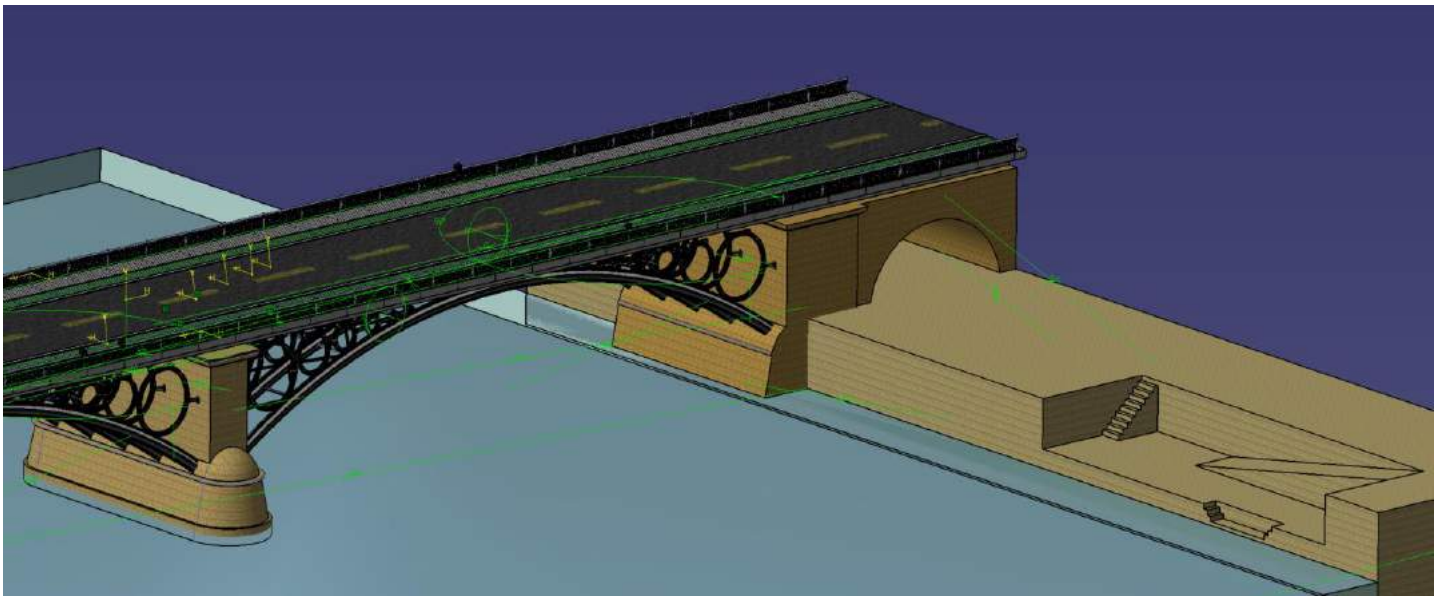


Figura 4-32: Vista del lado de Triana



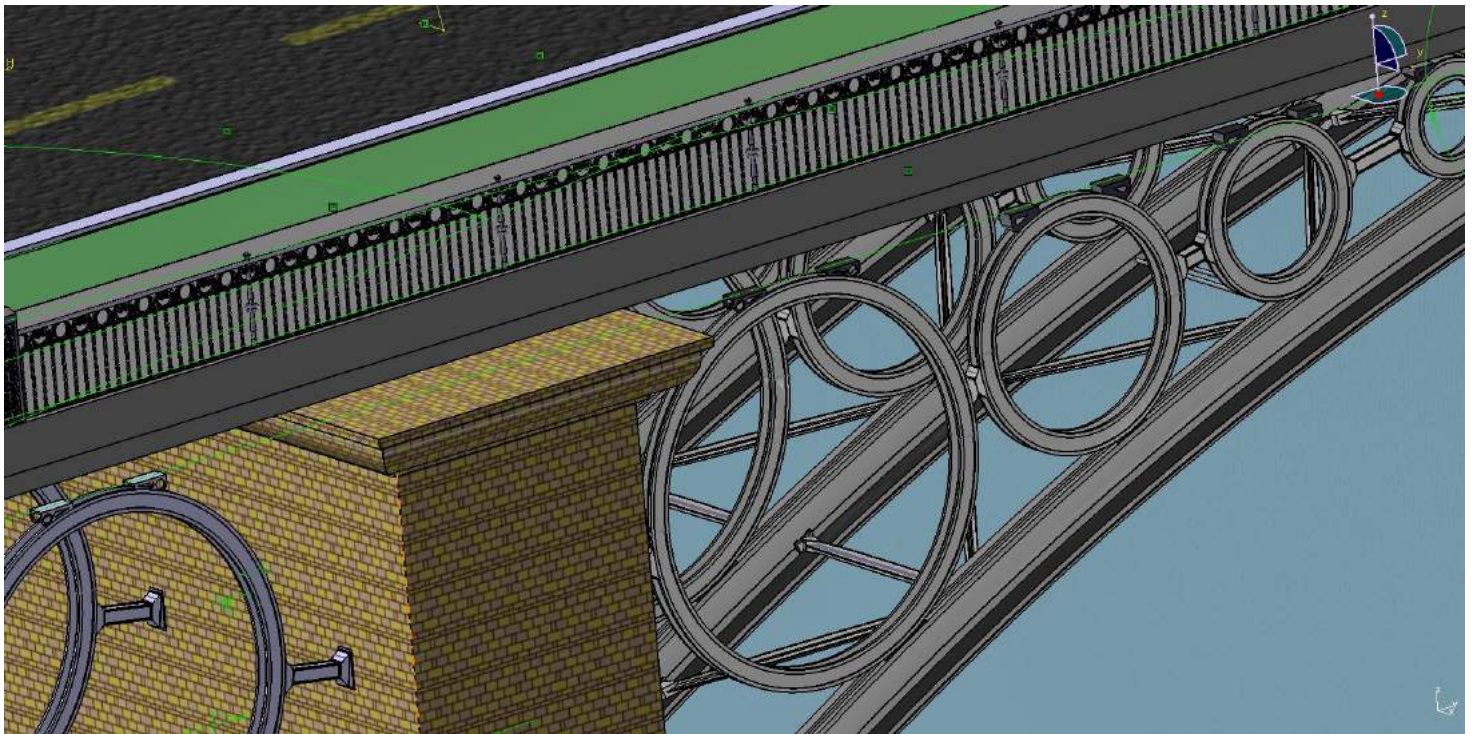


Figura 4-33: Vista en detalle del conjunto



## 5 CONCLUSIONES

---

Durante este proyecto se ha mostrado la importancia que ha tenido y mantiene a día de hoy el Puente de Isabel II o Puente de Triana, como se conoce tradicionalmente. Se ha repasado su historia desde los orígenes del puente de barcas hasta el puente actual, recopilando diversos proyectos que han sido estudiados a lo largo de la historia.

Se ha buscado toda la información original disponible acerca del Puente, de sus orígenes y construcción y se ha realizado la descripción de los elementos que forman el conjunto del puente.

Para el modelo se ha presentado el software utilizado, CATIA V5, y se ha detallado la realización de las piezas y su respectivo montaje.

Con este proyecto se muestra la potencia de este software, con el que se ha modelado cada pieza y siendo capaz de ofrecer un gran nivel de detalle en elementos como la barandilla. Se ha decidido simplificar ciertos elementos debido a la carga ornamental, lo que requería un aumento considerable de las horas de modelado. Sin embargo, para un proyecto de mayor embergadura este software sería válido para llevar a cabo estos elementos.

Antes y durante la fase de modelado ha sido necesario un trabajo de análisis, deconstruyendo el todo del puente en cada uno de los elementos que lo compone. Este proceso ha servido para comprender mejor el puente como artefacto, cuya forma cumple unas funciones concretas para dar respuesta a los requerimientos que ha de satisfacer: resistencia, estabilidad, perdurabilidad... aunando diferentes conocimientos adquiridos durante la carrera como el modelado sólido con resistencia de materiales, estructuras, etc...

Una de las ventajas que supone la realización del proyecto con el software CATIA es su posible utilización para posibles análisis estructurales mediante elementos finitos con otros softwares como Abacus o ANSYS exportando los archivos. Se propone como trabajo futuro la utilización de este modelo para observar el comportamiento estructural del puente. Este trabajo se podría enfocar a realizar simulaciones históricas con los modelos de tablero antiguos, disponibles en el archivo histórico provincial, analizando como afectaba la antigua configuración estructural del puente, con las cargas transmitidas a través de los anillos y arcos a las pilas y estribos.



## 6 BIBLIOGRAFÍA

---

Joaquín Lefler Pino y Antonio Herencia Ruiz (1ª parte) y Rodrigo Vázquez Orellana (2ª parte) (1999). «El Puente de Triana (1ª parte) y El Puente de Triana (2ª parte)». *Los puentes sobre el Guadalquivir en Sevilla* (1ª edición). Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. [ISBN 84-380-0151-3](#).

Amparo Graciani García (19-21 septiembre 1996). [«La construcción del Puente de Isabel II de Sevilla. Los problemas de cimentación»](#). *Actas del Primer Congreso Nacional de Historia de la Construcción* (Madrid: A. de las Casas, S. Huerta, E. Rabasa, I. Juan de Herrera, CEHOPU).

Francisco Aguilar Piñal (1989) [«Historia de Sevilla. Siglo XVIII»](#). Tercera Edición. Servicio de publicaciones de la universidad de Sevilla ISBN 84-7405-430-3.

Ávila Jalvo, José María (2000). EL PUENTE DE TRIANA Y SU TIEMPO, 755. Recuperado de: <http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es/index.php/informesdelaconstruccion/article/viewFile/673/755>

Manzano Martos, Rafael (2012). El puente de Isabel II de Sevilla / Rafael Manzano Martos, Biblioteca Virtual Miguel de Cervantes. Recuperado de: <http://www.cervantesvirtual.com/obra/el-puente-de-isabel-ii-de-sevilla>

Instituto Andaluz de Patrimonio Histórico. Recuperado de: <http://www.iaph.es/patrimonio-inmueble-andalucia/resumen.do?id=i19472>