



LAS RUEDAS DE ACHIQUE ROMANAS DE RIOTINTO

a la luz de la intervención en la *Rota aquaria* del Museo de Huelva

P. MANZANO BELTRÁN (IAPH)

R. OJEDA CALVO (IAPH)

E. RODRÍGUEZ TROBAJO (INIA)

reyes.ojeda@juntadeandalucia.es

M A C H I N A E

INTRODUCCIÓN

La rueda de achique hallada en las minas romanas de Ríotinto y conservada actualmente en el Museo Provincial de Huelva es un ingenio mecánico utilizado para el drenaje de las minas. Como otros ejemplares de *rotae* hallados en el SO peninsular, se trata de una rueda del tipo de cangilones integrados, siendo la única que ha llegado hasta nuestros días prácticamente completa. La restauración de este artilugio construido íntegramente de madera se centró en la resolución de los aspectos técnicos y científicos relativos a su limpieza, consolidación estructural y correcto ensamblaje, aunque también se solventaron los problemas inherentes a la estabilidad de un mecanismo de 4'30 metros de altura y un peso de 147'4 kg, al objeto de prevenir los factores de alteración ligados a la desestabilización estructural y el abombamiento de la rueda.

El estudio científico y técnico realizado con motivo de los trabajos de restauración desarrollados en el Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico (IAPH) ha permitido conocer el proceso constructivo y profundizar en ciertos pormenores del diseño, poniendo de relieve los conocimientos técnicos utilizados en su proyecto y fabricación. Los estudios dendrocronológicos llevados a cabo por el Centro de Investigación Forestal (INIA) han establecido las relaciones cronológicas del material, verificándose la originalidad de la materia prima. La aplicación conjunta del carbono-14 y de la decrocronología ha permitido la datación *post quem* de la *rota* en 100-210 cal AD y de las piezas sueltas de otras ruedas similares conservadas en el museo onubense en 114-169 cal AD.

Con la puesta al día del estado de la cuestión en torno a estas *rotae* de procedencia peninsular, hemos revisado la información relativa a los hallazgos de ruedas en la comarca. Pero, sobre todo, abordamos cuestiones de carácter tipológico, formal y técnico de este ingenio mecánico denominado *rota aquaria*, a partir del análisis detallado de la rueda del Museo de Huelva, trasladando nuestro estudio comparativo a los otros ejemplares hallados en Ríotinto, siempre en el marco de las recientes investigaciones sobre otros restos de ruedas conservados del SO peninsular.

EL ORIGEN DE LA ROTA AQUARIA

La rueda conservada en el Museo Provincial de Huelva es un ingenio mecánico utilizado para evacuar el agua del nivel freático que se iba acumulando en pozos y galerías subterráneas, drenaje imprescindible para el correcto funcionamiento de las minas. Se trata de una máquina elevadora de agua consistente en una rueda de madera con cangilones integrados instalada en posición vertical, aunque para estos mismos fines también se utilizaron otros instrumentos y sistemas de drenaje, a veces combinados: la galería inclinada, la bomba de pistón (llamada *bomba de Ctesibio* por este mecánico helenístico) y la *cochlea* o tornillo hidráulico (*tornillo de Arquímedes*).

El origen, desarrollo y difusión de las primeras máquinas elevadoras de agua es aún oscuro, aunque se supone que la rueda compartimentada debió de

MACHINAE LAS RUEDAS DE ACHIQUE ROMANAS DE RIOTINTO

ser uno de los primeros tipos y su primera aplicación sería para irrigar tierras cultivadas: el agua recogida en los cangilones (cajoncillos de madera) o arcaduces (recipientes de barro) de la rueda era elevada hasta la máxima altura de su giro y allí se vertía en una canaleta, desde donde se distribuía a las acequias y albercas. Las ruedas eran movidas comúnmente por tracción humana, aunque también se empleó la tracción animal (norias de tiro, llamadas “norias de sangre”) y la corriente de los ríos (norias con paletas, también denominadas azudas y aceñas) desde el periodo tardohelenístico.

Las últimas investigaciones coinciden en localizar el foco de origen de las primeras ruedas elevadoras de agua en el Mediterráneo oriental, posiblemente en Egipto a juzgar por las evidencias arqueológicas (a partir del siglo II a.C.), literarias (desde el siglo III a.C.) y papirológicas (siglos III y II a.C.). Pronto surgieron variantes de la rueda compartimentada, se diversificó su aplicación y se incrementó su rendimiento como resultado del avance científico de época helenística y de la experiencia práctica. Así, parece deberse a Arquímedes de Siracusa el diseño del tornillo basado en la observación en Egipto de una rueda compartimentada en acción (el *τυμπανον* o tambor: gruesa caja hueca de madera con interior compartimentado radialmente y giro sobre un pesado eje), mientras que Ctesibio, maestro de Filón de Bizancio, fue el inventor de la bomba de achique.

En la versión árabe de la *Pneumatica*, obra atribuida a Filón de Bizancio, se menciona explícitamente una rueda compartimentada movida por agua que producía una especie de silbidos. Este mismo autor en su *Parasceuastica* recomienda las ruedas para bombear agua de las minas, si bien no da detalles sobre su diseño y movimiento del mecanismo, denominándolas *περίακτοί τροχοί*. En un pasaje de *Peri Alexandreios*, Callixinus menciona unos *organa* que drenaban un muelle de Alejandría en tiempos de Ptolomeo IV. Estrabón cita ruedas elevadoras de agua en el río Nilo y numerosos papiros grecorromanos del British Museum mencionan máquinas de aguas egipcias de difícil interpretación para regadío y aplicaciones industriales. En las fuentes escritas encontramos también descripciones técnicas de artilugios con ruedas elevadoras, como los trabajos de Herón de Alejandría o los ingenios descritos por Vitruvio.

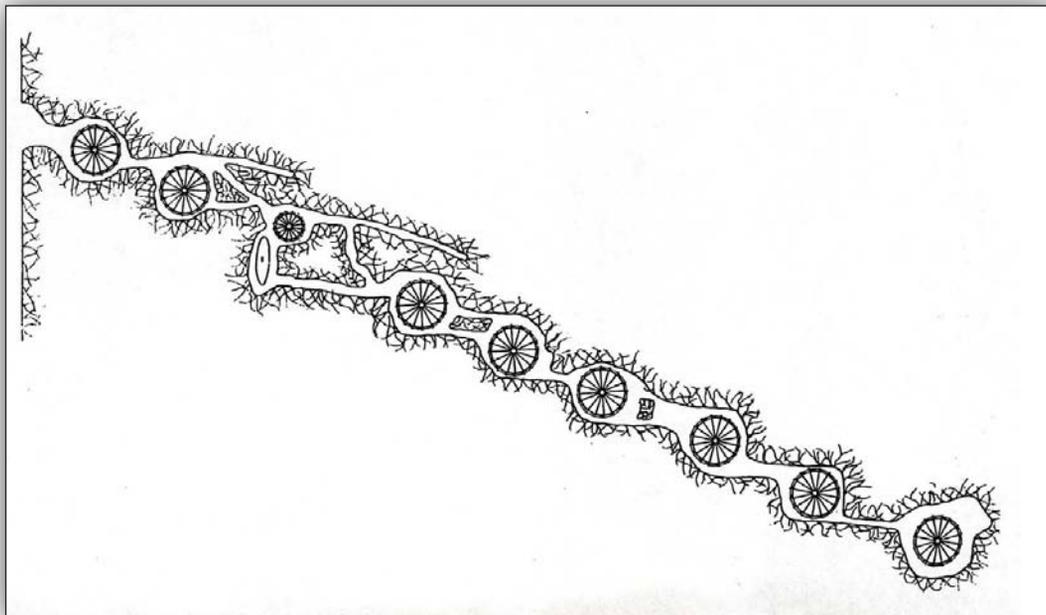
El único término conocido para la rueda de cangilones, *πολυκαδία* (Herón, *Diaptr.* VI 200), puede referirse tanto a los compartimentos separados como a la variante con arcaduces sujetos a la corona de la rueda e, incluso, a la cadena de cangilones. Términos más genéricos son *τροχος* o *rota*, *κύκλος* o *κύκλας*

(rueda), *ανλία* o *antlia* (bomba) y, a veces, *όργανον* (*ingenio*) (OLESON 2000: 232-234). Vitruvio, en el Libro Décimo de su tratado *De Architectura*, describe diversas clases de ingenios para sacar agua, entre los que cita tres mecanismos elevadores de agua relacionados entre sí por estar basados en la rueda con compartimentos:

– La **rueda de cangilones**. Artilugio que sustituye al denominado **tambor** (*tympanum*) cuando se necesita elevar el agua a una mayor altura. “Se dispondrá en torno al eje una rueda de una magnitud que esté relacionada con la altura dada; en torno al extremo de la rueda se fijan unos cangilones pegados con pez y cera. Así, mientras los hombres van haciendo girar la rueda, los cangilones llenos, que han llegado a la parte más alta, al volver a descender, derramarán por sí mismos el agua que hubieran elevado”. Estos cubos unas veces van sujetos a uno de los lados de la corona y otras forman parte de la misma, como es el caso de la rueda que analizamos.

– La rueda que mueve una cadena de recipientes, siempre que el diámetro de la rueda sea inferior a la profundidad donde se encuentra el agua. Es la **saqi-yah** de los árabes, donde el rosario de arcaduces va colgando de la corona -que aquí hace la función de polea- o bien del eje de la rueda. La longitud de esta cadena o cuerda se adaptará al nivel del agua, dependiendo también de la fortaleza mecánica de la rueda y de la potencia del agente propulsor. Pudieron existir algunas con cangilones de bronce, como la hallada en la mina de Sotiel Coronada (LUZÓN NOGUÉ 1968: 111-112). Algunas ruedas elevadoras eran movidas por medio de engranajes dentados accionados por medio de una rueda horizontal, como se constata en recientes hallazgos de Barzan (COADIC, BOUET, 2005: 31-44) y Londres (BLAIR et al., 2005: 85-114).

– Por último está la **noria o rueda de corriente**, ingenio con paletas en la corona que utiliza la fuerza motriz del agua. Lo más correcto sería denominar rueda hidráulica sólo a las ruedas que van impedidas por el agua (generalmente, la corriente de un río), siendo esta máquina la auténtica precursora de la moderna turbina hidráulica. La noria está íntimamente relacionada con el molino hidráulico, aunque no está claro cuál de los dos fue el origen del otro. La aplicación en la rueda de corriente del sistema de engranajes dentados (donde la rueda vertical elevadora de agua era movida por una horizontal) a la inversa daría origen a los molinos hidráulicos: ruedas verticales movidas por las aguas que accionan mediante engranajes dentados una rueda horizontal. En los últimos años diversos hallazgos han puesto de manifiesto el empleo del molino hidráulico en el mundo romano (BRUN, FICHES, 2007).



1. Serie de ruedas elevadoras descubiertas en São Domingos (Portugal) según L. De Launay, Mémoire sur l'industrie du cuivre dans la région d'Huelva (Rio-Tinto, S. Domingos, etc.), *Annales des Mines*, VIII, 16, 1889, p.10, figura 4

Las ruedas elevadoras de agua proliferaron en todo el Imperio. En Occidente, entre las evidencias arqueológicas de su uso, han sido hallados cisternas freáticas y pozos donde se constata el uso de ruedas elevadoras, como en termas y casas particulares de Ostia (SCRINARI, RICCIARDI, 1996), en Pompeya o en Salona, por citar algunos ejemplos. Además de estos testimonios arqueológicos indirectos, se conocían gran cantidad de hallazgos de ruedas en antiguas minas del SO de España y Sur de Portugal así como en Rumania y Gran Bretaña. Recientes descubrimientos no sólo han ampliado el radio de dispersión de estas máquinas sino que, también, han afianzado la idea de la extensión de su uso, abriendo el panorama de la diversidad de soluciones técnicas y de sus aplicaciones (BOUET, 2005) (BRUN, FICHES, 2007)¹.

En los últimos años se han recuperado restos de ruedas en pozos y cisternas (Londres, Ostia², Milhaud, Barzan) pero no es casual que la mayoría de estos ingenios hidráulicos conocidos se recuperan en contextos estancos de las minas, más propicios para la conservación de la madera, como el sistema de drenaje descubierto en 2004 en las minas rumanas de *Alburnus Maior* (Rosia Montanâ, Rumania) con restos de rueda (CAUET, 2005: 126). En la Antigüedad, la filtración de agua del nivel freático era un

impedimento para el trabajo en la mina, por lo que era preciso achicarla constantemente: cuando el uso de capazos impermeabilizados no era suficiente para achicarla se empleaban otros recursos más eficaces, como las galerías de desagüe, la bomba de pistón, el tornillo de Arquímedes y las ruedas elevadoras (LUZÓN NOGUÉ, 1968, WEISGERBER, 1979).

LA RUEDA DE DESAGÜE DEL MUSEO DE HUELVA Y OTROS HALLAZGOS DE SU ESPECIE EN EL SUROESTE PENINSULAR

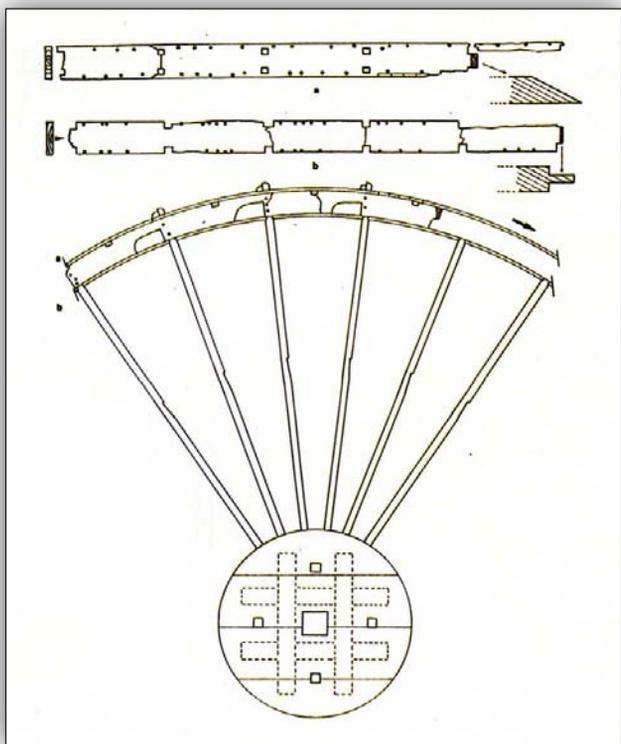
Como vemos, la rueda de cangilones es uno de los medios mecánicos empleados en la minería romana para extraer el agua del nivel freático acumulada en los pozos, elevándola hacia la superficie, cuando la cota de la zona explotada impedía usar galerías inclinadas de desagüe (caso de la zona que nos ocupa, por debajo del nivel del río Tinto). Generalmente se disponía una batería de parejas situadas a distintos niveles y en sentido escalonado, de tal modo que el agua extraída por el par ubicado en el piso inferior era vertida en el colector del siguiente para ser extraída a su vez por otra pareja, y así sucesivamente hasta desaguar en la superficie. Para evitar que las galerías se inundasen debieron ser numerosas y estar en constante funcionamiento.

Este procedimiento de extracción de aguas, por ser el que mejor se presta a las irregularidades de las

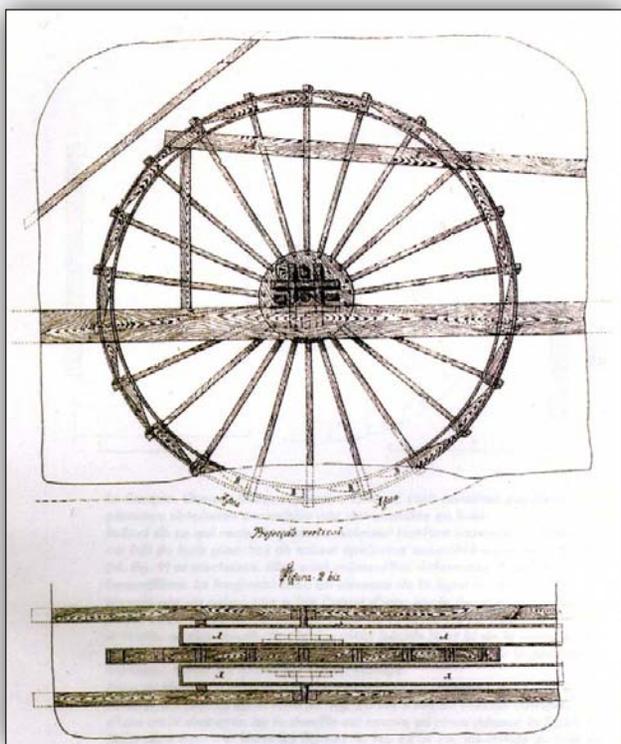
¹ Por citar algunos ejemplos, en Ostia se ha recogido un fragmento conservado en los limos de la cisterna de unos baños privados en la Casa de los *Cisarii*, otros restos de una noria se han documentado en Francia (termas de Barzan y en Layrac) y en 2001 fragmentos de dos ejemplares londinenses se recuperaron en sendos pozos.

² El fragmento de rueda recuperado en las Termas de los *Cisarii* de Ostia es similar al de la tipología de ruedas hispanas (BEDELLO TATA, FOGAGNOLO 2005 y 2006).

MACHINAE LAS RUEDAS DE ACHIQUE ROMANAS DE RIOTINTO



2. Dibujo de la rueda conservada en el Musée des Arts et Métier, París. En DOMERGUE, C; BINET, C; BORDÉS, J-L. (1999): La roue de São Domingos. *La revue. Musée des Arts et Métiers*, junio 1999, nº 27, p.54, figura 10



3. Representación de una de las ruedas halladas en São Domingos. *Revista de Obras Publicas e Minas*, 1883, p.7, figura 2.

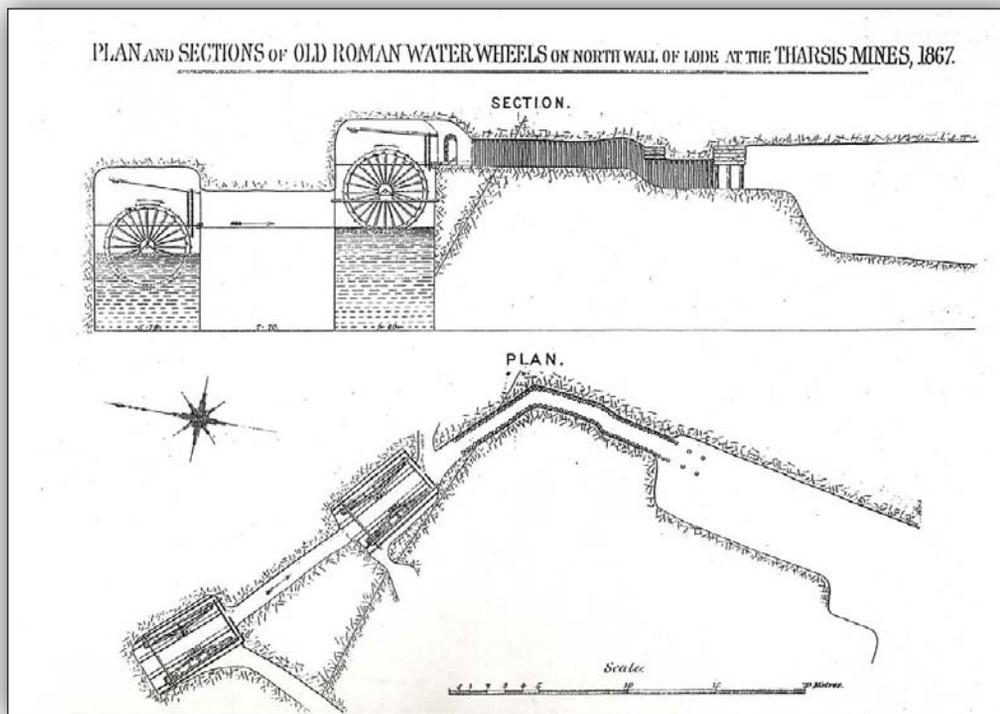
galerías, está bastante documentado en el Sudoeste peninsular donde, entre mediados del siglo XIX y primeras décadas del XX, fueron descubiertos numerosos ingenios con la vuelta a la actividad de las explotaciones mineras (São Domingos, Tharsis, Riotinto, El Lagunazo o la mina de San Cristóbal en Caññas). Pese al elevado número de *rotae* encontradas en diferentes explotaciones de la cuenca minera, la mayoría se perdió debido a su mal estado de conservación y a la forma de extracción. Por ello, los datos aportados por autores como Gonzalo y Tarín, Palmer, Stevenson, etc., que fueron testigos directos de los hallazgos, son esenciales para su estudio, si bien la documentación y noticias disponibles en ocasiones se prestan a confusión.

A ello se suma la escasez y fragmentación de los ejemplares que han llegado hasta nosotros, puesto que la rueda del Museo de Huelva es la única rota relativamente íntegra. Procedentes de Riotinto además de ésta, se conservan en ese museo tres partes de discos y en el Museo Británico se expone un tercio de otra rueda. Las otras *rotae* que se conservan fueron halladas en labores antiguas de las minas de Tharsis (Huelva) y S. Domingos (Alentejo portugués) formando parte también de una batería de ruedas.

Las diez ruedas encontradas en **São Domingos** se disponían por unidades escalonadamente y parecen responder a un mismo módulo (figura 1) con la excepción de dos de ellas, de menor formato y 22 radios (figura 3). En el *Musée des Arts et Métiers* de París se conserva casi 1/4 de una rota de 27 radios enviada desde São Domingos en 1864 (figura 2) que ha sido recientemente estudiada con motivo de su restauración y nuevo montaje (DOMERGUE, BINET, BORDÉS 1999).

En el *Museum of Transport* de Glasgow se encuentra 1/5 de rota de 27 radios que pudo pertenecer al par de ruedas que se recuperó en el Filón Norte de **Tharsis en 1867** de una instalación de, al menos, cinco pares de ruedas, y que fueron publicadas por A. Stevenson incluyendo dos dibujos de ese año (STEVENSON, 1875). Stevenson representan los dos pares superiores (figura 4), observándose que constaban de 24 radios y cómo las dos ruedas del nivel superior desaguaban en una galería entibada. Gonzalo y Tarín, además de reproducir esos dibujos, calculó que el total de parejas que debió existir sería de siete, combinando los 43 m del desnivel que debían salvar con el nivel de desagüe de una a otra (GONZALOY TARÍN, 1888: 35, lámina 3)³. Tras la localización del

³ Sorprende en estas ilustraciones que las ruedas representadas (planta, secciones y detalles constructivos) presenten una mayor inclinación de los radios de la cara interna, lo cual produciría cierta inestabilidad de la



4. Planos de alzado y planta de las dos parejas de ruedas colocadas en los pisos superiores del Filón Norte de las Minas de Tharsis. STEVENSON, A.S. (1875): Observations on a roman water wheel from the ancient workings of de mines of Tharsis in Southern Spain. *Archaeologia Eliana*, VII, N.S, figura 1

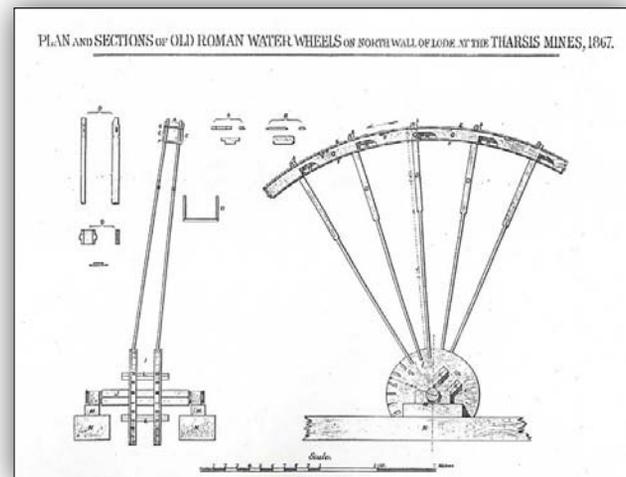
paradero del único fragmento conocido de una estas ruedas se ha realizado un estudio directo de la misma (DOMERGUE, BORDES, 2004)⁴.

Pero es la **Cuenca Minera de Riotinto** la zona con mayor número de hallazgos conocidos hasta ahora, donde Luzón calcula que entre 1886 y 1932 se habían descubierto unas cuarenta de estas ruedas, comúnmente colocadas por parejas (LUZÓN, 1968: 103). En la actualidad sólo se conservan una rueda de 25 radios casi completa, tres mitades de discos de ruedas de 27 radios y algunos ejes de bronce en el Museo Provincial de Huelva⁵ así como una tercera parte de rueda de 27 radios en el *British Museum* de

estructura.

4 De su análisis se desprende que no tiene las características de las dos ruedas representadas en la obra de Stevenson (mayor número de radios, ausencia de la inclinación de los radios representada en los planos, etc.) aunque sí se trata de la misma porción de rueda (DOMERGUE-BORDES,2004).

5 Son tres semidiscos y cuatro de los nueve ejes de bronce que en 1966 quedaban en el Museo de Riotinto. Además, existen en los almacenes del Museo de Huelva dos piezas de madera de difícil adscripción, inventariadas en 1973 entre los materiales procedentes del Museo de Riotinto (*Expediente Gral. /73*) como *Rulos o calzos para frenar encontrados en los trabajos antiguos*. Identificamos dos objetos en los almacenes del museo que pudieran corresponder a esta descripción. Se trata de dos elementos de madera fabricados en dos piezas: un cuerpo cilíndrico y un vástago también de sección circular pero de menor diámetro que el cuerpo. La diferencia entre ambos objetos estriba en que uno presenta su extremo con un rotundo corte diagonal y el otro tiene el extremo redondeado y con un ligero estrangulamiento cerca del mismo. Pese a estar incompletas y descontextualizadas, su formato y dimensiones recuerdan a los elementos de una rueda dentada hallado en las termas de Barzan.

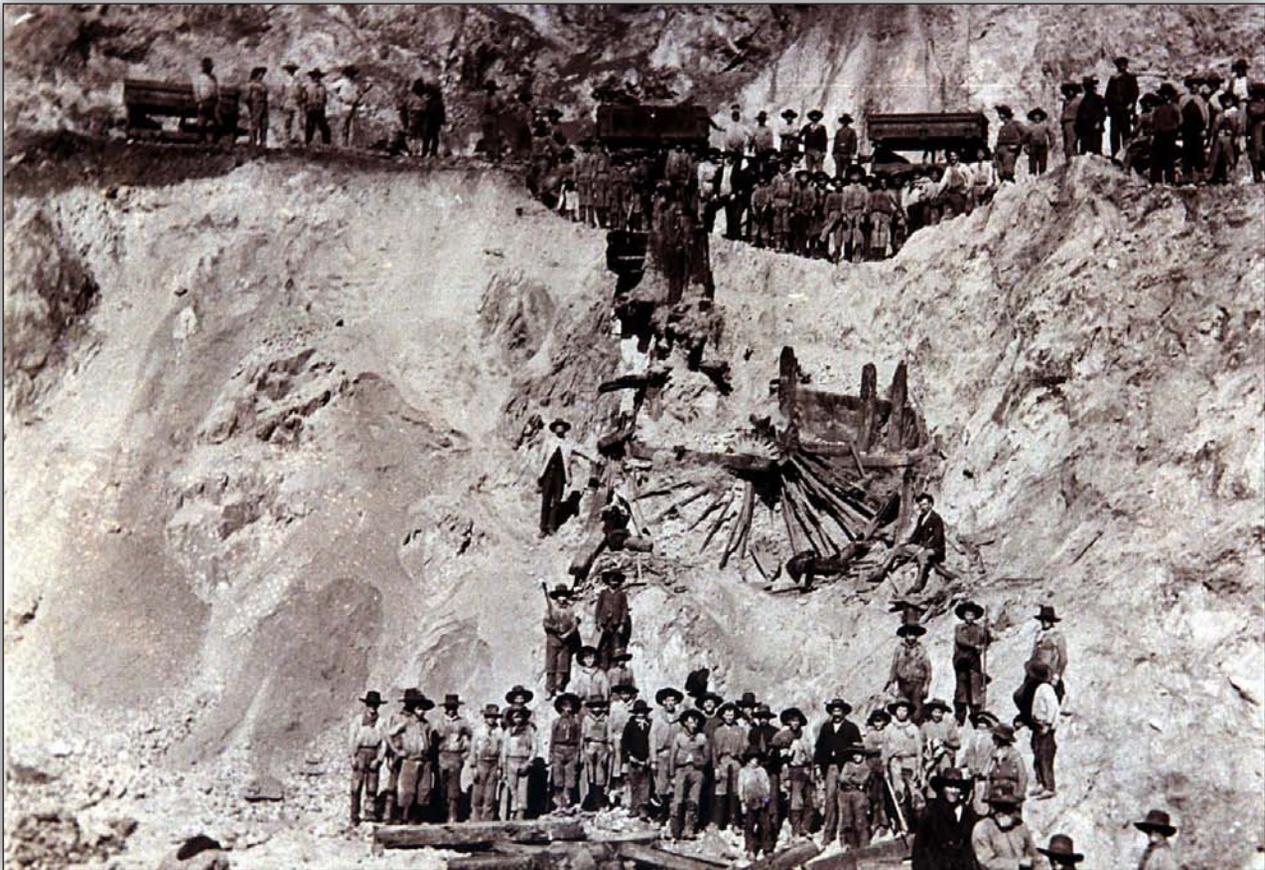


5. Detalle (sección y alzado) de una de las ruedas elevadoras aparecidas en las minas de Tharsis. STEVENSON, A.S. (1875): Observations on a roman water wheel from the ancient workings of de mines of Tharsis in Southern Spain. *Archaeologia Eliana*, VII, N.S, figura 2

Londres. Por otra parte, conocemos la localización de tres hallazgos que se producen en momentos distintos: Filón Norte (1886), Filón Sur (1919-1921) y Masa Planes (1928), si bien no disponemos de una relación segura entre los restos indicados y su localización y existen referencias a más hallazgos.

No vamos a entrar en consideraciones sobre el contexto espacio-temporal en que fueron empleados estos artilugios en las minas del SO peninsular ni el marco histórico en que se produjeron los hallazgos,

MACHINAE LAS RUEDAS DE ACHIQUE ROMANAS DE RIOTINTO



6. Foto referencia A-3/277/Bodenham. "Corta Filón Norte". Archivo Fundación Riotinto

por haber sido ya tratados por otros autores y por nosotros mismos (OJEDA 2006:14-28). Sólo recordar que con la reactivación minera, fundamentalmente a partir de la actividad de la compañía británica *Rio-tinto Company Limited* (1873), se vuelven a explotar los yacimientos ya conocidos por los romanos (Filón Norte, Filón Sur, Planes y San Dionisio) mediante extracciones de minerales a cielo abierto ("cortas") y el empleo de grandes palas mecánicas de vapor Bucyrus, quedando de manifiesto la importancia de la minería romana en la zona. La apertura de "cortas" y los trabajos de contramina propiciaron el descubrimiento de numerosas galerías y pozos romanos y la localización *in situ* de algunos ingenios empleados en el desagüe de las minas.

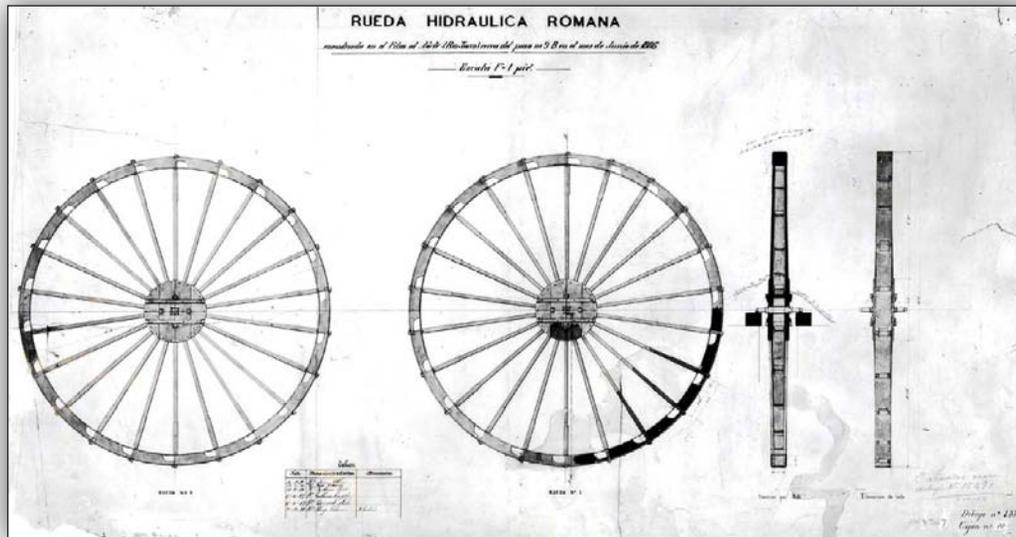
Todas las ruedas conocidas aparecieron enterradas total o parcialmente debido a los desplomes de las cavidades donde se alojaban, motivo por el cual, a pesar del relativo buen estado de conservación de la madera saturada de sales, la mayoría de las ruedas aparecieron destrozadas y apenas se conservan algunos fragmentos de ellas. En el Archivo de la Fundación Riotinto existen fotografías de hallazgos *in situ* de diversas ruedas de desagüe (figura 6) que mues-



7. Minas de Rio-Tinto. Rueda hidráulica romana encontrada en el Filón Norte en el mes de junio de 1886. Referencia Sobre 76, Negativo 224 B. Archivo Fundación Riotinto

tran el estado en que éstas eran encontradas, pese a no quedar constancia del lugar y año de procedencia de muchos de esos descubrimientos.

1. La primera evidencia que conocemos es el hallazgo en el Filón Norte de un par de ruedas elevado-



8. Plano de 1886 con el encabezamiento: RUEDA HIDRÁULICA ROMANA. encontrada en el Filón Norte (Rio-Tinto) cerca del pozo nº 9B en el mes de junio de 1886. Escala 1"-1 pie. Archivo Fundación Riotinto

ras en junio de 1886. De este momento tenemos dos documentos gráficos: un dibujo a plumilla y un plano realizado a escala. El primer dibujo lleva la leyenda *Minas de Rio-Tinto. Rueda hidráulica romana encontrada en el Filón al Norte en el mes de junio de 1886* y en él se representa una pareja de ruedas semienterradas poco después de su hallazgo (figura 7). Pese a la escasa fiabilidad de los detalles, podemos apreciar que una de ellas se encontró en mejores condiciones que la otra y que en ambas el número de radios debía estar entre 22 y 24. Respecto al plano de las dos ruedas realizado a escala con la leyenda *RUEDA HIDRÁULICA ROMANA. encontrada en el Filón al Norte (Rio-Tinto) cerca del pozo nº 9B en el mes de junio de 1886*, creemos que pudiera tratarse de las mismas ruedas del dibujo (son ruedas de 22 cangilones, halladas en el mismo lugar y en la misma fecha). De este plano, del que se sacaron varias copias, se conserva el original en el Archivo de la Fundación Riotinto (figura 8) y un duplicado en el Departamento de Antigüedades Griegas y Romanas del *British Museum*. En estas representaciones se incluyen medidas y detalles constructivos de ambas, así como secciones de una de ellas: se aprecia que se trata de dos ruedas, ambas de 22 cangilones y diferentes dimensiones: la nº 1 con un diámetro de 15 pies y 3 pulgadas (4'648 m) y la nº 2, algo menor, con 14 pies y 10 pulgadas (4'52 m).

2. Tres años después del descubrimiento de esta pareja de ruedas, ingresan en el *British Museum* los restos de una rueda procedente de Riotinto, inventariados como *Fragmento de rueda grande de madera para elevar el agua en una mina. Hallado en una explotación antigua de la mina de Río Tinto en España, donada al museo por los directores de la Compañía Minera de Río Tinto*. Debemos a G. Weisgerber el primer estudio pormenorizado de los detalles constructivos de estas ruedas,

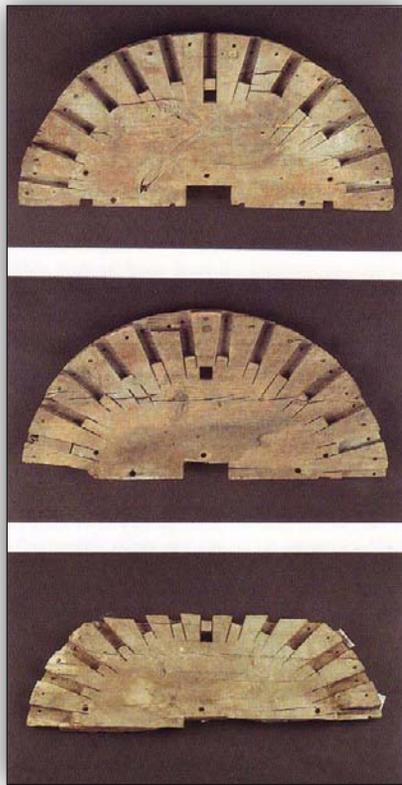


9. Rueda expuesta en el Bristish Museum. Imagen: P. Manzano Beltrán

centrado en la rueda que se expone en el *British Museum* (WEISGERBER, 1979). Este estudioso identifica el hallazgo de 1886 con el fragmento de rueda conservado en el *British* junto a un eje de otra rueda (figura 9). Para ello se basa en sus medidas aproximadas y en su fecha de ingreso en el museo junto a uno de los planos antes mencionado. Según Weisgerber, la rueda tuvo 27 radios y el hecho de que las dos ruedas representadas en los planos tengan 22 radios es interpretado como un error de dibujo, algo que nosotros cuestionamos. Pero por la minuciosidad con que se han medido y dibujado todos los elementos y los detalles constructivos de ambas ruedas cuesta creer que el dibujante omita 5 radios y pase por alto representar el número exacto de mortajas de cada disco (donde iban encajados los radios), máxime cuando los discos son los componentes de la rueda que solían aparecer íntegros a juzgar por las fotos de archivo (generalmente sólo divididos en las dos partes que los conformaban).

MACHINAE LAS RUEDAS DE ACHIQUE ROMANAS DE RIOTINTO

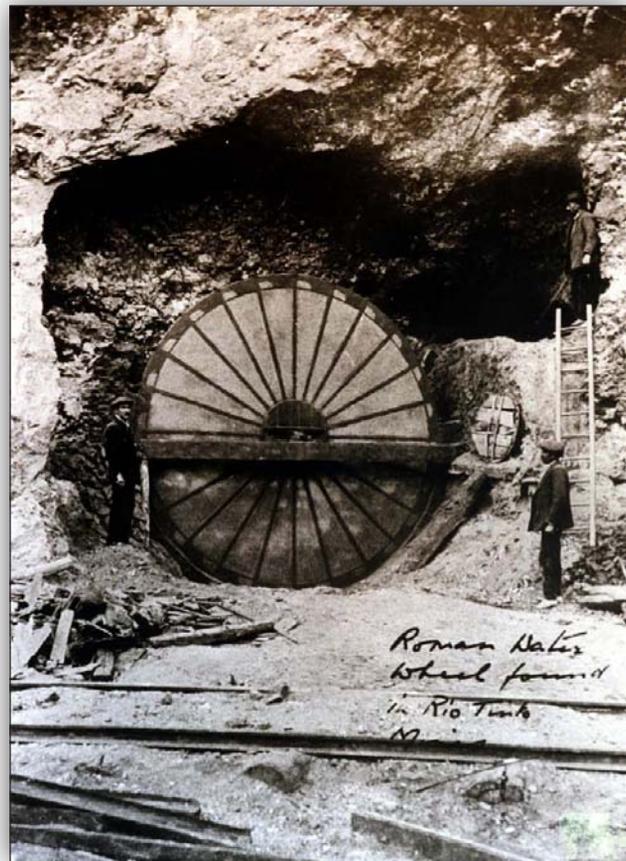
10. Tres fragmentos de discos del Museo de Huelva. Imagen: E. Fernández. IAPH



Nos inclinamos a pensar que la rueda expuesta en el museo británico y las de los dibujos son ruedas diferentes, lo que no contradice que se encontraran por el mismo tiempo e, incluso, perteneciesen a una misma batería de ruedas.

Por otra parte, queda descartado que el hallazgo de la rueda del Museo de Huelva tenga relación con el descubrimiento de 1886, por sus diferentes dimensiones, número de radios y distinta procedencia (Masa Planes, una, y Filón Norte, la otra). Cuando Weisgerber menciona que los tres ejemplares disponibles tienen 27 radios (WEISGERBER, 1979: 65-69) incluye la rueda del Museo de Huelva, sin embargo ésta es de 25. Hemos tenido oportunidad de analizar los tres fragmentos de discos conservados en los almacenes del museo onubense (nº inventario 6584, 5491 y 5491-1) y, por número de radios que indican sus mortajas (27) y, presumiblemente, mayor formato, sí que podrían haber formado pareja con la rueda del *British Museum* (figura 10).

3. Volvemos a tener noticias de la aparición de ruedas ya iniciado el siglo XX cuando Palmer menciona 14 ruedas (PALMER, 1926/27: 302, figuras 69 y 74) halladas con anterioridad a las ocho parejas descubiertas entre 1919 y 1921. Poco sabemos de estas ruedas, salvo que aparecieron unos veinte años antes de la publicación de su artículo (por tanto, en torno a la primera década de la centuria ya que éste se pu-



11. Modelo construido *in situ* a partir de los hallazgos conocidos. Foto: referencia Legajo 1 nº 38, con la leyenda en el ángulo inferior izquierdo: Roman water wheel found in Rio Tinto Mines. Archivo Fundación Riotinto

blica en 1926/27), siendo F.J. Bodenham el ingeniero-inspector de los trabajos, y que no se pudo recuperar ninguna intacta. Palmer refiere que varían en diámetro, siendo unas de 15 pies y 3 pulgadas y otras de 14 pies y 10 pulgadas. Con los datos entonces obtenidos se construyó el modelo de 24 cangilones que aparece en la figura 72 de su artículo, modelo que es el mismo al de otra foto que reproducimos en nuestra figura 11 y cuyas dimensiones completas son de 4'52 m de diámetro exterior (14 pies y 10 pulgadas). No podemos saber si se trataba de una batería de ruedas (DOMERGUE, 1987: 238)⁶ o de diferentes hallazgos en el tiempo y/o el espacio, ni tampoco se puede identificar con las fotografías de ruedas realizadas en el momento de su aparición y conservadas en el Archivo de la Fundación Riotinto (figuras 12 y 13). Esta documentación fotográfica nos ilustra sobre el estado en que éstas eran halladas y da una idea del deterioro sufrido durante el proceso de extracción.

4. Tampoco nos consta la pervivencia de ninguna rota hallada entre 1919 y 1921, pese a que debió ser-

⁶ Domergue habla de 14 pares en vez de 14 ruedas.



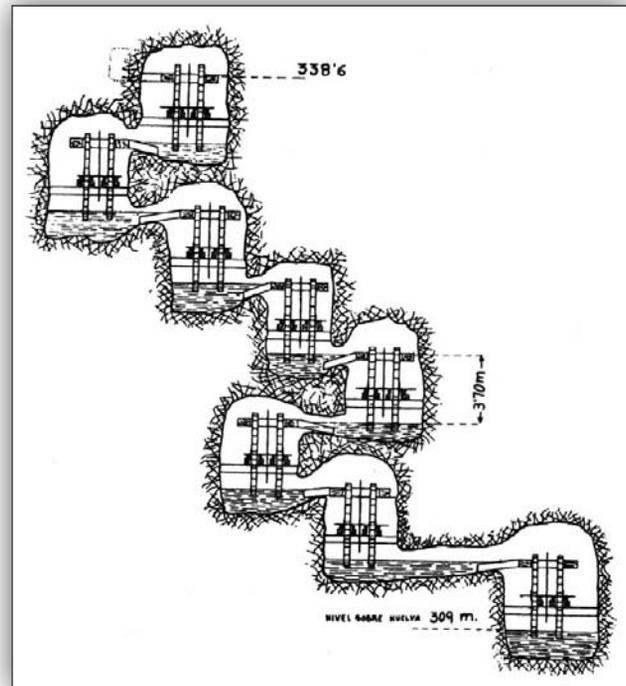
12. Aparición de una pareja de ruedas elevadoras. Se aprecian los restos de la funda de madera del eje. Foto referencia A-4/427/VARIOS Arqueo.-85. Archivo Fundación Riotinto



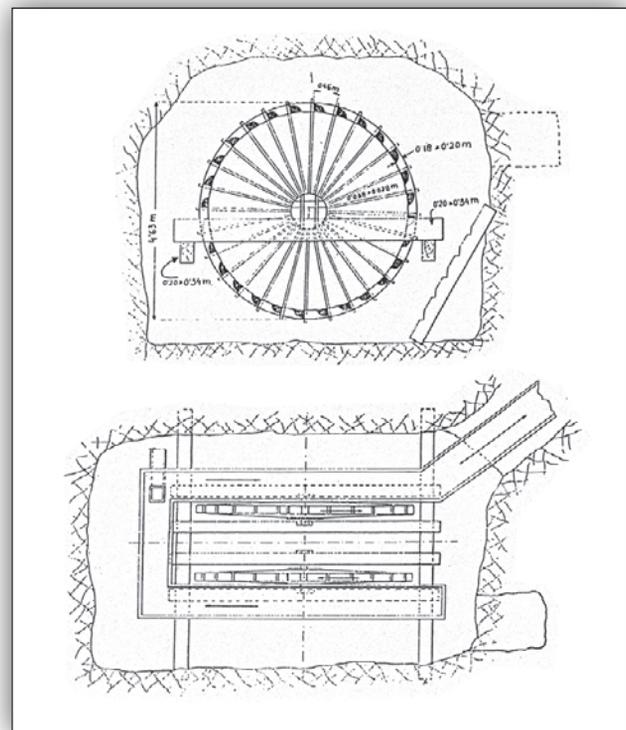
13. Otro hallazgo de rueda elevadora en el Filón Norte. Referencia: *Sobre 303, negativo 896 (placa de vidrio fragmentada)*. Archivo Fundación Riotinto

ducirse una gran acumulación de ruedas a tenor de las descripciones de Palmer (1927). Así se descubrió en el Filón Sur una cadena de 8 parejas de ruedas que elevaban el agua a más de 30 m. Palmer publica un plano con los datos disponibles sobre su disposición en la figura 74 (figura 14), localizándose el par inferior en el nivel 309'0 de la mina. De casi 4'65 m de diámetro exterior, disponían de 30 cangilones, como refiere Palmer y se aprecia en su figura 69 (figura 15). Puede darse cierta confusión entre las 14 ruedas antes citadas y estas 8 parejas representadas escalonadamente, pero la correcta lectura del artículo de Palmer no deja dudas de que se trata de hallazgos distintos. Por otro lado, no se encuentra en Palmer ninguna alusión a que fuesen descubiertas en el Filón Sur como luego se ha dicho, siendo Luzón el que por primera vez lo menciona (LUZÓN, 1968, figura 8) y, posteriormente, Domergue lo da por hecho (DOMERGUE, 1987: 238).

5. Posteriormente tenemos noticias del hallazgo de más de una rueda en 1928 (al menos un par). En

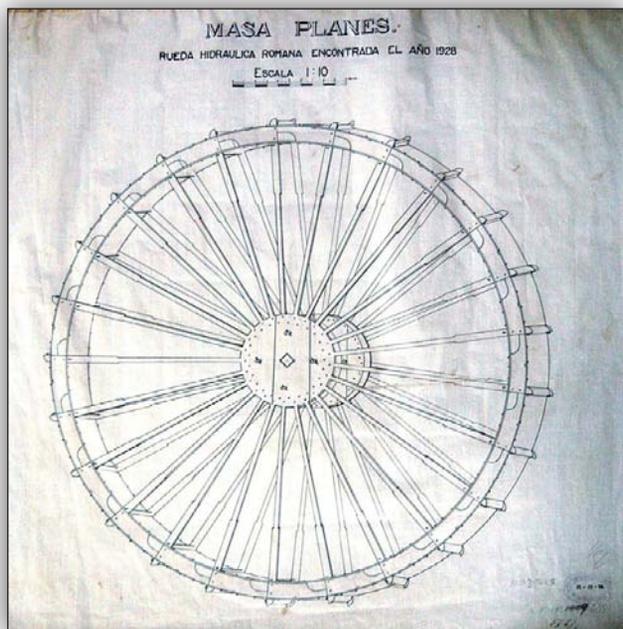


14. Disposición escalonada de ocho pares de ruedas descubiertas en Riotinto entre 1919-1921. PALMER, R.E. (1926/27): Notes on some Ancient Mine Equipments and Systems, *Transactions Institution of Mining and Metallurgy*, XXXVI (T.I.M.M.). London, p.303, figura 74



15. Alzado y planta de una rueda descubierta en Riotinto. PALMER, R.E. (1926-27): Notes on some Ancient Mine Equipments and Systems, *Transactions Institution of Mining and Metallurgy*, XXXVI (T.I.M.M.). London, p.300, figura 69

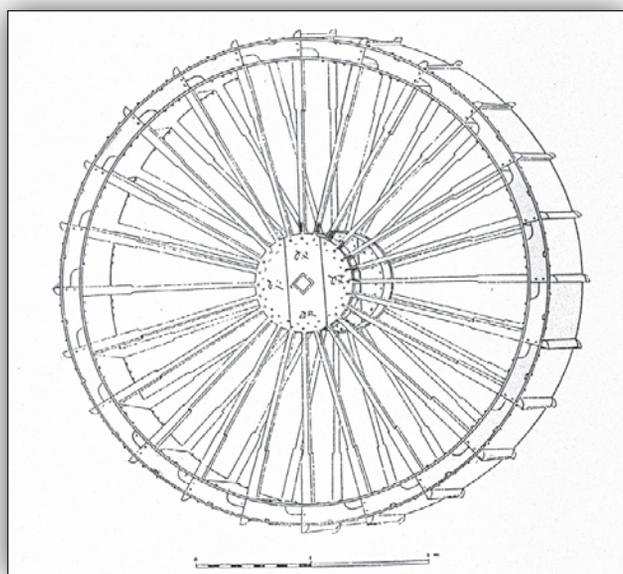
MACHINAE LAS RUEDAS DE ACHIQUE ROMANAS DE RIOTINTO



16. Rueda descubierta en Masa Planes en 1928 según dibujo conservado en la Fundación Riotinto.



18. La rueda de Riotinto conservada en el Museo Provincial de Huelva tras su restauración en el IAPH. Imagen: Eugenio Fernández Ruiz (IAPH)



17. Rueda elevadora de 24 cangilones encontrada en el Filón Norte de Riotinto. Extraído de LUZÓN, J.M. (1968): Los sistemas de desagüe en minas romanas del Suroeste peninsular. *A.E.A.*, nº 41, p.112, fig. 10

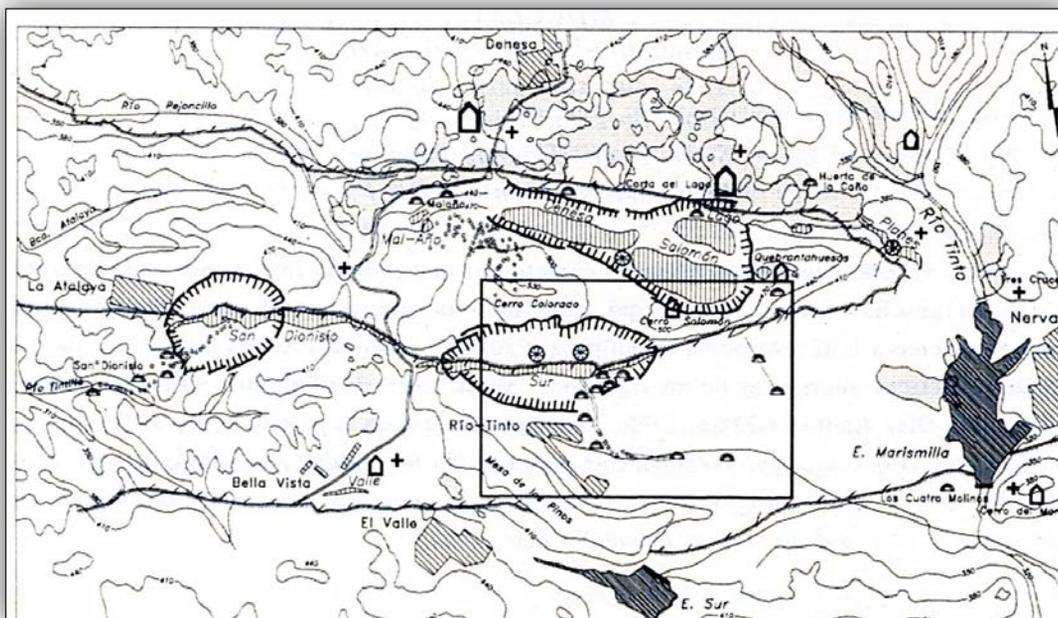
el Archivo de la Fundación Riotinto se conserva un plano a escala 1:10 en tela encerada con la leyenda *Masa Planes. rueda hidráulica romana encontrada en el año 1928 (figura 16)*, que es prácticamente idéntico a otro reproducido por Luzón, salvo por su procedencia y por ser la rueda de Planes ligeramente más pequeña (4'13 m de diámetro exterior) y tener un can-



19. Foto referencia A-3/279/Bodenh.-71-VARIOS (40). Archivo Fundación Riotinto

gilón de más (sumando un total de 25 cangilones). La perspectiva del dibujo y los detalles constructivos del cubo la relacionan estrechamente, al menos en cuanto a la autoría del dibujo, con la publicada por Luzón, aunque otra posibilidad es que esta última sea una restitución basada en el modelo de Planes.

6. En su trabajo sobre los sistemas de desagüe en minas romanas del Sudoeste, Luzón menciona una rueda hallada en Riotinto en 1928 que "consistía en una noria completa en la que se había colocado la



20. Mapa de las minas de Riotinto en 1924, con localización de restos de explotaciones romanas (mapa referencia nº 143-49 de 1924 de Riotinto Company Ltd.). Extraído de FERNÁNDEZ-POSSE M.D.; SÁNCHEZ PALENCIA, F.J., 1996, figura 2

cuerda doble que describe Vitruvio, con travesaños horizontales de madera para la sujeción de las cubas" (LUZÓN, 1968: 112). En el pie de su figura 10 refiere que fue encontrada aislada en el Filón Norte y se observa que mide casi 4'30 m y que tiene 24 cangilones (figura 17). No hemos localizado el original del dibujo publicado por Luzón pero lo hemos cotejado con el plano de la rueda de Planes conservado en el Archivo de la Fundación Riotinto (figura 16), al que hemos hecho alusión en el párrafo precedente, por tratarse de representaciones muy similares, aunque lo hemos descartado por las razones antes citadas.

7. Finalmente, queda por reseñar la **Rota de 25 cangilones que se expone en el Museo Provincial de Huelva**, centro de nuestro estudio (figura 18). Tras consultar los archivos del Museo y de la Fundación Riotinto, comprobamos que fue descubierta en la Masa Planes aunque cuando ingresó en el IAPH para su estudio y restauración figuraba como procedente del Filón Norte.

De titularidad estatal, se trata de la misma rueda que aparece en el Inventario de materiales que en 1973 pasan del Museo de Bellavista (Minas de Riotinto, Huelva), donde formó parte de los fondos coleccionados por los ingleses, al recién creado Museo Provincial, con el nº de inventario 4.355 y consignada como *rueda de hidráulica de 4'20 metros encontrada en las Minas Filón Planes*. Esa clara referencia al yacimiento de Planes se perdió con el tiempo, de tal modo que Weisgerber la cree coetánea de la del *British Museum* (WEISGERBER, 1979: 64); Domergue la considera procedente del Filón Sur (DOMERGUE, 1987: 246) y, cuando en 1997, la rueda se deposita en

el IAPH aparece como procedente del Filón Norte. El hecho de que la Rueda que se expone en el museo onubense tiene un diámetro máximo de 4'30 m, mientras que el consignado en la rueda del inventario de 1973 es de 4'20 m, pudo inducir a dudar sobre su identidad. Sin embargo, la diferencia estriba en medir el diámetro de la corona a la altura de las tablas de tapa de los cangilones o el diámetro de la llanta en el punto donde sobresalen las cabezas de los radios. También corrobora su identificación el cotejo de ciertos detalles de nuestra rueda con una antigua fotografía de su etapa en el Museo de Bellavista localizada en el Archivo Histórico de la Fundación Riotinto⁷, en cuyo reverso lleva anotada la leyenda *rueda romana encontrada en excavaciones en el Filón Planes (4). Reconstruida en un almacén* (figura 19). Tenemos referencias del descubrimiento de ruedas en Planes gracias a la información comunicada a C. Domergue por L.U. Salkield, antiguo subdirector de la mina, quien le indica que en Planes se descubrieron a *65 m bajo la superficie ruedas de extracción, así como entibaciones y una piel de asno totalmente embebidas de sales de cobre* (DOMERGUE, 1987: 238, 246, n. 434). Más adelante Domergue refiere que en Planes se halló una pareja (*Ibidem* p. 246).

Aclarada su procedencia, restaba saber el momento de su hallazgo. Nos consta que para 1924 ya se había producido algún hallazgo en Planes (figura 20), pero nos inclinamos a pensar que el de esta

⁷ Foto referencia A-3/279/Bodenh.-71-VARIOS (40). Fue publicada en su día por Luzón (*Opus cit.*, figura 6), aunque, al no verse el extremo superior de la misma, no podía identificarse con la rueda del Museo de Huelva.

MACHINAE LAS RUEDAS DE ACHIQUE ROMANAS DE RIOTINTO

rueda tuvo lugar en torno a 1928, al igual que el de la rueda del plano realizado en tela encerada que se guarda en el Archivo de la Fundación Riotinto. Esta deducción se basa en tres evidencias:

– El artículo de Palmer se publicó en 1927 (PALMER, 1926/27), con lo que tenemos una fecha *post quem* para la aparición de nuestra rueda. En este artículo, la documentada referencia a las ruedas aparecidas hasta esa fecha no hubiera pasado por alto la mención a la rueda del Museo de Huelva, habida cuenta de la integridad de lo conservado. Esto hace descartar que la Rueda del Museo de Huelva ya hubiera sido descubierta.

– Como fecha *ante quam* tenemos la primera fotografía conocida de la rueda cuando estaba en un almacén que proviene del denominado Archivo Bodenham (figura 19) y fue tomada por Tomás Atienza. Frank J. Bodenham fue ingeniero superintendente de la *Riotinto Company* y estuvo en activo entre 1910 y 1946 mientras que el fotógrafo autor de la imagen, Atienza, trabajó para la compañía británica hasta los años 30 de ese siglo.

– El cotejo de la rueda con el hallazgo de 1928 en ese mismo yacimiento de Planes de la otra rueda también de 25 cangilones cuyo plano se conserva en la cartoteca de la Fundación Riotinto (figura 16). Por sus características y dimensiones generales (diámetro exterior, nº de radios y cangilones, etc.) es casi idéntica a la del Museo de Huelva si bien se aprecian ligeras variantes en la configuración del cubo (en el plano los huecos cuadrangulares del eje y los cuatro travesaños se disponen diagonalmente respecto al corte longitudinal de las tablas que configuran la tapa) que parecen una inexactitud del dibujo ya que no se ha observado esta disposición en ninguna de las ruedas recuperadas. Todo ello induce a pensar que, de no tratarse de la misma rueda, ambas pudieron ser pareja o formar parte de una misma batería. Con casi toda probabilidad, por tanto, el hallazgo de la rueda del Museo de Huelva pudo producirse entre 1927 y la década de los 30 de la pasada centuria.

Ya hemos mencionado cómo la reactivación de la minería en la comarca por parte de la *Riotinto Company Limited*, a partir de 1873, supuso el descubrimiento de muchos trabajos mineros antiguos, hallándose numeroso material arqueológico de época romana. Para guardar la creciente colección de piezas, la compañía creó un pequeño museo a la entrada del barrio inglés de Bellavista. Éste será el lugar donde quedó expuesta la rueda aunque sorprende que, dado su buen estado de conservación, no fuera enviada a Gran Bretaña como ocurrió con otros muchos hallazgos realizados por la compañía británica.

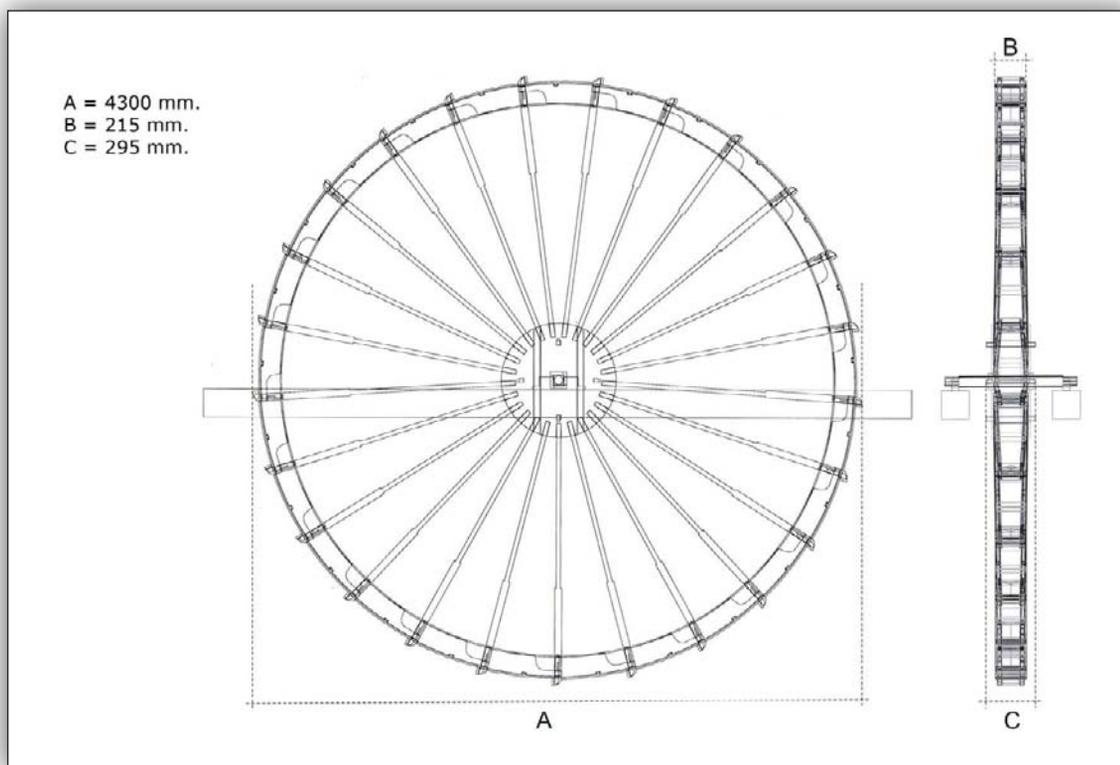
Es de suponer que en el traspaso del hangar o almacén en el que inicialmente estuvo guardada al interior del Museo de Riotinto (conocido como Museo de Bellavista) la rueda sufriera los efectos del traslado (pudiendo incluso haber llegado a desmontarse en parte) puesto que, cotejando una foto allí con la anterior, ya se observan algunos desperfectos que no tenía en la primera. Cuando la mina nuevamente fue explotada por capital español, muchas piezas del Museo de Bellavista pasaron al recién creado Museo Provincial de Huelva en 1973.

Los avatares que ha sufrido esta rueda, desde su descubrimiento hasta la entrada en el Museo de Huelva, vienen a significar lo que pudo ocurrir, probablemente, con otros hallazgos de su especie. Como en el caso de otras ruedas descubiertas, su estado de deterioro consistía principalmente en su falta de integridad debida fundamentalmente a los desplomes de las galerías en que estuvieron emplazadas (solían hallarse total o parcialmente sepultadas) a lo que, muy probablemente, vinieron a sumarse los resultados de una poco cuidadosa extracción y una deficiente manipulación en los traslados. Ello propició el añadido de elementos extraños, el uso de materiales inapropiados, el extravío y la sustitución de algunos componentes y el cambio de ubicación de piezas en el posterior montaje de las mismas. Además, dado el tamaño de la rueda, posiblemente se desmontó parcialmente y se volvió a montar en cada uno de los dos cambios de ubicación.

8. Finalmente, las 3 piezas sueltas del Museo de Huelva (figura 10) no han sido objeto de tanta atención sobre las circunstancias de su descubrimiento. Estas piezas son medios discos de rueda: dos bien conservadas (138 y 491, nº inventario: 6584 y 5491-A) y una bastante fracturada (nº inventario: 5491-1). Pertenecen a ruedas con 27 radios como la rueda del *British Museum*, pero esto no prueba la misma procedencia, como pretende Weisgerber (1979), pues está documentado el uso de ruedas similares en diferentes lugares.

ESTUDIO CRONOTIPOLOGICO, TÉCNICO Y FUNCIONAL

No entraremos en una detallada descripción formal de cada uno de los componentes de la rueda del Museo de Huelva ni sobre sus patologías, para lo cual remitimos a la monografía publicada (MANZANO,



21.
Dimensiones
generales de
la Rota.

OJEDA, Coord. 2006). Como entonces, en nuestra aproximación cronotipológica nos basaremos en los estudios preexistentes sobre la rueda de Riotinto del *British Museum* (WEISGERBER 1979) y en las investigaciones realizadas sobre la rueda de São Domingos (DOMERGUE, BINET, BORDES, 1999) y la rueda de Tharsis DOMERGUE, BORDES, 2004).

La observación detenida de las *rotae* nos revela un diseño depurado que tuvo que ser alcanzado tras un tiempo de perfeccionamiento más o menos largo. Destaca también el modelado hidrodinámico del conjunto y sus detalles, lo que sólo tiene sentido si las ruedas fueron concebidas para que girasen con cierta velocidad. En la misma medida, llama la atención la aparente uniformidad existente entre ruedas de procedencias distintas, que podríamos interpretar como una prueba de contemporaneidad de las ruedas, pero que podría indicar también la estabilidad alcanzada por un buen diseño en el tiempo. Sin embargo, antes de llegar a cualquier conclusión, será preciso estudiar con más detalle los caracteres de las *rotae* que puedan tener un significado cronológico.

Hemos pretendido avanzar en el conocimiento de esta tipología de rueda hispánica y en la cronología de los restos de Riotinto conservados en el Museo de Huelva a través del estudio del aprovechamiento de material y su proceso constructivo, apoyándonos para ello en el análisis dendrocronológico (RODRÍ-

GUEZ 2006). Esto permitirá abordar con mayor rigor la datación relativa y absoluta del material y su estudio comparado con las otras *rotae* conservadas.

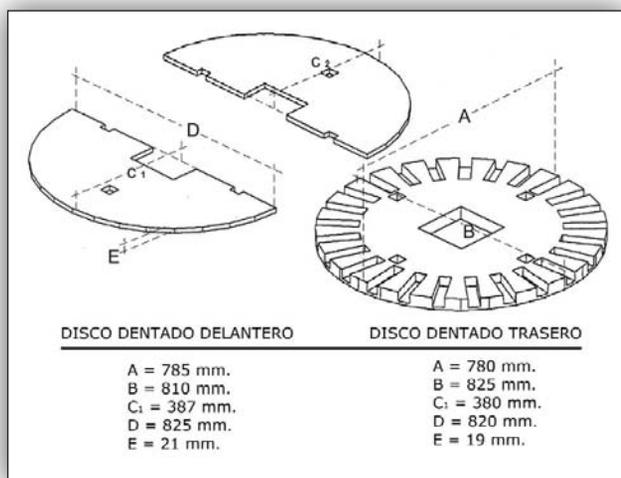
COMPOSICIÓN

Si nos centramos en la constitución material de las *rotae*, debemos destacar la manifiesta unidad tipológica de todas las ruedas documentadas en la Península Ibérica: un cubo (*rotae modiolo*) doble, radios pareados y un anillo continuo de cangilones (*modioli quadrati*), que están provistos de aberturas en ambos lados. Otra peculiaridad constructiva es el uso exclusivo de clavijas de madera capaces de resistir el carácter corrosivo del medio.

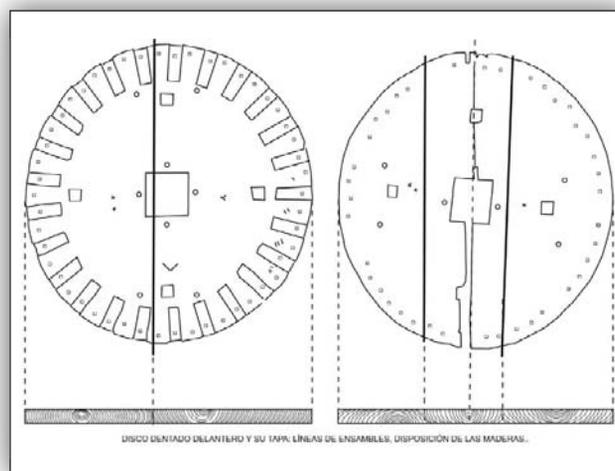
Con un diámetro de 4'20 m (4'30 m si se incluyen las cabezas de los radios que sobresalen de la corona exterior) y una anchura de 29'5 cm en el cubo (79 cm. con el eje), la rueda del Museo de Huelva (figura 21) 25 cangilones integrados en su corona y tiene un peso total de 147 kg y 400 g⁸. Por problemas de estabilidad la rueda había sido desmontada en 1997 y llegó al IAPH con las piezas ya etiquetadas, cada una con su nombre y número de posición. Se ha mantenido esta nomenclatura en cada elemento y en la

8 El peso total de la rueda se reparte del siguiente modo: soporte del eje de bronce (0'800 kg), eje de bronce (17'800 kg), discos centrales (34'400 kg), radios (37'600 kg) y cangilones (56'800 kg).

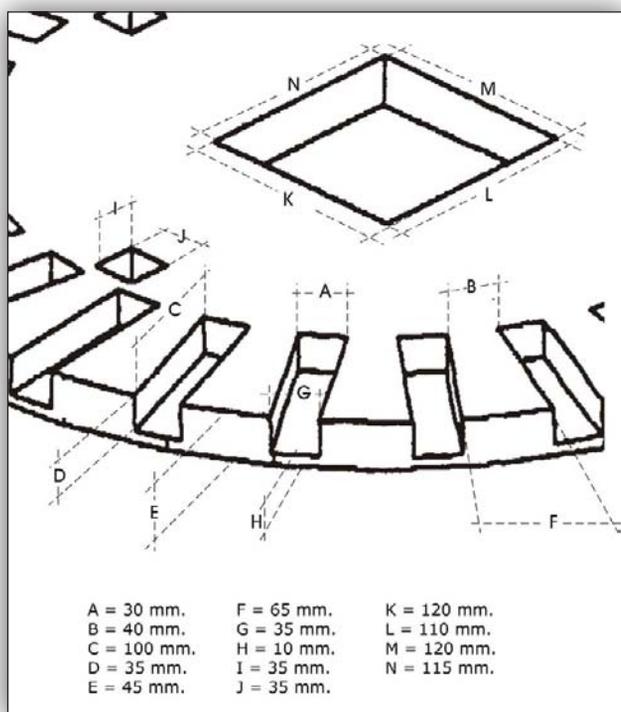
MACHINAE LAS RUEDAS DE ACHIQUE ROMANAS DE RIOTINTO



22. Dimensiones generales de discos y tapas.



24. Disposición de las maderas de disco y tapa. DD TD.



23. Detalle de las mortajas del disco.

nueva estructura de sustentación ya que facilitó su estudio y posterior montaje. Así pues, las piezas se denominaron de la siguiente forma:

– Discos: DD (disco delantero) y DT (disco trasero). Ambos discos con sus tapas correspondientes (TD y TT) forman el cubo de la rueda.

– Radios: los 25 que se insertan en el DD se denominan RD (radios delanteros) y los 25 cobijados en el DT, RT (radios traseros); van numerados del 1 al 25 en sentido de las agujas del reloj.

– Cangilones: cada uno de los 25 cangilones que conforman la corona de la rueda está compuesto por ocho piezas. Falta la que denominamos F pero tenemos constancia de su existencia por la documentación gráfica de los hallazgos:

Pieza A = Tabicas de separación entre cangilones

Piezas B1 y B2 = Tablas laterales de entrada y salida de agua

Piezas CI y CE = Tablas de contorno interior (o de fondo) y exterior (o de tapa)

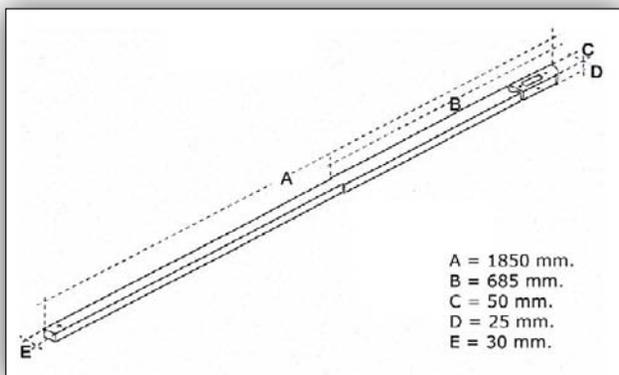
Pieza D = Travesaño de refuerzo interior de la tabla de contorno exterior

Pieza E = Traviesa exterior

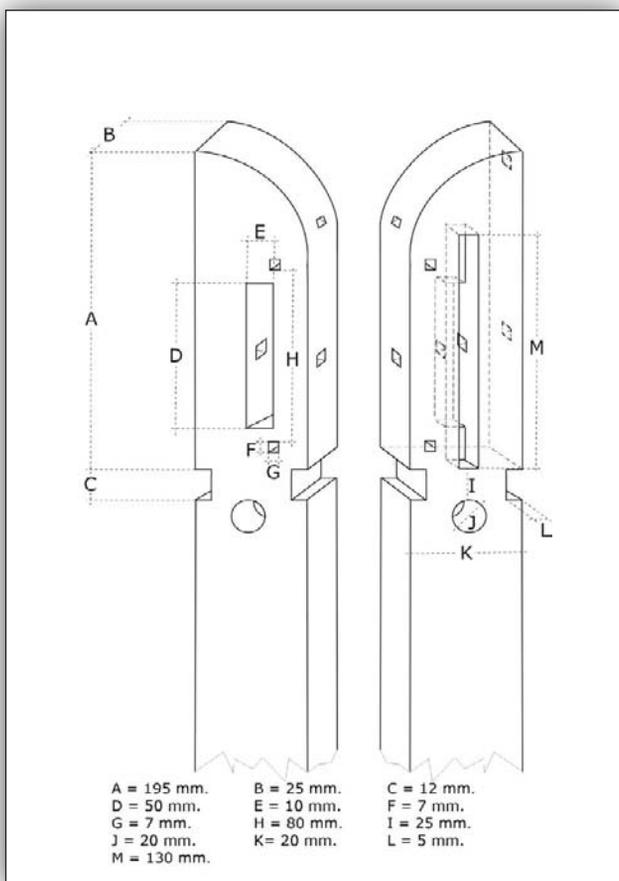
Pieza F = Traviesa de refuerzo exterior de la tabla de contorno interior.

• El cubo de la rueda se compone de dos discos con sus respectivas tapas (Figuras 22-24). Presenta un orificio central cuadrangular para pasar el eje de bronce (de mayor amplitud que éste al objeto de albergar el forro de madera donde el eje iba embutido). Equidistantes a ese orificio se encuentran otros cuatro más pequeños para alojar los cuatro travesaños que arriostran ambos discos. Cada uno de los discos consta de dos mitades. La cara externa lleva talladas en su contorno perimetral 25 mortajas para alojar los extremos de 25 radios. El reverso de los discos presentaba dos travesaños colocados perpendicularmente como refuerzo de las piezas ensambladas que no se han conservado. Las tapas, de menor espesor que los discos, se componen respectivamente de tablas de diferente escuadría y están divididas en dos mitades. Cubren la cara externa de ambos discos y refuerzan la inserción de los radios.

• Los radios tienen una anchura de 5 cm, que a 68'5 cm de la cabeza de unión con el cangilón, se re-



25. Medidas generales de los radios.



26. Detalle de las cabezas de los radios.

duce a 3 cm, manteniéndola hasta su inserción en el disco central (Fig25-26). Del cubo salen veinticinco pares de radios, insertándose en las mortajas talladas perimetralmente en la cara exterior de cada disco (además de que el encaje es perfecto, van enclavijados y sujetos con la tapa). Por el extremo opuesto las 25 parejas de radios sostienen la corona de la rueda y se unen con los cangilones. Allí presentan el extremo de la cabeza redondeado (sección en cuarto de bo-



27. Despiece de un cangilón.

cel) en el sentido del giro, al objeto de ofrecer menor resistencia al agua. De los 50 radios que disponía la rueda tan sólo se conservan 48.

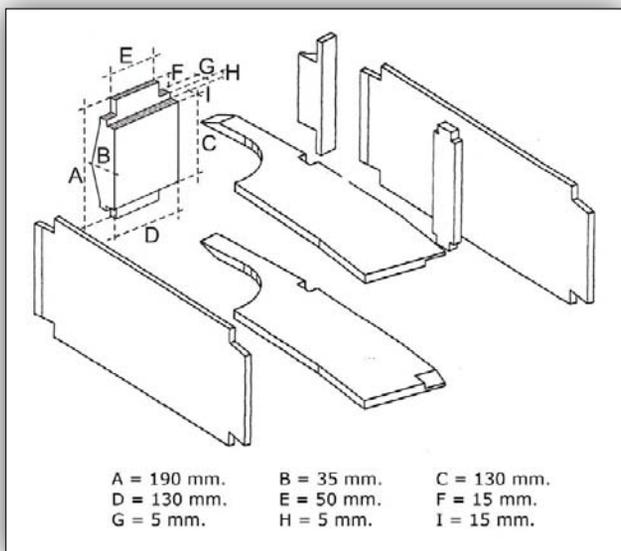
• La corona de la rueda está configurada por 25 cangilones, compartimentos cúbicos compuestos por ocho piezas y sujetas entre pares de radios (figuras 27-32):

- Dos tablas laterales de separación entre cangilones, alojadas entre radios.
- Una tabla de fondo (con traviesa exterior de refuerzo, hoy inexistente⁹).
- Una tabla de tapa, configurando el perímetro exterior de la rueda (con traviesa interior de refuerzo).
- Dos tablas laterales con sendas escotaduras curvilíneas para la entrada y salida del agua.

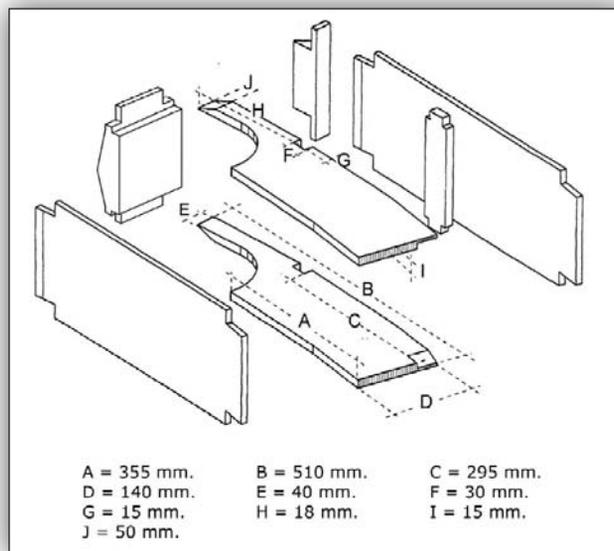
Los cangilones, con una capacidad real de aproximadamente unos 8.177 cm³, están diseñados para ofrecer la menor resistencia al contacto del agua y para favorecer la dinámica de fluidos. Es el caso de la cabeza de los radios, redondeada en el lado coincidente con el sentido de giro de la rueda, o el caso de la sección ligeramente aquillada dada a la tabla de la tabica transversal, a modo de tajamar, para evitar el golpe directo del agua contra el fondo del cangilón, repartiendo los fluidos hacia ambos lados. Habían sido impermeabilizados pues se han encontrado trazas de colofonia, resina natural extraída de algunas especies de coníferas utilizada como uno de los componentes de la brea (FERNÁNDEZ et al. 2006: 70). En la construcción de cangilones se procuró tallar ta-

⁹ Se deduce su existencia por el estudio directo de cada uno de los componentes de la rueda (MANZANO 006), ratificados por los planos de otras ruedas existentes en el Archivo de la Fundación Riotinto.

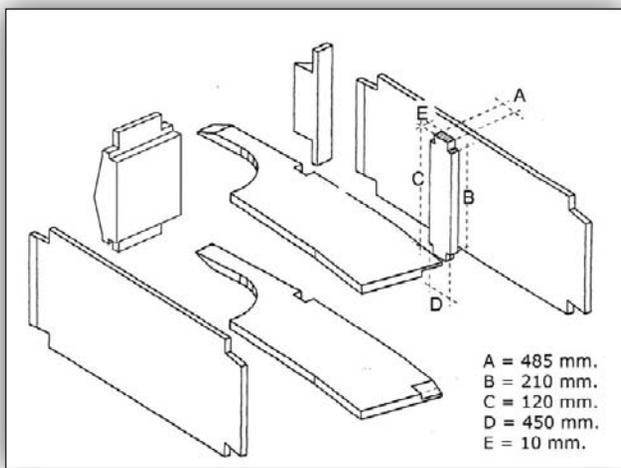
MACHINAE LAS RUEDAS DE ACHIQUE ROMANAS DE RIOTINTO



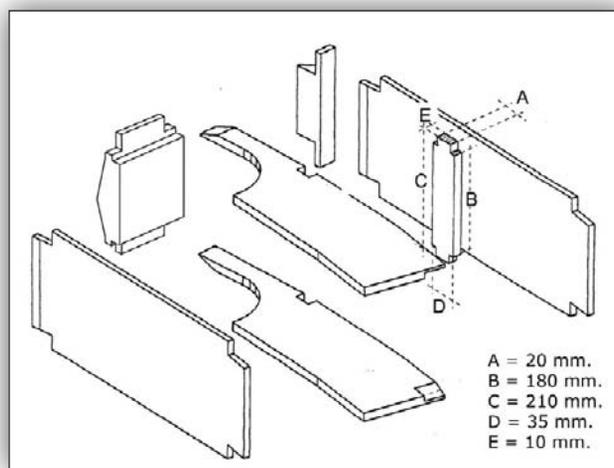
28. Dimensiones generales de la tabica (A)



29. Dimensiones generales de las tablas laterales de entrada de agua (B)



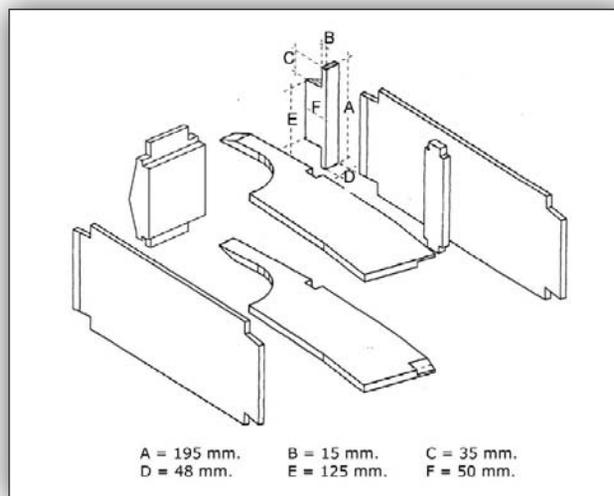
30. Dimensiones generales de las tablas de contorno interior y exterior (C)



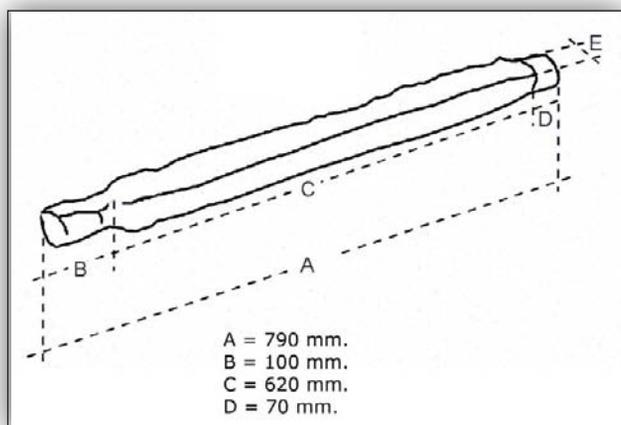
31. Dimensiones generales del travesaño de refuerzo (D)

blas de varios cangilones en una misma pieza, al objeto de reducir juntas y, con ello, reforzar la estructura y evitar pérdidas de agua (MANZANO, 2006: 85-86, figura 12-18). Las cabezas o extremos de cada pareja de radios y un pequeño listón con sección de cuarto de bocel colocado entre ambos y perpendicular a la corona arriostran la tabla de tapa además de conformar unos salientes que algunos han interpretado como asideros o agarraderos para mover la rueda.

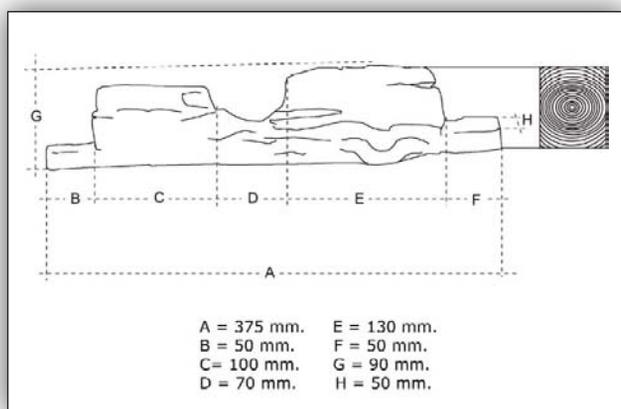
- El eje de bronce es un vástago macizo de sección cuadrangular, cuyos extremos se estrechan y redondean (Figura 33). Estuvo embutido en un forro de madera hoy desaparecido, como se aprecia claramente en el dibujo de la rueda de Tharsis y en una de las fotos del Archivo de la Fundación Riotinto (figura 12).



32. Dimensiones generales de la travesía exterior (E)



33. Dimensiones del eje de bronce



34. Dimensiones del soporte del eje

• De los dos cojinetes de madera que soportan los extremos del eje de bronce, se ha conservado uno. Es una pieza longitudinal de madera de roble (Figura 34), que lleva rebajados ambos extremos a modo de apéndices para ser insertados en algún otro elemento desconocido que, a su vez, se apoyaría en dos gruesas vigas encastradas en la roca.

PROCESO CONSTRUCTIVO: SELECCIÓN DE MADERA, DESPIECES Y ARMADO

Materia prima

Para la caracterización material de la rueda y discos conservados en el museo onubense se procedió a la identificación de las especies de madera¹⁰, constatóndose el uso de una variedad de maderas que indica una procedencia geográfica del material lúneo de difícil interpretación.

¹⁰ Las identificaciones taxonómicas y de fibras han sido realizadas por M^a Teresa López de Roma y José Luis Simón Serfaty, especialistas del INIA.

– Son de madera de **roble** (*Quercus sp.*) el cojinete del eje de la *rota* del Museo de Huelva y la mayor parte de las clavijas utilizadas en la misma. Es también roble el eje de la rueda de S. Domingos (DOMERGUE et al., 1999) y también se utilizó roble y alcornoque en S. Domingos (GONZALOY TARÍN, 1888), Calañas (LUZÓN, 1975) y Riotinto (PALMER, 1927). En la vegetación natural de las Sierras de Aracena y Aroche, aparecen masas de rebollo (*Quercus pyrenaica* Willd.), roble andaluz (*Quercus faginea* Lam.) y quejigo andaluz (*Quercus canariensis* Willd.), que forman un verdadero mosaico de variedades del roble (MONTEAGUDOY RODRÍGUEZ, 1991).

– La madera de **pino pinaster** (*Pinus pinaster Sol in Aiton*) se utilizó en discos y tapas de la rueda del Museo de Riotinto. En la presa romana de Proserpina se han recuperado varios artefactos lúneos de pino pinaster que se han datado en 0 - 260 d. C. y en el s. XVII. Sin embargo, carecemos de datos precisos de la distribución natural del pinaster en la región, si bien suponemos que tuvo una mayor dispersión en toda la vertiente atlántica peninsular. Existen referencias históricas de pinares desaparecidos (Santiago, 1994), como los del Algarve y Extremadura portuguesa, que en los s. X y XI abastecían de madera y pez a las atarazanas de Alcacer do Sal (*Al-Qasr*) y del sur (LOMBARD, 1959; LIROLA, 1993). La presencia espontánea del pinaster se reduce hoy a diversos enclaves rupícolas de Sierra Morena (SANTIAGO, 1994; GIL, 1995).

– La madera identificada como **pino silvestre / laricio** (*Pinus sylvestris* L. / *Pinus nigra* Arnold) se utilizó en las tablas de los cangilones de la rueda de Riotinto. Este pino está presente también en otras ruedas como los fragmentos conservados de São Domingos y Tharsis (DOMERGUE et al., 1999; DOMERGUE Y BORDE, 2004). No se conocen masas naturales de estas especies en la región y las más próximas se encuentran en las Sierras de Cazorla y Segura (Jaén). Sin embargo, no debemos descartar *a priori* su presencia natural, dada la gran amplitud corológica de estas especies en los últimos milenios, como muestran los registros polínicos y hallazgo de macrorrestos (MARTÍNEZ, 1999), así como su utilización en construcciones altomedievales hispanas (RODRÍGUEZ, 2008).

– La madera de **abeto** (*Abies sp.*) fue utilizada para elaborar los radios de la rueda y otras piezas (tabicas de los cangilones). Interesa destacar que actualmente ninguna especie del género *Abies* crece espontáneamente en sierras próximas a Riotinto, como la de Aracena, que no alcanza los niveles altitudinales propios de estas especies. Por consiguiente, el material

MACHINAE LAS RUEDAS DE ACHIQUE ROMANAS DE RIOTINTO

debió transportarse desde alguna localidad que, en orden a la mayor proximidad, podría ser los pinsapares (*Abies pinsapo* Boiss.) de Grazalema (Cádiz) o de la Sierra de las Nieves (Málaga). Algo más distantes se encuentran las zonas de pinsapar del Magreb y como tercera opción el abeto albar (*Abies alba* Miller) de los Pirineos y otras regiones europeas.

– Un fragmento de radio alojado en una caja del semidisco 138 del Museo de Huelva es de madera de **alerce** (*Larix sp.*). A la vista de la distribución actual, debemos excluir tanto su procedencia de alguna sierra de la región, así como del resto de la Península Ibérica. Se trataría del alerce europeo (*Larix decidua* Millar), cuyo hábitat natural se extiende por las montañas del centro de Europa, principalmente la región alpina.

– Finalmente, en la elaboración de clavijas y espigas se utilizó sobre todo **roble** (*Quercus sp.*), en menor cantidad **fresno** (*Fraxinus angustifolia* Vahl) -una especie frecuente en vaguadas de la región- y, excepcionalmente, **haya** (*Fagus sylvatica* L.) en dos clavijas gruesas del disco DD de la *rota* y del semidisco 5491-1 y en varias clavijas finas. Actualmente, el área geográfica natural de esta especie se circunscribe a la mitad norte de la Península Ibérica y su más amplia distribución se sitúa en el centro y oeste de Europa.

Si tenemos en cuenta la distribución actual de especies, el balance entre maderas autóctonas y alóctonas en el material de Riotinto es de sólo tres especies autóctonas (pino pinaster, roble y fresno) frente a cuatro alóctonas (pino silvestre/laricio, abeto, haya y alerce), además del posible origen también alóctono de las tres primeras. Se plantea, por tanto, como primera hipótesis, que estas maderas fuesen importadas por sus cualidades mecánicas y/o debido a la escasez de madera en la zona. No obstante, debemos considerar, por un lado, que algunas especies autóctonas podrían ser también idóneas para su uso en la rueda y, por otro lado, la dificultad del transporte de madera en rollo a largas distancias. Por consiguiente, es plausible también que las ruedas se hubiesen construido en un taller foráneo y luego se transportasen desmontadas hasta la propia cuenca minera.

Fabricación y montaje de los distintos componentes

Una observación detallada sobre el empleo de esta variedad de maderas muestra que fueron utilizadas conforme al trabajo mecánico solicitado a cada pieza. Desde este punto de vista, podemos distinguir dos subestructuras en la rueda, una circular y otra radial, cuyo comportamiento mecánico es diferente y

justifica el uso de madera de pino o de abeto, respectivamente.

En la estructura circular, sometida a grandes esfuerzos de resistencia, el pino pinaster, denso, aunque nudoso y de fibra torcida, fue destinado al robusto sistema del cubo central (par de discos y tapas), mientras la madera de pino silvestre/laricio, también denso pero de fibra más recta, se reservó para la tablación de los cangilones. Por el contrario, la estructura radial, integrada por tres tipos de piezas unidas entre sí (radios, tabicas de separación y traviesas) y sometida a esfuerzos de flexión y torsión, fue construida por entero con madera de abeto de densidad menor que el pino, pero dotada de una fibra muy recta y flexible. Asimismo en los cuatro travesaños de unión entre los dos discos centrales se optó por la elasticidad de la madera de abeto frente a la mayor dureza de otras.

El maclado general de la *rota* se resolvió con la combinación de varios tipos de ensamblajes y un abundante enclavijado entre las piezas, para lo que se recurrió a maderas muy tenaces como roble, fresno y haya. El ingenio se completa con dos tipos de piezas que soportan la carga máxima: el cojinete de apoyo del eje de bronce, resuelto con un simple rollizo de roble, y el forro que envolvía al eje y se encastraba en los discos centrales, pieza no conservada que debió ser una madera dura como roble o encina.

En cuanto a los tres semidiscos que se conservan en el Museo de Huelva, se constata el mismo uso de maderas conforme a sus propiedades. En los semidiscos 491 (nº inv.: 5491-A) y 138 (nº inv.: 6584) se hallaron fragmentos de radios de abeto insertos en sus mortajas. Una coincidencia significativa es el uso de haya para los gruesos pernos del disco DD de la *rota* y del semidisco 5491-1. Finalmente, en una caja del semidisco 138 se encontró un fragmento de radio que era alerce, madera con propiedades afines a las del abeto, pero que no fue utilizada en la *rota* restaurada.

En términos generales podemos afirmar que el comportamiento mecánico de las distintas piezas ha sido satisfactorio demostrando los aciertos constructivos en la elección de la madera y su despiece¹¹. Es evidente que la talla y armado de las *rotas* tuvo que realizarse con madera verde o empapada, en las condiciones de humedad máxima en que iba a trabajar la

¹¹ Pese al drástico secado que ha soportado la *rota*, se ha conservado íntegro un sector de 5 cangilones con sus piezas perfectamente macladas entre sí. Asombra también la rectitud de los radios tras su secado siendo piezas de 1'85 m de largo y tan sólo 2'5 cm de grosor. No obstante, durante el funcionamiento de la rueda se originaron algunas deformaciones por el estado plástico de la madera mojada, como el curvado de clavijas en las juntas de piezas o la ligera flexión de las tabicas que soportaban todo el peso del agua en el movimiento ascendente de los cangilones.

máquina. Esto se comprueba sobre las piezas secas: los discos y tapas de la rueda son elipses con ejes de 810 X 780 mm y los tres semidisks sueltos también (980 X 950 mm) debido a la diferente merma de la madera en las direcciones radial (3%) y axial (0,1%). Una contracción similar se produjo en las tablas de los cangilones, que al secarse generaron rendijas de 1-2 mm en el interior de los cangilones.

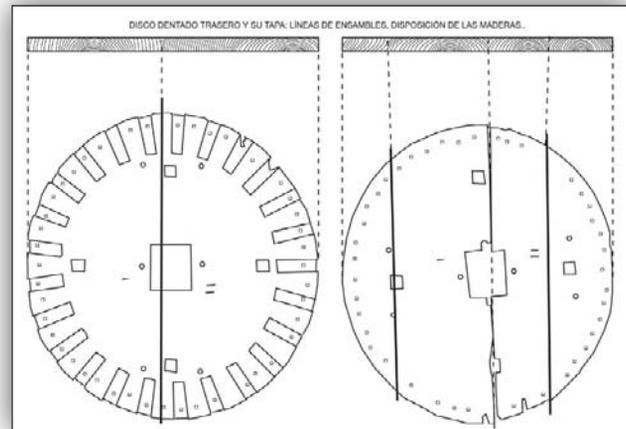
La *rota* restaurada tiene 25 radios mientras que las tres piezas de disco sueltas formaron parte de ruedas de 27 radios que suponemos de tamaño mayor. Lógicamente, difieren en los caracteres ligados a su tamaño, como el diámetro y grosor de los discos (81x4 y 98x5 cm), o la longitud de las mortajas de los radios (10 y 12 cm), que son todos menores en la *rota* restaurada. En el resto de la traza hay total concordancia: coincidencia en las posiciones y medidas de cajeados, en medidas de espigas y clavijas, e incluso en detalles mínimos como el pequeño bisel de 6 mm practicado en el canto de los discos. Podemos inferir, en definitiva, que todo este material fue trabajado siguiendo unas mismas reglas y medidas preestablecidas.

La estructura circular

– Las piezas de pino de mayor tamaño son los discos centrales (figura 35). Su despiece es radial y cada disco esta compuesto por dos piezas desiguales que obedece, sin duda, a un buen aprovechamiento de los diámetros de tronco disponibles.

– Las tapas de los discos permitían la inserción de los radios en el cubo central mediante 8 gruesas clavijas redondas de 13 mm y numerosas clavijas cuadradas de 7 mm en la periferia que aseguraban la sujeción de los radios al cubo. Las tapas se montaban sobre los discos haciendo que la fibra de ambas partes se cruzara perpendicularmente entre sí. Cada tapa consta de cuatro piezas subradiales unidas mediante dos travesaños paralelos (no se han conservado pero se aprecian los cuatro orificios circulares de 13 mm que tenían en sus extremos). Este sólido montaje se aplicó de manera idéntica a los tres semidisks sueltos del Museo de Huelva, tal como nos indican sus taladros.

– El estudio detallado de las piezas que componen la corona de cangilones atendiendo a su morfología y disposición en la rueda y a las fracturas y ensambles en bisel muestra la complejidad constructiva de dichas piezas. Todas las tablas están cortadas a sierra, pero de diferente modo según se trate de tablas de contorno o de tablas laterales. Las tablas de contorno tienen sólo 10 mm de grosor pues debían curvarse y su despiece es bastante descentrado o tangencial. Actualmente estas piezas están muy fracturadas, pero a



35. Disco DT y su tapa TT

la vista de las pocas uniones a bisel que muestran, las piezas debieron ser muy largas para cubrir varios cangilones, reduciendo así el número de juntas (figuras 36 y 37). Todavía se conservan piezas que cubren hasta cinco cangilones superando 2'5 m de longitud. Por el contrario, las tablas laterales se cortaron con mayor grosor (15 mm) al no tener que curvarse, si bien necesitaban piezas anchas debido a su contorno en curva. La *rota* original estaba integrada sólo por tablas laterales dobles –más una simple que completaría los 25 cangilones–, reduciéndose así el número de juntas a la mitad. Al mismo tiempo, estas piezas se disponían de manera alterna a ambos lados de la rueda para que no coincidieran las juntas en el mismo cangilón (MANZANO 2006: 108-112)¹².

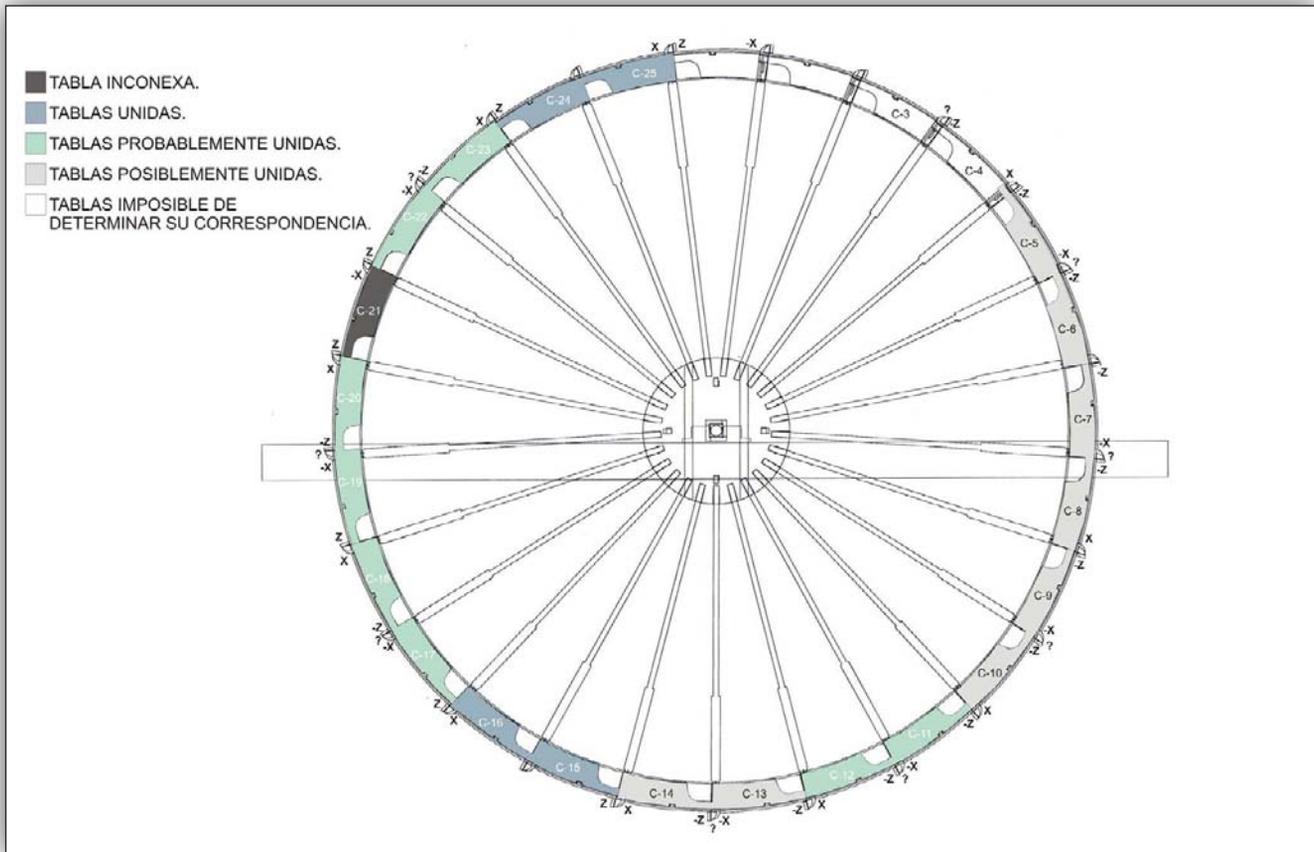
La estructura radial

En la *rota* esta estructura es enteramente de madera de abeto y está formada por los radios, tablas y traviesas. Los radios (figuras 25 y 26) tienen un corte radial perfecto y secuencias cortas de 10-30 anillos siempre alejadas del centro, lo que garantiza la ausencia de tensiones internas. Se seleccionó una madera desprovista de nudos y de fibra tan recta que los anillos prácticamente se mantienen paralelos a lo largo de

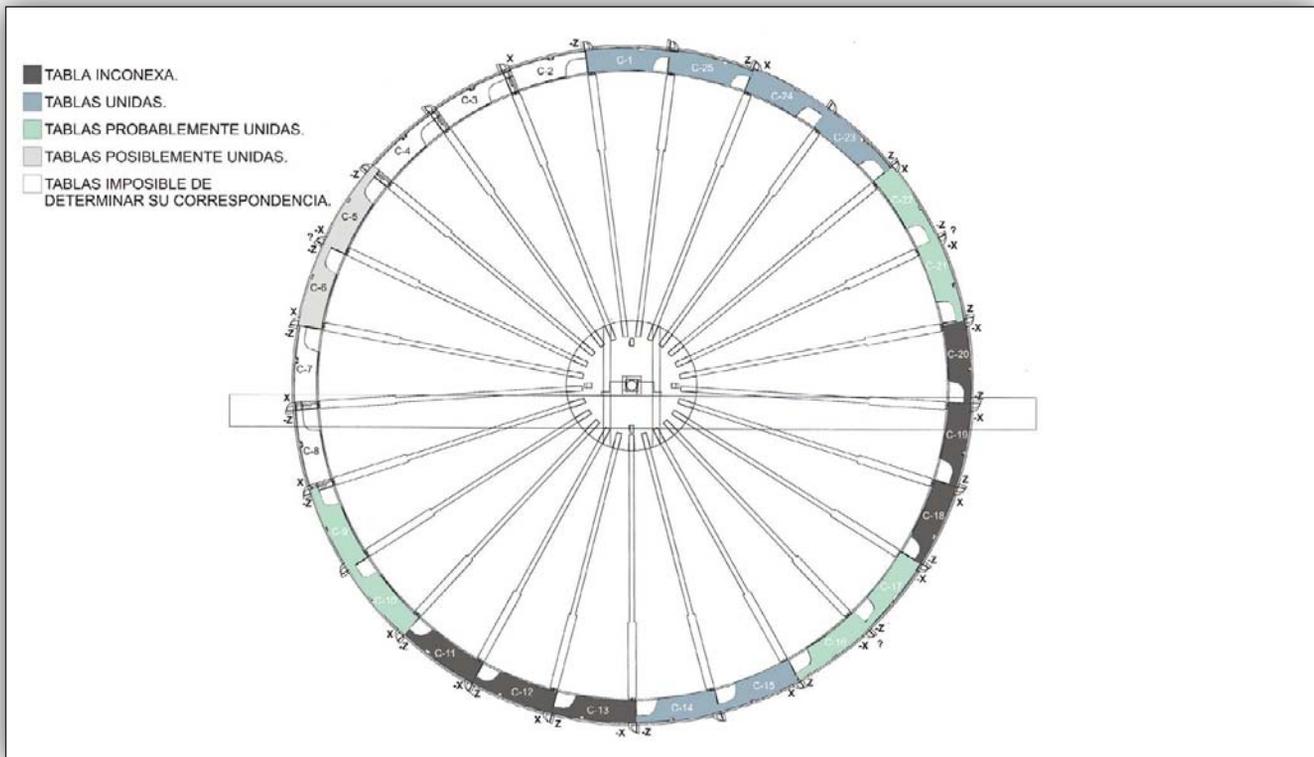
¹² Las tablas laterales de entrada y salida de agua llevan dos tipos de ensamble: la zona de la abertura presenta un corte en forma de bisel (ensamble tipo Z), y el extremo opuesto de la tabla, este mismo tipo de corte pero rebajado en la madera, de tal forma que el extremo de la tabla de entrada y salida de agua del cangilón siguiente encaje en su interior (ensamble tipo X). La secuencia de montaje de estas tablas, por tanto, sería: Z/X/Z/X. La pauta que marcaba el grupo de cangilones 1 a 23, extraídos del yacimiento sin desmontar no se mantuvo en el posterior montaje de los otros, dejando las mejores piezas para colocarlas en la cara vista, o "delantera" (consignamos la ausencia de este tipo de ensambles en las piezas como -Z o -X).

Las tablas de contorno interior y exterior (pieza C) tan sólo se encontraban unidas formando una sola pieza en unos pocos cangilones (14, 15 y 16). En el resto es muy difícil determinar si se encontraban unidos debido al mal estado de conservación general de estas piezas.

MACHINAE LAS RUEDAS DE ACHIQUE ROMANAS DE RIOTINTO



36. Estudio de correspondencia entre los cangilones de la cara delantera.



37. Estudio de correspondencia entre los cangilones de la cara trasera.

38. Clavijas pequeñas
(7x7x70 mm) y
grandes (13 mm Ø)



todo el radio (1'85 m). Las tabicas (figuras 27 y 28) tienen también despiece radial y alejado de la médula, que debió realizarse por hendido, a juzgar por la longitud de los radios visibles en sus caras laterales. Es característica su forma trapezoidal con una convergencia de 1° entre sus cantos laterales que están provistos de una lengüeta de doble ancho para su ensamble a los radios. Asimismo una de sus caras mayores se labró aquillada, mostrando las huellas de 3-3'5 cm de una pequeña azuela. Finalmente, la madera de zonas próximas a la médula fue reservada sistemáticamente para labrar las traviesas exteriores (figura 32), piezas de poca longitud en las que no importaba tanto la rectitud de fibra. En definitiva, la elección de cortes para cada tipo de pieza fue realizada con un criterio de aprovechamiento máximo de la madera de abeto disponible.

El enclavijado

Se ha indicado ya que el maclado de las piezas que integran las *rotae* se realizó con madera excluyendo los metales. Para inmovilizar las piezas ya ensambladas y para prevenir alteraciones provocadas por la presión y las deformaciones variables de la madera, el carpintero las enclavijaba de lado a lado, como en el caso de las piezas que componen la rueda. Diferenciamos entre clavos *senso strictu*, de sección cuadrada y forma apuntada, y clavijas cilíndricas de mayor tamaño (figura 38). En general, los primeros se hicieron de madera dura y densa (0'9-1'5 gr/cm), como roble y fresno, pero también se han encontrado algunas clavijas de haya en las piezas de los semidiscos 5491-1 y 138 (6584). Asimismo se utilizó madera de haya en clavijas o pernos que se encuentran tanto en el disco DD de la rota como en la pieza 5491-1. Numerosos clavos finos de 7x7x70 mm o menores, unían

las tablas de contorno, internas y externas, con las laterales, así como otros ensambles. Los clavos cuadrados algo mayores, hasta 10x10 mm, se usaron en toda la periferia de los discos para la unión a la tapa y la inserción de los radios. Las clavijas de 16 mm de diámetro servían para trabar las lengüetas de unión entre semidiscos, y los pernos de 13 mm de diámetro y longitud mayor fueron usados para reforzar las uniones entre discos, tapas y travesaños.

El eje

Es el único elemento metálico está realizado a molde y elaborado en bronce. Se trata de una pieza funcional sin concesiones a detalles de acabados, probablemente producto de una elaboración rutinaria (superficie irregular llena de huellas estriadas del molde y afectada por numerosos cráteres debidos a la falta de una colada fluida). Posiblemente fue reaprovechada ya que la pieza tiene una fractura antigua reparada.

MARCAS

No hay dudas de que la existencia de marcas en las ruedas elevadoras se debe a la necesidad de numerar las piezas -tras su fabricación y, posiblemente, ajuste de prueba- para proceder a su posterior instalación en el interior de la mina. Todo hace indicar que se trata de piezas prefabricadas para poder ser montadas en el interior de la mina, dadas las dimensiones de las ruedas y la angostura de las galerías y pozos.

Las ruedas del Riotinto presentan marcas de numerales como sucede en otros casos de ruedas descubiertas en el SO peninsular. El cuarto de rueda procedente de São Domingos tiene dos numerales contiguos marcados en el borde de la tapa (*I* y *II*) que se han interpretado como la señal para indicar el sentido en que debían colocarse los radios en las mortajas del disco (DOMERGUE, BINET, BORDES, 1999: 53) y algunos de los radios conservados llevan también numerales, además de las letras *QC* en el radio *XX*. En Tharsis, Stevenson refiere que algunas ruedas estaban marcadas con letras latinas: una de las ruedas de la batería encontrada presentaba las letras *TRSSE* y otra la cifra *XX* en un elemento de la rueda. En todos los ejemplares conocidos se observan las marcas de numerales y a veces el sentido de escritura se invierte y las cifras aparecen al revés (de ahora en adelante, *retro*).

- La rueda fragmentada de Riotinto del *British Museum* está totalmente marcada al presentar numeración romana en la tapa del cubo, los radios y las tabicas que componen los cangilones, por lo que es la

MACHINAE LAS RUEDAS DE ACHIQUE ROMANAS DE RIOTINTO



39. Detalle de los 25 radios con las marcas de numerales. Imagen: E. Fernández Ruiz. IAPH

que mejor puede dar una pista sobre el modo de numerar cada uno de los componentes de la rueda (WEISGERBER, 1979):

– Tres de las cuatro tablas que componen la tapa están signadas como *I, II y IIII*.

– De los radios expuestos se observan los números *II, III, IIV (VII retro, corregido), IIIIV (VIII retro), X y IIIX (XIII retro)*, mientras que algunos radios almacenados llevan marcado *IIII, V, IIIIV (VIII retro), IX (XI retro), VIXX (XXIV retro), IVXX (XXVI retro) y IIVXX (XXVII retro)*.

– Las tablas de fondo y de tapa también presentan algunas numeraciones: un *V* en una de fondo, otra lleva un *XIII*¹³ a un lado y un *V* a otro (WEISGERBER, 1979: 66, figura 9) mientras que en dos fragmentos de difícil identificación se observa un número que lleva *II* en su composición.

– En cambio, las tablas laterales aparecen todas numeradas sin excepción, frecuentemente con dos números, uno en cada extremo, de tal modo que hacía referencia a las tablas a colocar a su izquierda y derecha, como señala Weisgerber, quien con esto constata que no se numeraban las tablas sino los puntos de unión con los radios: *III+II, IIII+III, V, tres veces VI, VII, VIII, IX, IX+X, X, dos veces XI, dos veces XII y dos veces XIII*.

Weisgerber cree que debería existir por duplicado cada marca de ensamble pero, dado que no se conservan todas las piezas, es imposible comprobarlo ni tampoco se puede conocer el motivo por el que el número *VI* aparece tres veces.

• Por lo que respecta a la rueda del Museo de Huelva, lleva marcados los discos y sus respectivas tapas (a pesar de que éstas no son las originales) en las caras internas, es decir, las que van confrontadas (figuras 24):

– Uno de los discos (DT) lleva marcado en su cara interna el *I* y el *II* (en cada mitad del disco), correspondiéndose con la cara interna de la tapa, que también presenta ambos numerales.

– El otro disco (DD), al igual que la tapa correspondiente, presenta su cara interna con las dos mitades marcadas respectivamente con el *X* y el *XX*, a lo que se añade el detalle de llevar cuatro cifras correlativas junto a cuatro mortajas consecutivas para alojar los radios (*I, II, III, IV*) y otra marca de más difícil interpretación (puede que un *V* a mayor escala o una inicial). En el caso de este disco y su tapa las marcas se realizan con incisiones más pequeñas y profundas que las del otro disco y su tapa (más parecidas a las de los radios).

– Además, de las veinticinco parejas de radios que tiene, sólo una serie de 25 de ellos son los que van marcados con numerales romanos del *I* al *XXV*, incisos en la madera mediante instrumento afilado de corte y presión (posiblemente, formón). Se aprecia que los números están colocados en una sola cara de la rueda, siguiendo el orden correcto y en sentido contrario a las agujas del reloj (figura 39), es decir, a la inversa del sentido marcado por los numerales incisos en las cuatro mortajas del disco: *I, II, III, IIII, V, VI, VII, VIII, VIII, X, XI, XII, IIIX (XIII retro), XIV, VX (XV retro), IVX (XVI retro), IIVX (XVII retro), XIIIX, XIX, XX, XXI* (falta, por estar roto el radio), *XXII, XXIII, XIV y XXV*. De todas esas cifras, las correspondientes al *XV, XVI y XVII*, además de marcarse en sentido retro, se inscriben en posición contraria a como se hace en la mayoría de los números (desde el costado opuesto del radio).

Desconocemos el motivo de dichas “anomalías” y tampoco podemos interpretar con certeza el porqué de la numeración dispuesta en sentido retro (ha de tener una lógica dentro de las indicaciones de montaje pues existe en otras ruedas conocidas). Otro asunto a destacar es el de la correspondencia entre las marcas de los discos y tapas de la rueda del Museo de Huelva: si tenemos en cuenta que las tapas no son las originales, pero que presentan igual numeración, esto pudiera indicar que a la rueda se le han puesto las tapas de una rueda idéntica (posiblemente de una pareja) y que, en ese caso, las ruedas construidas por

13 Un *XIII* según la figura publicada en ese artículo.

pareja llevarían la misma numeración. En resumidas cuentas, se puede constatar que:

1. La actual ausencia de correlación numérica entre los distintos componentes de las ruedas puede ser achacable a un incorrecto montaje de las ruedas tras su hallazgo y extracción (incluso, en otras ruedas conocidas, las caras de algunas tabicas fueron colocadas con otra orientación).

2. Por lo hasta ahora conocido, sólo en la rueda del Museo Británico se han numerado las principales componentes de la rueda, incluidas cada una de las tabicas de los cangilones.

3. Parece que en los casos analizados la numeración de los radios sólo atañe a uno de cada par (no hay constancia de números repetidos en una misma rueda y sí hay radios sin marcar). Ello sería suficiente si se embalase conjuntamente cada pareja de radios (uno numerado y otro sin numerar) y luego se procediese a su montaje par a par (cada pack podría incluir también las tabicas de uno de los cangilones contiguos en caso de no llevar éstos numeración).

4. Las diferencias en el modo de realizar los números de una misma rueda pueden estar causadas por:

- Existencia de diferentes operarios y momentos distintos en el proceso de construcción de la rueda, con un reparto de tareas (poco probable).

- Recambios de elementos deteriorados durante la etapa de uso de la rueda (los radios, como piezas más frágiles, serían los más sustituidos). Hipótesis apuntada ya por Weisgerber que es posible en el caso de piezas sin numerar; no obstante, en el análisis de las maderas de nuestra rueda, se aprecia una gran unidad constructiva en los componentes y elementos principales y la pervivencia de piezas originales.

- Sustitución de las piezas más deterioradas en el remontaje de la rueda tras su hallazgo y extracción: pudieron aprovecharse otras iguales pertenecientes a ruedas idénticas (caso de hallazgos de ruedas por pareja y/o en batería). Esto es bastante verosímil, habida cuenta del estado en que se encontraron muchas de ellas a causa de los desplomes y del daño que pudieron sufrir durante el proceso de extracción. Puede

que ésta sea la explicación de la concordancia de las marcas de discos y tapas en la rueda de Huelva, pese a ser de ruedas diferentes. Algunos ensambles y reparaciones de la rueda conservada de São Domingos (incluso con maderas retalladas) sugieren esta idea.

DENDROCRONOLOGÍA DE LA ACTIVIDAD CONSTRUCTIVA

Aplicaremos la dendrocronología para completar el análisis constructivo realizado en los apartados anteriores. Mediante esta metodología se pretende probar la unidad constructiva de la *rota* y realizar un examen de autenticidad de piezas, como análisis previos necesarios para acometer la datación empírica del material (RODRÍGUEZ 2006). Otro resultado de interés metodológico es la elaboración de series dendrocronológicas que servirán como referencias futuras y cuya datación aproximada es aportada por las dataciones carbono-14 que se han sido realizadas en este estudio.

Discos centrales

Las piezas de mayor tamaño componen el cubo de la *rota* y los tres semidiscos que se conservan en el Museo de Huelva. Se trata de un buen material homogéneo desde el punto de vista dendrocronológico, que contiene largas secuencias de anillos de pino pinaster, si bien la forma circular de las piezas ha obligado a combinar la medición transversal (cantos) y radial (caras).

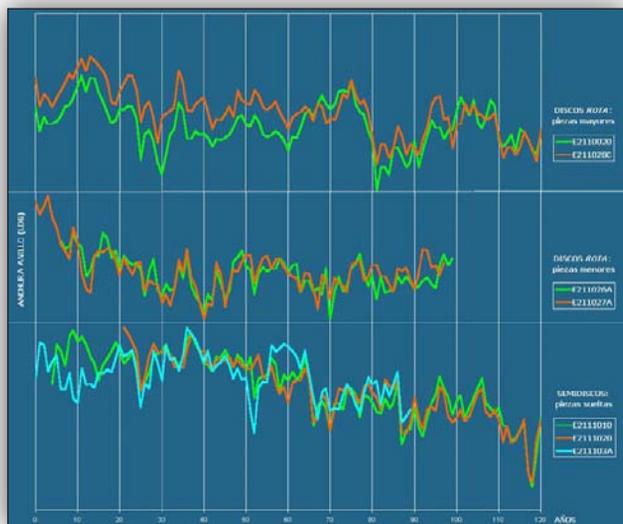
El disco DD de la *rota* se compone de dos piezas de tamaño desigual muy fisuradas y con bastantes anomalías de crecimiento. Se obtuvieron las series E2110020 (280 años) y E211026A (98 años). El disco DT se compone también de dos piezas desiguales, la mayor E211028C (180 anillos) y la menor E211027A (60 anillos). El resultado de la interdatación de las cuatro piezas se presenta en la tabla I.

En síntesis, se obtienen una sincronización entre piezas mayores y menores de cada disco, pero las dos

TABLA I: SINCRONIZACIÓN DE SERIES DE DISCOS DE RUEDAS

SERIES	POSICIÓN	INTERVALO	TEST t	TEST W	COEFICIENTE CONFIANZA
E2110020 / E211028C	272 / 237	237	15,64	78,2	>99,9
E211026A / E211027A	92 / 98	92	7,10	70,3	>99,9
E2111010 / E2111020	137 / 120	120	14,02	75,2	>99,9
E2111010 / E211103A	86 / 80	86	6,44	71,2	>99,9
E211102A / E211103A	69 / 80	69	6,16	64,7	>99,9

MACHINAE LAS RUEDAS DE ACHIQUE ROMANAS DE RIOTINTO



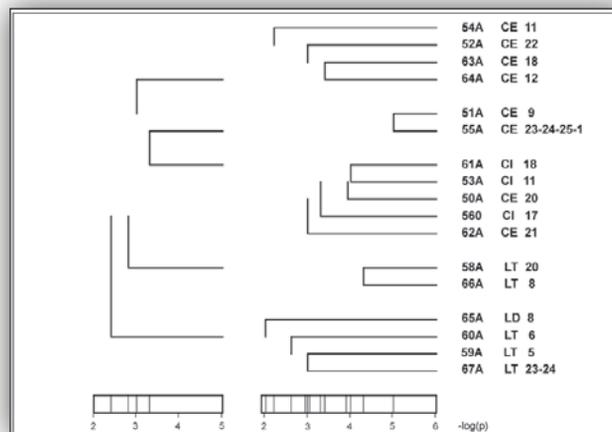
40. Series dendrocronológicas de varias piezas de disco de la Rota y de los semidisks.

parejas resultantes no sincronizan entre sí. La pieza 20 (disco DD) y la pieza 28C (disco DT) proceden del mismo árbol y ésta última tendría posición más alta en el tronco. Componen una media (7S) de 299 años, pero el árbol superaría claramente esta edad. La pareja de piezas menores 26A (disco DD) y 27A (disco DT) son también de un mismo árbol -distinto al anterior- y la pieza 26A estaría en la posición superior del tronco.

Por otro lado, las piezas sueltas del Museo de Huelva contienen 3 series: E2111010 (pieza 138), E2111020 (pieza 5491A) y E211103A (pieza 54911) con 130, 121 y 90 años, respectivamente. La interdatación entre las mismas (tabla I) indica que las piezas 138 y 5491A fueron extraídas del mismo árbol - la 5491A en posición más alta del tronco-, mientras que la pieza 54911 (03A) procede de otro árbol próximo, siendo ambos de edad parecida, dado que sus médulas difieren en solo en 4 años. Podemos inferir, por tanto, que los 3 semidisks del Museo de Huelva proceden de la misma masa forestal. Por último, la falta de sincronización entre estas piezas sueltas y el disco de la rota impide establecer su relación cronológica. En la figura (figura 40) se muestra un intervalo de todo este conjunto de piezas.

Tablas de cierre de los cangilones

Tal como se ha descrito, en el anillo de cangilones se diferencian dos tipos de tablas de forma diferente (de contorno y laterales), pero de la misma madera, pino silvestre/laricio, por lo que es oportuno su estudio conjunto. En total se estudiaron 19 piezas per-



41. Grafo de acreción.

tenecientes a 16 cangilones, llegándose a interdatar fiablemente 17 de las 19 series comparadas. De la lectura del correspondiente *grafo de acreción* (figura 41) deducimos que entre las tablas de contorno se establecen fuertes relaciones. Así, la tabla externa 55A, que cierra 5 cangilones (22-25 y 1), se continuaba con la pieza 51A (tabla externa del cangilón 9) formando una tabla única de 3,2 m, que posteriormente se cortó colocando la pieza menor en otro cangilón. Lo mismo se interpreta con otras tablas sueltas como las externas 63A y 64A (cangilones 18 y 12), o el grupo de tablas internas 53A, 560 y 61A (cangilones 11, 17 y 18, respectivamente). Se detecta incluso la procedencia del mismo árbol de varias tablas externas e internas, de modo que todas las tablas de contorno estudiadas fueron extraídas de un mismo árbol, o a lo sumo de dos árboles próximos entre sí.

Por el contrario, las tablas laterales se disponen en el *grafo* a mayor distancia del grupo anterior, lo que indica una procedencia distinta. No se observan similitudes altas en este grupo de tablas y se comprueba que sólo 58A y 66A (cangilones 20 y 8) fueron extraídas del mismo árbol. Esta heterogeneidad puede explicarse por su forma curvada, que hace difícil obtener varias piezas de un mismo tronco. En resumen, a partir de las tablas de contorno se ha podido elaborar una única cronología de 11 series y 116 años, mientras que las tablas laterales sólo han podido agruparse en 3 pares de series independientes.

Tablas radiales de los cangilones

Se han estudiado las 23 tablas de la *rota* conservadas. Son piezas de abeto (*Abies sp.*) con despiece radial perfecto y crecimiento uniforme (entre 70 y 100 anillos), lo que ha facilitado su medición. El ensayo

de sincronización ha dado valores altamente significativos ($t > 9$ y coeficiente de coincidencia $> 80\%$, sobre intervalos ≈ 70 anillos), que han permitido el agrupamiento de tabicas en 3 conjuntos: 3S (6, 8, 10, 13, 14, 24, 25), 4S (4, 5, 12, 16, 18, 19, 23) y 5S (7, 9, 15, 17, 20, 22). Han quedado aisladas únicamente las tabicas 1, 11 y 21.

Por el contrario, la interdatación entre los grupos no ha sido positiva. Es posible que esto sea debido a que procedan de tramos disjuntos del radio, lo que impide que se solapen y sincronicen entre sí. Cada grupo de tabicas componen una larga tabla de más de 1,4 m con 6-7 piezas cada una. La falta de concordancia entre los grupos de tabicas y su disposición en la rueda, indica que las tablas fueron cortadas, se mezclaron las piezas, y acto seguido se montaron en la rueda. Podemos concluir, por tanto, que la originalidad de la rota puede considerarse total. La única sustitución de piezas digna de mención se produce al reemplazar las dos tapas de sus discos por otras iguales tomadas de otra rueda, tal vez la que haría pareja con la recuperada.

A la vista de lo expuesto, el estudio dendrocronológico muestra “en detalle” la unidad constructiva de la rota: las piezas de los discos proceden del mismo árbol, las tablas de los cangilones se cortaron de un escaso número de troncos; la totalidad de tabicas de cangilones se obtuvieron de sólo tres largos tablones. Así mismo, es posible que los tres semidiscos aislados del Museo de Huelva formaron parte de tres ruedas distintas, pero es probable que pertenezcan a los dos discos de la misma rueda o a ruedas gemelas. En cualquier caso, se ha probado que todo este material es coetáneo y fue aprovechado en la misma masa forestal.

FUNCIONAMIENTO Y TRACCIÓN

En las ruedas elevadoras la fuerza motriz se transmitía de forma directa, accionando directamente la rueda o haciendo girar otro artilugio inserto en un eje común, o bien mediante un engranaje (mecanismo formado por dos ruedas dentadas que rotan en dos ejes distintos). Las evidencias arqueológicas atestiguan que se empleaba mayoritariamente la tracción humana y que la fuerza era transmitida de forma directa. Las ruedas, movidas por el hombre, debían estar en continuo funcionamiento achicando el agua del nivel freático ya que, si dejaran de trabajar, ésta podía inundar en poco tiempo las galerías.

Gracias a los hallazgos de baterías de ruedas en Riotinto, en el Filón Norte de Tharsis y en las minas

de São Domingo), conocemos su sistema de colocación por parejas a distintos niveles y en sentido escalonado, de tal modo que el agua elevada por el par situado en el piso más inferior era vertida en el colector del siguiente para ser extraída a su vez por otra pareja, y así sucesivamente hasta desaguar en la superficie o en una galería de desagüe (figura 14). Posiblemente preferían disponer de parejas para que, en caso de reparación de alguna pieza, no dejara de achicarse el agua aunque también había ruedas aisladas, algo menos frecuente.

Según Palmer, cuando se trataba de una pareja, las ruedas giraban en sentido inverso con la intención de obtener un flujo ininterrumpido, de tal modo que vertiesen el agua en el canal con la misma dirección (PALMER, 1926/27: 302). Ilustra esta afirmación con la representación de la pareja de ruedas halladas en Riotinto (planta de nuestra figura 15), donde también podemos ver la colocación de la canaleta que recoge el agua vertida por los cangilones para conducirla a la planta superior. En este mismo gráfico puede verse en el fondo de la canaleta (en un ángulo de la misma) una especie de registro con tapón. También se observa con claridad el soporte estático de cada rueda, consistente en un par de vigas dispuestas paralelas a la rueda (una a cada lado), donde apoyan los dos cojinetes que sustentan el eje. A su vez, ambas parejas apoyan en dos maderos encastrados en la pared.

En ese dibujo de Palmer aparece a la derecha de la rueda y apoyado en la pared un tronco con una serie de muescas talladas a modo de peldaños. Su ubicación en ese punto concreto ha de estar relacionada con el acceso a la posición del hombre u hombres que accionaran la rueda, ya que en la foto de la reconstrucción de una noria (figura 11) puede verse, mal que bien, una pieza similar en idéntica posición. Otro plano y un alzado, esta vez de las dos parejas superiores del conjunto descubierto en Tharsis ilustran con la misma claridad el modo de colocación (figura 4) y dibujan las canaletas de desagüe. Tan sólo difiere del anterior en que son las vigas donde se apoya el eje las que, directamente, van encastradas en la pared de la cavidad donde se alojan las ruedas, y en que se representa sobre cada rueda lo que parecen unas vigas paralelas a ellas de donde penden unas sogas. Los extremos de estas vigas más cercanos a la galería por donde desaguan van empotrados en la pared, mientras que los contrarios apoyan en otra viga perpendicular a las ruedas. La funcionalidad de estas vigas se ha interpretado (STEVENSON, 1875: 3) como el punto de apoyo de los operarios que accionaban la rueda con los pies.

MACHINAE LAS RUEDAS DE ACHIQUE ROMANAS DE RIOTINTO

Lo que acabamos de mencionar trae a colación la discusión sobre el sistema de tracción de este tipo de ruedas. Los diversos estudios sobre el modo de accionar las ruedas hidráulicas coinciden en que la fuerza motriz era humana pero no llegan a una conclusión clara respecto de la disposición del individuo y a la forma de asir la rueda para ponerla en movimiento ¿Dónde y cómo se aplicaba esa fuerza?

– Como no hay espacio posible, dada la configuración de este tipo de ruedas, se descarta que fuese movida con hombres caminando en su interior, como es el caso de las robustas ruedas de los polipastos.

– Se ha supuesto que las ruedas eran movidas por hombres que, subidos sobre ellas, accionaban con los pies “escalando” sobre los listones dispuestos al exterior de la corona, y se ayudaban también tirando con las manos en sentido descendente. Es un sistema constatado en otros lugares y es la hipótesis que más adeptos tiene. De hecho, se ejerce la máxima potencia utilizando todo el peso del cuerpo y el trabajador pudo estar colocado algo por debajo del punto más alto y apoyar los brazos en maderos exteriores inclinados unos 45° (DOMERGUE et al., 1999: 57). Esta teoría se fundamenta en la existencia en el contorno exterior de la corona de unos listones de madera que, además de ajustar los cangilones, pudieron servir como punto de apoyo para ejercer la fuerza. Lo gastado de las piezas podría corroborar esta suposición aunque hay una serie de datos en su contra, como lo dificultoso del agarre debido a la poca profundidad de los listones, que impide colocar el pie de frente.

– Para nosotros este modo de tracción tiene puntos controvertidos si tenemos en cuenta, además de las características y formato de los listones que los hacen poco aptos como asideros o apoyos, la estrechez de la corona y la ligereza de los radios. Al ser poco sobresalientes sería difícil asir los listones con las manos y aún más complicado colocar el pie de frente (los pies del operario resbalarían a menudo, aunque contase con una viga para apoyarse con las manos¹⁴). Esta dificultad ya la señaló F. Bodenham cuando se descubrió la serie de catorce ruedas en el Filón Sur. Según Palmer, el ingeniero pensaba que la forma de los listones hace imposible girar la rueda con el método que tradicionalmente se ha supuesto (PALMER, 1926/27: 301-302) y señaló que los espacios en que

las ruedas se montaban eran siempre más amplios en el lado donde el agua se extraía, con lo que suponía que los trabajadores se situaban en ese lado y que su trabajo consistía más en levantar que en tirar. Si esto fuera así, dice, deberían haber utilizado cualquier tipo de palanca, pero no se localizó ningún tipo de mecanismo similar. Palmer hace un interesante cálculo de la fuerza total necesaria y de la velocidad con que se moverían estos artilugios y concluye estimando *que un hombre trabajando asiduamente puede ejercer una fuerza igual a su propio peso, es decir, de 140 libras en una media de 30 pies por minuto: 4.200 pies por libra por minuto durante unas ocho horas de jornada. Un hombre tirando de una cuerda verticalmente hacia abajo puede ejercer una fuerza continua de 60 libras, a la que habría que añadir momentáneamente su propio peso, por lo que se deduce que la rueda debería haber sido puesta en funcionamiento de esta forma* (PALMER, 1926/27: 304).

– Pošepný planteó que las ruedas elevadoras pudieron ser movidas ayudándose de cuerdas (POŠEPNÝ, 1877) y Forbes interpreta como utillaje para maniobrar la rueda los restos de cordelería que colgaban de una de las ruedas encontradas en una de las explotaciones al Norte (FORBES, 1966: 221). En este sentido, tenemos testimonios de la existencia de cuerdas y sogas asociadas a algunas ruedas pero son de difícil interpretación, como el referido a la rueda hallada en Tharsis o la mención de Luzón respecto a un hallazgo de 1928 en Riotinto que consistía en una noria completa en la que se había colocado la cuerda doble que describe Vitruvio, con travesaños horizontales de madera para la sujeción de las cubas (LUZÓN, p.112, figura 10).

Otros autores (DOMERGUE et al., 1999: 100, n. 41) reinterpretan la idea de tirar de una cuerda, suponiendo que podían ir enganchadas en las extremidades de los radios para ser utilizadas por los obreros para volver a poner la rueda en funcionamiento. Lo ejemplifican con un relieve de la Tumba de los *Haterii* donde puede verse a dos obreros situados a una y otra parte de una rueda (de las utilizadas en la construcción para subir pesos) para volverla a poner en movimiento después de una parada.

De todas las posibilidades barajadas, nos resulta más viable la de ejercer la tracción sobre los radios, tal como apoya Weisgerber, quien rechaza rotundamente la idea de que fuesen accionadas con los pies (WEISGERBER, 1979: 76) y piensa que las ruedas eran movidas manualmente tirando de los radios hacia abajo, como presenta en la figura 19 de su publicación.

Muchas de estas hipótesis solo podrán ser contrastadas construyendo un modelo a escala real. Respecto al funcionamiento mecánico y el rendimiento de este

¹⁴ La posibilidad de que la forma redondeada de los listones tuviera el objeto de no dañar los pies del trabajador (DOMERGUE et al., 1999: 57) la hemos descartado, puesto que la cara redondeada va colocada en el sentido de giro de la rueda y, por tanto, en el lado opuesto (para ofrecer una menor resistencia al agua). El desgaste que algunos han observado en los listones es similar al observado en el resto de la rueda y es explicable por los procesos de abrasión del agua de la mina, cargada de partículas minerales.

modelo de ruedas en un ensayo publicado sobre la rueda de Tharsis (DOMERGUE et al. 1999: 58; DOMERGUE, BORDES, 2004: 100 y ss.) se concluye que, a juzgar por los hallazgos conocidos en el SO peninsular, este modelo de rueda fue concebido para, en las adversas condiciones de una mina (espacio reducido, falta de luz, humedad, trabajo mecánico y rutinario), lograr la relación óptima entre fuerza motriz aplicada y rendimiento obtenido. También se constatan que es bastante adecuada la relación entre la fuerza disponible (un operario) y el peso del agua a elevar, y que el diámetro de los tres ejemplares estudiados (4'60 m) es el óptimo, teniendo en cuenta también la altura del vertido del agua. Los investigadores concluyen que el rendimiento de la rueda depende, básicamente, del diámetro de la misma y que, en torno a un formato dado, este rendimiento (medido en el volumen de agua evacuada) sólo presenta ligeras variaciones: a mayor diámetro, la rueda da menos giros por minuto pero aumenta el número o la capacidad de los cangilones y, a menor diámetro, la rueda da un mayor número de giros por minuto aunque disminuye el número o volumen de los cangilones.

DATACIÓN DEL MATERIAL

La elección de los puntos de muestreo para la datación carbono-14 se ha basado en el agrupamiento de piezas obtenido del estudio dendrocronológico precedente. En la rota se han diferenciado tres *unidades lignicas*, es decir, tres grupos de piezas con un mismo origen espacio/temporal, que corresponden a las estructuras siguientes: discos centrales, tablas y tabicas de los cangilones. Por otro lado, las tres piezas sueltas estudiadas forman una sola *unidad lignica* porque fueron extraídas de de dos árboles próximos. En consecuencia, se ha optado por datar en la rueda restaurada las cronologías de dos especies distintas, abeto y pino pinaster, y la única cronología del material suelto del Museo de Huelva.

Con objeto de que las muestras fuesen mínimas, se optó por mediciones AMS (*acceleration mass spectrometry*) realizadas en q la Universidad de Uppsala (Suecia). Se ha utilizado la técnica de calibración conocida como *wiggle matching* o de secuencias definidas, que se adapta a las secuencias de anillos de la madera y permite muestrear piezas diferentes previamente interdatadas por dendrocronología. De este modo, hemos podido rastrear a lo largo de cada secuencia de anillos las posiciones más favorables para la calibración de los resultados. Se han desarrollado distintos procedimientos de *wiggles matching* (Bronk Ramsey et al, 2001) de los que hemos seleccionado dos métodos complementarios: el método I de Monte Carlo Wiggle Matching, que aplica el programa *GaussWM* (WENINGER, 1997), y el método II de estimación bayesiana, aplicado por el programa *Oxcal3.9* (BRONK RAMSEY, 1998). En la tabla II se incluye los resultados calibrados, que podemos resumir afirmando que los dos métodos proporcionan resultados convergentes en todos los casos, si bien con precisión desigual, de modo que los intervalos más pequeños se obtienen en piezas diferentes. (Tabla 2)

El paso de los resultados carbono-14 a edades arqueológicas requiere referirse de nuevo a las *unidades lignicas* indicadas anteriormente. Ante la falta de caracteres anatómicos (bordes de gema o duramen) que indiquen el número de anillos perdidos en las distintas secuencias de anillos, la datación estará referida al último anillo conservado de cada secuencia y será, por tanto, una datación tipo *post quem*. No obstante, observamos que las piezas de los discos fueron cortadas con dos radios desiguales, siguiendo el criterio de máximo aprovechamiento del tronco. Por consiguiente, cabe esperar que se hayan perdido pocos anillos, especialmente en el caso del árbol del que se extrajeron las piezas A del disco DD y C del DT. Así mismo, la madera se labró en estado de máxima humedad, lo que hace lógico utilizar madera verde, sin fendas y más fácil de trabajar. Por tanto, debemos considerar como probable que la madera no fuera reutilizada y, en consecuencia, que la datación de la

TABLA II: CALIBRACIÓN DE SECUENCIAS

SECUENCIA	Método I: GaussWM (años cal)	Método II: Oxcal (años cal)	AÑOS A SUMAR	EDAD PIEZA Post quem
Cangilón 22 <i>rota</i>	88 AD – 183 AD (99%)	76 AD – 186 AD (95,2%)	23	111 AD – 206 AD (<i>método I</i>)
Pieza 138 (6584)	76 AD – 131 AD (99%)	30 AD – 100 AD (2,0%) 50 AD – 160 AD (90%) 170 AD – 200 AD (3,4)	38	114 AD – 169 AD (<i>método I</i>)
Discos <i>rota</i>	8 AD – 87 AD (99%)	9 BC – 121 AD (95,4%)	58	66 AD – 145 AD (<i>método I</i>)

MACHINAE LAS RUEDAS DE ACHIQUE ROMANAS DE RIOTINTO

tala de árboles y de construcción de la rueda es de *facto* la misma.

En conclusión, adoptamos los resultados carbono-14 más precisos como datación más verosímil de los artefactos lúneos estudiados: sobre el cangilón 22 de la rota por método II (OxCal): **100 - 210 cal AD post quem**; y sobre la pieza 138 por el método I (GaussWM): **114 - 169 cal AD post quem**, con solo 55 años de amplitud y estimación puntual en el año **137 cal AD post quem**.

SIMILITUD Y DIFERENCIAS CONSTRUCTIVAS ENTRE RUEDAS

Es evidente que las distintas ruedas conservadas presentan una elevada similitud constructiva tanto en su configuración general como en los más mínimos detalles. Todas representan lo que Oleson ha dado en llamar el "tipo hispánico" de rueda frente al más pesado y compacto "tipo dacio" (OLESON, 1984) pues se constatan diferencias tipológicas netas con los ingenios de desagüe hallados en otras minas de oro o plata de época romana en Rumanía y Gran Bretaña¹⁵. El caso es que todos los restos analizados procedentes de minas del Sudoeste, aparte de pequeñas variaciones en detalles constructivos, parecen pertenecer a un modelo avanzado y bastante extendido y consolidado (donde el módulo oscila entre 4'60/4'65 y 3'60 m de diámetro y un número de radios y cangilones comprendido entre 30 y 22). A partir de esta unidad en trazas y labores, debemos evaluar las diferencias entre los ejemplares conservados que puedan tener un significado cronológico.

En primer lugar, se observa un conjunto de variaciones métricas que son inherentes a las propias reglas de trazado. Así, el diámetro total de las ruedas oscila en torno a los 4'60 m y su número de radios es 27, a excepción de la rueda del Museo de Huelva que tiene 4'30 m y 25 radios. El cubo central de esta última es también algo menor (diámetro/espesor: 80/4 cm, frente a 90-100/3'8-5 cm del resto) y sus mortajas son más cortas (10 cm, frente a 10-12 cm del resto), pero no se observan otras diferencias significativas. En to-

das las ruedas los cangilones tienen un largo medio de 49-50 cm, si bien resultan ligeramente más anchos y altos en Riotinto que en Tharsis y São Domingos.

En segundo lugar, hay una serie de detalles o soluciones que se aparta en cierta medida de las reglas de trazado general, que puede tener alguna significación. La construcción del cubo central es básicamente la misma en todas las ruedas. Sin embargo, los discos centrales de los ejemplares del Museo de Huelva están compuestos de sólo dos piezas, mientras que en el resto son tres. Otra diferencia clara es el número de travesaños por tapa que son dos paralelos en todos los casos excepto en las ruedas de São Domingos, que tienen cuatro travesaños cruzados entre sí, tal como se observa en los dibujos antiguos (DOMERGUE et al., 1999). Otro detalle constructivo de interés se observa en las inserciones de los radios en las mortajas de los discos, que en las ruedas del *British Museum* y en la de São Domingos se estrechan hacia el interior del disco y se biselan con objeto de que los radios adopten su convergencia. Por el contrario, en la rota del Museo de Huelva las mortajas son casi rectas y en los semidiscos algunas tienen ligera forma de cola de milano.

Los radios presentan un ensanchamiento en su mitad exterior en todos los ejemplares, salvo en la rueda de São Domingos en la que los radios sólo tienen una escotadura en uno de sus lados. El tallado aquillado en una de las caras internas de las tabicas sólo se observa en las ruedas procedentes de Riotinto, si bien en la expuesta en el *British Museum* han sido montadas erróneamente al revés (WEISGERBER, 1979).

Las juntas de unión entre las tablas de contorno de los cangilones presentan algunas diferencias entre las distintas *rotas*. En términos generales, la unión de dos tablas contiguas es a bisel, pero se observan algunas variantes, como en la rueda de Riotinto del *British Museum* que tiene las tablas laterales unidas a media madera, o la mayor variedad de ensambles en la rueda de São Domingo, con algunas tablas unidas a espiga y horquilla. Finalmente, se observan otras diferencias menos significativas como el número de clavijas en radios y tablas de cangilones.

Debemos partir de un desconocimiento del contexto de los restos de ruedas de Riotinto, más allá de las hipótesis realizadas sobre su procedencia de uno u otro filón. Al no haber seguridad sobre la ubicación precisa de cada ejemplar es aventurado sostener que la rueda y las piezas sueltas del Museo de Huelva formaron parte de una misma cadena de desagüe y deducir de ello su contemporaneidad; como tampoco podemos suponer que se encontraban juntas las

¹⁵ Parece que los primeros restos de ruedas hallados en las minas de Rosia Montana y Ruda Barza (Rumanía) tienen un diseño diferente: cubo compacto y radios únicos, no pareados (WEISGERBER, 1979). En 1855 en las minas romanas de Alburnus Maior (Rosia Montana) se recuperaron los fragmentos de un eje y dos radios de una rueda, hallándose un nuevo eje unos años después, en Rudas-Barza se descubrieron en 1862 25 pares de ruedas de las que se conservan dos ejes. En 2004-2005 se excavaron restos de unas ruedas de drenaje en Rosia Montana que están siendo investigados (CAUET, 2005). Muy similar a las ruedas dacias es la rueda conocida en Gran Bretaña por los restos de dos cangilones recuperados en 1935 en la mina de oro de Ogofau (Dolaucothi, Gales) (BOON Y WILLIAMS, 1966).

piezas sueltas y el ejemplar del *British Museum*. Sin embargo, la hipótesis de contemporaneidad entre piezas sueltas y rota es plausible sobre la base de la alta similitud tipológica que se produce en el uso de las mismas maderas, en el trazado general y en la ejecución de numerosos detalles.

Al comparar las distintas *rotae*, se produce siempre un balance ambiguo entre caracteres convergentes y divergentes, tal como hemos expuesto en anterior apartado. Según Domergue y Bordes (2004), hay que diferenciar sólo dos tamaños de ruedas: uno grande de 4'60 m, que era el habitual, y otro más pequeño de 3'60 m, necesario para adaptarse a ciertos desniveles, tal como se ha documentado en São Domingos. La mayoría de los ejemplares conservados tiene aproximadamente este diámetro y una longitud media de cangilón de 49-50 cm. La interpretación más lógica es considerar que son variaciones inherentes a las reglas de trazado que no parece estar prefijado el número de radios que, en consecuencia, oscilará dependiendo de las medidas anteriores.

A partir de esta interpretación podemos deducir que las variaciones en tamaño y número de radios no guardan relación con los distintos emplazamientos de los hallazgos y que obedecen a simples variantes debidas al operario o al taller o a las necesidades del sitio donde se instalaron. Por tanto, no encontramos base suficiente para postular una evolución cronotipología, y la falta de dataciones empíricas de todos los ejemplares nos impide avanzar más en la cronología conjunta de las *rotae*. Sólo a partir de estos resultados se podría confirmar la coetaneidad de las ruedas o la existencia de desfases cronológicos pese a la aparente homogeneidad del diseño.

Finalmente, la presencia de especies alóctonas en el material de Riotinto plantea la cuestión del posible emplazamiento de los talleres de construcción. La gran similitud tipológica de las ruedas nos indicaría que fueron construidas en uno o varios talleres próximos entre sí. Sería interesante conocer, por tanto, todas las especies de madera que se han utilizado en las ruedas para así completar el balance general entre especies autóctonas y alóctonas. A la espera de completar esta información, podemos considerar que hasta el momento las especies identificadas en las otras ruedas tienen, o han tenido hace 2000 años, una presencia natural en zonas próximas a la cuenca minera, lo que pone en duda la necesidad de importar ciertas maderas por razones de escasez o calidad constructiva. Asimismo, si las dataciones empíricas de todos los fragmentos conservados indicasen un mismo momento constructivo, se reforzaría la hipótesis de importación de ruedas desmontadas.

A falta del cotejo de los resultados que puedan ofrecer futuros análisis de otras piezas, sabiendo que en varios casos se emplearon maderas alóctonas, hoy por hoy es difícil conocer si hubo o no más talleres encargados de su fabricación, como ya cuestionaba Forbes (FORBES, 1966), si el modelo se difundió a partir de planos y/o plantillas y si las variantes conocidas se deben a peculiaridades de cada taller o artesano o si están condicionadas por una evolución en el tiempo.

CONCLUSIONES

1) El hecho de que las dimensiones y nº de radios y cangilones de las ruedas conservadas no coincidan con las representaciones gráficas disponibles induce a pensar que son representaciones de ruedas distintas a aquellas cuyos restos se han conservado o bien que, en ciertos caso, los dibujos realizados a escala pueden ser restituciones gráficas con interpretaciones erróneas de la colocación de algunos elementos a partir de las piezas de algunas ruedas que se hallaron fracturadas y que nunca llegaron a montarse tras su descubrimiento.

2) Se ha evaluado el proceso constructivo del despiece, labra y armado de los elementos integrantes de la rota del Museo de Huelva y se ha verificado que siguieron una reglas perfectamente establecidas que coinciden con las aplicadas en las otras ruedas conservadas: la de Riotinto del *British Museum* de Londres, la de Tharsis del Museo del Transporte de Glasgow y la de S. Domingos del *Musée des Arts et Métiers* de París. No se han encontrado diferencias tipológicas que pudieran significar desfases cronológicos entre las mismas. Sólo a partir de una datación empírica de todas las ruedas se podrá determinar si fueron construidas en un corto periodo de tiempo o si, por el contrario, pertenecen a momentos diferenciados pero manteniendo el mismo diseño.

3) El estudio detallado de la rueda del Museo de Huelva viene a ratificar la idea expuesta por otros autores de la existencia de un "tipo hispánico" de rueda elevadora (OLESON, 1984; DOMERGUE et al., 1999). Se trata de un mismo modelo de rueda elevadora para todo el Sudoeste de la Península Ibérica en cuanto a características formales y técnica constructiva, como se ha dicho, pero este modelo no sólo se presenta en dos formatos: el grande, con 27 cangilones para 4'60 m de diámetro, y el pequeño, con 22 cangilones y 3'60 m de diámetro (*Ibidem*: 59). Parece haber existido además, al menos un formato

MACHINAE LAS RUEDAS DE ACHIQUE ROMANAS DE RIOTINTO

intermedio, como es el caso de nuestra rueda, con 25 cangilones y 4'20 m de diámetro (por no citar las referencias a ruedas de 30 y 24 cangilones). A nuestro modo de ver, esta realidad no contradice las conclusiones expuestas por Domergue y Bordes tras su estudio sobre el funcionamiento y rendimiento de estas ruedas elevadoras (DOMERGUE, BORDES, 2004: 100-102) ya que este rendimiento sería idéntico o similar, siempre que se respetasen sus proporciones (relación entre el diámetro de la rueda y el número y/o capacidad de los cangilones). La dimensión de estas ruedas, dentro de unos márgenes determinados, pudo estar condicionada por la cavidad excavada donde se fuese a alojar.

4) La hipótesis de construcción del conjunto de *rotae* en un único taller o en varios no ha podido ser dilucidada sobre la base de las similitudes y diferencias constructivas de las ruedas. La hipótesis de que dicho(s) taller(es) estuviese(n) situado(s) fuera de la Península Ibérica tiene su fundamento en el uso de varias especies de madera alóctonas identificadas en el material de Riotinto analizado. En efecto, en la rota del Museo de Huelva se diferencian dos subestructuras, circular y radial, construidas con tres maderas distintas en función de la sollicitud mecánica de cada pieza. Así, en la estructura circular se usó pino pinaster para elaborar el cubo y pino silvestre/laricio para la tablazón del anillo de cangilones, mientras que se prefirió la madera de abeto en el conjunto de piezas radiales que enlazan los componentes anteriores.

5) El estudio dendrocronológico de la rota ha permitido establecer 3 *unidades lignicas* en cuanto a su cronología y origen, que prueban la unidad constructiva de la rota que ha conservado, por tanto, su integridad original. Únicamente las dos tapas de los discos pertenecieron realmente a otra rueda, probablemente la rueda gemela con la que formaría pareja. Las alteraciones del montaje actual de la rueda se reducen a sustituciones y cambios de posición de algunas piezas aisladas.

6) Las tres piezas sueltas conservadas en el Museo de Huelva se integran en una sola *unidad lignica* de piezas coetáneas e igual procedencia. Probablemente formaron parte de 1 o 2 ruedas de 27 radios y muestran una alta similitud tipológica con la rota, por lo que se postula que sean coetáneas y construidas en un mismo taller.

7) A partir del material estudiado se han elaborado varias series dendrocronológicas de pino pi-

naster (100 y 299 años), de pino silvestre/laricio (116 años), de *Abies sp* (106, 97 y 91 años) y de *Pinus sp*. (143 años). La datación carbono-14 de las anteriores cronologías han servido para estimar la datación arqueológica de la *rota* en 100–210 cal AD *post quem* y de las piezas sueltas en 114–169 cal AD *post quem*.

8) En la fabricación de cada uno de los componentes de las *rotae* se hubo de tener muy en cuenta la necesidad de proceder a al montaje definitivo de las ruedas una vez dentro de las cámaras de la mina, al no haber montadas por las estrechas galerías. Las marcas de numerales se hicieron para realizar el montaje de las ruedas en el interior de las minas pero, a veces, se hace difícil conocer el sentido exacto de su disposición. Que la numeración de los componentes de las ruedas no vaya correlativa se debe al montaje realizado tras su hallazgo y extracción, del mismo modo que la coexistencia de radios con y sin numerales en una misma cara de la rueda también puede tener esta explicación. No tenemos constancia de ruedas con todos los radios numerados en cambio, la existencia de radios marcados sólo en una de las caras de la rueda podría explicarse si cada pareja de radios fuese embalada en un mismo pack, de tal modo que sólo era necesario numerar una de cada par. Es también muy complicado, con las piezas conocidas, interpretar el porqué de la existencia de números dispuestos en sentido inverso (*retro*); no parece casual sino que debe tener una explicación relacionada con el sistema de armado y, quizás, con el hecho de llevar las piezas dispuestas por parejas. No olvidemos que, una vez dentro de las minas, todos los componentes de la rueda se montarían y ensamblarían desde un mismo frente.

9) Al encontrarse las ruedas muy fracturadas, incluso las que se encontraran en mejor estado debieron reconstruirse tras su extracción. Parece que en esta labor no estuvo guiada por lo que hoy entendemos como criterios de autenticidad y así, constatamos el cambio de posición de ciertos elementos, como los radios o, incluso, la sustitución de algunas piezas de las ruedas que estuviesen muy destrozadas o perdidas (pudo aprovecharse las de otras ruedas iguales, probablemente las de su pareja). Muestra de ello sería el caso de las dos tapas que completan los dos discos de la rueda del Museo de Huelva, que no son las originales pero que tienen las mismas dimensiones e idéntica numeración en sus caras internas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BARKER, H. Y MACKEY, J. (1961): *British Museum Measurements*, III. *Radiocarbon* 3, p.43
- BAUER, E. (1980): *Los montes de España en la Historia*. Madrid. Servicios de publicaciones agrarias, D.L.
- BEDELLO TATA, M.; FOGAGNOLO, S. (2005): *Una ruota idraulica da Ostia. Aquam in altum exprimere. Les machines élévatrices d'eau dans l'Antiquité. Actes de la journée d'études tenues à Bordeaux le 13 mars, 2003*. A. Bouet (dir.). *Scripta Antiqua*, 12, pp. 115-138
- BEDELLO TATA, M.; FOGAGNOLO, S. (2006): *Una ruota d'acqua dalle terme dei Cisiarii ad Ostia. In binos actus lumina, II. Revista di studi e ricerche sulla idraulica storica. Atti del Convegno Internazionale di studi su metodologie per lo studio della scienza idraulica antica (Narni, 18-20 ottobre 2001)*. RIERA, J (a cura di). *La Spezia*.
- BLAIR, I et Al. (2005): *The technology of de 1st and 2nd century roman bucket chains from London: from excavation to reconstruction. Aquam in altum exprimere. Les machines élévatrices d'eau dans l'Antiquité. Actes de la journée d'études tenues à Bordeaux le 13 mars, 2003*. A. Bouet (dir.). *Scripta Antiqua*, 12, pp. 85-114
- BLANCO FREIJEIRO, A. (1962): "Antigüedades de Riotinto". *Zephyrus* XIII. Salamanca, pp.31-45.
- BLANCO FREIJEIRO, A. (1984) *Mineros y metalúrgicos antiguos en Huelva. Investigación y Ciencia, Ed. en español de Scientific American*, marzo, 1984, pp. 100-109.
- BLANCO FREIJEIRO, A.; LUZÓN NOGUÉ, J.M. (1966): *Mineros antiguos españoles. Archivo Español de Arqueología*, v. XXXIX, n° 113-114, 1966, pp. 73-88.
- BOON, G. y WILLIAMS, C. (1966): *The Dalaucothi drainage wheel. Journal of Roman Studies*, 56, pp. 122-127
- BOUET, A. (Ed.) (2005): *Aquam in altum exprimere. Les machines élévatrices d'eau dans l'Antiquité. Actes de la journée d'études tenues à Bordeaux le 13 mars, 2003. Scripta Antiqua*, 12
- BRONK RAMSEY, C. (1998): *Probability and dating. Radiocarbon*, 40 (1), pp. 461-474.
- BRONK RAMSEY, C.; VAN DER PLICHT, J.; WENINGER, B. (2001): "Wiggle matching" radiocarbon dates. *Radiocarbon*, 43 (2A), pp. 381-389.
- BRUN, J.P. y FICHES, J.L. Coord.(2007): *Énergie hydraulique et machines élévatrices d'eau dans l'antiquité: actes du colloque International organisé par l'Établissement public de coopération culturelle Pont de Gard. Collection du Centre Jean Berard*, 27. Naples.
- BURNHAM, B.C. (1997): *Roman mining at Dalaucothi: the implications of the 1991-3 excavation near Carreg Pumsait. Britannia*, XXVIII, pp. 323-336
- CAUQUET, B. (2005): *Les mines d'or antiques d'Europe hors Péninsule Ibérique. État de connaissances et travaux récents. Pallas* 67, pp. 241-291.
- COADIC, R; BOUET, A (2005): *La chaîne à godets des thermes de Barzan (Charente-Maritime): une première approche. Aquam in altum exprimere. Les machines élévatrices d'eau dans l'Antiquité. Actes de la journée d'études tenues à Bordeaux le 13 mars, 2003*. A. Bouet (dir.). *Scripta Antiqua*, 12, pp.31- 44
- DOMERGUE, C. (1987): *Catologue des mines et de fonderies antiques de la Peninsule Ibérique. Tomo I. Publications de la Casa de Velázquez, Serie Archeologie VIII*, 1987.
- DOMERGUE, C. (1989): *Les techniques minières antiques et le De re metallica d'Agricola. Minería y metalurgia en las antiguas civilizaciones mediterráneas y europeas. 2 tomos. Madrid, 24-28/octubre/1985. Coord. C. Domergue. Instituto de Conservación y Restauración de Bienes Culturales.*, pp. 76-95.
- DOMERGUE, C. (1990 a): *Les mines romaines dans la Peninsule Ibérique. Paris*.
- DOMERGUE, C. (1990 b): *Minería hispanorromana y bronce romanos. Bronces de uso técnico e industrial. Los Bronces romanos en España. Ministerio de Cultura*.
- DOMERGUE, C; BINET, C; BORDES, J-L. (1999): *La roue de São Domingos. La revue. Musée des Arts et Métiers, junio 1999, n° 27*, pp. 49-59.
- DOMERGUE, C; BORDES, J-L. (2004): *La roue élévatoire de la mine romaine de Tharsis (Huelva, Espagne). Étude archéologique et technique de ce type de roue. Problemi di macchinismo in ambito romano. Macchine idrauliche nella letteratura técnica, nelle fonti storiografiche e nelle evidenze archeologiche di età imperiale, atti della Giornata di Studio svoltasi a Como, presso il Museo civico Paolo Giovio, il 26 gennaio 2002 / a cura di Franco Minonzio. Como: Musei Civici di Como, 2004, pp. 87-105.*
- FERNÁNDEZ RUIZ, E.; ONTIVEROS ORTEGA, E.; SAMEÑO PUERTO, M; VILLEGAS SÁNCHEZ, R. (2006): *Estudios científico-técnicos. La rueda elevadora de agua de las minas de Riotinto: memoria de intervención. Junta de Andalucía, Consejería de Cultura*, pp. 62-77
- FERNÁNDEZ-POSSE ARNAIZ, M.D.; SÁNCHEZ PALENCIA, F.J. (1996): *Riotinto: la memoria antigua desde la actualidad en Memoria*

MACHINAE LAS RUEDAS DE ACHIQUE ROMANAS DE RIOTINTO

antigua de romanos, nuevamente descubierta en las minas de Rio Tinto. Ilustrada con su explicación y Notas, por un curioso Sevillano (Reproducción facsímil del texto de Francisco Thomas Sanz de 1762), Col. Clásicos de la Arqueología de Huelva, nº 6, pp. 49-97.

- FLORES CABALLERO, M. (1981): *Las antiguas explotaciones de Riotinto*. Instituto de Estudios onubenses "Padre Marchena"-Excma. Diputación Provincial. Huelva.
- FORBES, R.J. (1966): *Studies in Ancient Technology*. Leiden: E.J. Brill, v. 7, 1966.
- GARCÍA ESTEBAN, LUIS (1996). *Maderas de coníferas: anatomía de géneros/L. García Esteban, A. Guindeo Casasús, P. de Palacios [Madrid]: Fundación Conde del Valle Salazar*
- GIL SÁNCHEZ, L. (1995) *Los pinares de Fuencaliente (Ciudad Real)*. Montes, 39, p. 94
- GONZÁLEZ TASCÓN, I. (1987): *Fábricas hidráulicas españolas*. Biblioteca CEHOPU, Madrid.
- GONZALOY TARÍN, J. (1888): *Memorias de la Comisión del Mapa Geológico de España. Descripción física, geológica y minera de la provincia de Huelva*. Madrid: IGME, Ministerio de Industria y Energía, tomo II, 1886-1888.
- GOSSE, G. (1942): *Las minas y el Arte minero de España en la Antigüedad*. Ampurias nº 4, pp. 43 y ss.
- GRAUBNER, WOLFRAM (1999): *Ensamblés en madera*. Barcelona: Ceac, D.L.
- LANDELS, J.G. (1980): *Engineering in the Ancient World*. London.
- LIROLA DELGADO, J. (1993): *El poder naval de Al-Andalus en la época del Califato Omeya*. Almería: Instituto de Estudios Almerienses de la Diputación Provincia, 1993
- LOMBARD, M. (1959): *Un problème cartographié. Le bois dans la Méditerranée musulmane (VII-XI siècles)*. Annales E.S.C., 14, pp. 234-254
- LUZÓN NOGUÉ, J.M. (1968): *Los sistemas de desagüe en minas romanas del Suroeste peninsular*. Archivo Español de Arqueología, nº 41, pp. 101-120.
- LUZÓN NOGUÉ, J.M. (1970): *Instrumentos mineros de la España Antigua*. VI Congreso Internacional de minería. Tomo I. León, pp. 221-258.
- MANZANO BELTRÁN, P. (2006): *Estado de conservación y proceso de restauración de la rueda elevadora de agua*. "En La rueda elevadora de agua de las minas romanas de Riotinto: Memoria de intervención. PH Cuadernos. Nº XVIII [coord. de la ed. Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico: coord. científicos Pedro E. Manzano Beltrán e Reyes Ojeda Calvo]. Sevilla: Consejería de Cultura, Junta de Andalucía, 2006, pp. 78-12
- MARTÍNEZ ATIENZA, F. (1999): *Bibliografía (1945-1998) paleopolínica del Holoceno Ibérico*. Boletín Real Sociedad Española de Historia Natural (Sec. Biol.), 95 (1-2), pp. 56-92.
- OJEDA CALVO, R. (2006): *La rota del Museo de Huelva. Apuntes sobre el origen, adscripción, uso y funcionalidad de una rueda para evacuación de agua hallada en Minas de Riotinto*. En *La rueda elevadora de agua de las minas romanas de Riotinto: Memoria de intervención*. PH Cuadernos. Nº XVIII [coord. de la ed. Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico: coord. científicos Pedro E. Manzano Beltrán e Reyes Ojeda Calvo]. Sevilla: Consejería de Cultura, Junta de Andalucía, 2006, pp. 10-39
- OLESON, J.P. (1984): *Greek and Roman Mechanical Water-Lifting Devices: The History of a Technology*. Toronto: University of Toronto Press, 1984, pp. 325 y 251.
- OLESON, J.P. (2000): *Water-lifting en ÖRJAN WIKANDER (ed.). Handbook of ancient water technology (Technology and chang in History, vol. 2), cap. III.2, pp. 217-302.*
- OLIVER DAVIES (1935): *Roman mines in Europe*.
- PALMER, R.E. (1926-27): *Notes on some Ancient Mine Equipments and Systems*. Transactions Institution of Mining and Metallurgy, XXXVI (abreviado: T.I.M.M.). London, pp. 299-322.
- RICHARD, T.A. (1928): *The mining of the romans in Spain*. Journal of roman studies, XVIII. London.
- RODRÍGUEZ TROBAJO, E. (2006): *Material y cronología de las rotas del Museo de Huelva*. En *La rueda elevadora de agua de las minas romanas de Riotinto: Memoria de intervención*. PH Cuadernos. Nº XVIII [coord. de la ed. Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico: coord. científicos Pedro E. Manzano Beltrán e Reyes Ojeda Calvo]. Sevilla: Consejería de Cultura, Junta de Andalucía, 2006, pp. 40-61
- RODRÍGUEZ TROBAJO, E. (2006): *Procedencia y uso de madera de pino silvestre y pino laricio en edificios históricos de Castilla y Andalucía*. Arqueología de la Arquitectura, 5, 2008, pp. 33-53.
- ROTHENBERG, B.; GARCÍA, F.; BACHMANN, M.G.; GOETHE, J. (1990): *The Rio Tinto enigma*. *Minería y Metalurgia en las antiguas civilizaciones mediterráneas y europeas*, I. Madrid
- RÚA FIGUEROA (1868): *Minas de Rio Tinto*.
- SCRINARI, V.; RICCIARDI, M.A. (1996): *La civiltà dell'acqua in Ostia Antica*. Roma: Fratelli Palombi, 1996, v.1.

P. MANZANO BELTRÁN / R. OJEDA CALVO / E. RODRÍGUEZ TROBAJO

- SANTIAGO, R. (1994): *Vegetación. Memoria del Mapa Forestal de España. Hoja 3-9*, pp. 57-102.
- SCHIÄLER, Thorkild (1973): *Roman and Islamic water lifting wheels*.
- SMITH, Norman (1978): *Tecnología hidráulica romana en Investigación y Ciencia. Edición en español de Scientific American, julio 1978*. pp. 88-95.
- STEVENSON, A.S. (1875): *Observations on a roman water wheel from the ancient workings of de mines of Tharsis in Southern Spain. Archaeologia Eliana, VII, N.S, 1875, pp. 276-281 (1-3)*.
- VARIOS (1989): *Minería y metalurgia en las antiguas civilizaciones mediterráneas y europeas. 2 tomos. Col. Internac. Asociado. Madrid, 24-28/octubre/1985. Coord. C. Domergue. Instituto de Conservación y Restauración de Bienes Culturales*.
- WEISGERBER, G. (1979): *Das römische Wasserheberard aus Rio Tinto in Spanien im British Museum London. Anschnitt, 2-3, Bochum, 1979, pp. 37-80*.
- WENINGER, B. (1997): *Monte Carlo wiggle matching. Zur statistischen auswertung der Mittelneolithischen 14C-daten von Hasselsweiler 2, Inden 3, und Inden 1. Biermann E., Ed. Grobgartach und Oberlauterbach. Interregionale Beziehungen im süddeutschen Mittelneolithikum. Archäologische Berichte, 8, pp. 91-113*.