




Los últimos cargaderos minerales, la rehabilitación de bienes patrimoniales en un entorno ambiental agresivo.

The last mineral docks, the rehabilitation of heritage assets in an aggressive environment.

Jose Antonio Martín-Caro Álamo  CEO en INES Ingenieros, ETSICCP de UPM, Madrid (España).
jmc@inesingenieros.com (autor de contacto)

Illán Paniagua Serrano  Socio en INES Ingenieros, Madrid (España).

Jorge Bernabeu Larena  Socio en Bernabeu Ingenieros. ETSICCP de UPM, Madrid (España).

RESUMEN

La reciente rehabilitación de tres cargaderos minerales representativos de la revolución industrial y de nuestro Patrimonio, da pie a establecer una metodología de intervención en estas estructuras basadas en el correcto análisis de su mecanismo resistente y durable adicionalmente al análisis de sus valores patrimoniales. Es precisamente, el entorno donde están ubicados, su uso pasado y futuro lo que permite establecer las reglas de juego de la estrategia de intervención. La necesidad de conservar el monumento en un entorno natural agresivo, pero al tiempo único desde el punto de vista del paisaje, obliga a profundizar en los temas tecnológicos y constructivos de estas construcciones.

Palabras clave: patrimonio industrial; análisis estructural; estructuras metálicas; rehabilitación.

ABSTRACT

The recent rehabilitation of three mineral docks paradigmatic of the industrial revolution and of our Heritage, gives rise to establishing an intervention methodology in these structures based on the correct analysis of their strength and durable mechanisms, in addition to the analysis of their heritage values. It is precisely the environment where they are located, their past and future use, which allows establishing the rules of the game for the intervention strategy. The need to preserve the monument in an aggressive natural environment, but at the same time unique from the point of view of the landscape, obliges to deepen into the knowledge of the technological and constructive issues of these constructions.

Keywords: Industrial heritage; structural analysis; steel structures, rehabilitation.

Cómo citar este artículo/Citation: Jose Antonio Martín-Caro Alamo, Illan Paniagua Serrano, Jorge Bernabeu Larena (2024). Los últimos cargaderos minerales, la rehabilitación de bienes patrimoniales en un entorno ambiental agresivo. Informes de la Construcción, 76 (576): 6563. <https://doi.org/10.3989/ic.6563>

Copyright: © 2024 CSIC. Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos de la licencia de uso y distribución Creative Commons Reconocimiento 4.0 Internacional (CC BY 4.0).

Recibido/Received: 17/07/2023
Aceptado/Accepted: 24/10/2024
Publicado on-line/Published on-line: 28/01/2025

1. CARGADEROS METÁLICOS. MODERNIDAD Y SÍMBOLO DE LA INDUSTRIALIZACIÓN

La definición, según Pelayo Clairac, de cargadero se relaciona directamente con el lugar/sitio destinado a la carga de mercancías y cosas que se transportan en puertos, aduanas, estaciones, minas, etc. (1). Y por extensión nos dirige a la Voz Muelle, de mayor amplitud, pero ya relacionado con el agua: “Todo dique, espigón o andén, construido en los puertos, rías y ríos, para contener el mar, resguardar el puerto, facilitar el embarco y desembarco de personas y mercancías, buscar calado para que puedan atracar los buques o defender las poblaciones y sus alledaños de las invasiones de las corrientes”. Clairac describe el muelle de Portugaleta, el muelle de atraque de Vigo y el de Huelva de la Compañía de las minas de Riotinto para el embarque de minerales. Los tres según el autor son dignos de citarse. Todos ellos son estructuras metálicas sobre pilotes de rosca helicoidales.

J. Eugenio Ribera habla de los muelles metálicos como un “tipo” modernísimo, distinto a los que hasta ese momento se habían construido en los puertos, cuya característica principal es la explotación intensiva y verdaderamente industrial. Pues, estos espigones metálicos conseguían con poca superficie, una gran línea de frente, y que al dotárseles de “medios poderosos de trasbordo permiten un tráfico excepcional, muy superior al que suelen tener los muelles de fábrica” (2).

Inmaculada Aguilar, siempre ha comentado que el valor funcional, racional y sincero de estas infraestructuras, que se materializan con volúmenes geométricos, severidad en las formas, con articulaciones regulares y ordenadas, con economía de medios, han provocado un rechazo de su valor artístico, pese a que son las características propias de la llamada arquitectura/ingeniería del hierro. Comenta esta autora que, si pensamos tanto en una industria, como en un puente, una estación, un faro, un mercado, un depósito, un muelle, podemos observar que sus características se rigen a través de tres nuevos factores de la era mecánica, factores que surgen de la ciencia, de la industria y del mercado (3).

Las nuevas estructuras metálicas tienen influencia de la ciencia, con un pensamiento basado en la funcionalidad, racionalidad, transparencia y sinceridad a la hora de construir. Las nuevas estructuras que se proyectan están pensadas para un fin concreto, adecuándose de una forma mucho más específica.

En segundo lugar, en el contexto de revolución industrial, se da importancia a los conceptos de economía, intercambiabilidad, compatibilidad, facilidad de servicio y precisión en el tiempo. Esto supone la aparición de la prefabricación, estandarización y ensamblaje.

Finalmente, la construcción industrial de esta época se ve influida por el mercado, dando importancia a la cantidad frente a la posible calidad artesanal.

Con motivo del proyecto y construcción del puente metálico de Rivadesella, Ribera detalla los primeros muelles extranjeros realizados con este sistema: el muelle de Courtown (Irlanda) en 1847, primera aplicación hecha por el inventor Mitchell de sus pilotes de rosca; el dique rompeolas de Portland, empezado en 1847 por ingeniero Rendel (Inglaterra), inaugurado en 1849; el muelle en la embocadura del Delaware (Estados Unidos); el muelle para la Turquía asiática, del año 1893, construida

por la fábrica belga de Braise-Le-Comte; el embarcadero para la nueva colonia belga del Congo, de 1882; el muelle de Valparaíso (Chile), de 1890, construido por la fábrica belga de Braise-Le-Comte.

Sobre España resalta que este sistema tiene numerosos y notables ejemplos realizados con diferentes usos: embarcaderos, diques de encauzamiento, cargaderos de minerales, establecimientos balnearios (Gijón, Luanco, etc.) y cita, incluso, el proyecto “de un grandioso palacio de cristal para la Concha de San Sebastián, parecido a la famosa Jetée-Promenade de Niza”. Ribera describe los mejores ejemplos, muchos de los cuales han desaparecido, desmontados una vez perdida su utilidad.

Siendo los cargaderos de Dícido, el Hornillo y Tharsis de los pocos ejemplos de cargaderos metálicos que quedan en España, resulta fundamental su restauración, debiendo afrontarla desde el respeto por las características que los definen y los principios de funcionalidad, racionalidad, estandarización, etc. que se siguieron en su concepción.

Antecedentes, fuentes históricas, investigación histórica, estudio estructural del elemento en su proceso histórico, estado actual, posibilidades de uso, son evidentes preocupaciones al abordar la restauración y puesta en valor de estos elementos férreos, siguiendo las pautas y normativas sobre el patrimonio cultural y en concreto el patrimonio industrial a través del Plan Nacional del Patrimonio Industrial aprobado en 2001, revisado en 2011, 2016 y en fase de nueva revisión en 2023. Unas construcciones metálicas, ya obsoletas en nuestras costas y puertos, pero que han sido el eje de múltiples escenarios constructivos, marítimos, económicos, empresariales, sociales, etc., propios y exclusivos de la segunda mitad del siglo XIX y primeras décadas del siglo XX, de nuestra historia y patrimonio. Sus posibilidades de conservación y uso son diversas y de gran interés, desde las diferentes actividades de ocio, uso ya de antiguo en los embarcaderos y balnearios costeros, turísticas, culturales y paisajísticas (4).

2. EL CASO DE LOS CARGADEROS DEL MUELLE DE THARSIS, DE DÍCIDO Y DEL HORNILLO

Cuando tratamos los cargaderos o embarcaderos de carga hay que tener en cuenta la historia de la minería, la historia del ferrocarril y el transporte, la historia de la navegación, la historia empresarial, su incidencia en el territorio y la creación de un paisaje singular que caracteriza el lugar.

Tinglados, diques, muelles de fábrica y metálicos, grúas fijas y móviles, diques flotantes, depósitos, buques con casco de hierro, ferrocarriles de vía estrecha, estaciones, faros, etc., poblaron a partir del siglo XIX los puertos, creando un nuevo e inquietante paisaje de hierro y vapor. Sobre todo, en aquellas regiones mineras que buscaban un medio para exportar mineral (cobre, hierro) más allá de nuestras fronteras marítimas, resolvieron este enlace intermodal con la construcción de muelles con estructura metálica. Los puertos de las costas del mar Cantábrico, del mar Mediterráneo, o del océano Atlántico, fueron el punto de enlace entre las explotaciones mineras españolas y su exportación vía marítima, y en ellos se construyeron numerosos muelles-cargaderos. Los trenes mineros debían llegar a una plataforma situada sobre un muelle que se adentraba en el mar buscando la profundidad suficiente para los barcos cargueros, cada vez de mayor eslora y calado. Los vagones cargados de mineral utilizaban el muelle como terminal ferroviaria, donde

se llevaba a cabo las maniobras de carga y descarga. Esta innovación supuso eliminar las peligrosas maniobras de las barcas que lo transportaban hasta los buques fondeados en altamar. Toda una historia social que ha sido recogida en numerosas investigaciones y que, como bien indicaba Ribera, el cambio llevaba a una explotación intensiva propia de la industrialización. Por ello, aquellas compañías como la inglesa “Dícido Iron Ore Limited” que empezó a explotar el coto de Dícido, en 1874, construyó un primer muelle metálico en 1886, pensando en la rentabilidad que proporcionaba.

2.1. El Muelle de Tharsis

El muelle de la Tharsis Sulphur and Cooper Company Limited se encuentra ubicado en el puerto de Huelva, en la orilla derecha de la ría del Odiel, en el término municipal de Aljaraque (Huelva), junto al poblado minero de Corrales. Su función era embarcar el mineral en grandes buques cargueros adentrándose hasta alcanzar un calado suficiente para permitir este transbordo. El mineral procedía de las minas de Tharsis (Alosno) y la Zarza (Calañas) y era transportado hasta el final del embarcadero por la línea del ferrocarril de Tharsis a Río Odiel, creado para este fin entre 1867 y 1871. De un kilómetro de longitud, traza un arco hacia el sur.

Debemos destacar que el muelle de Tharsis es uno de los cargaderos más antiguos que conservamos en España, pese a las lógicas y múltiples reformas que, en su devenir histórico de algo más de 150 años, tuvieron que realizarse. Un legado patrimonial de enorme riqueza.

Su evolución es una compleja y dilatada historia de mejoras, ampliaciones, reformas, deterioros, derribos. Los inicios fueron complejos, con varios proyectos para el ferrocarril y muelle, comenzando a transportarse mineral en 1871 (5).

En 1915, la compañía encargó al ingeniero escocés sir William Arrol del consulting de Glasgow William Arrol & Company Ltd., el diseño de un nuevo proyecto de embarcadero de mineral, para hacer frente al incremento de producción y nuevas características de los buques, construyéndose un nuevo ramal, inaugurado el 12 de abril de 1923.

Ya en el siglo XX, las noticias sobre el cargadero de Tharsis son de reformas y sustitución de vigas. En 1980 se autoriza el desmantelamiento del ramal primitivo, fuera de servicio desde 1966, aunque restan los primeros tramos del embarcadero primitivo. La ampliación mantuvo sus servicios hasta 1993. El muelle se encuentra hoy deteriorado, llevando la peor parte la plataforma del embarcadero (5). Se muestra la configuración actual en la figura 1.



Figura 1. Vista aérea del Muelle de Tharsis al comienzo de las obras de reparación

Su valor patrimonial es evidente por múltiples aspectos: 1) el modelo estructural primitivo empleado (primera generación), siguiendo directrices del inventor de la rosca Mitchell y el muelle de Courtown (Irlanda); 2) la permanencia de sus huellas y parte de su armadura metálica original como legado patrimonial de la Glasgow William Arrol & Company Ltd.; 3) ser un ejemplo de la inversiones mineras extranjeras (inglesas, francesas, etc.) en España; 4) la intervención para su ampliación de una de las mejores empresas de ingeniería civil más importantes de la época; 5) su marcado paisaje a través de un largo embarcadero, serpenteante, que define una ensenada como un lugar especial donde ingeniería, minería, producción, empresa, actividad técnica, social, económica se dan la mano.

2.2. El cargadero de Dícido

Fue construido por la sociedad The Dícido Iron Ore, que explotaba el coto de Dícido desde 1873. El primitivo muelle-embarcadero, cuyo proyecto fue presentado en ese mismo año por Juan Bailey Davier y J. R. Vizcarrondo, se trataba de un cargadero de primera generación, formado por una armadura de hierro sobre pilotes de rosca (6). Este proyecto no llegó a construirse hasta varios años después, inaugurándose en abril de 1886 (7).

Anteriormente el mineral era transportado al puerto por medio de carros, que descargaban en barcas de las cuales se trasbordaba a los barcos. Al resultar caro, se sustituyó el sistema por un transbordador de cable que descargaba en un depósito, de donde se cargaban cestos que se colocaban en gabarras que los conducían a los barcos (8).

Esta instalación, que funcionó perfectamente durante ocho años y medio, fue destruida por un temporal, de excepcional violencia, que se desencadenó el 30 de diciembre de 1894.

En febrero de 1896 se inauguró el nuevo embarcadero. Una gran estructura metálica en cantiléver apoyada en una pila de mampostería anclada en la costa. Poseía dos pisos por donde circulaba el ferrocarril de cadena. Fue el segundo cargadero construido por la empresa inglesa.

En agosto de 1929 la empresa sustituyó el ferrocarril de cadena del nivel superior por una cinta transportadora, que se alimentaba de una gran tolva construida en la costa a través del ferrocarril de cadena. Esta instalación fue demolida mediante dinamita en la madrugada del 13 de agosto de 1937, en plena Guerra Civil en España.

En la actualidad se conserva el cantiléver construido en 1938, proyectado ya por ingenieros españoles (figura 2), tiene una estructura similar al anterior, aunque dispone de un solo nivel servido con una cinta transportadora.

2.3. El cargadero del Hornillo

El embarcadero de minerales del Hornillo (figura 3) vuelve a ser, de nuevo, el resultado de la explotación mineral de los británicos en suelo español. Es otro de los grandes ejemplos que se conservan con esta peculiaridad, pero tan habitual en aquel periodo.

El Hornillo fue construido, entre 1901 y 1903 en Águilas (Murcia), por la sociedad The Hornillo Company Limited para

embarcar los minerales procedentes de las minas de Bacaes y Seron (Almería). Con anterioridad la The Great Southern of Spain Railway Company Limited, desde 1887, estaba dedicada a las explotaciones de ferrocarriles y minería, dirigida por Gustave Gillman. La Compañía tuvo diferentes concesiones ferroviarias: Lorca-Águilas (1874), Murcia-Águilas (1876), Murcia-Granada (1885) y Estación de Águilas al puerto (1894). La llegada al puerto de Águilas fue esencial para decidir una importante inversión para la exportación de mineral de hierro, desde las minas situadas en la sierra de Filabres, proyectando a la vez el cargadero del Hornillo.



Figura 2. Vista del Cargadero de Dícido desde la costa



Figura 3. Vista del embarcadero de El Hornillo desde la costa durante las obras de restauración

Por Real Orden de 30 de enero de 1902 se concede la ampliación y reforma de la estación de Águilas, incluyendo el ramal a la bahía del Hornillo y sus depósitos a “Los Ferrocarriles de Lorca a Baza y Águilas” del denominado “Ramal al Hornillo del ferrocarril de Águilas” siendo la compañía concesionaria de estas líneas “The Great Southern Railway Company Limited” con sede social en Águilas y las oficinas principales en Londres. Hasta llegar a este momento, se propusieron dos proyectos diferentes. El primero de 1887 era un embarcadero en altura para descargar desde ellos el mineral; el segundo proyecto fue aprobado el 7 de abril de 1891. Era tipo muelle volante, de consola o cantiléver. Ninguno de los dos fue llevado a cabo (9).

El muelle tiene 168 metros de longitud total. Está compuesto de una plataforma con dos vías para las vagonetas. Posteriormente se añadió una tercera vía central para facilitar

las maniobras, que se auxiliaban con un carro trasbordador situado en el extremo del muelle (10).

Importante en el proceso industrial son los túneles de descarga, tres galerías con bóveda semicircular que preceden a la plataforma del embarcadero. Su finalidad era el almacenaje del mineral hasta la llegada de los buques. Desde estas galerías, por medio de toberas descendía el mineral a las vagonetas, las cuales llevaban la mercancía por las vías del embarcadero hasta descargarla directamente a los barcos. Eran tres galerías, dos de 150 m de longitud y acceso ferroviario y una tercera de 200 m para depósito.

En 1970 el cargadero deja de prestar servicio y fue cerrado oficialmente el 15 de julio de 1973. El Decreto nº 133/2000, de 15 de diciembre del Consejo de Gobierno de la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia, lo declara Bien de Interés Cultural, con categoría de monumento.

3. TIPOLOGÍA, FUNCION Y MATERIALES DE LOS CARGADEROS METÁLICOS

La primera aproximación obligada a los cargaderos a la hora de intervenir en ellos pasa por conocer sus características, su funcionamiento estructural, su tipología y materiales. Para un mejor conocimiento de los mismos también es útil conocer qué motivo la elección de su tipología, condicionantes entre los que se encuentra su ubicación, las cargas que debían resistir, la disponibilidad de material y momento constructivo.

A grandes rasgos, nos encontramos con dos tipologías diferentes: el tipo palafítico y el cantiléver. El cargadero palafítico se compone de varias hileras de pilares metálicos, relativamente cercanos entre sí, sobre los que se construye un tablero. En el caso del cantiléver, el cargadero se forma mediante una viga de gran canto apoyada en un estribo en la costa y en una pila construida en el mar, a partir de la cual se prolonga en un voladizo de longitud igual o superior a la luz del primer vano. Dentro de las posibilidades existentes, se podrían haber construido muelles enteramente de fábrica, aunque se descarta en todos los casos por motivos económicos, recurriendo siempre a estructuras metálicas (11). También se podrían haber construido en madera, como se observa en una primera propuesta de cargadero para la bahía de Dícido, pero se descarta, para construirlo en acero, un material más moderno y resistente.

El sistema cantiléver, al separarse del mar y apoyarse en una única pila de fábrica, se ve menos afectado por los temporales, siendo más adecuado en aquellos casos que se encuentran menos resguardados y en mares con mayor oleaje. El empuje intenso del mar, con una tipología tipo palafítica se podría producir el vuelco y deterioro de los pilotes, como ya pasara con el primer cargadero de Dícido.

El primer ejemplo de esta tipología en la costa española fue el Cargadero de Saltacaballo (o de Setares), construido en 1888 a 1 kilómetro de Dícido, y que sería replicado en los cargaderos de Dícido, San Guillén, Urdiales 1 y 2 y el Piquillo en el municipio de Castro Urdiales, así como en otros municipios de la costa cantábrica.

Por otra parte, los cargaderos palafíticos son capaces de soportar mayores sobrecargas, al contar con menores luces y mayor número de pilares. Por tanto, es más conveniente para aque-

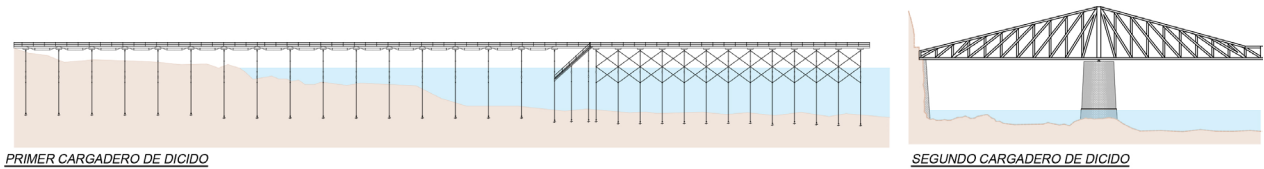


Figura 4. Alzados esquemáticos de los dos primeros cargaderos de Dícido, el primero de ellos construido en 1886 con la tipología palafítica, y el segundo, ya con tipología cantiléver, del año 1896

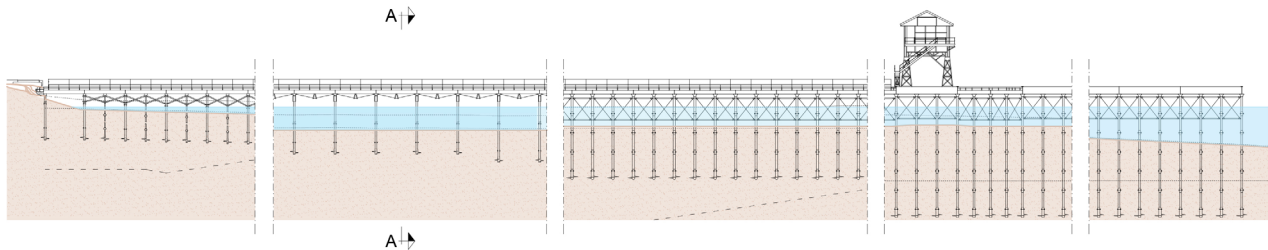


Figura 5. Alzado esquemático de las diferentes secciones del muelle de Tharsis

llos casos donde se requiera que los trenes que transportan el mineral entren en el cargadero, mientras que en los cargaderos cantiléver es preferible el transporte del mineral dentro del cargadero mediante vagonetas o cinta transportadora, al minimizarse las sobrecargas.

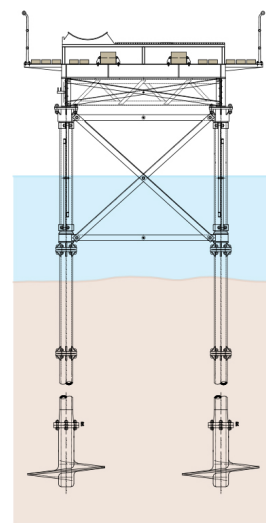
El primero de los tres cargaderos en construirse fue el muelle de Tharsis, en 1871. Se ubica 18 km aguas arriba de la desembocadura del río Odiel en el Océano Atlántico, siendo una zona protegida del oleaje, aunque sí afectada por mareas. Se construyó para cargar el mineral de las minas de Tharsis, a unos 40 km del cargadero, al que llegaban por ferrocarril. Por tanto, se daban las circunstancias ideales para la construcción de un cargadero de tipo palafítico. Se compone de un primer tramo de acceso, por donde circulaban los trenes hasta alcanzar una zona con calado suficiente para los barcos, donde se ubicaba el muelle, de mayor anchura.

La zona de acceso del muelle de Tharsis se compone de dos hileras de pilas-pilote metálicos con punta de hélice, cada de 10 o 20 pies (3.048 y 6.096 metros, respectivamente), sobre los que se apoyan vigas longitudinales biapoyadas (figura 5). Las dos hileras se arriostran entre sí mediante cruces de San Andrés entre los pilotes y vigas trianguladas entre las vigas (figura 6). Sobre las vigas longitudinales se apoya otro nivel de vigas en sentido transversal sobre las que se apoyan las vías del ferrocarril y el pavimento.

Al llegar a la zona de embarcadero, van apareciendo nuevas alineaciones de pilas-pilote y vigas longitudinales. La zona de embarcadero que ha llegado a nuestros días se corresponde con la construida en 1923 para aumentar la capacidad de carga, aunque empleando la misma configuración que la existente.

El Embarcadero de El Hornillo fue construido en 1903 en la bahía de El Hornillo en Águilas, Murcia, en el mar Mediterráneo, para cargar el mineral procedente de la sierra de Almagrera. En un primer proyecto para el cargadero de El Hornillo se plantea realizar un cargadero tipo cantiléver, aunque finalmente se descarta por el gran peso de los trenes que llegaban hasta el embarcadero. Puesto que se encuentra en el mar Mediterráneo, no existe un oleaje excesivo que impida la construcción de un cargadero de tipo palafítico, siendo esta la tipología empleada. En este caso, se construye una plataforma de escollera y bloques de hormigón prefabricados, hasta supe-

rar aproximadamente en un metro el nivel del mar. Sobre ella se levantan 39 pórticos metálicos paralelos, separados 12 pies (3.658 metros), formados por 3 pilares y una viga continua, con dos vanos de 12 pies de luz y dos voladizos de 7.5 pies (2.286 metros) a cada lado (figura 7). Sobre las vigas se apoya un segundo nivel de vigas longitudinales que soportan las vías y el pavimento de madera. Los pilares del pórtico se arriostran mediante vigas horizontales y cruces de San Andrés, y los pórticos se arriostran dos a dos de la misma forma.



SECCIÓN A-A

Figura 6. Sección del Muelle de Tharsis

El último de los tres cargaderos en construirse es el de Dícido, aunque previamente ya existía un cargadero en dicho emplazamiento. El cargadero se ubica junto a la playa de Dícido, en el mar Cantábrico, y tiene como función la carga del mineral que se extraía en el propio municipio y que llegaba hasta el cargadero en pequeños trenes de 0.75 metros de ancho de vía.

En el año 1886 se construye el primer embarcadero, de tipo palafítico, con tres hileras de pilas-pilote con punta helicoidal que soportaban un tablero metálico. En el año 1894 la estructura colapso por un vendaval, lo que manifestó lo poco adecuada de esta tipología para este emplazamiento. Al llegar el mineral en pequeñas vagonetas, las sobrecargas

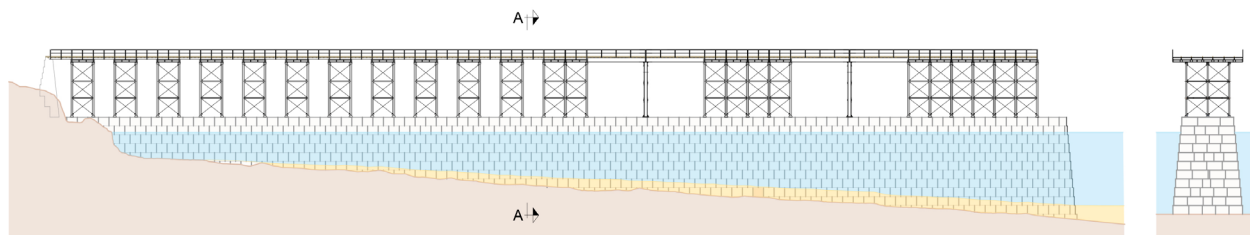


Figura 7. Alzado y sección del Embarcadero de El Hornillo

que debía soportar eran relativamente pequeñas, por lo que se opta por construir un nuevo cargadero de tipo cantiléver (figura 4). Aunque este cargadero fue demolido en la Guerra Civil Española, la tipología se había demostrado válida, por lo que se reconstruye un nuevo cantiléver, aprovechando las estructuras de fábrica existentes, esta vez con una celosía tipo Warren, más moderna y adecuada.

El tercer cargadero de Dícido, que es el que ha llegado a nuestros días, se compone de dos vigas paralelas de canto variable, de tipología Warren, arriostradas horizontalmente entre sí en el plano superior e inferior. El cargadero cuenta con un primer vano de 40.3 metros de luz y un voladizo de 47 metros (figura 8). Estas vigas se apoyan en un estribo de fábrica construido sobre el acantilado y en una pila de fábrica de sillería de piedra arenisca local (correspondiente al segundo cargadero), con un recrecido de sillares de hormigón en masa.

En origen los tres cargaderos pertenecen a empresas británicas, lo que tiene reflejo en su construcción. Por ejemplo, las medidas de Tharsis, El Hornillo y el primer cargadero de Dícido están en múltiplos de pies anglosajones, y se emplean perfiles con secciones en pulgadas. Es más, al menos en el muelle de Tharsis y en El Hornillo, se sabe que el hierro proviene de fábricas británicas (inglesas y escocesas). Esto tampoco es de extrañar, pues tal como indica José Ramon Navarro (12), las importaciones de hierro superaban la producción nacional en el siglo XIX.

Es distinto el caso del cargadero de Dícido, propiedad de Altos Hornos de Vizcaya en el momento de la construcción del segundo y tercer cargadero. En este caso se emplea acero de producción propia y todas las dimensiones están en el sistema métrico decimal.

A la hora de escoger las secciones, en Tharsis y en El Hornillo, se emplean vigas con secciones doble T, conformadas por platabandas y angulares en las principales, y por perfiles laminados en las vigas secundarias.

En estos dos casos, los pilares verticales tienen sección circular. En Tharsis, se trata de pilas-pilote de fundición, realizados a tramos y atornillados entre sí. En el caso de El Hornillo se empleó un pilar tipo fénix, formado por cuatro piezas de acero laminado con forma de cuarto de circunferencia y dos alas que permitía la unión entre ellas.

En el caso del segundo cargadero de Dícido, primero del tipo cantiléver, las secciones también se conforman mediante chapas y angulares, para formar secciones en T o en doble T. sin embargo, en el tercer cargadero de Dícido se empujan secciones formadas por dos perfiles laminados en U empesillados en cajón abierto, con platabandas en aquellos tramos con mayores esfuerzos.

En todos los casos, las uniones de los perfiles se realizan mediante roblones, y los nudos se materializan mediante platabandas, con esquemas similares al representado en la figura 9.

El tipo de metal empleado varía entre ellos, de acuerdo con los criterios empleados en la época en que se construye cada uno. En el más antiguo (el muelle de Tharsis), se emplea la fundición gris para las pilas-pilote, que trabajan principalmente a compresión, y hierro pudelado, con mejor resistencia a la tracción, en las vigas. Esta diferencia de material entre los elementos que trabajan a compresión y los que trabajan a flexión se mantiene en la ampliación realizada en 1923, aunque el hierro pudelado de las vigas se sustituye por acero. En el caso del embarcadero de El Hornillo, construido en 1903, todos los elementos principales son de acero (tanto los que trabajan a compresión como los que trabajan a flexión), empleando fundición en elementos secundarios, como son los capiteles, las placas de apoyo de los pilares y las placas de separación entre vigas. En el último cargadero construido, el de Dícido en 1938, todos los elementos son de acero. Este último cargadero es el único posterior a la publicación de la *Instrucción para el cálculo de tramos metálicos* (13) en el que se proscrubía el empleo de hierro pudelado o fundición y se indicaban las

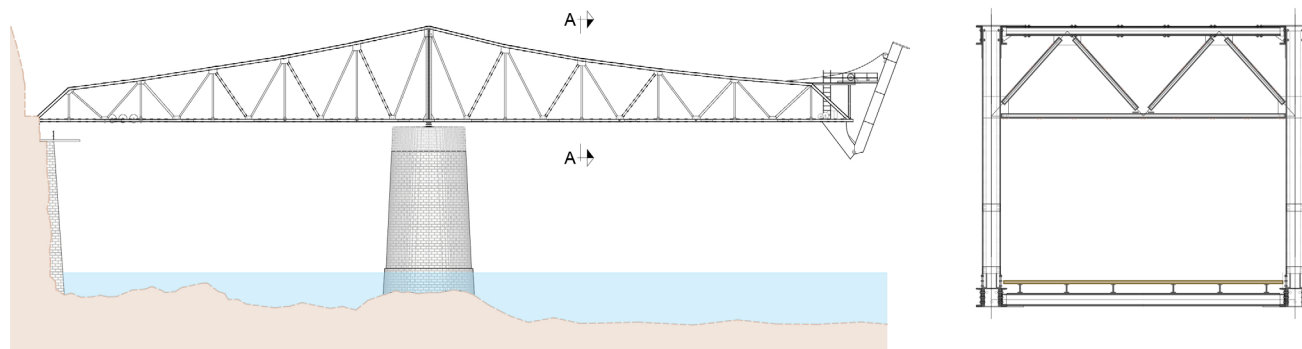


Figura 8. Alzado y sección del Cargadero de Dícido

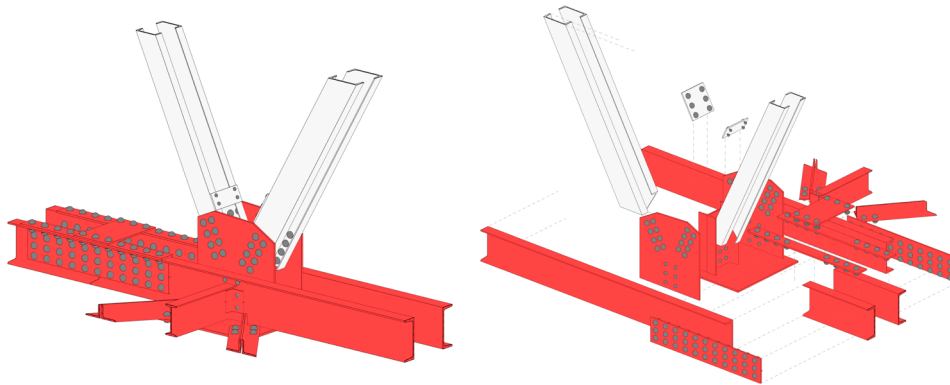


Figura 9. Detalle del modelo tridimensional de un nudo del cargadero de Dícido, en el que se representan todos los elementos que lo componen. A la derecha el mismo nudo, con los elementos desplazados para poder identificar cada uno de ellos. Se representa en color rojo los elementos que es necesario desmontar durante las obras

sobrecargas a considerar en estas estructuras. Además del tipo de material, es necesario conocer las características del mismo, para lo que es imprescindible recurrir a ensayos, tanto mecánicos como químicos.

4. ESTADO Y DETERIORO DE LOS CARGADEROS

El principal deterioro que han sufrido los tres cargaderos tiene su origen en la corrosión del hierro. Este fenómeno se ve provocado por encontrarse en un ambiente muy agresivo (entorno marino), con presencia de cloruros marinos que aceleran los procesos de oxidación.

Hay que destacar la evolución que han tenido los sistemas de protección de las estructuras metálicas desde la construcción de los tres cargaderos hace ya más de 100 años, así como el rigor en la aplicación de los mismos.

Desde el siglo XIX se conocen los fenómenos de corrosión del hierro y como los ambientes marinos facilitaban estos procesos, y se conocía como los recubrimientos con pinturas de minio o aceite de linaza mejoraban su durabilidad, pues fueron empleados en estructuras importantes como la Torre Eiffel (14) o el Puente de Forth (15), pero también en estructuras similares, como el Embarcadero del Puerto de Castro.

En el caso de Águilas, según se desprende del Proyecto de Construcción, el acero se deja sin recubrimiento, asumiendo pérdidas de sección, para lo que se da un “exceso de resistencia”. Posteriormente, sin existir referencia de la fecha, se revistió la estructura con brea para protegerla de la corrosión. De los otros dos cargaderos no se han encontrado referencias sobre su protección, y se desconoce si los revestimientos que tienen se ejecutaron en el momento de su construcción o son posteriores.

Por otra parte, el desconocimiento del proceso específico de la corrosión hizo que se emplearan detalles constructivos que han propiciado la corrosión del hierro. Por ejemplo, los cordones inferiores de Dícido tienen una sección con dos perfiles en U y una platabanda inferior, creando un cajón abierto por arriba que se llena de agua y que no cuenta con ninguna salida, dando como resultado que estas secciones se hayan visto muy dañadas, habiendo llegado a perder un alto porcentaje de la sección en algunos puntos (figura 10).



Figura 10. Vistas del cordón inferior casi desintegrado (izq.) y del cordón superior de la celosía en buen estado (dcha.)

También se han identificado puntos críticos las placas de unión entre perfiles en el embarcadero de El Hornillo. Estas uniones se conformaron mediante dos platabandas dispuestas una a cada lado del ala de los pilares fénix, roblonando por el exterior dos perfiles de arriostamiento. Para realizar el roblonado se dispuso una placa de fundición intermedia, lo que ha creado en algunos casos un recinto cerrado donde se almacena el agua. Como consecuencia, elementos sanos, presentan grandes pérdidas en su unión, lo que imposibilita que colaboren en la resistencia de la estructura, como se muestra en la figura 11.



Figura 11. Unión entre pilar y arriostamientos en el embarcadero de El Hornillo, en el que se acumula el agua y se produce una corrosión de la placa de unión, por lo que el tirante sería incapaz de transmitir cargas si fuera necesario su colaboración

Otro punto conflictivo es el contacto de las traviesas de madera con las vigas metálicas, al permanecer durante mucho tiempo en unas condiciones que propician la corrosión del acero, como consecuencia de la humedad presente en la madera. Al llevar a cabo las actuaciones de reparación en El Hornillo y en Tharsis se ha observado cómo, sistemáticamente, bajo cada traviesa se encontraban grandes pérdidas de sección. Este deterioro supone un problema adicional, pues se encuentra oculto y no ha sido hasta desmontar la madera que no se ha descubierto que en algunos puntos la sección del superior estaba francamente reducida.

Como consecuencia de la falta de protección adecuada del metal y de detalles desfavorables para la durabilidad se ha producido la corrosión generalizada de las estructuras metálicas (figura 11). Al sumar a esto la falta de mantenimiento durante las últimas décadas, esta corrosión se ha traducido en considerables pérdidas de sección en algunos elementos que ponen en riesgo la estabilidad de los cargaderos.

Al analizar el estado de corrosión de los elementos, se observa un comportamiento desigual en función de su posición en relación con el mar. Aquellas partes que se ven más expuestas a las salpicaduras presentan un peor estado de conservación, con elementos que han llegado a perder la práctica totalidad de su sección. Por ejemplo, el cordón inferior del cargadero de Dícido presenta grandes pérdidas, mientras que el cordón superior se encuentra en relativo buen estado de conservación, y en el embarcadero de El Hornillo, los elementos peor conservados son los que se encuentran más abajo y más cerca de la costa, donde rompen las olas (figura 12).

Por este motivo, la tipología palafítica es más propicia a la corrosión, pues parte de la estructura está dentro del agua y en zona de carrera de marea y de oleaje, mientras que los de tipología cantiléver se encuentran elevados del mar. No obstante, el mayor número de elementos que conforman los cargaderos de tipo palafítico supone una redundancia resistente, existiendo alternativas para la transmisión de las cargas ante el fallo de alguno de los elementos.



Figura 12. Imágenes del proceso de reparación de las columnas Félix del Embarcadero del Hornillo. Estado previo a la intervención; una vez retirada la brea y la suciedad y oxidado (se marca la zona de chapa a reemplazar); una vez reparada la sección metálica y, finalmente, una vez pintado

También existe diferencia de estado en función de la masividad de los elementos. Aquellos elementos con pequeño espesor han experimentado unas pérdidas significativamente superiores a aquellos de mayor espesor. Esto se observa en el embarcadero de El Hornillo, donde los pilares presentan pérdidas puntuales, mientras que los arriostramientos han llegado a perder por completo su sección.

Otra diferencia importante es el material con el que se construyeron, pues acero, hierro pudelado y fundición no tienen el

mismo comportamiento a la oxidación. La fundición presenta buen comportamiento frente a la corrosión debido a que solo se oxida superficialmente, funcionando como barrera protectora (16). El hierro pudelado presenta un peor comportamiento, aunque mejor que el acero, pues cuenta con impurezas en la estructura laminar que impiden la corrosión (17). Por ejemplo, en El Hornillo, las chapas separadoras de fundición no presentan deterioros, mientras que los perfiles de acero que separan han perdido un alto porcentaje de su sección. En Tharsis, el primer tramo, con vigas de hierro pudelado, ha resistido mucho mejor el paso del tiempo que las vigas de acero de la ampliación.

5. ESTRATEGIA DE INTERVENCIÓN: RECUPERACIÓN DE LA CAPACIDAD PORTANTE Y RESPETO A LOS VALORES PATRIMONIALES

A la hora de definir las intervenciones que se debían llevar a cabo en los tres cargaderos, se analizó los valores y características principales de los elementos que componen cada uno de ellos. En los tres casos es la estructura la que otorga importancia al conjunto, ya que se encuentra desnuda, sin adornos ni revestimientos.

Si bien en todas las intervenciones en patrimonio construido la conservación de la integridad de la estructura es un principio fundamental, debiendo intentar conservar todos los componentes que son un resultado de la tecnología del momento de su construcción, en este caso cobra mayor importancia. Mientras que en una obra de arquitectura la restauración de la estructura es un medio al servicio del elemento construido en su conjunto (18), en la restauración de los cargaderos metálicos el objetivo último es restaurar la estructura.

Todas estas estructuras se componen por una serie de pequeños elementos unidos entre sí mediante tornillos o roblones. Incluso cada uno de los elementos se conforma en ocasiones por varios elementos unidos. Como se ha comentado anteriormente, algunos de estos elementos se encuentran muy deteriorados, siendo desigual el estado de conservación entre ellos. Por ejemplo, el cordón inferior está más deteriorado que el superior, pero también, en una sección doble T compuesta por platabandas y angulares, los angulares inferiores están en peor estado que la platabanda del alma y los angulares superiores. Esto supone que contamos con una estructura desmontable en piezas simples, pudiendo sustituirse aquellas que se encuentren deterioradas.

Aunque en los convenios internacionales de restauración recomiendan no llevar a cabo reconstrucciones (19), en este caso resulta de vital importancia recuperar los elementos estructurales perdidos, pues se han producido pérdidas importantes que ponen en duda la capacidad resistente, pudiéndose producir el colapso y la consecuente pérdida completa de los cargaderos. No debemos olvidar que los cargaderos no son “piezas de museo” que podamos trasladar y conservar en entornos controlados, son obras a la intemperie que deben soportar acciones climáticas y sobrecargas importantes. Las alternativas a no sustituir los elementos deteriorados sería la creación de nuevos mecanismos resistentes que soportaran las cargas, mediante refuerzos externos, modificando de forma sustancial la morfología y la tecnología que se pretende conservar. Por otra parte, en todos los casos se conoce el elemento que se quiere sustituir, su forma y dimensiones, no siendo necesario entrar en el mundo de las conjeturas.

A este respecto, es importante destacar que la estructura que se quiere recuperar debe resistir las cargas a las que vaya a verse sometida en el futuro y no necesariamente las que tuviera en el pasado o para las que fuera diseñado. Por ello, la primera cuestión que es necesario definir es qué uso tendrán los cargaderos. Perdida la actividad minera y con ella la necesidad de cargar el mineral en barcos, es inviable que mantengan el uso para el que fueron diseñados. Esto obliga a buscarles una nueva función que garantice la utilidad de los bienes y con ello aparezca la necesidad de conservarlos. Debido a la particularidad de los cargaderos, resulta complicado encontrar un nuevo uso industrial, y menos sin realizar en ellos modificaciones importantes que alterarían sus valores. Es por tanto que se ha planteado en los tres casos que se desarrollen actividades de ocio y turismo. Por ejemplo, en el caso del Cargadero de Dícido más ligado al turismo, habilitando visitas, y en el embarcadero de El Hornillo más ligado al ocio, con posibilidad de incluir pantalanes para embarcaciones de recreo. En cualquier caso, desde un punto de vista de cargas, se busca un acceso peatonal público o pequeñas cargas puntuales, derivadas de las necesidades de mantenimiento y logísticas.

A la hora analizar el futuro comportamiento estructural y de establecer las actuaciones concretas de restauración de la estructura nos encontramos con dos situaciones distintas: aquellos casos en los que la estructura debía soportar el peso de trenes cargados y aquellos en los que el mineral se transportaba con cinta transportadora.

En la primera situación, que se da en el embarcadero de El Hornillo y en el muelle de Tharsis, la estructura esta dimensionada para unas cargas muy superiores a las que tendrá en el futuro. Por ello, la estrategia de conservación se ha plasmado en buscar el mecanismo mínimo resistente necesario, es decir, en identificar aquellos elementos estrictamente indispensables para asegurar la estabilidad futura (estructura mínima necesaria). Estos elementos, deben ser reparados y protegidos. Para el resto, el criterio de intervención es el de limpiar y consolidar, no el de recuperar la sección resistente. Por ejemplo, en el muelle de Tharsis se ha considerado que no son necesarios los arriostramientos de vigas y pilotes, así como refuerzos ejecutados tras su construcción (pilotes a mitad de vano y tirantes como refuerzo de vigas) (figura 13), y en el embarcadero de El Hornillo se han considerado prescindibles los elementos de arriostramiento, al no existir en el futuro las fuerzas horizontales de arranque y frenado.

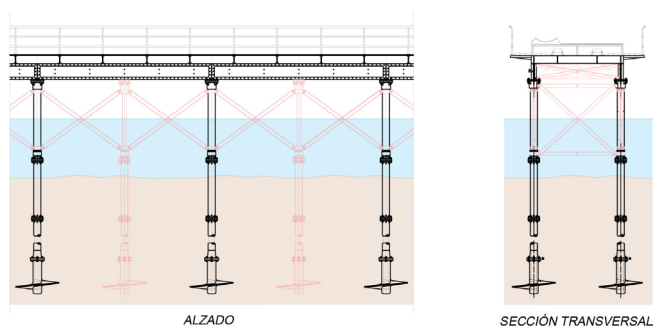


Figura 13. Identificación del mecanismo resistente mínimo a reparar en el tramo I de la manga de acceso del muelle de Tharsis. Se representa el rojo los elementos de la estructura de los que se puede prescindir y de los que no se recuperara su capacidad resistente perdida

Una vez definidos los elementos imprescindibles, se ha analizado qué pérdidas de sección son asumibles para las futuras

cargas, ya que, generalmente, las secciones originales tienen una capacidad superior a la necesaria en el futuro. Para ello se han realizado varias hipótesis de deterioro, desde considerar que la sección no tiene pérdidas hasta que se han perdido partes completas o cierto porcentaje de espesor. Para cada una de ellas se calcula sus esfuerzos resistentes y se comparan con los esfuerzos solicitantes, estableciendo los límites a las pérdidas asumibles.

Si la pérdida es inferior al límite, la reparación consistirá en sanear el elemento, eliminando la parte deteriorada. Si la pérdida es superior, se establece la sustitución del elemento o la reparación del mismo.

Como criterio general, se preferirá la sustitución de un elemento completo por uno de igual geometría. No obstante, en algunos casos se estima más conveniente realizar una reparación puntual, añadiendo una chapa o perfil, preferiblemente en sustitución de la parte perdida (figura 14). La decisión final ha dependido de lo puntual del deterioro y de la necesidad o no de desmontaje de otros elementos para su sustitución, es decir, de las implicaciones de desmontar el elemento con respecto al resto de la estructura. Las soluciones en la que se realizan soldaduras se limitan a aquellos elementos en los que los resultados de los ensayos químicos, en función de las proporciones de carbono, carbono equivalente, azufre y fósforo, garantizan una buena ejecución de la soldadura, sin acudir a procedimientos complejos. Debido a las múltiples intervenciones en cada uno de ellos, se requirió definir la soldabilidad de cada elemento para conocer donde es aplicable cada una de las soluciones.

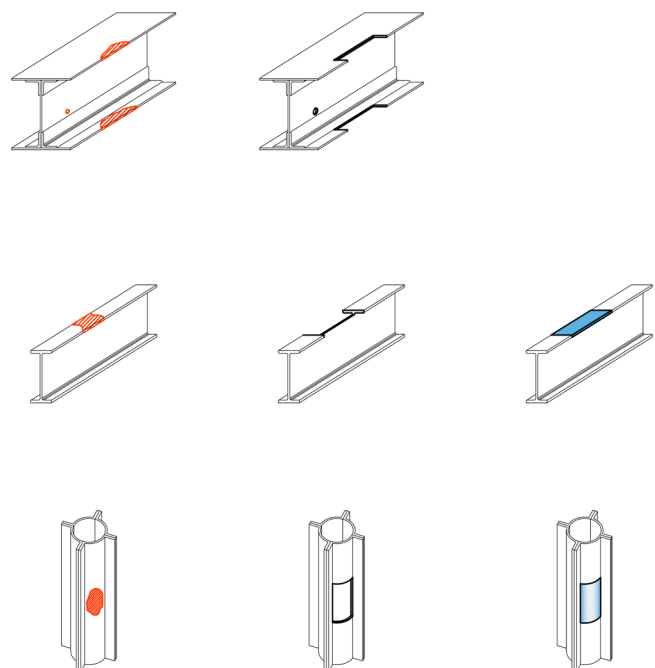


Figura 14. Procedimiento de reparación de algunos elementos. Arriba una viga en la que se ha considerado asumible prescindir de la platabanda de refuerzo del ala. En medio una viga en la que se considera necesario recuperar el ala cuando la pérdida es superior al 50% del área. Abajo un pilar fénix al que se le sustituye un cuarto de círculo cuando la pérdida es superior al 50% del espesor

Por otra parte, en el caso del cargadero de Dícido, la estructura está diseñada para unas cargas similares a las previstas en el futuro, pues el mineral se movía por una cinta transportadora sobre el cargadero. Esto supone que, incluso considerando

la estructura sana totalmente, no sería capaz de resistir la sobrecarga de uso peatonal de pública concurrencia en toda su extensión. Por ello el primer paso ha sido limitar las sobrecargas para evitar los refuerzos. En este caso se ha optado por limitar la superficie transitable, no disponiendo pavimento en una parte del cargadero (figura 15).

Una vez definidas las sobrecargas, ha sido necesario reparar los elementos, muy dañados por la corrosión, los cordones inferiores y los travesaños que los unen.

En el resto de los elementos, se han prescrito reparaciones puntuales la limpieza y protección general.

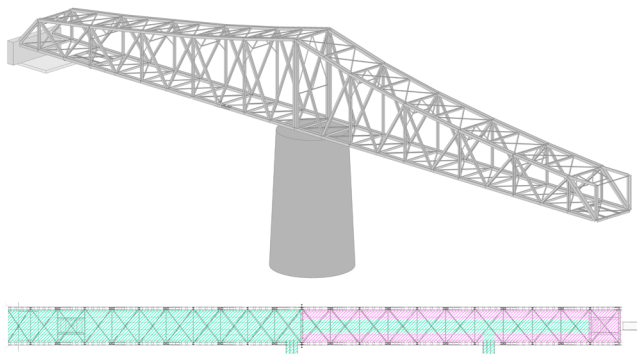


Figura 15. Modelo 3D y planta marcando la zona de acceso al público en color verde y en rosa donde no se dispondrá pavimento

El objetivo final de este proceso es asegurar la capacidad portante de la estructura, a la vez que se maximiza el número de elementos que se conservan. Esto se consigue mediante un estudio estructural de cada uno de los elementos que componen la estructura, estableciendo los límites de corrosión aceptables. Cuando no sea suficiente la sección remanente, se evalúa la conveniencia de reparar o sustituir el elemento, tomando en consideración el proceso constructivo que se debe seguir y las implicaciones que tiene en el resto de la estructura.

6. CONSIDERACIONES FINALES

Muchos de los elementos de nuestro Patrimonio industrial se encuentran en entornos ambientales muy agresivos y bajo diferentes usos. El paso del tiempo ha hecho que su estado, especialmente en el caso de estructuras metálicas, sea deficiente y hasta se ponga en duda su estabilidad. Los procesos de deterioro han llegado a alcanzar un umbral donde es difícil llevar a cabo reparaciones con suficiente fiabilidad lo que obliga a realizar actuaciones traumáticas, no siendo suficiente la limpieza y consolidación de sus elementos. Es, por tanto, imprescindible, completar una evaluación estructural pormenorizada y profunda donde se tenga en cuenta el estado del monumento, el futuro uso que se le quiera dar y el entorno en el

que se encuentra. El conocimiento de la respuesta estructural ante las cargas futuras permite minimizar las intervenciones más traumáticas (sustitución y reemplazo de elementos) y respetar al máximo los valores patrimoniales tecnológicos y científicos de estas construcciones.

DECLARACION DE CONFLICTO DE INTERESES

Los autores de este artículo declaran no tener conflictos de intereses financieros, profesionales o personales que pudieran haber influido de manera inapropiada

DECLARACION DE CONTRIBUCION DE AUTORÍA

José Antonio Martín-Caro Álamo: Conceptualización, Análisis formal, Investigación, Metodología, Administración de proyecto, Redacción – borrador original, Redacción – revisión y edición.

Illan Paniagua Serrano: Conceptualización, Análisis formal, Investigación, Metodología, Redacción – borrador original.

Jorge Bernabéu Larena: Conceptualización, Análisis formal, Investigación, Metodología, Redacción – borrador original.

REFERENCIAS

- (1) Clairac y Saenz, P. (1877-1908). *Diccionario de Ingeniería y Arquitectura*. Barcelona: Librería de M. Parera.
- (2) Ribera Dutasta, J.E. (1895). *Puentes de hierro económicos, muelles y faros sobre palizadas y pilotes metálicos*. Madrid: Bailly-Bailliere e hijos.
- (3) Aguilar Civera, I. (1998). *Aquitectura industrial. Concepto, método y fuentes*. Valencia: Diputación de Valencia.
- (4) Carrión Gutierrez, A. (2015). *Planes Nacionales de Patrimonio Cultural*. Madrid: Ministerio de Educación, Cultura y Deporte.
- (5) Donoso y Sequeiros, I. (2019). *Diagnóstico estructural del muelle cargadero de la compañía Tharsis en el Puerto de Huelva*. Sevilla: Universidad de Sevilla.
- (6) Bailey Davier, J., Vizcarrondo, J.R. (1896). *Embarcadero de Dícido. Memoria y planos*. Archivo General de la Administración. Caja/legajo24/01225.
- (7) (1883). *Proyecto de un cargadero para minerales en la ensenada de Dícido, inmediata a Castro Urdiales*. Madrid: Archivo General de la Administración Caja/legajo24/01220.
- (8) Barbadillo, F., Bustillo, E. (1938). El nuevo cargadero de mineral de Dícido.
- (9) Gris Martínez, J. (2003). El embarcadero del Hornillo, 1903-2003.
- (10) Sánchez Picón, A., Torres López, R. (2007). *El cable inglés de Almería. Centenario del cargadero de mineral el alquife*. Almería: Junta de Andalucía. Consejería de Cultura.
- (11) Dory, A. (s.d.). Los embarcaderos cantilever de la costa cantábrica. 1300.
- (12) Navarro Vera, J.R. (2001). *El puente moderno en España 1850-1950*. Madrid: Fundación Juanelo Turriano.
- (13) Mendizabal, D. (1925). *Estudio de una nueva instrucción para el cálculo de tramos metálicos*. Madrid.
- (14) Eiffel, G. (1900). *La Tour de trois cents mètres*. París: Societé des imprimeries lemercier.
- (15) Westhofen, W. (1890). *The Forth Bridge. Reprinted from Engineering*. Londres: Offices of Engineering.
- (16) Rabun, J.S. (2000). *Structural analysis of historic buildings*. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- (17) Helmerich, R., Brandes, K., Herter, J. (s.d.). Full scale laboratory fatigue test on riveted steel brdges. Vol 76 "Evaluating of existing steel and composite bridges".
- (18) ICOMOS. (2003). *Principios para el análisis, conservación y restauración de las estructuras del patrimonio arquitectónico*. Victoria Falls.
- (19) ICOMOS. (2000). *Carta de Cracovia 2000. Principios para la conservación y restauración del patrimonio construido*. Cracovia.