

Diseño de la estructura de sustentación. Búsqueda de la solidez imperceptible

José J. Leflet Estrada, ingeniero industrial

La estructura de sustentación de la rueda elevadora de agua se diseña con el fin de conferir integridad estructural a la obra. Para ello se conjugan aspectos estructurales y arqueológicos. El empleo de la fibra de carbono, unido a métodos avanzados de cálculo de estructuras (método de los elementos finitos) ha permitido obtener una solución óptima desde el punto de vista estructural. La validación final del diseño se ha realizado mediante una representación virtual del montaje expositivo. Este método permite apreciar el efecto de la estructura sobre la impresión que adquiere el espectador de la pieza expuesta, siendo la solución obtenida enteramente satisfactoria.

Design and calculation of a support structure for the waterwheel: the search for undiscernible solidity

The support structure of the waterwheel was designed to provide it with structural integrity. This was achieved through a combination of structural and archaeological aspects. The use of carbon fibre testing, coupled with advanced structure calculation methods (finite elements method) has enabled an optimum structural solution to be obtained. The design was finally validated by means of a virtual representation of the exhibited assembly. This method reveals the effect of the structure through the impression obtained by the viewer of the exhibited piece, the solution obtained being entirely satisfactory.

Este trabajo fue realizado por José J. Leflet Estrada para su proyecto fin de carrera, en el Departamento de elasticidad y resistencia de materiales de la Escuela Superior de Ingenieros de la Universidad de Sevilla

Introducción. Metodología empleada

La necesidad de asegurar la estabilidad estructural del bien cultural a restaurar hizo necesario emplear una metodología capaz de aunar los aspectos técnicos y estéticos del problema.

El estado de conservación de la rueda, caracterizado fundamentalmente por roturas y pérdidas de material, obligaba a introducir un elemento estructural resistente ajeno a la misma. Este elemento estructural debía ser capaz de conferir a la pieza la *solidez* necesaria para que pudiera ser expuesta durante una vida útil considerablemente elevada.

No obstante, no se podía dejar de lado el criterio arqueológico y de puesta en valor, según el cual la presentación de la pieza durante su exposición debe ser lo más fiel posible al estado original de la misma. La solución estructural que se adopte no debe introducir ningún elemento que distorsione la perspectiva que el espectador reciba de la pieza. Es decir, la estructura de sustentación tenía que ser lo más *imperceptible* posible para el espectador.

Por lo tanto, la metodología empleada tuvo que ser capaz de conjugar estos dos conceptos tan aparentemente inmiscibles, como son *solidez* e *imperceptibilidad*.

Los siguientes puntos sintetizan la sistemática seguida durante el desarrollo del proyecto:

Estudio de la Rueda

a) Determinación de las características geométricas principales de la Rueda: análisis del despiece, secuencia más conveniente de montaje/desmontaje, etc.

b) Identificación de los principales defectos de conservación que tenía que subsanar la estructura de sustentación: localización de las roturas, pérdidas de material.

c) Caracterización y catalogación de cada una de las piezas/conjuntos mediante la realización de fotografías en formato digital. Se realizó un archivo fotográfico que incluía vistas distintas de cada una de las piezas.

Representación virtual de la rueda

Se realiza una representación por ordenador de cada una de las piezas que compone la Rueda mediante

un programa de CAD. En esta representación no se tiene en cuenta el estado de conservación de cada una de las piezas. Esta representación es tridimensional e incluye la textura actual de la madera. En la figura 1 se muestra la perspectiva “estallada” de la zona central de la rueda, generada mediante el programa de CAD.

Estudio de las posibles soluciones de sustentación de la rueda desde el punto de vista funcional

En función de las necesidades de sustentación identificadas tras el estado de conservación de la Rueda se analizan las distintas alternativas de refuerzo. Se opta por buscar una solución en la que cada una de las piezas “cuelgue” de la estructura, de manera que no aparezcan entre ellas tensiones ni deformaciones indeseables.

Representación virtual de las distintas soluciones estructurales

La representación virtual combinada de la estructura de sustentación con la rueda ofrece una visión bastante acertada del impacto de la estructura de sustentación sobre la perspectiva que adquiere el espectador.

Elección de la solución óptima desde el punto de vista funcional

El cumplimiento de las necesidades de sustentación, en primer lugar, y el aspecto final del conjunto son los factores a tener en cuenta.

Cálculo de la estructura

Una vez elegida la solución óptima, se calcula la estructura con el objeto de definir las dimensiones de la misma (principalmente espesor de refuerzos).

Justificación de la necesidad de un elemento estructural externo de refuerzo

Anteriormente se ha puesto de manifiesto la necesidad de diseñar un elemento estructural que cumpliera la función de sustentación del conjunto.

Parece pues interesante recoger los factores principales que hicieron que la Rueda no pudiera sustentarse por sí

misma y que en su mayoría han sido comentados anteriormente. Dichos factores son los siguientes:

Eje de bronce. Si bien se encontraba en un estado de conservación bastante bueno, presentando únicamente capas superficiales de óxido, la más que posible existencia de fisuras hacía conveniente el no exponer dicho elemento a la carga del peso de la rueda. Había que buscar una manera de que no trabajase, y que pareciese que sí lo estaba haciendo.

Radios. En relación con los radios cabe destacar lo siguiente:

- * No se conservaba ningún radio entero. Todos ellos fueron aserrados durante el proceso de extracción justo a la altura donde comienzan a entrar en los cangilones.

- * El estado de conservación del extremo opuesto, donde se ensambla al disco dentado, era bastante malo. Sólo unos pocos conservaban esa zona intacta.

- * Un gran número de ellos se encontraban fragmentados por la zona central, faltando alguno de estos fragmentos.

- * En el montaje tras la excavación, se había recurrido a clavos y listones de madera para unir entre sí los distintos fragmentos de los radios o para realizar el ensamble con el cangilón. Todos esos elementos dañaban la madera (los clavos se encontraban en un avanzado estado de oxidación), y debían ser eliminados.

Como conclusión, el estado de los radios hizo necesario introducir algún elemento radial que transmitiera la carga debida al peso de los cangilones a los discos dentados y finalmente al eje de apoyo.

Cangilones. Si bien faltaba un cangilón entero (cangilón nº 3) y de otros dos se conservaban menos de tres piezas de las nueve que componen el cangilón (cangilones 2 y 4), el estado de conservación de los restantes era más que aceptable. Doce de ellos (el 48%) se hallaban completos (cangilones nº 8, 14, 15, 16, 17, 18, 20, 21, 22, 23, 24 y 25), y a ocho de los restantes (el 32 %) les faltaban una o dos piezas. Finalmente, al resto de los cangilones les faltaban como mínimo cuatro piezas.

En esta descripción cualitativa del estado de conservación de los cangilones se consideró completo aquel cangilón que presentaba las nueve piezas que lo componen,

sin tener en cuenta el estado de conservación de cada una de dichas piezas. Muchas de ellas se hallaban fragmentadas en varios trozos, y casi ninguna conservaba los orificios de las espigas de unión.

En su anterior montaje en el Museo de Huelva, los cangilones se habían montado empleando para ello clavos y listones de madera, al igual que los radios. Sólo algunos de ellos conservaban las espigas originales, siempre en ensambles reforzados con clavos.

Algunos de los cangilones venían ensamblados en grupos. Eran los que mejor se conservaban (cangilones 14-15-16 y 23-24-25-1), si bien también presentaban clavos en la unión.

Por lo tanto se concluye que era necesario algún elemento estructural que mantuviese unidos los cangilones entre sí y con el resto de la Rueda.

Estructura de soporte del conjunto. Finalmente, era necesario diseñar una estructura de soporte para el conjunto. En el anterior montaje expositivo la Rueda se encontraba soportada mediante dos caballetes sobre los que apoyaba el eje. Esta forma de soporte, además de no ser lo suficientemente estable, no es fiel a la que pudo tener en sus orígenes, ya que se encontraba sustentada por un par de vigas de madera sobre las que descansaba el eje de bronce mediante las piezas de apoyo del eje.

Criterio arqueológico y de puesta en valor. Si bien pueden existir infinitas soluciones que cumplan con la función que se pretendía tuviese la estructura, este último criterio es el que condiciona la conveniencia o no de dichas soluciones.

En primer lugar, un adecuado criterio arqueológico nos impide introducir ningún tipo de modificación que pueda ser destructiva para la pieza. Según esto se desechó la posibilidad de crear orificios en las tablas para sujetarlas a los elementos de la estructura de sustentación.

En segundo lugar, es el criterio estético el que resulta finalmente condicionante. La estructura de sustentación debía ser lo más imperceptible posible, es decir, el espectador debe recibir una conciencia limpia y clara de la pieza objeto de exposición, de manera que pueda comprender cuál era la funcionalidad de la misma. En caso de ser visible la estructura de sustentación, debía ser perfectamente

distinguible de la propia rueda, sin dar lugar a confusión. En definitiva, la estructura de sustentación no podía restar protagonismo al elemento que sustenta.

Descripción de la estructura de sustentación

La estructura de sustentación se divide en realidad en tres conjuntos bien diferenciados, que se describen por separado, y son:

Estructura principal de sustentación. Conjunto de elementos que permiten el montaje de todos los componentes de la Rueda, es decir, cangilones, radios y elementos centrales de sujeción y giro (discos dentados, tapas, travesaños y eje de bronce).

Estructura interna de sujeción de los cangilones. Permite el ensamble interno de cada uno de los cangilones y su posterior acoplamiento a la estructura principal de sustentación.

Estructura de soporte. Soporta el conjunto de la Rueda hidráulica y la estructura principal de sustentación.

Estructura Principal de Sustentación

La función de la estructura principal de sustentación es la de permitir el montaje de todas las piezas que componen la Rueda, cumpliendo la función resistente, y minimizando las deformaciones del conjunto. Esta función ha de cumplirla de manera que resulte lo más imperceptible posible para el espectador, lo cual fue posible gracias al bajo peso de los elementos a sustentar.

En cuanto a los materiales empleados, el acero inoxidable es casi obligado, debido a su elevada estabilidad y durabilidad y a su facilidad de mecanizado. Por otro lado, desde el principio pareció interesante el empleo de materiales asociados a la tecnología moderna, como son los materiales compuestos y, en este caso, la fibra de carbono. Como se pondrá posteriormente de manifiesto en los cálculos realizados, el nivel tensional al que se va a encontrar sometida la Estructura de Sustentación va a ser muy bajo en comparación con las posibilidades que ofrece este material. Se puede decir que su empleo se debe más a un afán de innovar con nuevos materiales hasta ahora poco utilizados dentro del mundo de la restauración.

Se elige además tejido bidireccional de fibra de carbono, a pesar de que los esfuerzos se desarrollan principalmente en una dirección, por razones económicas.

La estructura principal de sustentación se desarrolla paralela e internamente a la de la rueda hidráulica, es decir, se recurre a una estructura central unida a unos refuerzos radiales que se unen exteriormente a unos refuerzos en sentido circunferencial. Dicha estructura se encuentra en el interior de la Rueda, es decir, el espectador no ve en primer plano la estructura de sustentación.

Las figuras 2 y 3 muestran una perspectiva de la estructura principal de sustentación. Como se observa en las figuras, la estructura se compone de los siguientes elementos:

- * Discos metálicos centrales
- * Cajón entre discos
- * Viga transversal
- * Elementos de agarre de refuerzos radiales
- * Refuerzos radiales
- * Elementos de sujeción de los radios
- * Refuerzos circunferenciales
- * Elementos de unión de refuerzos radiales y circunferenciales
- * Elementos de fijación de la estructura interna de sujeción de los cangilones

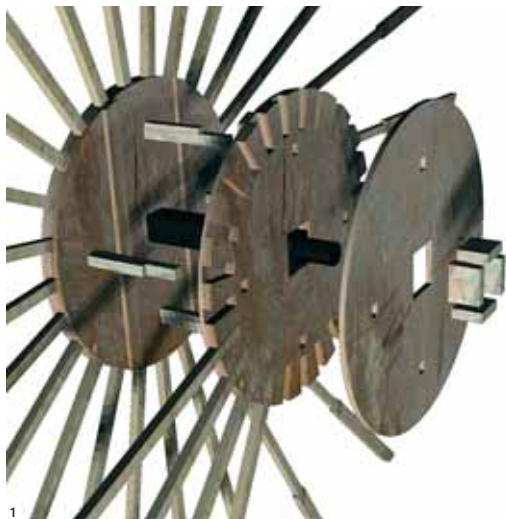
Describimos a continuación cada uno de ellos por separado.

Discos metálicos centrales

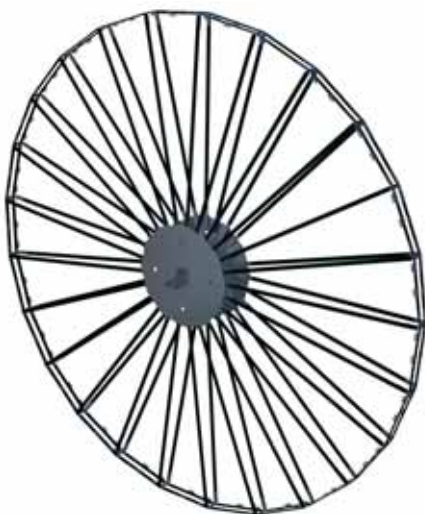
Su misión es la de recibir la carga de peso que le transmiten los refuerzos radiales y transmitírsela a su vez a la estructura de soporte. Se coloca entre el disco dentado y la tapa de dicho disco. Esta posición es la más idónea, ya que queda totalmente oculto. El inconveniente que presenta es que introduce una falsa separación entre el disco dentado y la tapa (del orden de 20 mm).

Las dimensiones del disco metálico son 405 mm de diámetro y 2,5 mm de espesor. Se realizará con acero inoxidable AISI 304.

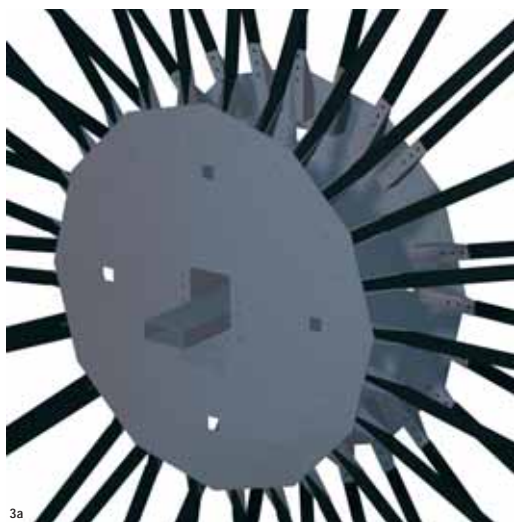
1. Montaje de la zona central de la rueda
2. Estructura principal de sustentación. Vista general
3. Estructura principal de sustentación: a) Detalle de zona central; b) Detalle de la periferia
4. Perspectiva estallada. Elementos centrales
5. Perspectiva estallada de uno de los discos metálicos en su acoplamiento con el correspondiente disco dentado y su tapa, los radios y los refuerzos radiales



1



2



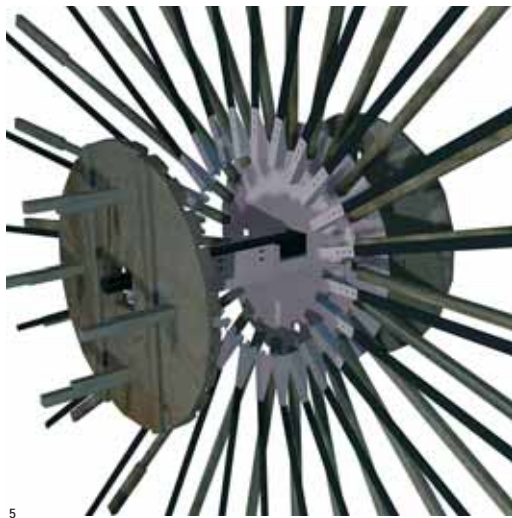
3a



3b



4



5

La unión de los refuerzos radiales al disco metálico se realiza mediante los elementos de agarre, que han de ir atornillados al disco, para así evitar las excesivas deformaciones que produciría ejecutar dichas uniones con soldadura. El disco metálico se une al cajón central también con una unión atornillada, para lo cual el cajón dispone de una brida de conexión.

La figura 4 muestra una perspectiva estallada de uno de los discos, con sus respectivos elementos de agarre de refuerzos radiales. También se puede observar la unión con una de las dos piezas que componen el cajón central y la viga transversal.

En la figura 5 se puede observar una imagen más completa, donde aparecen ya el disco dentado con su correspondiente tapa, así como los radios y los refuerzos radiales. También se pueden observar los travesaños situados hacia la cara del disco dentado interior a la rueda.

Cajón entre discos

El cajón entre discos está compuesto en realidad de dos piezas semejantes, una interior y otra exterior, de manera que ambas se deslizan entre sí pudiéndose fijar en dos posiciones, una intermedia con los discos más separados entre sí, para facilitar el montaje (figura 7), y otra correspondiente a la posición final (figura 6). La fijación de ambas partes se realiza mediante unión atornillada. Cada una de estas piezas posee además una brida para permitir la unión atornillada con el correspondiente disco metálico. La unión con la viga transversal se realiza también atornillada.

El cajón tiene las siguientes funciones:

- * Permite la transmisión de la carga de los discos metálicos a la viga transversal, ya que directamente es imposible.
- * Mantiene los discos en posición paralela, evitando que los travesaños de separación de los discos dentados resulten cargados en exceso.
- * Sirve de alojamiento al eje de bronce. En sus orígenes, el eje de bronce estaba forrado de madera en el tramo situado entre ambos discos dentados. En su montaje expositivo el cajón podría estar forrado de madera.

Viga transversal

Es el elemento encargado de resistir el peso de la rueda y de la estructura de sujeción, dado que no se desea cargar el eje de bronce. La viga transversal se une a los discos metálicos a través del cajón de alojamiento del eje de bronce.

Las dimensiones de la sección de la viga transversal están muy limitadas, ya que ha de entrar en el hueco cuadrangular que existe en el centro de los discos dentados y sus respectivas tapas. Las tablillas a modo de apriete que se colocan para fijar el eje de bronce a los discos dentados pueden ser eliminadas, ya que no son originales. Esto permite ganar espacio en el hueco cuadrangular, que mide de lado entre 110 y 120 mm, midiendo la sección del eje 65 mm de lado. De ahí que se elija un perfil de acero inoxidable (AISI 304) de 100 x 40 x 2.

La viga transversal se fija a las vigas de soporte mediante dos cartelas de apoyo. En la figura 8 se presenta una vista de la viga transversal.

Elementos de agarre de refuerzos radiales

La función de estos elementos es la de permitir la unión de los refuerzos radiales al disco metálico central (figura 9). Los refuerzos radiales no pueden unirse directamente al disco central dado que se desea que queden en el interior de la rueda, permaneciendo los radios originales en primer plano (la figura 5 puede resultar bastante ilustrativa).

Los elementos de agarre se fabrican mediante plegado a partir de chapa de acero inoxidable AISI 304 de 2 mm de espesor.

La fijación de los agarres a los discos metálicos se realiza mediante unión atornillada, no porque se desee que sea desmontable, sino porque el empleo de la unión soldada queda descartado debido a las deformaciones que sufriría el disco por el aporte de calor.

El empleo de las cartelas laterales permite llevar la unión con los refuerzos radiales (también atornillada) hacia el exterior de los discos, facilitando la operación de montaje.

Refuerzos radiales

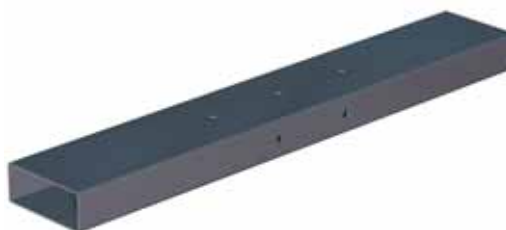
Sirven de sujeción de los radios, y además transmiten la carga debida al peso de los cangilones y los



6. Cajón entre discos, eje de bronce y viga transversal. Posición final de montaje



7. Cajón entre discos. Posición intermedia para facilitar el montaje



8. Viga transversal

propios radios a los discos metálicos a través de los elementos de agarre. Para la ejecución de estos refuerzos se emplearán laminados de tejido bidireccional de fibra de carbono, de 6 mm de espesor. Todas las uniones, tanto con los elementos de unión con los refuerzos circunferenciales como con los elementos de agarre a los discos, son atornilladas (figuras 3a y 3b).

Elementos de sujeción de los radios

Permiten la fijación de los radios y sus fragmentos a los refuerzos radiales. Dicha fijación se consigue mediante la presión que ejerce el tornillo sobre el radio a través de un pequeño disco de plástico técnico que protege dicho radio de la acción puntual del tornillo (figura 10). El material empleado para este elemento es también acero inoxidable AISI 304.

Refuerzos circunferenciales

Soportan directamente el peso de los cangilones y transmiten la carga a los refuerzos radiales. Se empleará para la ejecución de éstos laminados de tejido bidireccional de fibra de carbono, de 4 mm de espesor. Todas las

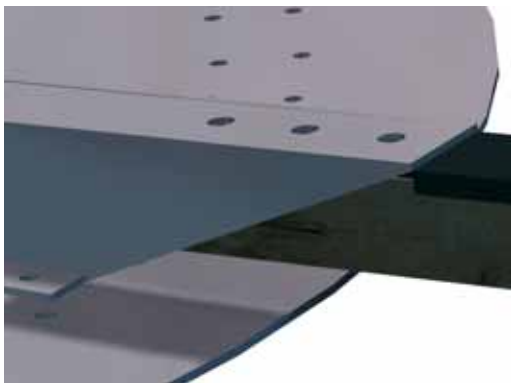
uniones, tanto con los elementos de unión con los refuerzos radiales como con los elementos de fijación de la estructura interna de sujeción de los cangilones, son atornilladas (ver figura 11).

Elementos de unión de refuerzos radiales y circunferenciales

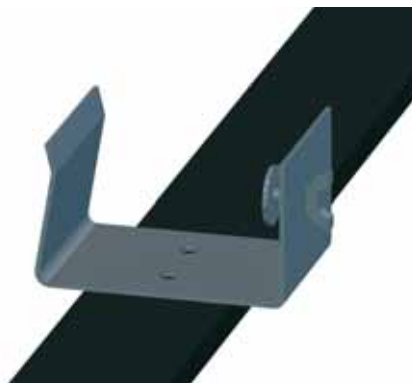
Como bien indica su nombre, su principal función es la de unir entre sí los refuerzos radiales y circunferenciales, aunque también sirven como puntos de fijación de la estructura interna de sujeción de los cangilones, para lo cual disponen de una lengüeta en dos de sus brazos de unión con los refuerzos circunferenciales. Al igual que los restantes elementos metálicos en contacto directo con la rueda, el material empleado para su fabricación es el acero inoxidable AISI 304.

Elementos de fijación de la estructura interna de sujeción de los cangilones

Dado que la estructura interna de sujeción de los cangilones necesita otros dos puntos de apoyo, además de los proporcionados por los elementos de unión de



9. Elementos de agarre de refuerzos radiales



10. Elementos de sujeción de radios



11. Refuerzos circunferenciales y elementos a los que se une

refuerzos radiales y circunferenciales, es necesario introducir otros elementos de fijación (figura 13).

La geometría de estas piezas permite llevar la unión atornillada al exterior, donde facilita el montaje de los cangilones y evita que la madera quede dañada.

Estructura interna de sujeción de los cangilones (E.I.S.C.)

En primer lugar, a modo de introducción, es interesante destacar las razones que hacen necesario diseñar un elemento interno que permita la sujeción de los cangilones. Si bien muchas de ellas han sido comentadas anteriormente, se pretende particularizar ahora al caso de los cangilones.

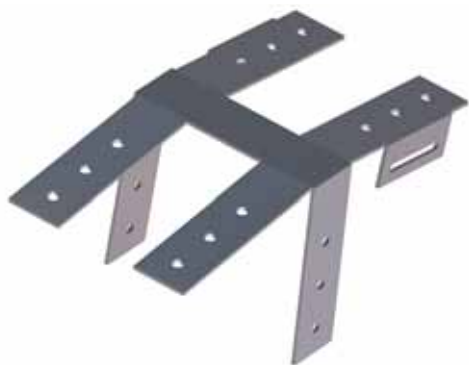
- * Todos los ensambles de las piezas que componen el cangilón se realizan mediante el sistema de caja y espiga, es decir, orificios en las piezas a unir atravesados por una espiga de madera en forma tronco-piramidal. La mayoría de las piezas estaban rotas por las zonas

de unión. Otras conservaban incluso la espiga, pero eran muy pocas. Por todas estas razones, la seguridad que ofrecían estas uniones era muy pequeña.

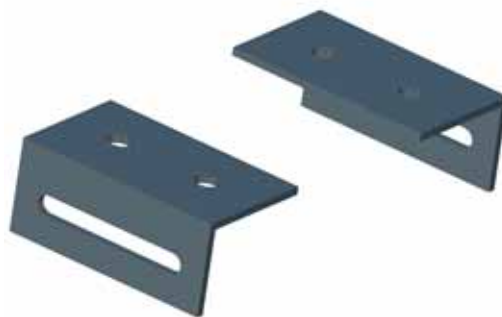
- * Todos los cangilones que se encontraban montados presentaban clavos muy oxidados, que fueron introducidos para su montaje cuando fue extraída la pieza de la mina, a principios de siglo. Era necesario eliminarlos y evitar cualquier tipo de unión que resultara destructiva para la madera.

- * La falta de piezas o el estado de conservación de las existentes impedía, en un gran número de cangilones, la sustentación estable del conjunto del cangilón.

En función de estas necesidades se diseña la estructura interna de sujeción de los cangilones, que permite ensamblar entre sí todas las piezas que componen el cangilón, es decir, extremos de los radios, tablas laterales de entrada y salida de agua, tablas de contorno exterior e interior, travesaño interior de refuerzo de la tabla de contorno exterior, tabica y travesía exterior.



12. Elemento de unión de refuerzos radiales y circunferenciales



13. Elementos de fijación de la estructura interna de sujeción de los cangilones



14. Estructura interna de sujeción de los cangilones. Diseño final



15. Despiece de uno de los anillos de refuerzo transversal y las barras laterales

Proceso de diseño

La estructura interna de sujeción de los cangilones tiene que cumplir los siguientes objetivos:

* No puede ser una estructura de refuerzo de las piezas existentes, sino que dichas piezas han de fijarse o “colgar” de la estructura. Se intenta evitar en lo posible que las piezas de madera soporten carga alguna.

* Se ha de evitar cualquier tipo de solución destructiva para la madera, como son las perforaciones.

* Debe quedar interior al cangilón, de manera que se vea lo menos posible.

* Tiene que ser desmontable.

* Se ha de adaptar a las variaciones de dimensión entre los distintos cangilones.

* Debe permitir el montaje de los cangilones por separado y su posterior acoplamiento a la estructura principal de sustentación.

* El peso ha de ser mínimo.

En función de estos requisitos se opta por diseñar una estructura formada por unos anillos de sujeción transversales, a los que fijar las tablas laterales y las tablas de contorno exterior e interior. Estos anillos pueden tener forma rectangular y deben ser regulables, de manera que se puedan ajustar a las pequeñas variaciones de dimensión entre los cangilones. En cuanto al método de sujeción de las tablas se decide emplear flejes en forma de U a modo de pinzas que actúen en puntos del contorno de dichas tablas. Para ajustar estos flejes a las dimensiones de cada una de las tablas, puede hacerse que deslicen sobre cada una de las barras que componen los anillos de sujeción transversales. Este doble ajuste (a la medida del cangilón y a las de las tablas) es necesario, ya que existen tablas a las que les faltan fragmentos, y por lo tanto tienen un ancho reducido.

Estas líneas de diseño fueron el patrón común de los distintos modelos que se diseñaron y construyeron para probarlos posteriormente en cada cangilón.

Finalmente se optó por el diseño que se muestra en la figura 14.

Descripción de la estructura interna de sujeción de los cangilones

Describiremos en este apartado cada una de las piezas que componen la estructura interna, así como la función que cumplen. Para ello resulta de bastante utilidad el despiece que ofrece la figura 15.

La numeración de las piezas ha sido la siguiente:

1. Tubos
2. Pieza de acoplamiento de tubos y de sujeción de "3"
3. Fleje de sujeción de tablas laterales
4. Fleje de sujeción de tabla de contorno exterior
5. Pieza de fijación de la estructura interna de sujeción de los cangilones a la estructura principal

6. Pieza de fijación de "5" a los tubos
7. Pletina lateral
8. Tornillo de fijación de la tabla de contorno interior
9. Pieza de fijación de la pletina lateral a los tubos. También fija los flejes de sujeción de la tabla de contorno exterior
10. Fleje de sujeción de las extremos de los radios

A continuación describimos cada una de estas piezas por separado:

* Tubos. Son de acero inoxidable AISI 304 y de dimensiones 6 y 5 mm de diámetro exterior e interior respectivamente. Permiten regular el tamaño de los anillos transversales controlando la longitud de los mismos.

* Pieza de acoplamiento de tubos y de sujeción de 3. Ejercen una doble función: en primer lugar permi-



16. Pieza de acoplamiento de tubos



17. Fleje de sujeción de tablas laterales



18. Fleje de sujeción de tabla de contorno exterior



19. Pieza de fijación a la estructura principal

ten realizar el acoplamiento de los tubos que componen el anillo de sujeción transversal, y en segundo lugar a ella se fijan los flejes de sujeción de las tablas laterales. También son de acero AISI 304 (figura 16).

* Fleje de sujeción de tablas laterales. Como bien indica su nombre permiten la sujeción de las tablas laterales. Están fabricados de acero inoxidable AISI 310, con un tratamiento previo de temple. Una vez realizadas las operaciones de corte y plegado, las piezas reciben un tratamiento de estabilización, para aliviar así las tensiones debidas al corte o al plegado (figura 17).

* Fleje de sujeción de tabla de contorno exterior. Ejerce la misma función que la pieza exterior, aunque esta vez con la tabla de contorno exterior. Su particular geometría le permite salvar el fleje de sujeción de

tablas laterales. También están fabricadas de acero AISI 310 (figura 18).

* Pieza de fijación de la estructura interna de sujeción de los cangilones a la estructura principal. Permite acoplar el cangilón, una vez montada la estructura interna, a la estructura principal de sustentación. Además permite fijar la tabla de contorno interior mediante el tornillo de fijación. Está fabricada de acero inoxidable AISI 304 (figura 19).

* Pieza de fijación de 5 a los tubos. Es una pieza independiente de la de fijación a la estructura principal, pero posteriormente se sueldan y constituyen una única (figura 19).

* Pletina lateral. Su función es la de unir entre sí ambos anillos de sujeción transversales, dando rigidez al conjunto de la estructura. Además permiten la sujeción de los extremos de los radios y con ellas de la tabica (figura 20).



20. Pletina lateral



21. Pieza de fijación de la pletina lateral a los tubos



22. Fleje de sujeción de las cabezas de los radios

* Tornillo de fijación de la tabla de contorno interior. Permite ajustar y fijar la posición de la tabla de contorno interior. Aunque no se muestra en la perspectiva estallada, sí se pueden observar los orificios de alojamiento. No obstante, para más detalles ver planos.

* Pieza de fijación de la pletina lateral a los tubos. Se trata de un casquillo con un hueco cilíndrico en su interior que permite el posicionamiento y la posterior fijación de las pletinas laterales. Coincide con la pieza de fijación del fleje de sujeción de la tabla de contorno exterior. El material empleado es acero inoxidable AISI 304 (figura 21).



23. Montaje de uno de los cangilones



24. Montaje de uno de los cangilones eliminando algunas tablas



25. Fijación del cangilón a la estructura principal de sustentación

* Fleje de sujeción de los extremos de los radios. Permite sujetar las cabezas de los radios a la estructura interna de sujeción de los cangilones. Con ello se fija el conjunto formado por las cabezas de los radios y la tabica, ya que en la mayoría de los casos se conservan en bastante buen estado, y se pueden aprovechar los orificios de las espigas para introducir pequeños pernos fijados con resina epoxi. Está fabricada de acero inoxidable AISI 310 con un tratamiento previo de temple (figura 22).

Montaje de la estructura interna

A continuación se muestra el montaje virtual de uno de los cangilones realizado con el programa de CAD (figura 23). Las tablas laterales y las de contorno exterior e interior son una copia aproximada de las correspondientes al cangilón número 9.

Para visualizar mejor cómo la estructura se adapta al cangilón, la figura 24 presenta la misma vista anterior eliminando algunas de las tablas. Se puede observar cómo el estado de conservación de las tablas, sobre todo en el contorno de las mismas, impide que el cangilón quede totalmente cerrado.

Finalmente, la figura 25 muestra cómo quedaría el cangilón ensamblado en la estructura principal de sustentación. Se puede observar cómo la estructura resulta visible desde el interior de la Rueda debido a la pérdida de material de la tabla de contorno interior.

Estructura de Soporte

La estructura de soporte es el elemento al cual se transmite la carga debida al peso de todo el conjunto, es decir, rueda y estructura de sustentación. La estructura de soporte depende en gran medida de cómo se desee exponer la Rueda, y un adecuado diseño debería resultar de la interacción con el Museo. El diseño que aquí se presenta corresponde a una propuesta sencilla, pero fiel a los datos históricos de los que se disponía, ya que la rueda se presenta descansando sobre dos vigas.

Para la construcción de la estructura de soporte se emplearían perfiles huecos rectangulares normalizados (120 x 100 x 4) de acero. Estos perfiles irían forrados de madera para su exposición. La figura 26 muestra una vista de la estructura de soporte.

El apoyo de la viga transversal sobre la estructura de soporte se realiza a través de dos cartelas de apoyo (figura 27).

Dado que se conservaba una de las piezas originales de apoyo del eje de bronce, se intentó hacer una exposición fiel a la sustentación original de la rueda. Para ello el apoyo del eje de bronce tenía que colocarse en la viga de soporte, y la posición de la viga transversal debía permitir que dicho eje quedase prácticamente en contacto con dicho apoyo (con unos milímetros de separación). Si la viga transversal descansara sobre las vigas de soporte, no quedaría espacio suficiente para la colocación del apoyo del eje (figura 27).

Montaje expositivo

El objetivo marcado en este apartado era el de ofrecer una imagen lo más cercana posible del aspecto final que se iba a conseguir de la rueda hidráulica. No hay que olvidar el fin principal de este diseño, que era el de poner en pie un elemento arqueológico que carecía de por sí de capacidad de sustentación.

Para poder visualizar el aspecto final de la Rueda, se realizó un montaje virtual de la misma por medio de un programa de CAD. Si bien lo más deseable habría sido representar el estado de conservación de cada una de las piezas, los recursos disponibles tanto de tiempo como de equipo informático no lo hicieron posible. No obstante, se pudo realizar el montaje empleando piezas genéricas, es decir, todas las piezas del mismo tipo eran iguales entre sí. Esto permitió también una generación más rápida.

Para obtener una imagen más real, se eliminaron las piezas que faltaban en cada cangilón.

En las figuras 28, 29 y 30 se muestra el montaje virtual realizado. Se puede observar cómo la estructura de soporte tiene textura de madera, ya que se consideró que estaba forrada.

Relación de piezas

Fibra de carbono (espesor de 4 mm):

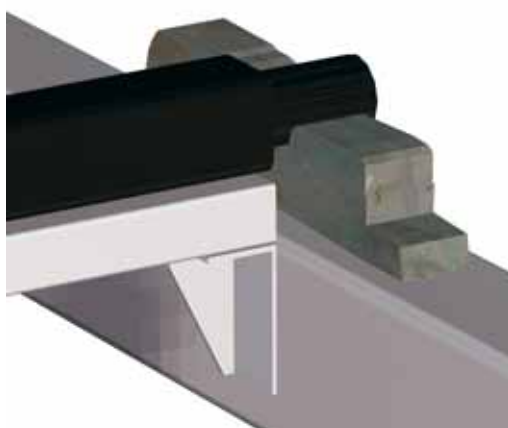
- * 50 refuerzos radiales de 26 mm x 1590 mm.
- * 50 refuerzos perimetrales de 28 mm x 439 mm.

Acero inoxidable:

- * Piezas cónicas en acero inoxidable M-3 (100 unidades)
- * Muelles suplementarios (22 unidades)
- * Soportes chapa con ranura (16 unidades)
- * Muelles de fijación de la TC. Pieza nº 10 (39 unidades)
- * Piezas suplementarias. Pieza nº 11 (6 unidades)
- * Muelle suplementario. Pieza nº 12 (22 unidades)
- * Muelle suplementario. Pieza nº 13 (18 unidades)
- * Piezas suplementarias. Pieza nº 14 (9 unidades)
- * Piezas suplementarias. Pieza nº 15 (3 unidades)
- * Pieza suplementaria. Pieza nº 16 (1 unidad)
- * Soldaduras de piezas 5 y 6 (96 unidades)
- * Viga transversal (1 unidad)
- * EPS cajón exterior (1 unidad)
- * EPS cajón interior (1 unidad)
- * EPS discos centrales (2 unidades)
- * EPS elemento unión refuerzos radiales y circunferenciales (24 unidades)



26. Estructura de soporte



27. Montaje de la viga transversal. Detalle con el apoyo del eje de bronce

- * Agarres de refuerzo radiales (48 unidades)
- * Elementos de sujeción de los radios (96 unidades)

Cálculos realizados

El proceso de cálculo de la estructura está continua e íntimamente ligado al de diseño de la misma. Una vez definida la geometría de la estructura es necesario determinar los espesores de los distintos elementos bajo un criterio de resistencia y rigidez. Para ello se realizaron tres análisis distintos: un primer análisis elástico lineal bajo cargas gravitatorias, otro posterior análisis de seguridad frente al pandeo y finalmente un último análisis modal-espectral bajo acciones sísmicas. Todos estos análisis fueron llevados a cabo empleando el programa de elementos finitos Ansys en su versión 5.4.

Para el análisis mediante elementos finitos de la estructura se siguieron los siguientes pasos:

1. Caracterización de los materiales empleados en la estructura
2. Elaboración del modelo de elementos finitos
3. Solución del modelo realizado
4. Análisis de los resultados obtenidos y conclusiones del mismo

Se consideraron dos tipos de materiales: acero inoxidable AISI 304 y laminado de tejido bidimensional de fibra de carbono AG-193-PW/3501-65 (Z-19.749/3). En el caso del acero las propiedades se conocen con un grado de fiabilidad bastante elevado. En cambio, en el caso del tejido de fibra de carbono es conveniente la realización de ensayos.

Persiguiendo tal fin se realizan ensayos de tracción de cinco probetas normalizadas, obtenidas a partir del material de muestra facilitado por la empresa SACESA (Sociedad Andaluza de Componentes Especiales, S.A.).

Los ensayos fueron realizados en el Laboratorio de Elasticidad y Resistencia de Materiales de la Escuela Superior de Ingenieros de Sevilla. La máquina utilizada para los ensayos fue una INSTRON 4482, con una célula de carga de 10.000 kg.

Elaboración del modelo de elementos finitos

El modelo de elementos finitos es un modelo simplificado de la estructura principal de sustentación, pero lo

suficientemente preciso como para simular con exactitud el comportamiento real de la estructura. El modelo representa la geometría de la estructura, las propiedades mecánicas de los materiales empleados y las cargas a las que se encuentra sometida la estructura.

Para generar la geometría se supusieron las siguientes hipótesis:

- # La estructura introducida en el modelo es geométricamente perfecta y regular, es decir, está diseñada para una rueda hidráulica perfecta, donde todos los radios, cangilones, etc. son iguales entre sí.
- # Todas las uniones atornilladas se suponen ideales, de manera que en todo momento se mantiene un contacto total en la unión.
- # Eje de bronce: se supone que reparte su peso uniformemente sobre la cara superior del perfil que hace de viga transversal.
- # Cangilones: debido a la gran dispersión en los pesos y medidas de los mismos, tomamos como peso índice el mayor de todos aquellos que estén completos (en el caso de tener varios cangilones unidos sacaremos un peso medio). El peso de los cangilones se reparte de manera uniforme sobre toda la periferia de la estructura.
- # Estructura interna de sujeción de los cangilones: se suma al peso del cangilón para ser repartido uniformemente sobre la periferia de la rueda.
- # Discos dentados: suponemos que todo su peso se transmite directamente a la zona de apoyo de los agarres de los refuerzos radiales.
- # Tapas de los discos dentados: suponemos que es soportada por el Disco Metálico de refuerzo.
- # Travesaños de separación de los discos: Se suman al peso de los discos dentados.
- # Radios: Su peso se distribuye de manera uniforme sobre los refuerzos radiales.

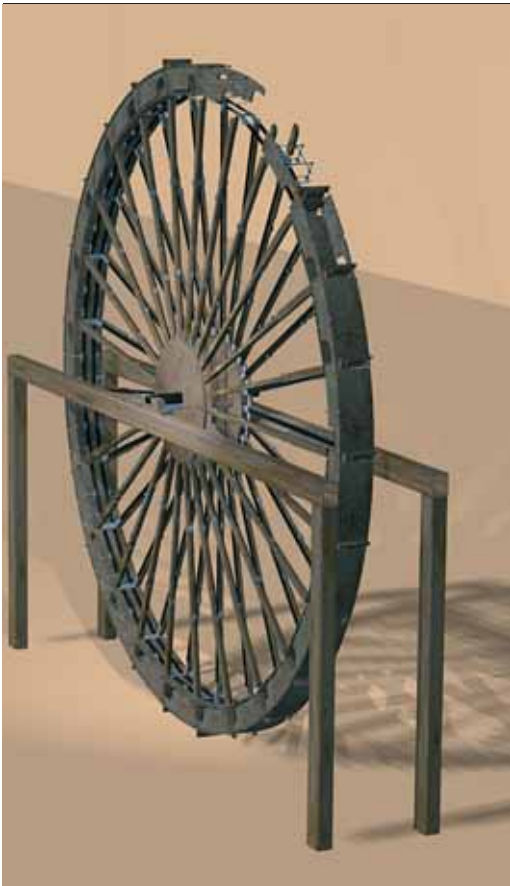
Todos los pesos se encuentran mayorados por un coeficiente de 1.15. De esta manera, estos pesos mayorados pueden tener el carácter de acciones características.



28. Montaje expositivo de la Rueda Hidráulica. Vista frontal



30. Montaje expositivo de la Rueda Hidráulica. Detalle central



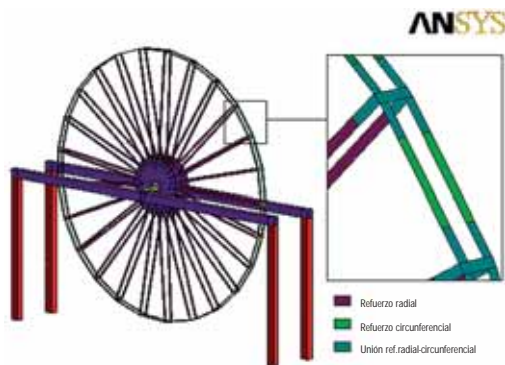
29. Montaje expositivo de la Rueda Hidráulica

DESCRIPCIÓN	Máx σ_v .Mises (MPa)	$\sigma_{u,a}$ (MPa)
Discos Centrales	51.5	218
Elementos de agarre de los refuerzos radiales	15.3	218
Viga transversal y cajón entre discos	41.0	218
Elementos de unión refuerzos radiales-refuerzos circunferenciales	31.3	218
Cartelas de apoyo	58.4	218
Vigas de soporte	40.8	218
Pilares de soporte	35.8	218

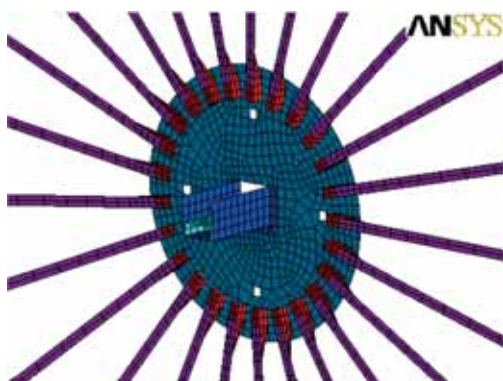
Tabla 1. Tensiones equivalentes de von Mises en acero

DESCRIPCIÓN	$\sigma_{x,top}$ (MPa)	$\sigma_{x,bot}$ (Mpa)	$\sigma_{y,top}$ (Mpa)	$\sigma_{y,bot}$ (Mpa)	$\sigma_{u,fc}$ (Mpa)
Refuerzos circunferenciales bajo cangilones	12.60	11.2	$4.99 \cdot 10^{-2}$	4.44	520
Refuerzos radiales	11.4	9.69	2.15	2.14	520

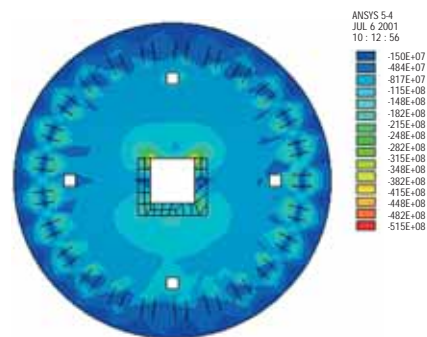
Tabla 2. Tensiones en los refuerzos de fibra de carbono



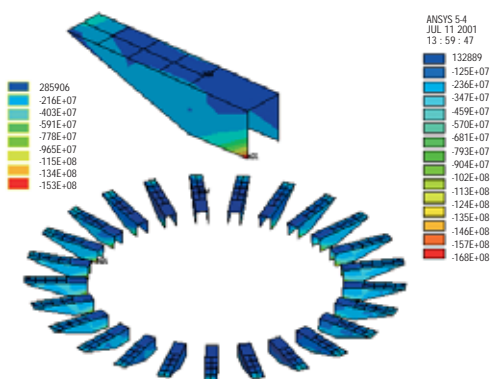
31. Vista en perspectiva



32. Detalle Central de la Malla



33 a



33 b. Tensiones Equivalentes de von Mises en algunos elementos estructurales de acero

La figura 31 muestra una vista del modelo geométrico realizado. Es importante hacer hincapié en que dichas figuras muestran las entidades geométricas que sirven de base al mallado, es decir, líneas, keypoints y áreas. Todavía no se muestra la malla de elementos.

Discretización y mallado

Una vez definida toda la geometría, se procede a efectuar el mallado. Mediante esta operación se divide la estructura en un conjunto de pequeños elementos (elementos finitos), a los que el programa aplica internamente las ecuaciones de la elasticidad. La precisión de los resultados viene condicionada por el tamaño y número de los elementos empleados, de manera que a mayor número de elementos se obtiene una solución más precisa, si bien el coste computacional (tiempo de resolución) es también mayor.

La figura 32 muestra un detalle de la malla en la zona central de la rueda eliminando uno de los discos.

Análisis estático lineal bajo cargas gravitatorias

Se consideran únicamente las cargas asociadas a la acción gravitatoria. Éstas son:

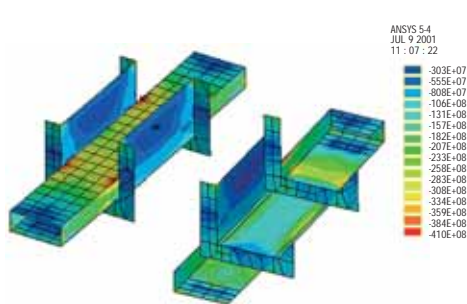
- * Peso propio, que aparece definida por la Norma de Acciones en la Edificación NBE AE-88 como la carga debida al peso del elemento resistente.

- * Carga permanente, que es la carga debida al peso de todos los elementos constructivos, instalaciones fijas, etc. que soporta la estructura (en este caso es el peso de las distintas partes que constituyen la rueda hidráulica).

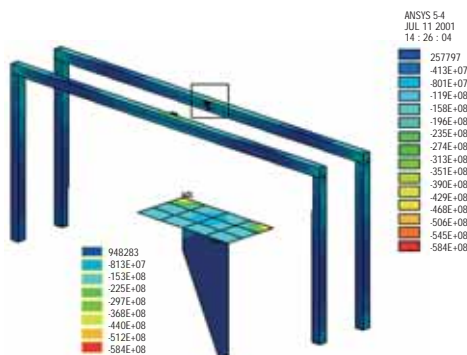
La combinación de los valores característicos de estas cargas, multiplicados por un coeficiente de ponderación, genera la hipótesis de cálculo a la que se somete la estructura.

Descripción y análisis de los resultados

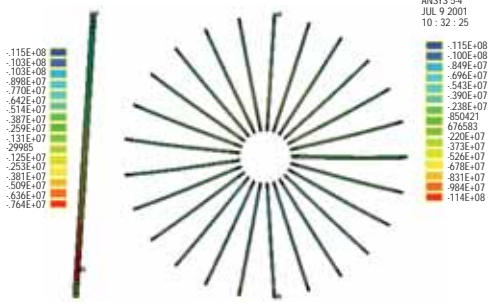
Durante el proceso de cálculo y dimensionamiento de los distintos elementos de la estructura se siguió una



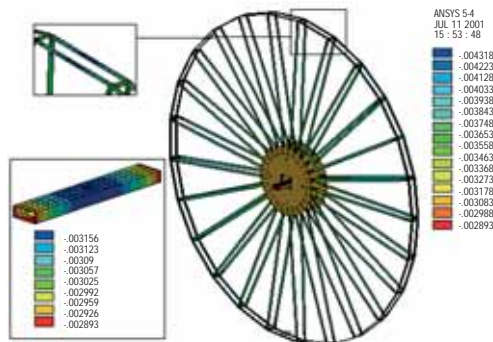
33 c



33. d



35. Refuerzos radiales. Tensiones longitudinales, lámina superior (70 x 50)



35. Desplazamientos verticales en la estructura principal. Detalle de la viga transversal y los refuerzos circunferenciales

metodología iterativa de ensayo y error, es decir, se parte de unos espesores iniciales sobredimensionados y, en función de los resultados, son modificados selectivamente, hasta lograr el cumplimiento de los criterios de cálculo. Estos criterios básicamente consisten en no superar los valores límite de tensiones y deformaciones del acero y del tejido de fibra de carbono. En concreto, los criterios empleados fueron el criterio de von Mises para el acero y Máxima Tensión para la fibra de carbono.

* Tensiones en los elementos metálicos

La tabla 1 presenta los valores de las tensiones máximas obtenidas en cada uno de los elementos estructurales de acero inoxidable, así como el correspondiente valor de la tensión última de agotamiento para el material.

La figura 33 (a,b,c y d) muestra mediante mapas de contorno los valores tabulados anteriormente.

* Tensiones en los elementos de Fibra de Carbono

La tabla2 muestra las tensiones según las direcciones x

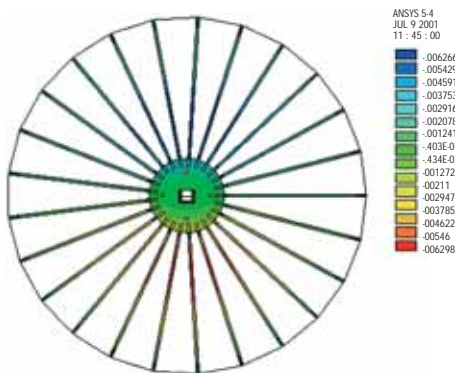
y y del elemento, que se corresponden con las direcciones longitudinal y transversal de cada una de las barras. Además se consideran las tensiones en las láminas superior e inferior para tener en cuenta las tensiones máximas consecuencia de la combinación de los esfuerzos axil y flector.

Como ejemplo significativo de la distribución de tensiones en los refuerzos radiales se presenta la figura 34.

* Comprobaciones en desplazamientos

Como se ha podido apreciar, los niveles tensionales son bastante bajos, en comparación con la capacidad resistente del material. Ello es así porque el criterio fundamental de diseño fue, como se va a poner de manifiesto en este apartado, el de rigidez, mucho más que el de resistencia.

Debido a la funcionalidad que se le exige a la estructura, ha de permitir que todas las piezas de la Rueda Hidráulica se cuelguen de ella, de manera que parezca que dichas piezas se encuentran



36. Desplazamientos según z en la estructura principal (70 x 95)

ensambladas entre sí. Es por ello deseable disminuir en lo posible los desplazamientos en los elementos de la estructura, a fin de que las piezas de la Rueda que cuelgan de la estructura permanezcan en la posición adecuada.

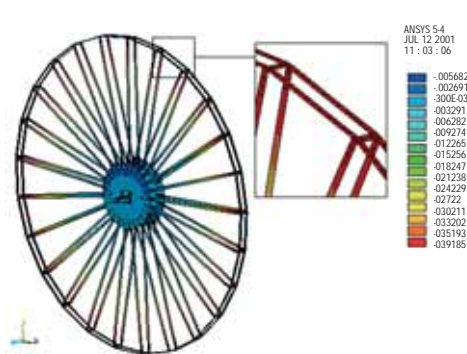
Para visualizar los desplazamientos en la estructura principal se presentan los mapas de contorno correspondientes a los desplazamientos en las direcciones y (vertical) y z (perpendicular al plano de la rueda).

La figura 35 ilustra los desplazamientos verticales en la estructura de sustentación, presentando además un detalle de dichos desplazamientos en la viga transversal.

Los desplazamientos máximos se dan en los refuerzos longitudinales bajo cangilones que se encuentran en la zona superior, y son del orden de 4,3 mm. Es importante destacar que a estos desplazamientos hay que restarle el desplazamiento de sólido rígido debido a la deformación de la estructura de soporte (del orden de 3 mm), para obtener los desplazamientos debidos exclusivamente a la deformación de la estructura de sustentación.

En cuanto a los desplazamientos según z (figura 36), dirección perpendicular al plano de la rueda, son algo mayores que los verticales. El máximo valor (6,266 mm) se da en la zona central de los refuerzos radiales, que flectan levemente hacia fuera en la mitad superior de la Rueda y hacia adentro en la mitad inferior.

Conclusiones del análisis estático lineal bajo cargas gravitatorias



37. Desplazamientos horizontales en el soporte. Detalle de refuerzos circunferenciales

Los resultados aseguran un buen comportamiento de la estructura. En cuanto a rigidez, los desplazamientos máximos se dan en los refuerzos radiales, y son de 5,2 mm según z, debido a la flexión de los mismos. Los desplazamientos máximos en la dirección vertical se dan en la periferia (4,318 mm), aunque si restamos el desplazamiento debido a la deformación de la viga de soporte (que se traduce en desplazamiento de sólido rígido en la estructura principal), se reducen a 1,425 mm (desplazamientos debidos únicamente a la deformación de la estructura principal).

En cuanto al nivel tensional de los diferentes elementos de la estructura, resulta extremadamente bajo. En los elementos de acero el máximo se da en las cartelas de apoyo (58,4 Mpa). Aunque el valor en sí se da en una esquina y puede no ser representativo de la tensión real en ese punto, sí puede ser considerado como una cota superior del resto de las cartelas. En todo caso, este valor resulta muy inferior a la tensión última del material (218 Mpa).

En los elementos de fibra de carbono, las tensiones longitudinales y transversales en las láminas superior e inferior no exceden del 2,5% de la tensión última (520 Mpa), pudiéndose asegurar también el buen comportamiento tensional en estos elementos.

Análisis de estabilidad a pandeo

Este análisis es fundamental ya que al disminuir en lo posible el espesor de los refuerzos radiales (menor cantidad de material) aumenta la susceptibilidad de la estructura a sufrir el pandeo (fenómeno de inestabilidad en los elementos esbeltos sometidos a compresión). Esto es debido a la disminución del módulo

resistente del mismo, que implicará mayores niveles tensionales, mayores deformaciones y menores cargas críticas de pandeo.

La hipótesis de carga empleada coincide con la correspondiente a la del anterior análisis, que es la que se presenta en la tabla 3.

El programa de cálculo empleado (*Ansys 5.4*) realiza el cálculo a pandeo de la estructura dadas las cargas a la que se encuentra sometida. Más concretamente, proporciona los coeficientes por los que es necesario multiplicar la carga actuante (gravedad o cualquier otra acción externa) para que se alcance la carga crítica de pandeo. Estos coeficientes son, por tanto, una medida de la seguridad frente al pandeo.

El análisis realizado asegura el comportamiento estable de la estructura, con un coeficiente de seguridad a pandeo de 3,7, bastante aceptable teniendo en cuenta que multiplica a los coeficientes ya adoptados para la aplicación de las cargas.

Cálculo sísmico

La consideración de las acciones sísmicas en este tipo de estructuras es fundamental, dado el amplio periodo de vida útil que se desea dar a las mismas. Además, la elevada esbeltez de los refuerzos radiales la hacen en principio vulnerable a este tipo de acciones, al tener además una considerable fracción de masa en la periferia.

El cálculo sísmico fue realizado mediante la norma *NCSE-94. Norma de Construcción Sismorresistente*. En ella se establecen las reglas constructivas y prescripciones de diseño que regulan la disposición de los distintos elementos constructivos para obtener un buen comportamiento frente a las acciones sísmicas en el territorio nacional.

La acción sísmica no es más que el conjunto de fuerzas de inercia que se originan en una estructura cuando se imprime a su base una aceleración fundamentalmente horizontal debida al terremoto. La Norma define esa aceleración en cada punto del territorio nacional.

En el presente análisis se calculó la respuesta de la estructura a un sismo con un periodo de retorno de

100 años para la zona donde iba a estar ubicada (Huelva).

La hipótesis sísmica establece la combinación de cargas que actúan simultáneamente en el momento del sismo. La tabla 3 ilustra la combinación de estas cargas.

Revisión de los resultados

La tabla 4 presenta los valores de las tensiones máximas obtenidas en cada uno de los elementos estructurales de acero inoxidable, así como el correspondiente valor de la tensión última de agotamiento para el material.

La tabla 5 muestra las tensiones según las direcciones *x* e *y* del elemento, que se corresponden con las direcciones longitudinal y transversal de cada una de las barras. Además se consideran las tensiones en las láminas superior e inferior, para tener en cuenta las tensiones máximas consecuencia de la combinación de los esfuerzos axil y flector.

En cuanto a los desplazamientos, los verticales son semejantes a los obtenidos en el análisis estático lineal. Por tanto, son más representativos los horizontales (figura 38).

Los desplazamientos horizontales aumentan desde el centro de la estructura hacia la periferia, teniendo un valor máximo de apenas 4 cm. El desplazamiento de la estructura de soporte se traduce en desplazamiento de sólido rígido del conjunto de la estructura de sustentación. Por tanto, para conocer los desplazamientos debidos únicamente a la deformación de la estructura de sustentación sería necesario restar al desplazamiento de cada punto el desplazamiento de sólido rígido.

Conclusiones del análisis sísmico

Los valores obtenidos arrojan suficiente seguridad sobre el comportamiento de la estructura durante el sismo. La tensión máxima en los elementos estructurales de acero se da en los discos centrales (83.1 Mpa), y es debida a la acción del cajón central, que por la aceleración sísmica carga el disco según la dirección perpendicular a su plano. Nuevamente este valor ha de ser tomado como una cota superior, siendo del orden de un 40% de la tensión última (218 Mpa).

HIPÓTESIS SÍSMICA DE CÁLCULO

ACCIÓN (valores característicos)	COEFICIENTE DE PONDERACIÓN
Peso Propio	1,0
Carga Permanente	1,0
Carga sísmica	1,0

Tabla 3. Hipótesis sísmica de cálculo

DESCRIPCIÓN	Máx σ_v .Mises (MPa)	$\sigma_{u,a}$ (MPa)
Discos centrales	83,1	218
Elementos de agarre de los refuerzos radiales	28,5	218
Viga transversal y cajón entre discos	45,7	218
Elementos de unión refuerzos radiales-refuerzos circunferenciales	62,1	218
Cartelas de apoyo	40,6	218
Vigas de soporte	41,8	218
Pilares de soporte	35,7	218

Tabla 4. Tensiones equivalentes de von Mises en los elementos estructurales de acero

DESCRIPCIÓN	$\sigma_{x,top}$ (MPa)	$\sigma_{x,bot}$ (Mpa)	$\sigma_{y,top}$ (Mpa)	$\sigma_{y,bot}$ (Mpa)	$\sigma_{u,fc}$ (Mpa)
Refuerzos circunferenciales bajo cangilones	20,1	18,2	31,5	16,3	520
Refuerzos radiales	43,8	39,8	7,01	7,67	520

Tabla 5. Tensiones máximas longitudinales y transversales en las láminas superior e inferior de los elementos de fibra de carbono

En cuanto a los elementos de fibra de carbono, se comprobaron las tensiones longitudinales y transversales en las láminas superior e inferior. El máximo valor se da en los refuerzos radiales, y corresponde con la tensión longitudinal en la lámina superior (43.8 Mpa). Este máximo valor representa un 8,5% de la tensión última del material.

Conclusiones

La Estructura de Sustentación diseñada cumple con todos los requisitos que le fueron impuestos y que han sido ya comentados con anterioridad. Se puede decir que la Estructura de Sustentación aporta la “solidez” necesaria a la Rueda pero resulta prácticamente “imperceptible” para el espectador. Se puede decir que el haber impuesto un conjunto ambicioso de requisitos técnicos y estéticos ha supuesto un coste elevado de recursos justificado, no obstante, por la calidad del diseño final.

Imágenes

Todas las figuras que aparecen en este capítulo pertenecen a José J. Leflet Estrada.

Bibliografía

PARÍS, F. Y CAÑAS, J. (1991) *Introducción al Análisis y Diseño con Materiales Compuestos* [literatura gris]. Departamento de Mecánica de los Medios Continuos, Teoría de Estructuras e Ingeniería del Terreno. Escuela Superior de Ingenieros. Universidad de Sevilla

AGRADECIMIENTOS

- * Claude Domergue, catedrático de arqueología de la universidad de Toulouse-Le Mirail.
- * Federico París Carballo, doctor ingeniero industrial, catedrático de la Escuela Superior de Ingenieros de Sevilla.
- * Javier Pérez de los Santos, gerente de la Sociedad Andaluza de Componentes Especiales (Sacesa).
- * Juan Manuel Pérez López, responsable del Archivo histórico de la Fundación Río Tinto.
- * José M^a del Pozo, Carlos Jiménez, Manuel Vázquez, por su inestimable colaboración en las labores de montaje y desmontaje de la rueda en el IAPH.
- * Francisco José Vega Vals, gerente de Fabricaciones Mecánicas Guadaira S. L.
- * Museo Provincial de Huelva.

PH cuadernos

La línea editorial de las publicaciones monográficas del IAPH, se divide en las siguientes secciones:

Memorias. Proyectos llevados a cabo por el IAPH, desde su inicio hasta las conclusiones, estos abarcan aspectos metodológicos, técnicos y de investigación. Son la consecuencia de la necesidad y exigencia de transferir los conocimientos desarrollados en una institución pública, dedicada a la investigación, conservación y documentación del patrimonio cultural. Se trata de contenidos únicos y distintivos de la institución que los genera.

Manuales y guías. Son la expresión de una necesidad concreta que los profesionales de patrimonio han detectado en el desarrollo de su trabajo. Estas obras se componen de metodologías, herramientas y técnicas. En resumen, manuales de especialización, destinados a profesionales de patrimonio, o bien guías de asesoramiento, destinadas a aquellos que sin serlo deben trabajar con este área del conocimiento.

Pensamiento. Línea de reflexión que refleja el debate más avanzado en patrimonio cultural, desde cualquiera de sus ámbitos. Los destinatarios son los profesionales del patrimonio, que deben comprender y materializar en la práctica un marco de pensamiento a través de programas de actuación.

En esta ocasión, **PH cuadernos 18** La rueda elevadora de agua de las minas romanas de Riotinto: memoria de la intervención, se enmarca en la línea de Memorias, ya que se trata de un proyecto de intervención desarrollado por el IAPH, aportando las conclusiones históricas y metodológicas derivadas de este trabajo.

Títulos Publicados

Serie PH cuadernos

17. Patrimonio inmaterial y gestión de la diversidad
Varios autores

16. Guía del Paisaje Cultural de la Ensenada de Bolonia. Avance
Varios Autores

Serie Cuadernos

15. Territorio y Patrimonio: los Paisajes Andaluces.
Varios Autores

14. Repertorio de textos internacionales de patrimonio cultural.
Varios Autores

13. Arte y política en España : 1898-1939.
Varios Autores.

12. Preservación de la arquitectura industrial en Iberoamérica y España.
Varios Autores.

11. La arquitectura moderna en Andalucía: un patrimonio por documentar y conservar. la experiencia DOCOMOMO.
Varios Autores.

10. Patrimonio etnológico. Nuevas perspectivas de estudio.
Varios Autores.

9. Indicadores para la evaluación del estado de conservación de ciudades históricas / Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura. Centro del Patrimonio Mundial.
Varios Autores.

8. Historia del arte y bienes culturales.
Varios Autores. Disponible sólo en Bibliotecas
7. Difusión del patrimonio histórico.
Varios Autores. Disponible sólo en Bibliotecas
6. Catalogación del patrimonio histórico. I Jornadas sobre catalogación del patrimonio histórico celebradas en Sevilla del 19 al 22 de abril de 1995.
Varios Autores. Disponible sólo en Bibliotecas
5. Patrimonio y ciudad : reflexión sobre centros históricos. II jornadas de patrimonio de Priego de Córdoba celebradas en esa ciudad del 26 al 29 de octubre de 1994.
Varios Autores. Disponible sólo en Bibliotecas
4. Arquitectura y patrimonio: memoria del futuro. Una reflexión sobre la relación entre patrimonio y arquitectura. Curso-debate realizado en Sevilla del 14 al 18 de diciembre de 1992.
Varios Autores. Disponible sólo en Bibliotecas
3. Conservación arqueológica: reflexión y debate sobre teoría y práctica. Curso-debate realizado en Sevilla del 30 de noviembre al 4 de diciembre de 1992.
Varios Autores. Disponible sólo en Bibliotecas
2. La carta de riesgo: una experiencia italiana para la valoración global de los factores de degradación del patrimonio monumental. Curso internacional realizado en Granada del 16 al 18 de diciembre de 1991.
Varios Autores. Disponible sólo en Bibliotecas
1. Un proyecto para la Capilla Real de Granada: teorías, métodos y técnicas aplicadas a la conservación del patrimonio mueble. Curso internacional realizado en Granada del 9 al 12 de septiembre de 1991.
Varios Autores. Disponible sólo en Bibliotecas

Serie Cuadernos Técnicos

8. Metodología de diagnóstico y evaluación de tratamientos para la conservación de los edificios históricos.
Varios Autores
7. Antropología y patrimonio: investigación, documentación e intervención.
Varios autores
6. Arqueos : sistema de información del patrimonio arqueológico de Andalucía.
Varios Autores.
5. Conservación de colecciones de fotografía.
Luis Pavao.
4. Prevención de riesgos laborales en la investigación e intervención en patrimonio histórico.
Antonio López Román.
3. Principios del lenguaje epistemográfico: la representación del conocimiento sobre patrimonio histórico andaluz.
Antonio García Gutiérrez
2. Técnicas de diagnóstico aplicadas a la conservación de los materiales de construcción en los edificios históricos.
Varios Autores. Disponible sólo en Bibliotecas
1. Procedimientos de análisis documental automático : estudio de caso.
Antonio García Gutiérrez

