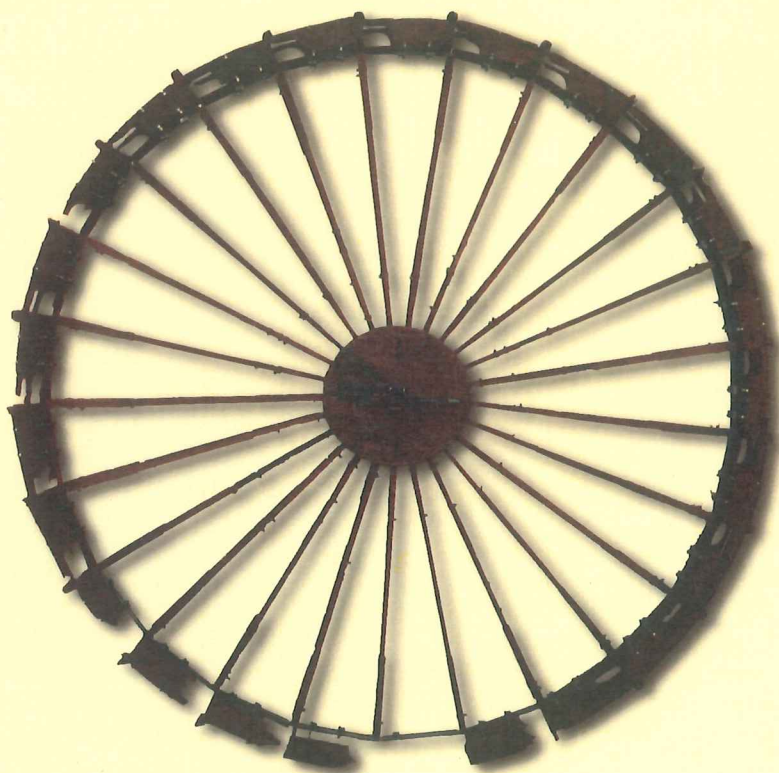


ESTUDIO HISTÓRICO-ARQUEOLÓGICO
DE
LA *ROTA* DEL MUSEO DE HUELVA

INFORME-MEMORIA



Reyes Ojeda Calvo

2003

INSTITUTO ANDALUZ DEL PATRIMONIO HISTÓRICO
Centro de Intervención en el Patrimonio Histórico

INTRODUCCIÓN

La rueda elevadora de agua hallada en las minas romanas de Ríotinto y conservada actualmente en el Museo Provincial de Huelva, es un ingenio mecánico utilizado para achicar el agua del nivel freático de las minas.

Se trata de una rueda del tipo de cangilones integrados y es la única noria de todo el Imperio que ha llegado hasta nuestros días completa ya que conserva el 95% de las piezas originales. Pese a desconocerse el contexto y los detalles de su hallazgo, la investigación interdisciplinar ha permitido apuntar el lugar donde la rueda fue descubierta (Masa Planes) o ciertos pormenores del diseño y la técnica empleada en su fabricación. Con un diámetro de 4'20 m., está construida íntegramente en madera (a excepción del eje de bronce) y destaca la perfección del trabajo de carpintería por la selección de maderas, el corte y ensamblaje de las mismas y el uso exclusivo de clavijas de madera de sección cuadrada. Del mismo modo, su adscripción romana ha podido atestiguar e, incluso, se ha encuadrado en torno al siglo II de nuestra Era, gracias a la serie de estudios dendrocronológicos y de Carbono-14 realizados por el Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria (INIA) sobre las maderas de diversas piezas que han aportado una fecha *post quem* para su factura (capítulo II).

1.1 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 y usada a pares, aunque para estos mismos fines también se utilizaron otros instrumentos y sistemas de drenaje, a veces combinados: la galería inclinada, la bomba de pistón (también llamada *bomba de*

Ctesibio por el mecánico helenístico del mismo nombre) y la *cochlea* o tornillo hidráulico (conocido como *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 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, albercas y canalizaciones. Las ruedas eran movidas comúnmente por tracción humana, aunque también se empleó la tracción animal (norias de tiro, llamadas por Caro Baroja "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 papirologías (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 (287-212 a.C.) el diseño del tornillo basado en la observación en Egipto de una rueda compartimentada en acción (el *ἄλυστρον* o tambor: gruesa caja hueca de madera con interior compartimentado radialmente y giro sobre un pesado eje) y 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 la rueda compartimentada movida por agua (producía una especie de silbidos). Este mismo autor en su *Parascenastica* recomienda las ruedas para bombear agua de las minas, si bien no da detalles sobre su el diseño y movimiento del mecanismo, al que denomina *βύστρον*. *ἄλυστρον*. En un pasaje de *Peri Alexandreios*, Callixinus menciona unos "organa" que drenaban un muelle de Alejandría en tiempos de Ptolomeo IV (221-205 a.C.). 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, $B\epsilon\delta\Lambda\sigma\forall\eta$: \forall (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 $\vartheta\delta\epsilon\pi\epsilon\lambda$ o *rota*, $\sigma\beta\sigma\delta\epsilon\lambda$ o $\sigma\Lambda\sigma\delta\forall H$ (rueda), $\forall<\vartheta\delta$: \forall o *antlia* (bomba), y a veces, $\angle\Delta(\forall\epsilon\epsilon\epsilon$ (ingenio)¹. Vitruvio, en el Libro Décimo de su tratado *De Architectura* (cap. 4-7), 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 llagado 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, cuando el diámetro de la rueda es inferior a la profundidad donde se encuentra el agua. Es la **saqiya** 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)². Algunas ruedas elevadoras eran movidas por medio de engranajes dentados accionados por medio de una rueda horizontal, como se constata en algunas termas de Ostia.

- 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

¹ Extraído de OLESON, J.P. (2000): "Water-lifting", *Handbook of ancient water technology* (Technology and change in History, vol. 2), cap. III.2, pp. 234.

² LUZÓN NOGUÉ, J.M. (1970): "Instrumentos mineros de la España Antigua". *VI Congreso Internacional de minería*, tomo I. León 1970. pp.221-258. Vid. p. 111-112.

las ruedas que van impelidas por la corriente de un río, siendo esta máquina la auténtica³ precursora de la moderna turbina hidráulica.

La rueda elevadora de agua proliferó por todo el Imperio Romano. En Occidente entre las evidencias arqueológicas de su uso se han hallado cisternas freáticas y pozos de ruedas elevadoras en Ostia (Termas del Foro, Termas de Mitra, Termas de la Trinacria, Termas de las Seis Columnas, Termas de los *Cisiarii*, Termas del Envidioso)⁴, Pompeya (Termas Estabianas, Termas del Foro, casas particulares, etc.), posiblemente en dos campamentos militares de Germania, así como en Ampurias y en *Complutum*, por poner un ejemplo.

A pesar de estos testimonios arqueológicos, sólo hay constancia del hallazgo de restos de algunas ruedas en antiguas minas del SO de España, del Sur de Portugal, de Rumanía y de Gran Bretaña y, recientemente, se ha conservado un fragmento conservado en los limos de la cisterna de unos baños privados en Ostia, en la Casa de los *Cisiarii*⁵. No es casual que, salvo estos últimos restos hallados en las termas de los Cisiarios, el resto de los ingenios hidráulicos se hayan recuperado en contextos mineros puesto que en la Antigüedad la filtración de agua del freático era una rémora para el trabajo en la mina⁶. Cuando el uso de capazos impermeabilizados no era suficiente para achicarla se emplearon otros recursos más eficaces, como las galerías de desagüe, la bomba de pistón, el tornillo de Arquímedes y las ruedas elevadoras. Destacan las minas del SO de la península Ibérica donde entre finales del siglo XIX y principios del XX fueron descubiertas gran número de ruedas elevadoras de agua, siendo este artilugio el más documentado, aunque también han aparecido ejemplares de otros ingenios descritos por Vitruvio para

³ La noria está íntimamente relacionada con el molino hidráulico, aunque no está claro cual 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 accionan mediante engranajes dentados una rueda horizontal.

⁴ SCRIMARI, V.SM (Coord.); RICCIARDI, M^aA. (1996): *La civiltà dell'acqua in Ostia Antica*, vol.1.

⁵ BEDELLO TATA, M. ; FOGAGNOLO, S. (EN PRENSA): "Una ruota d'acqua dalle terme dei Cisiarii ad Ostia". *In binos actus lumina II. Archeologia e società. L'idraulica degli antichi fra passato e futuro*. Narni, Roca dell' Alborno, 18-20 octubre 2001.

Ibidem (EN PRENSA): "Una ruota hidráulica da Ostia", *Ausonius* 2004.

⁶ WEISGERBER, G. (1979): "Das römische Wasserheberard aus Rio Tinto in Spanien im British Museum London", *Anschnitt*, 2-3, pp. 62-79. Bochum.
Weisgerber calcula que en todo el Imperio se han hallado unas 110 ruedas de drenaje.

elevant agua, como los tres *tornillos de Arquímedes*⁷ hallados en Sotiel Coronada o la bomba de Ctesibio conservada en el M.A.N., que fue hallada en 1889 en Sotiel Coronada⁸.

La *rota* del museo onubense es la única de su especie conservada íntegra, está construida totalmente en madera a excepción del eje de bronce, y es del tipo de cangilones integrados en la llanta o corona exterior de la rueda. El cubo se compone de dos discos con sus respectivas tapas donde se insertan 25 pares de radios. Una serie de 25 cangilones alojados entre las parejas de los radios componen la denominada corona de la rueda.

1.2 LA RUEDA DE DESAGÜE DEL MUSEO DE HUELVA Y OTROS HALLAZGOS DE SU ESPECIE.

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 galerías, está bastante documentado en el S.O. peninsular con los hallazgos de Riotinto, Tharsis (Huelva) y Santo Domingo (en Portugal), amén de otras menciones a descubrimientos como en El Lagunazo⁹. Los datos recogidos y publicados por los ingenieros y autores contemporáneos son fundamentales para su estudio, si bien la documentación y referencias disponibles en ocasiones se prestan a confusión. A ello se suma la escasez y fragmentariedad de los restos conservados, de los que la rueda del Museo de Huelva es la única casi íntegra: una quinta parte de rueda en el Museum of

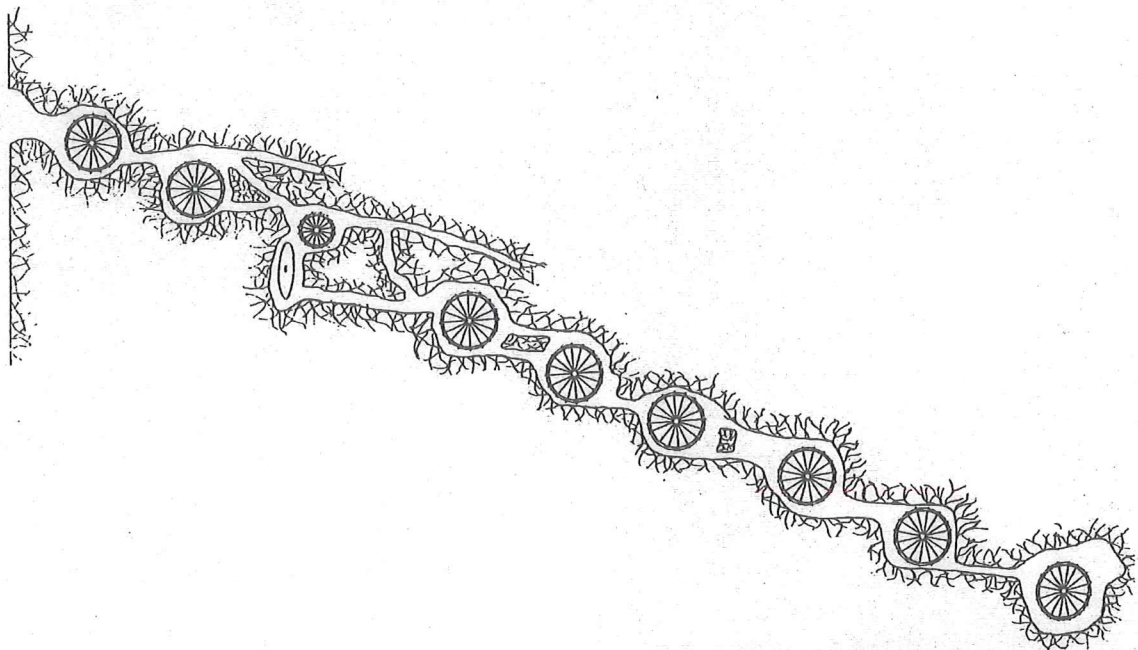
⁷ Posidonio refiere su uso por los turdetanos (Posidonio en Estr. III, 2 y 9).

⁸ Máquina también descrita por Herón de Alejandría en el 61 d. C. Según C. Domergue la bomba de pistón del MAN pudo utilizarse como la bomba de incendio descrita por Herón, al objeto de hacer estallar la roca previamente calentada.

⁹ GONZALO Y TARÍN, J. (1888): *Memorias de la Comisión del Mapa Geológico de España. Provincia de Huelva. II.* Madrid, (1886-1888).

Transport de Glasgow, un tercio del British Museum, casi un cuarto en el Musée des Arts et Métiers de Paris, tres mitades de discos y algunos ejes de bronce):

+ En el Alentejo portugués fue hallada una batería de estas ruedas en la mina de cobre de **São Domingos**, cuya explotación estuvo a cargo del ingeniero francés E. Deligny entre 1850 y 1860. Las diez ruedas encontradas se disponían por unidades escalonadamente y parecen responder a un mismo módulo con la excepción de dos de ellas, de menor formato (Fig.1).

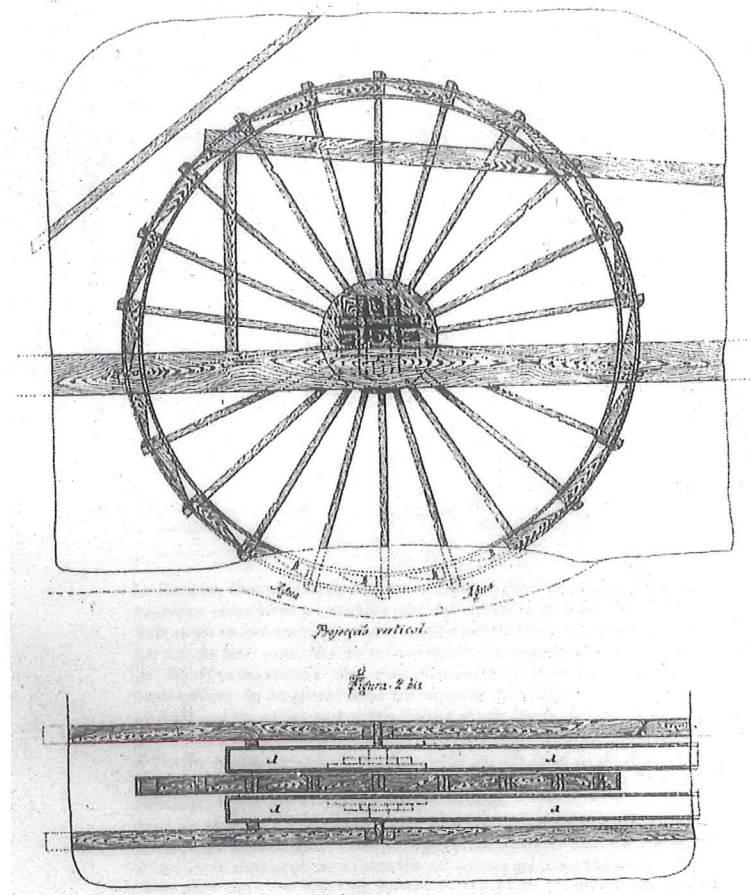


1

En 1864 Deligny envió al *Conservatorio imperial de artes y oficios* los restos de una de las ruedas, conservados en el hoy denominado Musée des Arts et Métiers de Paris y expuestos sobre un panel hasta 1997, cuando fueron retirados para su restauración y nuevo montaje. Con este motivo un equipo de especialistas se encargó del estudio pormenorizado de la rueda, trabajo al que remitimos¹⁰ y que ha resultado esencial en el estudio de la nuestra. En la actualidad, pese a haber perdido algunos elementos desde su exposición inicial, se conserva aproximadamente un cuarto de la rueda hallada en Saô Domingos: gran parte de uno de los discos que conformaban el cubo, un mínimo de ocho radios en varios fragmentos, tres cangilones completos y restos de otros dos. Por lo conservado calculan que la corona de esta rueda medía 4'60 m. de diámetro y que

¹⁰ DOMERGUE, C.; BINET, C.; BORDES, J.-L. (1999): "La roue de Saô Domingos". *La revue. Musée des Arts et Métiers*, junio 1999, nº 27. pp. 49-59.

constaba de 27 pares de radios y otros tantos cangilones. De ello puede deducirse que pertenece a las de mayor formato y que la de 22 radios mostrada en 1883 en la *Revista de Obras Publicas e Minas* (figura 2), corresponde a una de las pequeñas (3'60 m.)¹¹.



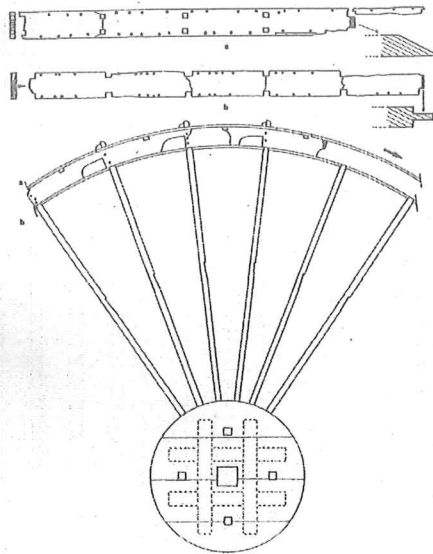
2

Existe otra representación de la rueda, carente de escala, reproducida en la figura 5 de la obra de Gonzalo y Tarín¹², copia de una fotografía que se tomó del hallazgo. El hecho de que esté invertida respecto a la de 1883 puede deberse a un error de revelado. En ella se basa Palmer¹³ quien en la fig. 82, p. 313, vuelve a reproducir este error y menciona que el diámetro de las ruedas de São Domingos oscilaba entre 18" y 16' (5'48 y 4'87 m.) para las grandes, siendo de 12'6" (3'81 m.). En los tres casos interesa destacar el nº de radios (22) y el hecho de que los listones de refuerzo localizados en la corona van redondeados en el lado opuesto al giro, detalle que creemos erróneo.

¹¹ *Ibidem*. En este artículo se reproduce dicho dibujo (fig. 4, p. 51).

¹² GONZALO Y TARÍN, J. (1888). *Opus cit.*

¹³ 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.



3

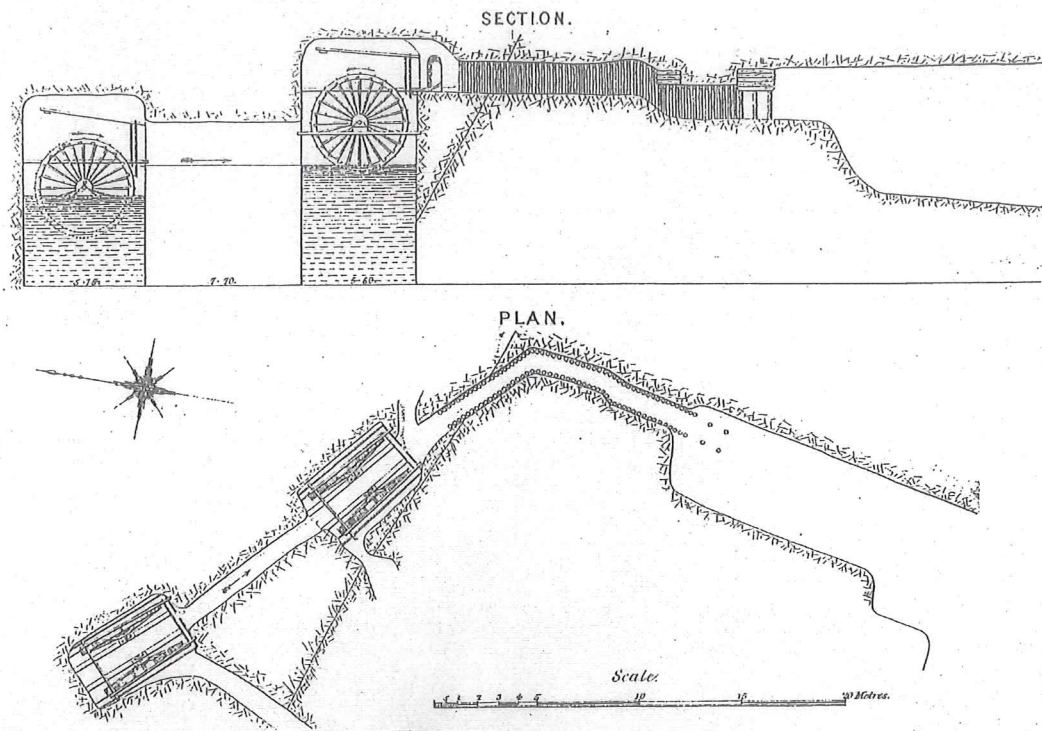
+ En el Filón Norte de las **minas de Tharsis** se descubrió una instalación de, al menos, cinco pares de ruedas dispuestos escalonadamente y que fueron publicadas por A. Stevenson¹⁴ en 1875 incluyendo dos dibujos datados en 1867. En su ilustración nº 1: "*Plan and Sections of Old Roman Water Wheels on north wall of lode at the Tharsis Mines, 1867*" (Fig.) de las cinco parejas documentadas (todas con el mismo diámetro) se representan los dos pares superiores, donde se observa que constaban de un total de 24 radios y se aprecia cómo las dos ruedas del nivel superior desaguaban en una galería entibada (la galería de desagüe de la Margosilla). Por los detalles mostrados en la 2º ilustración, donde se representa a escala la sección y alzado de un fragmento de rueda y detalles de un radio y un cangilón despiezado (Fig.), se estima que el nº de radios oscila entre 24 y 26, que su disco medía 0'80 m. y su diámetro total estaba en torno a 4'52 m. Sorprende en ambas ilustraciones que las ruedas representadas (planta, secciones y detalles constructivos) presentan una mayor inclinación de los radios de la cara interna, lo cual produciría cierta inestabilidad de la estructura.

Estos dibujos de Stevenson han tenido más difusión gracias al trabajo de Gonzalo y Tarín¹⁵ quien en 1888, además de reproducirlos, 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.

¹⁴ 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. Pp. 276-281.

¹⁵ GONZALO Y TARÍN, J. (1888), *Opus cit.*, p.35, lam. 3.

PLAN AND SECTIONS OF OLD ROMAN WATER WHEELS ON NORTH WALL OF LOGE AT THE THARSIS MINES, 1867.



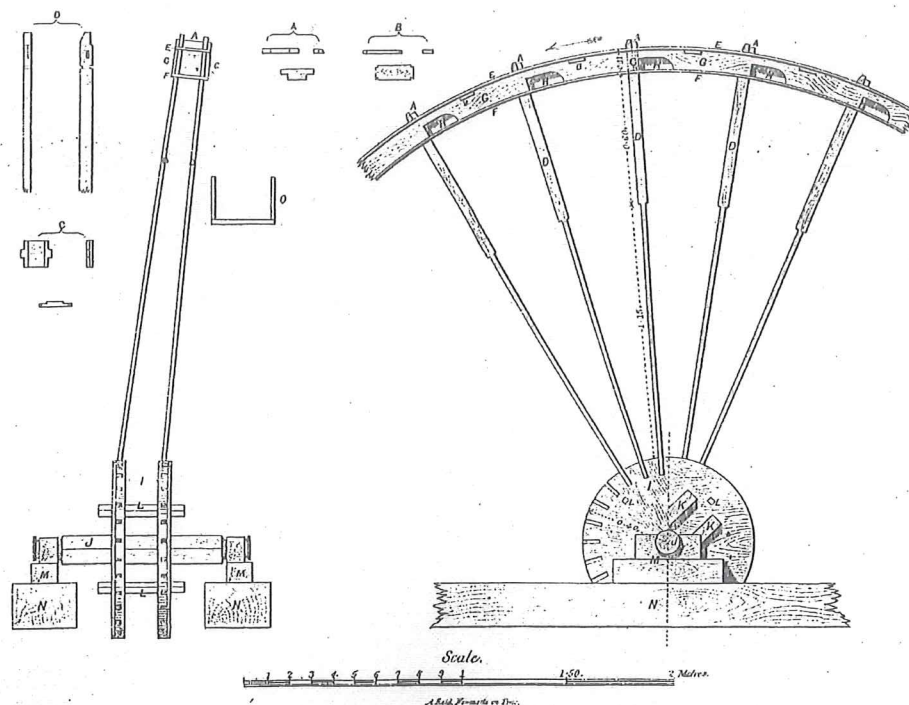
4

Según parece, las dos ruedas mejor conservadas se trasladaron como objetos curiosos a la sede de la compañía minera en Gran Bretaña y con el paso del tiempo los estudiosos en la materia le habían perdido la pista. En los últimos años C. Domergue y J.L. Bordes han logrado localizar el paradero de un fragmento de una estas ruedas en el Museum of Transport de Glasgow, correspondiente aproximadamente a una quinta parte de rueda de 27 radios y han conseguido realizar en 2000 un examen directo de la misma, publicado recientemente¹⁶. De su análisis (nº de radios, mayor inclinación de los radios en las ruedas figuradas, etc) se desprende que no se identifica con ninguna de las dos ruedas representadas en la obra de Stevenson, siendo posible que se tratase de alguna otra rueda de las parejas descubiertas pese a advertir Estevenson que "todas las ruedas halladas son del mismo diámetro". Son dudas de difícil aclaración, por lo que debemos atenernos a las evidencias de la rueda conservada.

¹⁶ DOMERGUE, C. et J-L. BORDES (2004): "La roue éléatoire 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 tecnica, nelle fonti storiografiche e nelle evidenze archeologiche di età imperale*. Pp. 87-105.

Agradecemos la gentileza del Dr. Domergue por permitirnos conocer los resultados de esta investigación cuando aún estaban inéditos.

PLAN AND SECTIONS OF OLD ROMAN WATER WHEELS ON NORTH WALL OF LOBE AT THE THARSIS MINES, 1867.



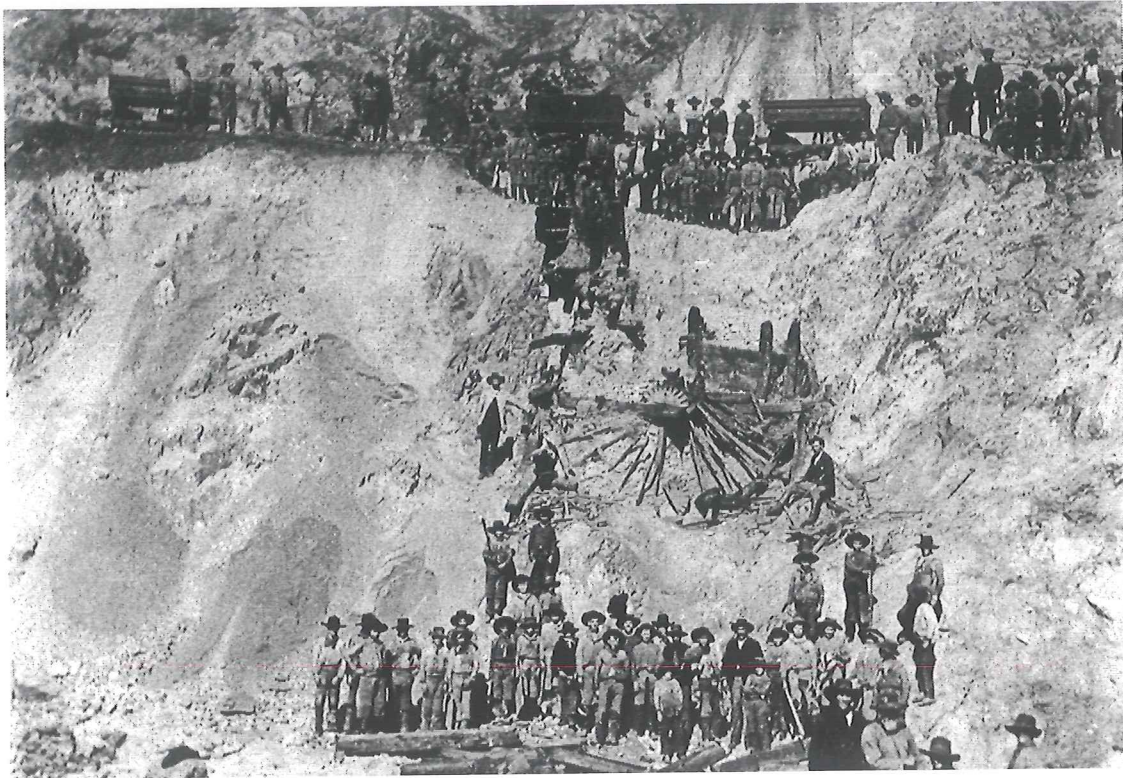
5

+ Por lo que respecta a **Riotinto**, la zona con mayor nº de hallazgos conocidos hasta ahora, Luzón calcula que entre 1886 y 1932 se habían descubierto unas cuarenta de estas ruedas, comúnmente colocadas por parejas¹⁷. Con la reactivación minera en el siglo XVIII y XIX, fundamentalmente a partir de la actividad de la Compañía británica *Riotinto 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 muchas labores mineras antiguas 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. Éste es el motivo de que, a pesar del relativo buen estado de conservación de la madera, muy mineralizada, la mayoría aparecieran destrozadas y apenas se conserven algunos fragmentos de ellas. En el Archivo de la Fundación Riotinto (Fig. 6) existen fotografías de

¹⁷ LUZÓN, J.M. (1970). *Opus cit.*

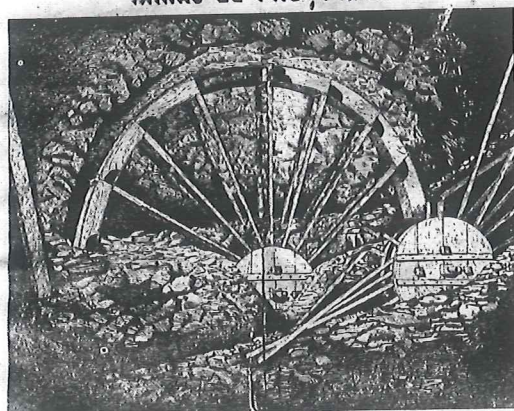
hallazgos *in situ* de diversas ruedas de desagüe que muestran a la perfección el estado en que éstas eran encontradas, pese a no quedar constancia del lugar y año de procedencia de esos descubrimientos. Es difícil, por tanto, identificar con certeza la correspondencia entre las referencias gráficas y escritas y los restos de ruedas conservados en la actualidad, procedentes de Ríotinto.



6

1. La primera evidencia fue **el hallazgo en el Filón Norte de un par de ruedas elevadoras en junio de 1886**. De este momento tenemos dos tipos de documentación gráfica: un dibujo *a plumilla* y un plano realizado a escala.

MINAS DE RIO-TINTO

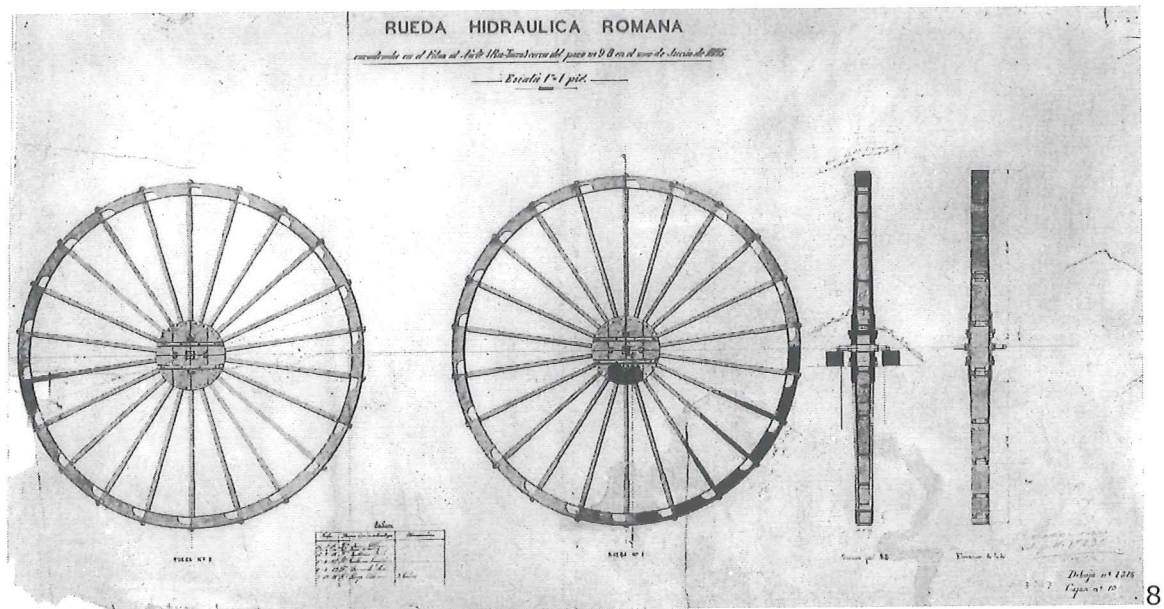


RUEDA HIDRÁULICA ROMANA ENCONTRADA EN EL FILÓN AL NORTE EN EL MES DE JUNIO DE 1886

7

El primer dibujo (Fig.7) 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 el se representa

una pareja de ruedas semienterradas a poco de su hallazgo. 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 nº de radios debía estar entre 22 y 24.

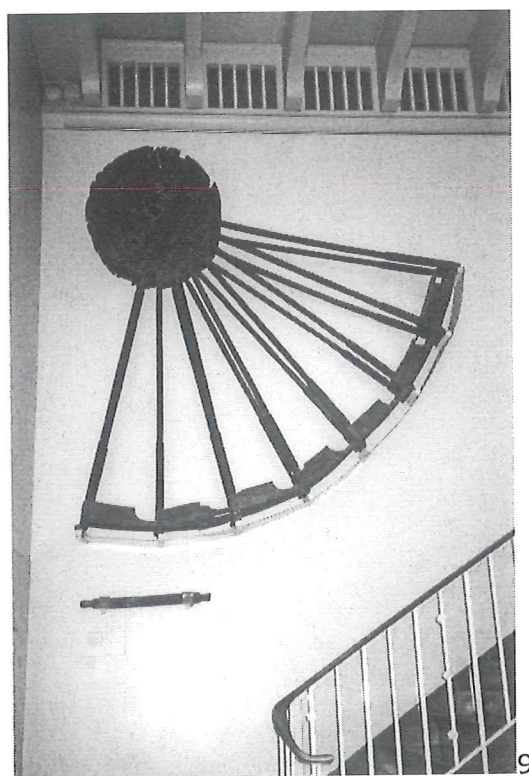


Respecto al plano de las dos ruedas realizado a escala con la leyenda "RUEDA HIDRÁULICA ROMANA. encontrada en el Filón al Norte (Rio-Tinto) cerca del pozo nº 9B en el mes de junio de 1886" (Fig.8), creemos que pudiera tratarse de las mismas ruedas del dibujo (son ruedas de 22 cangilones, halladas en el mismo lugar y en la misma fecha). De este plano, del que se sacaron varias copias, se conserva el original en la la Cartoteca de Riotinto y un duplicado en el Dpto. 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 15'3" (4'648 m) y la nº 2, algo menor, con 14'10" (4'52 m).

2. Tres años después del descubrimiento de esta pareja de ruedas ingresan en el British Museum (30 de mayo de 1889) los restos de una rueda procedente de Ríotinto, inventariado 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". En el interesante trabajo realizado por Weisgerber sobre **la rueda que se expone en el British Museum**¹⁸ éste

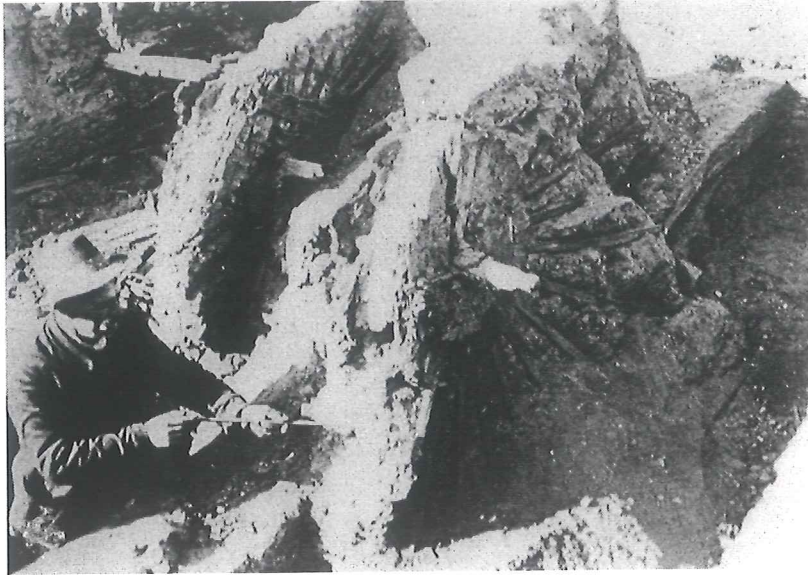
¹⁸ WEISGERBER, G. (1979): "Das römische Wasserheberard aus Rio Tinto in Spanien im British Museum London", *Anschnitt*, 2-3, pp. 62-79. Bochum.

estudioso identifica el hallazgo de 1886 con el fragmento de rueda conservado en el *British* junto a un eje de otra. 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 el estudio de 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 nos cuestionamos. Por la minuciosidad con que se ha medido y dibujado todas los elementos y los detalles constructivos de ambas ruedas nos cuesta creer que el dibujante omita 5 radios y pase por alto representar el nº exacto de mortajas de cada disco (donde iban encajados los radios), máxime cuando se trata de partes de la rueda que aparecían íntegras a juzgar por las fotos de archivo, generalmente sólo divididas en las dos partes que configuraban el disco. Más bien nos inclinamos a pensar que la del *British* (Fig.9) y las de los dibujos son ruedas diferentes, lo que no implica que se encontraran por el mismo tiempo e, incluso, perteneciesen a una misma batería de ruedas.



Queda totalmente descartada la hipótesis de Weisgerber de que la Rueda del Museo de Huelva sea la pareja de la del *British*, por sus diferentes dimensiones, nº de radios y distinta procedencia (Masa Planes). El museo onubense sí guarda en sus

almacenes restos de otras ruedas¹⁹ que sí pudieron formar pareja de la conservada en el Bristish Museum por el nº de radios y diámetro de los discos, a saber un disco dividido en dos partes y un tercio de otro²⁰ (se conservan en sus almacenes, además, cuatro de los diez ejes de bronce que en su día estaban en el Museos de Bellavista, en Riotinto).



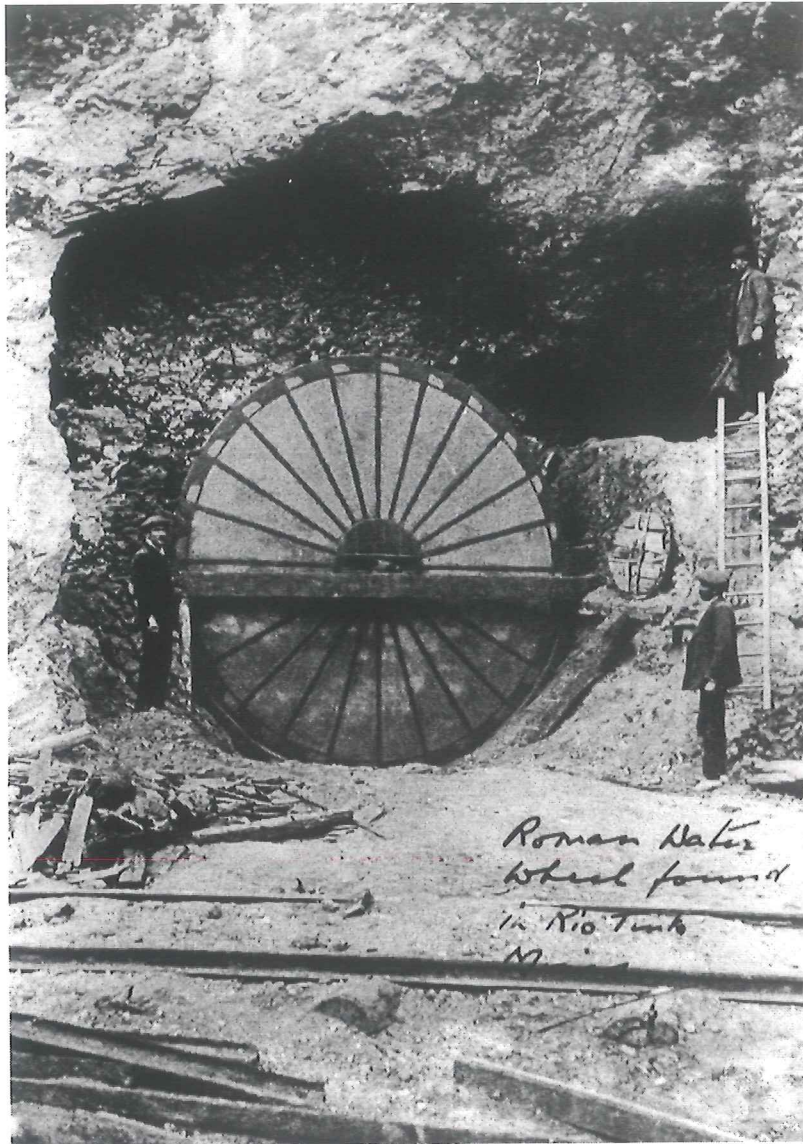
10

3. Volvemos a tener noticias de la aparición de ruedas ya iniciado el siglo XX cuando Palmer²¹ menciona el **hallazgo de 14 ruedas** con anterioridad al de las ocho parejas descubiertas en Filón Sur (1919-1921). Poco sabemos de estas ruedas, salvo que aparecieron unos veinte años antes de la publicación de su artículo (en torno a la primera década de la centuria ya que éste se publica en 1926-27), siendo F. J. Bodenham el ingeniero-inspector de los trabajos, y que no se pudieron recuperar ninguna intacta. Palmer refiere que varían en diámetro, siendo unas de 15'3" y otras de 14'10". 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 Fig.11) y cuyas dimensiones completas son de 4'52 m (14'10") de diámetro exterior.

¹⁹ El Museo de Huelva conserva 3 mitades de discos y 4 de los 9 ejes de bronce que en 1966 quedaban en el Museo de Riotinto. Estos fragmentos de discos son analizados en el capítulo II.

²⁰ Los semidisco nº 138 y nº C-491 parecen formar unidad: uno tiene 13 mortajas para radio y el otro 14. Los tres fragmentos dan 98 cm de diámetro de disco, si bien el nº 549-I, con 13 mortajas, se trata de un tercio de disco, por lo que pudo pertenecer a un disco de más de 27 radios.

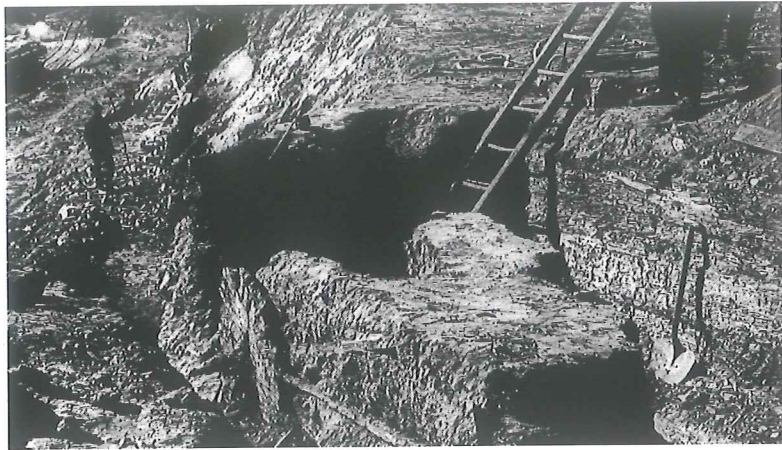
²¹ PALMER, R.E. (1926-27): "Notes on some Ancient Mine Equipments and Systems". *Transactions Institution of Mining and Metallurgy*, XXXVI (Abreviado: T.I.M.M.). London. p.302 y fig.69 y 74.



11

No podemos saber si se trataba de una batería de ruedas²² o de diferentes hallazgos en el tiempo y/o el espacio ni tampoco podemos identificarlas con las mencionadas fotografías de ruedas en el momento de su aparición, conservadas en la Fototeca de la Fundación Riotinto (Fig. 10 y 12).

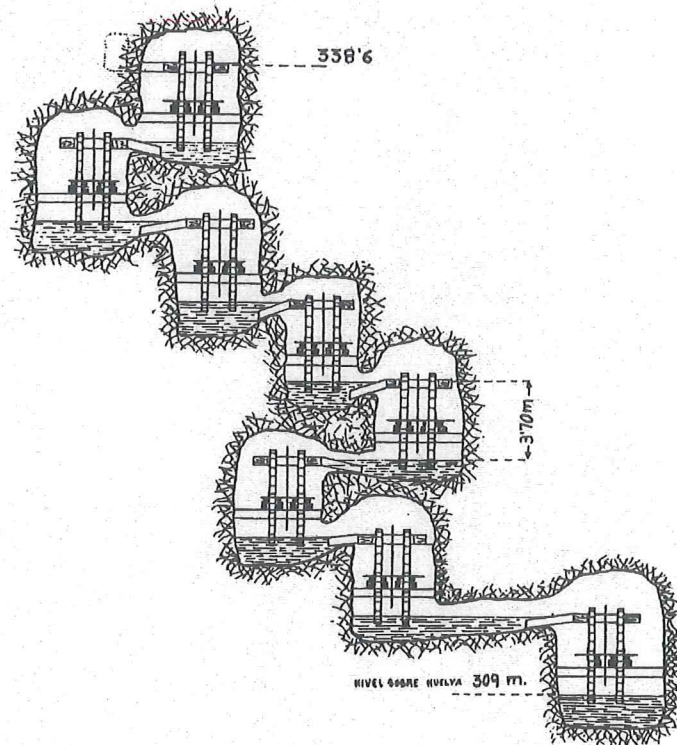
²² C. Domergue habla de 14 pares en vez de 14 ruedas. DOMERGUE, C. (1987): *Catologue des mines et de fonderies antiques de la Peninsule Ibérique*. Tomo I. Madrid, p. 238.



12

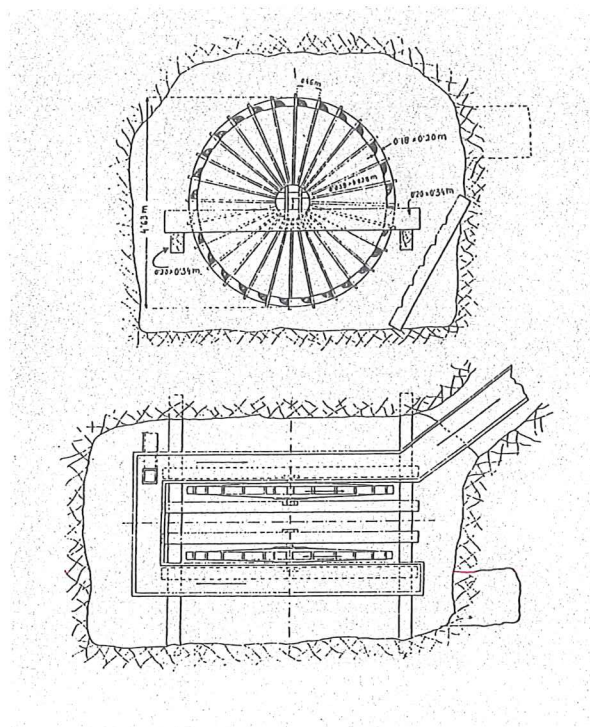
Esta documentación fotográfica nos ilustra sobre el estado en que éstas eran halladas y da una idea del deterioro sufrido durante el proceso de extracción y posterior manipulación.

4. De las **ocho parejas halladas en el Filón Sur entre 1919 y 1921**, Palmer publica un plano con los datos disponibles sobre su disposición en su figura 74 (Fig.13), localizándose el par inferior en el nivel 309'0 de la mina.



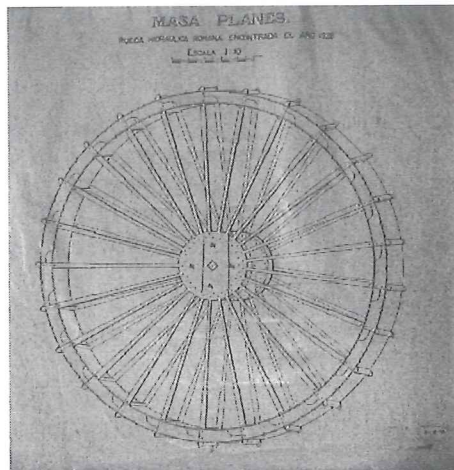
13

De casi 15'3" (4'65 m) de diámetro exterior, disponían de 30 cangilones, como refiere Palmer y se aprecia en su figura 69 (Fig. 14). Puede darse cierta confusión entre las 14 ruedas antes citadas y estas ocho parejas representadas escalonadamente, todas descubiertas en el Filón Sur, pero pensamos que se trata de ejemplares distintos.



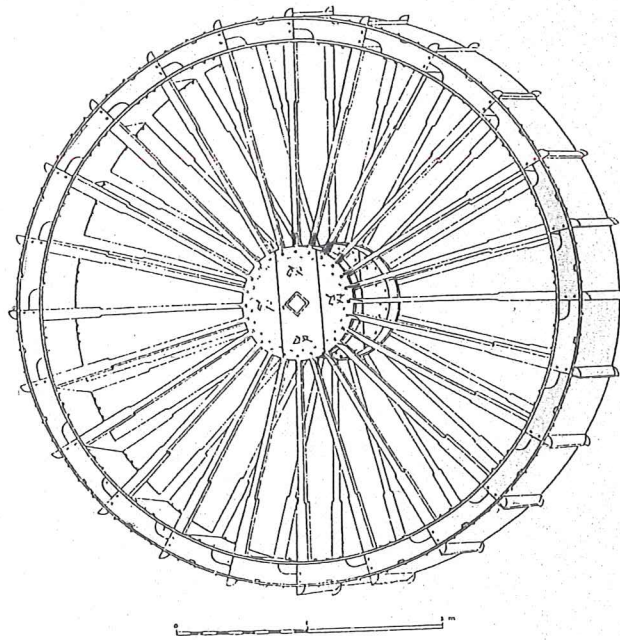
14

5. De una rueda de 1928 en la Cartoteca de la Fundación Río Tinto se conserva un plano a escala 1.10 en tela encerada con la leyenda "**Masa Planes. Rueda hidráulica romana encontrada en el año 1928**" (Fig. 15), que es prácticamente idéntico a otro reproducido por Luzón, salvo por su procedencia y por ser la rueda ligeramente más pequeña (4'13 m. de diámetro exterior) y tener un cangilón de más (25). La perspectiva del dibujo y los detalles constructivos del cubo la relacionan estrechamente con la figura 10 de Luzón, al menos en cuanto a la autoría del dibujo. Otra posibilidad es que la que publica Luzón sea una restitución basada en la de Planes.



15

6. En su trabajo sobre los sistemas de desagüe en minas romanas del Suroeste Luzón²³ menciona una **rueda hallada en Riotinto en 1928** 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”.



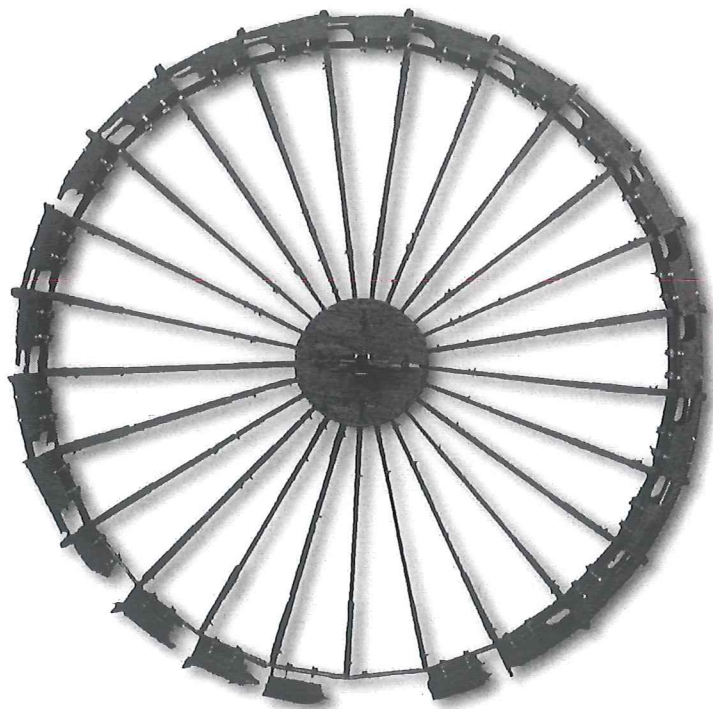
16

En el pie de su fig. 10 refiere que fue encontrada aislada en el Filón Norte y se observa que mide casi 4'30 m y que tiene 24 cangilones (Fig. 16). No hemos localizado el original del dibujo publicado pero hemos cotejado la figura publicada por Luzón con el plano de la rueda de Plananes conservado en la Cartoteca de la Fundación Riotinto que acabamos de comentar pues parecía tratarse de un dibujo casi idéntico por su modo de representar la

²³ LUZÓN NOGUÉ, J.M. (1971): “Los sistemas de desagüe en minas romanas del Suroeste peninsular”.

rueda, pero lo hemos descartado por las razones antes dadas.

7. Finalmente, queda por reseñar la **rueda del Museo Provincial de Huelva**, objeto de esta monografía, la única conservada en su integridad. De titularidad estatal, se trata de la misma rueda que aparece en el Inventario de materiales que en 1973 pasan del Museo de Bellavista, 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*"²⁴. Esa clara referencia al yacimiento de Planes se perdió con el tiempo de tal modo que Weisgerber la cree coetánea de la del British Museum²⁵, Domergue la considera procedente del Filón Sur²⁶ y, cuando en 1997 la rueda se deposita en el IAPH para proceder a su estudio y tratamiento, lo hace como procedente del Filón Norte.



17

Tras consultar los archivos del Museo y de la Fundación Riotinto se ha podido comprobar que fue descubierta en la Masa Planes:

- La rueda que se expone en el Museo tiene un diámetro máximo de 4'30 m.

A.E.A._nº 41, pp. 101-120.

²⁴ Expediente denominado "Relación de objetos pertenecientes al Museo de Riotinto trasladados al Museo Provincial de Huelva" (Exped. Gral /73) realizado por el entonces director M. Del Amo.

²⁵ WEISGERBER, G. (1979). *Opus cit.* p. 64.

mientras que el consignado en la rueda del inventario de 1973 es de 4'20 m., lo que pudo inducir a dudar sobre su identidad. Sin embargo, la diferencia estriba en medir el diámetro de la llanta a la altura de las tabica de tapa de los cangilones o el diámetro de la llanta en el punto donde sobresalen las cabezas de los radios (5 cm. a cada lado).

- El contraste de ciertos detalles de la Rueda con una antigua fotografía de su etapa en el Museo de Bellavista localizada en el Archivo Histórico de la Fundación Riotinto²⁷, en cuyo reverso lleva anotada la leyenda "*Rueda romana encontrada en excavaciones en el Filón Planes (4). Reconstruida en un almacén*" (Fig. 18) también corrobora su identificación.

Gracias a la información comunicada a C. Domergue por L. U. Salkield, antiguo subdirector de la mina, sabemos 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*"²⁸. Cuando menciona este hecho Domergue no especifica el nº de ruedas descubiertas aunque, más adelante, refiere que en Planes se halló una pareja (*Ibidem* p. 246). Como vimos, el plano de una rueda hallada en Planes en 1928 que se conserva en la Cartoteca de la Fundación Riotinto presenta una rueda similar pero cuyas características no coinciden exactamente con la del Museo de Huelva, lo que induce a pensar si en ambos casos se trata de las dos ruedas de ese par, considerando que cada ejemplar de una pareja no tendrían por qué ser idénticos forzosamente.

Con casi toda probabilidad el hallazgo de la rueda del Museo de Huelva pudo producirse entre finales de los años 20 y la década de los 30 de la pasada centuria. Más concretamente, nos inclinamos a pensar que tuvo lugar en 1928 (al igual que la rueda del plano realizado en tela encerada que se guarda en la Cartoteca de la Fundación Riotinto). Esta deducción se basa en tres hechos concretos:

- El artículo de R.E. Palmer²⁹ se publicó en 1927, con lo que tenemos una fecha *post quem* para la aparición de nuestra rueda. En este artículo, la documentada

²⁶ C. DOMERGUE (19). *Opus cit.* p. 246.

²⁷ Foto referencia A-3/279/Bodenh.-71-VARIOS (40). Pertenece al Archivo Bodenham y a una serie realizada por el fotógrafo Tomás Atienza. Esta foto fue publicada en su día por Luzón (*Opus cit.*, fig.6), aunque, al no verse el extremo superior de la misma, no era identificable con la rueda del Museo de Huelva.

²⁸ DOMERGUE, C.(1987): *Opus cit.* , p.238, n. 434.
Ibidem. p. 246.

²⁹ PALMER, R.E. (1926-27). *Opus cit.*

referencia a las ruedas aparecidas hasta esa fecha no debería pasar por alto la rueda del Museo de Huelva, habida cuenta de su integridad y buen estado de conservación (o, al menos, de su íntegra recomposición).

- La primera fotografía conocida de la rueda proviene del *Archivo Bodenham*. Frank J. Bodenham, al que ya mencionamos con anterioridad, fue ingeniero superintendente de los trabajos de la *Riotinto Company Limited* y estuvo en activo entre 1910 y 1946. La imagen está tomada por el fotógrafo Tomás Atienza quien trabajó para la compañía británica hasta los años 30 de esa centuria.

- La datación en 1928 del hallazgo en ese mismo yacimiento de Planes de la otra rueda similar, de la que conocemos el plano realizado en tela encerada de la Cartoteca de la Fundación Riotinto. C. Domergue, cuando se refiere a Planes menciona que en él se descubrieron ruedas y, aunque no precisa el nº, queda claro que más de una. Si tenemos en cuenta las características y dimensiones generales de la rueda de 1928, vemos que es casi idéntica a la del Museo de Huelva: 4'30 m. de diámetro exterior, 25 radios, etc. Ha sido la diferente configuración del disco lo que ha impedido identificarla con la nuestra pero nos inclinamos a pensar que, de no ser la misma, pudieron ser pareja o formar parte de una misma batería.

Ya hemos mencionado cómo la reactivación de la minería en la comarca por parte de la *Riotinto Company Limited* supuso el descubrimiento de muchas labores mineras antiguas, hallándose numeroso material arqueológico. Para guardar la creciente colección de piezas (muchas procedentes de la necrópolis romana de La Dehesa) la compañía creó un pequeño Museo a la entrada del barrio inglés de Bellavista. Gracias al interés de muchos de los ingenieros y encargados británicos se documentaron y rescataron muchas piezas arqueológicas, como constata Pérez Macías³⁰, pero éstas fueron consideradas propiedad de la Compañía, llegando a ser enviadas a Gran Bretaña algunas de las significativas³¹, como solía ocurrir con infinidad de piezas descubiertas en las Colonias británicas.

En la foto más antigua que conocemos de la rueda del Museo de Huelva, a la que

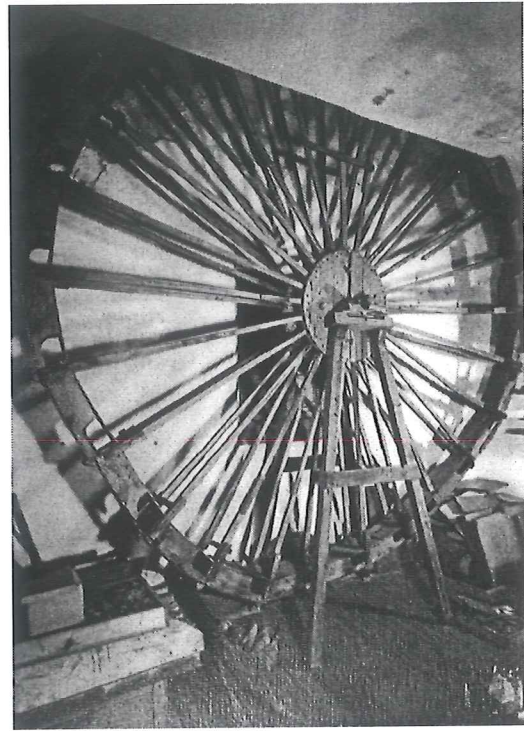
³⁰ PÉREZ MACÍAS (1998): *La producción de los metales en el cinturón ibérico de piritas en la prehistoria y la antigüedad*. Universidad de Huelva.

³¹ Este es el caso del tercio de rueda procedente, al parecer, del Filón Norte que en 1889 ingresó en el British Museum

ya hemos hecho alusión, se aprecia que ésta se albergaba en un espacio sucio y cerrado, de paredes sin enfoscar ni enlucir y techo de uralita, lugar que nos hace descartar que pueda tratarse de una sala del Museo de Bellavista. En ella la rueda aparece montada en un único soporte de madera (compuesto por dos borriquetes unidos mediante sendos travesaños por la zona inferior) apuntalado en el frente, aparentemente más sólido que lo que ha tenido con posterioridad. Cotejando esta foto con las posteriores se puede afirmar que, básicamente, el estado de la rueda ha variado poco con respecto al momento de su desmontaje en 1997 (clavos y puntillas metálicos, listones de refuerzo en la cabeza de los radios y entre los nº 2, 3 y 4, etc.).



18



19

De su etapa en el Museo de Bellavista poco podemos decir salvo mencionar que la 2ª fotografía que tenemos de nuestra rueda sí parece estar tomada en el interior Museo (Fig. 19)³². En ella la rueda descansa en un par de borriquetes independientes, que son los mismos que ha tenido hasta su desmontaje en 1997. Es de suponer que en el traspaso del angar o almacén en que inicialmente estuvo guardada al interior del Museo

³² Foto referencia *Revista Río Tinto. "La minería de Riotinto". Mayo, 1970. Gáez S.L. Madrid. Dep. Legal M-11962. Signat. 622 Mine Río.*

La rueda aparece delante de la ventana cerrada de una habitación solada y de paredes encaladas. En el rincón de la sala se ve una serie de *tegulae* amontonadas que pudieran pertenecer a enterramientos de la necrópolis de La Dehesa.

de Bellavista, la rueda sufriera los efectos del traslado (pudiendo incluso haber llegado a desmontarse en parte) puesto que, cotejando esta foto con la anterior, ya se observan algunos desperfectos que no tenía en la primera: está más abierta la línea de unión de las dos mitades que conforman la tapa del disco, el radio 21 ya está partido y el cangilón entre este radio y el 22 se haya más deteriorado.

Cuando la mina nuevamente fue explotada por capital español, muchas piezas del Museo de Bellavista pasaron a manos de ingenieros españoles³³. El nuevo director, L. Calvo Sotelo, ante el estado de abandono del Museo, ofreció una "donación en depósito" al recién creado Museo Provincial de Huelva, trasladándose parte de su material al Museo de Huelva en 1973. Entre este material estaba nuestra rueda, siendo expuesta en el patio de luces de la entrada principal del museo onubense³⁴ hasta 1997, año en que se desmontó para su restauración³⁵.

Como en el caso de otras ruedas descubiertas, el estado de deterioro que presentaba la rueda consistía principalmente en su falta de integridad, ya que éstas aparecían muy destrozadas por los desplomes de las galerías en que estuvieron emplazadas. A este motivo habría que añadir una mala manipulación de las ruedas, que propició la pérdida y extravío de muchas de las piezas que las componían durante el proceso de extracción de los escombros (aparecían enterradas total o parcialmente) y en el posterior montaje de las misma (incluso, pensamos que algunas de estas ruedas se

³³ PÉREZ MACÍAS (1998). *Opus cit.* Este autor refiere que, pese a achacarse a la compañía británica que se llevara mucho material arqueológico de Riotinto, fue escaso el material expatriado (entre ellos el fragmento de rueda hidráulica que se expone en el British Museum).

³⁴ Los elementos que conforman la rueda fueron montados en el patio de luces del Museo de Huelva en 1973 por la empresa *Macarrón*. Dato aportado oralmente por M. Del Amo, director del Museo en ese momento. Según la conservadora del museo J. Bedia, para establecer la posición original de la rueda se organizó un entarimado de aglomerado (1'20x4'10 m) sobre el que se instalaron los borriquetes de madera (parece que son las mismas que tenía en el Museo de Bellavista), unidas mediante tirantes (bastante endeble en apariencia) y por el eje de bronce original. Estos borriquetes se fijaron al entarimado mediante puntillas. Para organizar la circunferencia de la rueda hubo que restituir alguno de los radios con madera toscamente trabajada. Esto, a juzgar por la foto del Museo de Bellavista, también se haría con anterioridad al traslado al Museo de Huelva.

³⁵ En el transcurso del tiempo, la escasa calidad de los materiales empleados y la humedad debida a goteras en la claraboya del patio del Museo habían propiciado el desplazamiento en altura del "borriquete" exterior, por lo que el eje de bronce se desplazó haciendo bascular toda la estructura hacia atrás. Todo ello ha provocado el abombamiento de la rueda que se encontraba en una situación de equilibrio descompensado (los pesos variaron y los elementos de agarre originales habían cedido. Descripción extraída del informe del Museo de Huelva, firmado por J. Bedia con fecha 28/1/97, titulado "Deterioros en la Rueda Hidráulica de época romana conservada en el Museo de Huelva". Del desmontaje se encargó la empresa *Ressur*.

recompusieron con piezas reunidas a partir de diferentes hallazgos³⁶. No obstante, el hecho de estar la madera en parte mineralizada, ha sido el principal motivo de que se haya conservado la rueda del Museo de Huelva hasta nuestros días.

Entre 1998 y 2002 ha sido restaurada e investigada en el IAPH y, desde noviembre de 2003, se expone nuevamente en el Museo onubense.

1. 3. CONTEXTO ESPACIO-TEMPORAL DE LA RUEDA DE RIOTINTO.

MARCO ESPACIAL.

La Cuenca Minera de Ríotinto³⁷ se sitúa en la comarca del Andévalo onubense, siendo sus criaderos pirítico-cobrizos uno de los focos mineros más importantes del territorio peninsular. Están enclavados en la franja mineralizada que atraviesa la provincia de Huelva en dirección NE-SO, comenzando en la de Sevilla y acabando en el Alentejo portugués. Entre los criaderos más importantes de esta franja pirítica también cabe destacar (de E a O) los de Aznalcóllar, Buitrón, Peña de Hierro, San Miguel, Concepción, Poderosa, Sotiel Coronada, La Zarza, La Joya, Tharsis, São Domingos, Aljustrel, Lousal, etc.

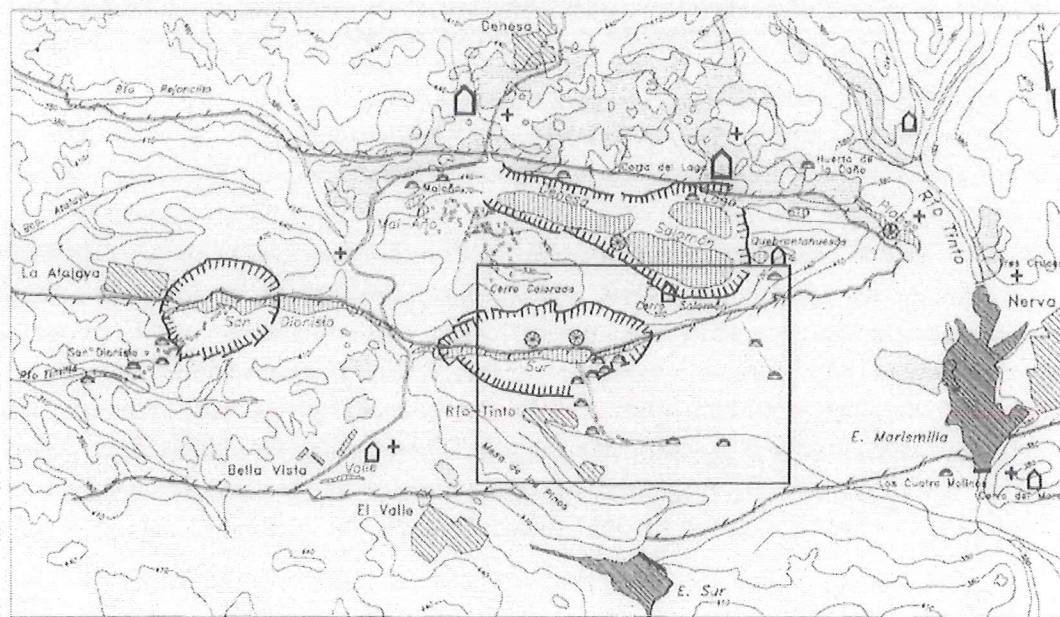
En concreto, la rueda del Museo de Huelva fue hallada en el pequeño criadero de Planes, situado en el extremo oriental del yacimiento minero de Ríotinto, localizado entre varias alineaciones E-O de cerros: Sierra de San Cristóbal, Cerro Colorado, Alto de la Mesa y Pie de la Sierra. El Cerro Colorado se prolonga al E con el Cerro Salomón y al O con los de Retamar, Mal Año y San Dionisio, formando entre ellos la médula espinal de la mina, ya que en las faldas N (Filón Norte³⁸) y S (Filón Sur) están las principales masas de mineral (las del llamado Grupo Norte son masa Lago, Dehesa y Filón Norte o Salomón y las que constituyen el Grupo Sur son las masas San Dionisio y Eduardo y el Filón Sur o Nerva).

³⁶ Puede, incluso, que algunos de los dibujos que se hicieron fuesen restituciones hipotéticas de piezas halladas desmembradas (dado el destrozo y "desubicación" de algunos de los elementos, tal como vemos en fotos de archivo. Según Palmer (*Opus cit.*, p. 301) la muy conocida foto que aparece en la lám. I no es una rueda íntegra descubierta en 1886, sino un modelo a escala natural de 14 pies y 10 pulgadas (4'52 m) de diámetro máximo construido in situ con los datos obtenidos a partir del hallazgo.

³⁷ La Cuenca Minera de Ríotinto tiene una extensión aproximada de 640 km² y abarca los términos municipales onubenses de Berrocal, El Campillo, Campofrío, La Granada de Ríotinto, Minas de Ríotinto, Nerva y Zalamea la Real.

³⁸ Cortas Dehesa, Lago y Salomón.

En Planes, debido a que la cota de la zona explotada por los romanos estaba bajo el nivel del río Tinto, localizado muy próximo, era imposible establecer galerías de desagüe, por lo cual la evacuación del agua se realizaba mediante medios mecánicos y el transporte del mineral por bestias de carga. Con la reapertura de algunas minas en el siglo XVIII, y fundamentalmente, a partir de 1873 cuando se vuelven a poner en explotación los yacimientos ya conocidos por los romanos (Filón Norte, Filón Sur, Planes y San Dionisio), salieron a la luz múltiples evidencias del grado a que llegó la minería romana en la zona, de tal modo que no se tocó una mina que antes no hubiese sido explotada por Roma.



20

CONTEXTO HISTÓRICO.

La mayor parte de las minas del SO peninsular, explotadas desde mucho antes de la llegada de los romanos (especialmente las de plata y cobre, aunque sin entrar en las masas de calcopirita), se ampliaron e incrementaron y perfeccionaron su actividad a comienzos del Imperio Romano, al tiempo que se abrieron nuevas minas. En época alto-imperial se desarrolla allí una minería y una metalurgia de gran intensidad, sólo superada por la minería contemporánea. Los datos aportados por la *Exploración Arqueometalúrgica de Huelva*, concluyen que la zona fue la región más activa entre las productoras de metal del Imperio y uno de los focos más importante del mundo antiguo³⁹.

³⁹ PÉREZ MACÍAS (1998). *Opus cit.*, p. 260.

El periodo de auge de la minería romana en Huelva, centrado en los siglos I y II d.C., comienza con Augusto y alcanza su punto álgido con Marco Aurelio en época de los Antoninos. La política imperial en materia de minas consistió en controlar directamente la dirección y administración de las explotaciones, encargándolas a funcionarios del estado, en detrimento de los grandes empresarios. De este modo, en la zona que nos ocupa se concentró buena parte del esfuerzo minero, dirigido en gran medida por el Estado, como muestra el hallazgo de normas reguladoras (Leyes de Vipasca y de Aljustrel) y lápidas referidas a procuradores imperiales (cargos desempeñados en muchos casos por libertos imperiales), como la encontrada en la galería de San Carlos en el siglo XVIII, dedicada a Nerva y que dio nombre al pueblo que surgía en la zona del hallazgo. El *procurator metallorum*, como primera autoridad del distrito minero, velaba por los intereses del estado, el cumplimiento de las leyes y la productividad, se cuidaba del mantenimiento de los pozos y galerías y del suministro de materias básicas como la madera⁴⁰. Por debajo suyo se hallaba un equipo de funcionarios y una serie de técnicos de alta cualificación llegados desde cualquier punto del Imperio⁴¹. Como mano de obra no solo se contaba con los condenados a trabajos forzados (los *damnati ad metalla*) sino también con trabajadores libres y esclavos, a veces asociados en *collegia* y en muchos casos oriundos de zonas lejanas⁴².

La política minera de la administración imperial propició la apertura de nuevas minas y la ampliación de las hasta entonces conocidas⁴³, implantándose el sistema de pozos y galerías. Las dimensiones de los depósitos hicieron necesarias enormes obras, con galerías de desagüe de varios kilómetros de longitud y métodos de elevación de agua por medio de complejos sistemas e ingenios de elevación de agua. A esta intensa y eficaz actividad minera le seguía la fundición, asombrando el volumen de escoriales existentes (se han cifrado en más de 20 millones de toneladas las escorias repartidas hasta hace

⁴⁰ Las ingentes cantidades de carbón vegetal necesarias para usar como combustible en los hornos de fundición, harían imprescindible importar maderas de otros puntos del Imperio y, posiblemente, como apunta Blanco Freijeiro, pudieron emplear otro material de combustión derivado de la pirita. BLANCO FREIJEIRO, A. (1984): "Mineros y metalúrgicos antiguos en Huelva", *Investigación y Ciencia*, Edición en español de Scientific American, nº de marzo, p.109

⁴¹ En esta síntesis seguimos a BLANCO FREIJEIRO, A.; LUZÓN NOGUÉ, J.M. (1966): "Mineros antiguos españoles". A.E.A. vol. XXXIX, nº 113-114, pp. 73-78 y a PÉREZ MACÍAS, J. A. (1998). *Opus Cit.*

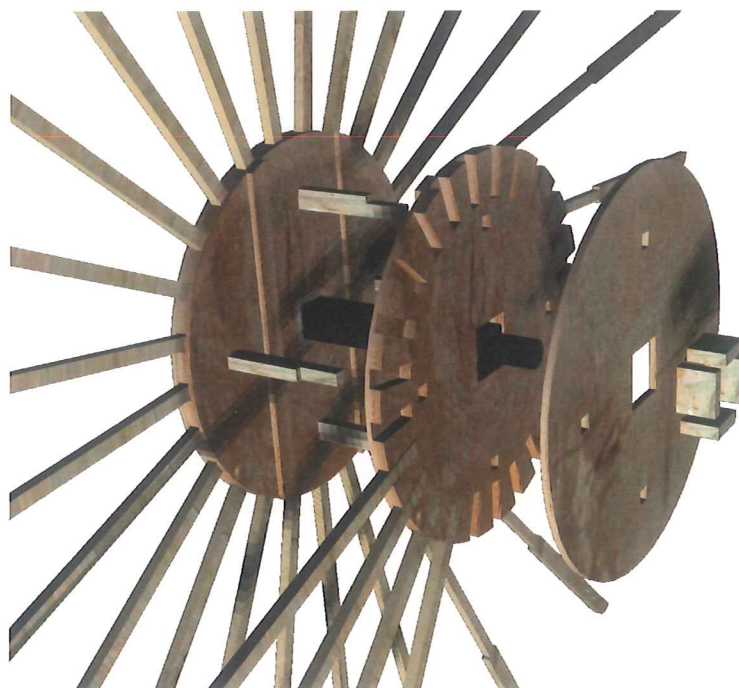
⁴² Por las lápidas funerarias de las minas onubenses se conoce que muchas de las personas llegadas a las zonas mineras procedían de lugares alejados: germanos, cántabros, galaicos, emeritenses, lusitanos, etc.

⁴³ Todas las minas conocidas y explotadas desde el siglo XIX fueron ya puestas en explotación en este momento.

región, buena parte de ellas en los alrededores de los filones de Riotinto y Tharsis⁴⁴). Como novedad metalúrgica destaca la producción de hierro, aunque a pequeña escala. Toda esta actividad hacía necesaria una amplia red de abastecimiento y transporte y toda una compleja infraestructura, desde destacamentos militares, zonas de habitación y necrópolis, combustibles, alimentos, etc. En Riotinto, Tharsis, Aznalcóllar y otras zonas se conocen varios de estos yacimientos⁴⁵.

1.4 ESTUDIO TIPOLÓGICO, FORMAL Y FUNCIONAL

Como ya advertimos, el estudio crono-tipológico y técnico de esta *rota* es desarrollado rigurosamente por Rodríguez Trobajo (INIA), del mismo modo que el análisis y descripción de cada una de las piezas que componen la rueda ha sido realizado en detalle por el restaurador Manzano Pérez y complementado con una amplia serie de gráficos al respecto. Es por ello que en relación a ese tipo de análisis arqueológicos aquí sólo entraremos a considerar algunas cuestiones complementarias de ambos estudios.



⁴⁴ PÉREZ MACÍAS, J. A. (1998). *Opus Cit.*

⁴⁵ HUNT ORTIZ, M. (1988), PÉREZ MACÍAS, J. A.....

DESCRIPCIÓN FORMAL

Ya señalamos que se trata de una rueda elevadora de agua del tipo de cangilones integrados, cuya principal fuerza motriz era humana. Tiene un diámetro de 4'20 m. (excluyendo las cabezas sobresalientes de los radios) y conserva el 95% de las piezas originales. Construida íntegramente en madera (a excepción del eje de bronce) destaca la perfección del trabajo de carpintería y armadura por la selección de maderas, el corte de las mismas, los ensambles (*a caja y espiga*) y el uso exclusivo de clavijas de madera de sección cuadrada. Se han hallado restos de pez en los cangilones para su impermeabilización. El eje iba embutido en una pieza de madera, hoy desaparecida como se aprecia claramente en el dibujo Rueda de Tharsis (Fig.) y en una de las fotos del Archivo de la Fundación Rio Tinto (Fig.).

La rueda está conformada por dos discos (donde se ensamblan los radios), que con sus respectivas tapas conforman el cubo de la rueda, 25 parejas de radios y 25 cangilones alojados entre ellos. Estas piezas, se forman con 6 tabicas dotadas de escotaduras laterales, están diseñadas para ofrecer la menor resistencia al contacto del agua y su interior está estudiado para favorecer una eficaz dinámica de fluídos, dando como resultado una productiva herramienta de trabajo. Los extremos del eje de bronce descansaban en sendos cojinetes de roble que, a su vez, apoyarían en dos gruesas vigas encastradas en la roca.

·MATERIALES Y TÉCNICA: toda de madera (pino, roble, pinsapp), salvo el eje, que es de bronce. Los elementos que componen la rueda de madera y cada una de las piezas que los conforman están ensamblados mediante espigas de madera (de sección cuadrada) o mediante un sistema de caja y espiga.

·DIMENSIONES: su diámetro total es de 4'20 m (4'30 m si se incluyen las cabezas de los radios que sobresalen de la corona exterior).

- los cangilones miden 0'20 x 0'48 m.

- longitud media de los radios = 1'85 m.

- disco delantero (de forma ligeramente oval)= 0'785 m X 0'825 m de longitud y disco trasero (de forma ligeramente oval)= 0'780 m X 0'820 m. de longitud

- eje = 0'79 m. de longitud

·PESO: 130.700 gr. sin el eje de bronce y 17.800 gr. el eje de bronce.

Los estudios dendrocronológicos y de C14 realizados por el INIA la datan sobre el 175 d.C.:

Una puesta al día de los estudios arqueológicos de la noria pasa por la **descripción sucinta** de las diferentes partes que la constituyen, para lo cual nos basamos en el análisis desarrollado en el capítulo IV (MANZANO BELTRÁN)⁴⁷. Empezaremos por indicar que la rueda consta de un cubo donde se inserta el eje de giro y donde se alojan 25 parejas de radios en cuyos extremos se ensamblan los 25 cangilones que conforman la corona de la rueda:

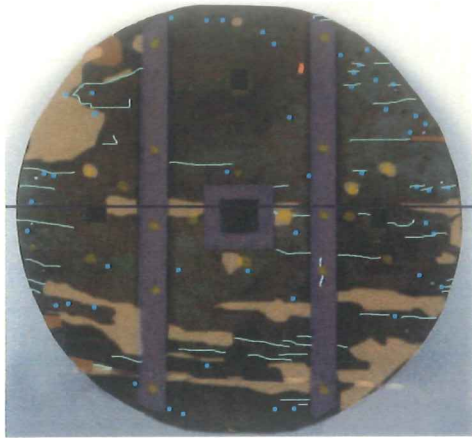
- El **CUBO** de la rueda se construyó con madera de pino negral y se compone de dos discos con sus respectivas tapas. Presenta un orificio central cuadrangular para pasar el eje de bronce, de mayor amplitud que éste al objeto de albergar el forro de madera donde éste iba embutido. Equidistantes a ese orificio se encuentran otros cuatro más pequeños para alojar los cuatro travesaños que arriostan ambos discos.
 - Los **discos** (ligeramente ovalados por la contracción de la madera al secarse⁴⁸) constan cada uno de dos partes unidas internamente con dos ensambles "a caja y espiga", reforzados por clavijas que atraviesan cada lengüeta. La cara externa de cada disco lleva talladas en su contorno perimetral veinticinco mortajas ligeramente trapezoidales (se estrechan hacia el interior hasta 0'05 cm) para alojar los extremos de veinticinco radios.
 - Las **tapas**, de menor espesor que los discos, se componen de varias tablas de diferente escuadría y están divididas en dos mitades. Cubren la cara externa de los discos donde van insertos los radios, sujetos por las tapas y enclavijados. Manzano Beltrán ha observado que en la rueda de Huelva se aprecia que las tapas presentan ciertos desajustes en el encaje con los discos, de lo que deduce que no son las tapas originales.

- Los **RADIOS**: contruidos en madera de abeto (madera alóctona, muy posiblemente), tienen una longitud aproximada de 185 cm. y una anchura de 5

⁴⁶ Rodríguez Trobajo en el capítulo II relaciona esta datación con la de las piezas sueltas del Museo de Huelva y acota su edad: posterior a 88 cal AD.

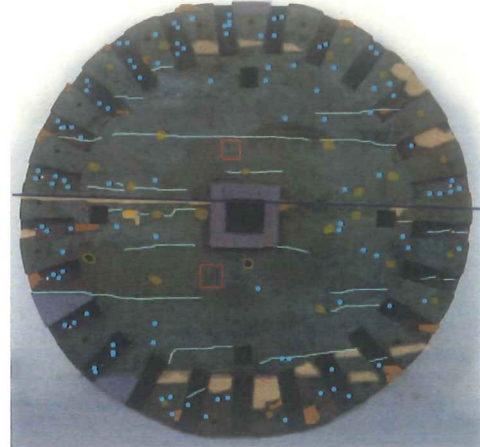
⁴⁷ Advertimos, nuevamente, que se hace una descripción pormenorizada de cada uno de estos elementos en el capítulo IV, al cual nos remitimos y cuya parte gráfica sirve de apoyo a lo que vamos refiriendo.

⁴⁸ Miden 0'785 m x 0'825 m y 0'780 m x 0'820 m. de longitud, respectivamente. *Vid.* capítulo IV.



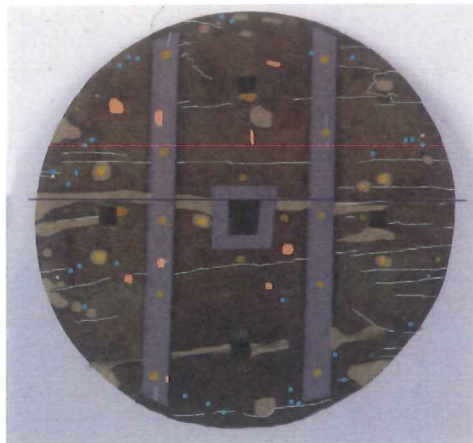
CARA EXTERNA DEL DISCO DENTADO TRASERO

PERDIDA DE SOPORTE.	PRESENCIA DE ESPIGAS DE MADERA.
RELLENOS DE RESINA EPOXICA.	AUSENCIA DE ESPIGAS DE MADERA.
NUDOS.	AGUJEROS POR CLAVOS METÁLICOS.
GRIETAS.	PIEZAS DE MADERA NO ORIGINALES.
LÍNEAS DE ENSAMBLE.	INSCRIPCIONES.



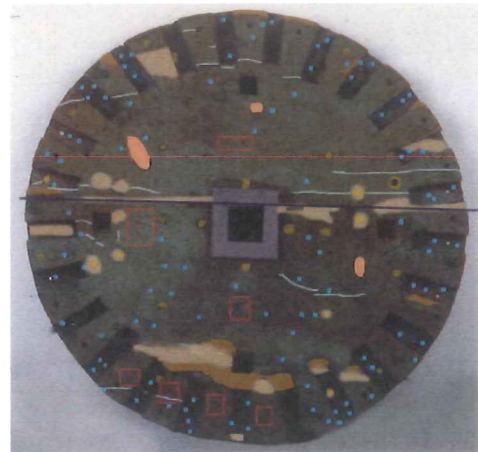
CARA INTERNA DEL DISCO DENTADO TRASERO

PERDIDA DE SOPORTE.	PRESENCIA DE ESPIGAS DE MADERA.
RELLENOS DE RESINA EPOXICA.	AUSENCIA DE ESPIGAS DE MADERA.
NUDOS.	AGUJEROS POR CLAVOS METÁLICOS.
GRIETAS.	PIEZAS DE MADERA NO ORIGINALES.
LÍNEAS DE ENSAMBLE.	INSCRIPCIONES.



CARA EXTERNA DEL DISCO DENTADO DELANTERO

PERDIDA DE SOPORTE.	PRESENCIA DE ESPIGAS DE MADERA.
RELLENOS DE RESINA EPOXICA.	AUSENCIA DE ESPIGAS DE MADERA.
NUDOS.	AGUJEROS POR CLAVOS METÁLICOS.
GRIETAS.	PIEZAS DE MADERA NO ORIGINALES.
LÍNEAS DE ENSAMBLE.	INSCRIPCIONES.



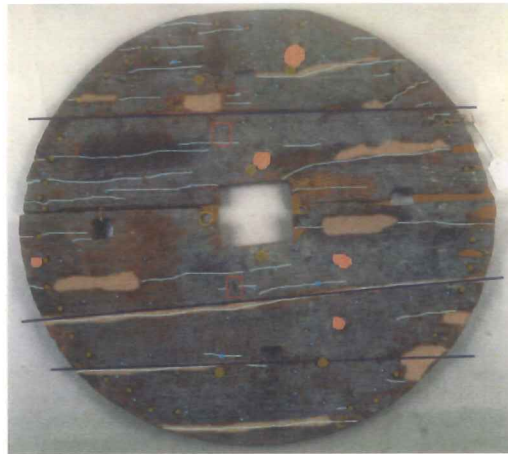
CARA INTERNA DEL DISCO DENTADO DELANTERO

PERDIDA DE SOPORTE.	PRESENCIA DE ESPIGAS DE MADERA.
RELLENOS DE RESINA EPOXICA.	AUSENCIA DE ESPIGAS DE MADERA.
NUDOS.	AGUJEROS POR CLAVOS METÁLICOS.
GRIETAS.	PIEZAS DE MADERA NO ORIGINALES.
LÍNEAS DE ENSAMBLE.	INSCRIPCIONES.



ANVERSO DE LA TAPA DEL DISCO DENTADO TRASERO

PERDIDA DE SOPORTE.	PRESENCIA DE ESPIGAS DE MADERA.
RELLENOS DE RESINA EPOXICA.	AUSENCIA DE ESPIGAS DE MADERA.
NUDOS.	AGUJEROS POR CLAVOS METÁLICOS.
GRIETAS.	MANCHAS.
LINEAS DE ENSAMBLE.	HUELLAS DE HERRAMIENTAS.



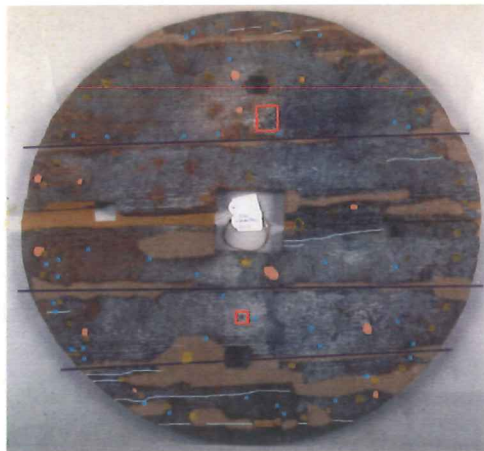
REVERSO DE LA TAPA DEL DISCO DENTADO TRASERO

PERDIDA DE SOPORTE.	PRESENCIA DE ESPIGAS DE MADERA.
RELLENOS DE RESINA EPOXICA.	AUSENCIA DE ESPIGAS DE MADERA.
NUDOS.	AGUJEROS POR CLAVOS METÁLICOS.
GRIETAS.	PIEZAS DE MADERA NO ORIGINALES.
LINEAS DE ENSAMBLE.	INSCRIPCIONES.



ANVERSO DE LA TAPA DEL DISCO DENTADO DELANTERO

PERDIDA DE SOPORTE.	PRESENCIA DE ESPIGAS DE MADERA.
RELLENOS DE RESINA EPOXICA.	AUSENCIA DE ESPIGAS DE MADERA.
NUDOS.	AGUJEROS POR CLAVOS METÁLICOS.
GRIETAS.	PIEZAS DE MADERA NO ORIGINALES.
LINEAS DE ENSAMBLE.	INSCRIPCIONES.



REVERSO DE LA TAPA DEL DISCO DENTADO DELANTERO

PERDIDA DE SOPORTE.	PRESENCIA DE ESPIGAS DE MADERA.
RELLENOS DE RESINA EPOXICA.	AUSENCIA DE ESPIGAS DE MADERA.
NUDOS.	AGUJEROS POR CLAVOS METÁLICOS.
GRIETAS.	PIEZAS DE MADERA NO ORIGINALES.
LINEAS DE ENSAMBLE.	INSCRIPCIONES.

cm., que a 68,5 cm. de la cabeza de unión con el cangilón se reduce a 3 cm., manteniéndola hasta su inserción en el disco central.

Del cubo salen los veinticinco radios, insertándose en las mortajas talladas perimetralmente en la cara exterior de cada disco (además de que el encaje en la mortaja es perfecto van enclavijados y sujetos con la tapa). Por otro lado, el extremo opuesto de los radios se unen con los cangilones mediante el sistema de caja y espiga. Allí presentan el extremo de la cabeza redondeado (cuarto de círculo) en el sentido del giro, en el objeto de ofrecer la menor resistencia al agua. Las 25 parejas de radios sostienen la corona de la rueda y todos llevan marcas de numerales romanos incisas en una de sus caras, como más adelante trataremos.

- La **CORONA** o llanta de la rueda está compartimentada en veinticinco **cangilones** cuadrangulares:

- Son los cangilones los que conforman la corona, alojándose entre los 25 pares de radios. Son piezas cúbicas compuestas por seis tabicas (cuatro talladas en madera de pino silvestre o laricio):
 - dos tabicas laterales de separación entre cangilones y entre radios, talladas en abeto como los radios.
 - una tabica de fondo (con traviesa exterior de refuerzo, hoy inexistente⁴⁹).
 - una tabica de tapa, configurando el contorno o perímetro exterior de la rueda (con traviesa interior de refuerzo),
 - dos tabicas laterales con sendas escotaduras curvilíneas para la entrada y salida del agua.
- Las tabicas de tapa y de fondo, por ser tabicas de contorno, se han tallado en tablas de menor espesor que las laterales (100mm. las primeras y 150 mm. éstas últimas) para su más fácil curvatura. Esta flexibilidad era aún más necesaria cuando, como constata el estudio de Manzano Beltrán, en la confección de las tabicas de contorno y de las tabicas laterales se procuró tallar varios cangilones en una misma pieza, al objeto de reducir juntas y, con ello, reforzar la estructura y evitar pérdidas de agua⁵⁰.

⁴⁹ Manzano Beltrán (*Vid. Capítulo IV*) deduce su existencia por los estudio directo de cada uno de los componentes de la rueda, ratificados por los planos de otras ruedas existentes en la Cartoteca de la Fundación Riotinto (fig. y).

⁵⁰ *Ibidem.* (Fig.). Además, P. Manzano observa que se procuraba colocar estas piezas compartidas de



- 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 tabica de tapa además de conformar unos salientes que se han interpretado como asideros o agarraderos para mover la rueda.
 - 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 fluidos⁵¹. Como contenedores del agua, presentan huellas de haber sido impermeabilizados.
- El **EJE** de bronce, realizado a molde, es un vástago macizo de 79 cm. de longitud y sección cuadrangular, cuyos extremos se estrechan y redondean. Pensamos que el eje estuvo embutido en una pieza de madera que lo forraba y encajaba en el cuadrado central de los discos. Esa funda de madera, hoy desaparecida, se aprecia claramente en el dibujo de la rueda de Tharsis (Fig.) y en una de las fotos del Archivo de la Fundación Riotinto (Fig.).
- De los dos **COJINETES** de madera donde apoyan los extremos del eje de bronce, se ha conservado uno. Es una pieza longitudinal de madera roble, que lleva rebajado ambos extremos a modo de apéndices para ser insertados en algún otro elemento desconocido que, a su vez, apoyaría en dos gruesas vigas encastradas en la roca.
- El agua recogida en los cangilones al sumergirse en el agua sería vertida por éstos durante la subida, en dos canaletas o artesas de las que no ha quedado nada.

En cuanto a la **técnica de ejecución**⁵², recordemos que los carpinteros (*fabri*

forma alterna para "coser" mejor los cangilones. Actualmente, muchas de estas piezas se encontraron aserradas.

⁵¹ Por ejemplo, es el caso de la cabeza de los radios, redondeada en el lado coincidente con el sentido de giro de la rueda, para ofrecer menor resistencia al agua, 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 al entrar en un solo punto, derivándola parcialmente a los laterales.

⁵² Para más información sobre el trabajo de la madera en época romana véase ADAM, J. P. (1996) : *La construcción romana. Materiales y técnicas*. Pp. 91-109. Ed. de los Oficios. León.

lignarii) trabajaban con rollos previamente troceados (maderos) y preparados mediante el descortezado y escuadrado. En estas tareas usaban, básicamente, el hacha y la sierra de marco. Para rectificar las superficies y para el acabado, la herramienta fundamental era el *ascia* (azuela). En el cepillado de la madera se usaba, como ahora, la garlopa y el bastrén, apreciándose en nuestra rueda un cuidadoso acabado de cuchilla. En la ensambladura de las piezas las partes saledizas, denominadas espigas, se fabricaban con la sierra mientras que las cavidades de encaje o mortaja, se realizaban con formones. En la rueda de Huelva, cuando se emplea el sistema de ensamblaje mediante caja y espiga también ésta va anclada por clavijas de madera que la atraviesan perpendicularmente. Para inmovilizar las piezas que componen la rueda una vez ensambladas y para prevenir alteraciones provocadas por la presión y las deformaciones variables de la madera, el carpintero las enclavijó de lado a lado, como ya vimos (para hacer los orificios más pequeños de las clavijas pudo utilizarse el taladro de ballesta). Las tapas de los discos, conformadas por varias tablas, llevaban como refuerzo dos travesaños (sujetos mediante espigas) colocados perpendicularmente (así aparecen en otras ruedas y en los dibujos que conocemos, salvo en las de Saô Domingo, que en vez de dos llevan cuatro travesaños dispuestos perpendicularmente dos a dos).

De los hallazgos conocidos de ruedas elevadoras en las minas del Sudoeste peninsular se infiere que, por regla general, el diámetro de la corona está directamente relacionado con el nº de cangilones en que se compartimenta la corona (y a veces con el volumen y capacidad de éstos). No obstante, salvo en el módulo de las ruedas, se aprecia un diseño y modo de fabricación muy similares en todas ellas, particularmente en lo conservado de las ruedas aparecidas en Riotinto. Todas representan lo que Oleson⁵³ ha dado en llamar el "tipo hispánico" de rueda frente al más pesado y compacto "tipo dacio". El caso es que todos los restos analizados procedentes de minas del Sudoeste, aparte de

53

Oleson, J.P. (1984). *Greek and Roman Mechanical Water-lifting Devices*, pp. 325 y 251. Toronto.

Por los fragmentos recuperados en antiguas minas de oro de Dacia sabemos que las ruedas de tipo dacio son de factura algo diferente, fundamentalmente por tener un cubo compacto con el eje y llevar los cangilones alojados entre robustos radios (no van emparejados), siendo los cangilones de abertura triangular localizada en el centro de las tablas laterales: en 1885 en las minas de Roşia Montana (Rumania) se recuperaron los fragmentos de un eje y dos radios de una rueda y más tarde se halló otro eje y en Rudas Barza (Rumania), en 1862 se descubrieron 25 pares de ruedas de las que se conservan dos ejes. Muy similar a las ruedas dacias es la rueda conocida en Gran Bretaña por los restos de dos cangilones recuperados en 1935 en Dolaucothi (Cardiff, al S de Gales), aunque los cangilones van sujetos entre radios pareados.

pequeñas variaciones en detalles constructivos, parecen pertenecer a un modelo avanzado y bastante extendido y consolidado (donde el módulo oscila entre casi 4'65 y 3'60 m. de diámetro y un nº radios y cangilones comprendido entre 30 y 22). A falta del cotejo de los resultados que puedan ofrecer futuros análisis de otras piezas, hoy por hoy es difícil conocer si hubo uno o más talleres encargados de su fabricación, si el modelo se difundió a partir de planos y/o plantillas y si las variantes que conocemos se deben a pequeñas peculiaridades de cada taller o artesano o están condicionadas por diferencias cronológicas.

Por otro lado, 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 montaje 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. El problema está en saber si se fabricarían en la misma zona minera o si provienen de talleres más alejados. A este debate se añade el hecho de que algunas de las maderas analizadas por Rodríguez Trobajo (capítulo II), son de procedencia alóctona (caso del abeto o del alerce o del pino silvestre de la de Saô Domingos). Aunque su existencia en las ruedas de Riotinto podría explicarse también simplemente como exportación de la materia prima, sobre todo si tenemos en cuenta la escasez de madera que ya habría en la comarca por las cantidades ingentes de combustible usado para la fundición del mineral y que la selección de determinadas maderas para según qué pieza pudo acarrear la necesidad de su importación. Por el momento nadie tiene la solución definitiva a estas cuestiones.

La rueda del Museo de Huelva presenta marcas de numerales como sucede en otros casos de ruedas descubiertas en el SO peninsular:

- El cuarto de rueda procedente de Saô Domingos, conservada en el Musée des Arts et Métiers de Paris, tiene dos numerales contiguos (*I* y *II*) marcados en el borde de la tapa que se han interpretado como la señal para indicar el sentido en que debían colocarse los radios en las mortajas del disco⁵⁴ y algunos de los radios conservados llevan también numerales. Estas marcas se disponen longitudinalmente en una de las caras del radio (no se especifica si en la interior o exterior), en la mitad inferior del mismo y, por regla general, el numeral se empieza a marcar de izquierda a derecha partiendo de la base del radio. A veces

54

DOMERGUE, C.; BINET, C.; BORDES, J-L. (1999): *Opus cit.* p. 53.

este sentido de escritura se invierte en esta y otras ruedas y las cifras aparecen del revés (de ahora en adelante, *retro*). Los marcas documentadas son: *VIII*, *IIIVX* (*XVIII retro*), *XX*, *XXIII*, dos números incompletos y *VXX* (*XXV retro*), amén de las letras *Q.C.* 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.

- El fragmento de rueda 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 que mejor puede dar una pista sobre el modo de numerar cada uno de los componentes de la rueda:
 - o Tres de las cuatro tablas que componen la tapa están signadas como *I*, *II* y *IIII*.
 - o De los radios expuestos se observan los números *II*, *III*, *IIIV* (*VII retro*, corregido), *IIIIV* (*VIII retro*), *X* y *IIIX* (*XIII retro*), mientras que algunos radios almacenados llevan marcado *IIII*, *V*, *IIIV* (*VIII retro*), *IX* (*XI retro*), *VIXX* (*XXIV retro*), *IVXX* (*XXVI retro*) y *IIVXX* (*XXVII retro*).
 - o Las tabicas de fondo y de tapa también presentan algunas numeraciones (un *V* en una de fondo, otra lleva un *XII*⁵⁵ a un lado y un *V* a otro y dos fragmentos indentificables tienen el nº *II*). En cambio, las tabicas laterales aparecen todas numeradas sin excepción, frecuentemente con dos números, uno en cada extremo, de tal modo que hacía referencia a las tabicas a colocar a su izquierda y derecha, como señala Weigerber, quien con esto constata que no se numeraban las tabicas 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 nº *VI* aparece tres veces.

- Por lo que respecta a la rueda del Museo de Huelva, de las veinticinco parejas de

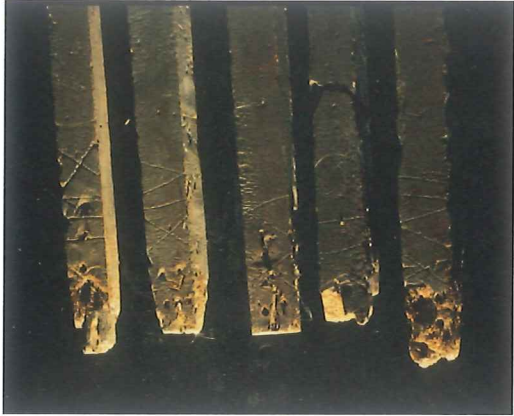
radios que tiene una serie de 25 de ellos son los que van marcados con numerales romanos del I al XXV, incisos en la madera mediante instrumento afilado de corte y presión (posiblemente, formón).

- También van marcados los discos y sus respectivas tapas (a pesar que e éstas parecen no ser las originales) en las caras internas, es decir, las que van confrontadas:
 - o uno de los discos 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.
 - o El otro disco, al igual que la tapa correspondiente, presenta su cara interna con las dos mitadas 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).

Volviendo a la numeración de los 25 radios, 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 (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 (XVI retro), XIIX, 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 hacen la mayoría de los números (desde el costado opuesto del radio). Desconocemos el motivo de dichas "anomalías" como 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, como acabamos de ver, aparece en otras ruedas conocidas). Otro asunto que despierta nuestro interés 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 (Vid. capítulos II y IV) 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 pareja llevaban la misma numeración.

En resumidas cuentas, se puede constatar lo siguiente:

- 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 se colocaron con otra orientación).
- Por lo hasta ahora conocido, solo en la rueda del Museo Británico se han numerado las principales componentes de la rueda, incluidos cada una de las tabicas de los cangilones.
- Parece que en todos los casos analizados la numeración de los radios solo 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 radio (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 estos numeración).
- 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 (lo vemos poco probable).
 - Recambios de elementos deteriorados durante la etapa de uso de la rueda (en este sentido, los radios como piezas más frágiles serían los más sustituidos). Es una de las hipótesis apuntada ya por Weisgerber y 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 (RODRÍGUEZ TROBAJO, capítulo II).
 - 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 por personal no cualificado. Puede que ésta sea la explicación, como ya hemos expuesto, 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 Saõ Domingos (incluso con maderas retalladas) sugieren esta idea.

Finalmente mencionaremos que la rueda del Museo de Huelva presentaba algunos números árabes de época contemporánea (a lápiz y bolígrafo)⁵⁶ puesto que, tras su hallazgo, se numerarían algunas piezas como referentes para el proceso de montaje y otro tanto pudo ocurrir para el remontaje en el Museo de Huelva (posiblemente para un más fácil traslado de uno a otro museo, se desmontaría en parte).

Funcionamiento de la rueda.

De los sistemas de extracción de agua que describe Vitruvio⁵⁷ la rueda hidráulica es el mejor documentado en las minas del SO, como ya se ha comentado. Vitruvio dice que "se dispondrá en torno al eje una rueda de una magnitud que esté en relación 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"⁵⁸.

Las ruedas, movidas por el hombre, debían estar en continuo funcionamiento achicando el agua del nivel freático ya que, si dejarán de trabajar, ésta podía inundar en poco tiempo las galerías. Gracias a los hallazgos de baterías de ruedas en el Filón Sur de Río Tinto (Fig.), en el Filón Norte de Tharsis (Fig.) y en las minas de Santo Domingo (Fig.), conocemos su sistema de colocación: generalmente se disponía una sucesión de 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 (galería inclinada). También había ruedas aisladas, cuando el

⁵⁶ El radio VII (RD-21) lleva el nº 20 hecho con bolígrafo y en el RT-16 aparece el nº 10 realizado a lápiz.

⁵⁷ VITRUVIO, Los Diez Libros de la Arquitectura. Trad. A. Vázquez. (1986) Colección Obras Maestras, Ed. Iberia, Barcelona, (Libro X, cap. IX-XII).

⁵⁸ *Ibidem.* p. 268.

caudal del agua lo permitía, pero esto era más infrecuente, posiblemente para que, en caso de reparación de alguna pieza, no dejará de achicarse el agua.

Según Palmer⁵⁹, 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. Ilustra esta afirmación con la representación de la pareja de ruedas halladas en el Filón Sur de Río Tinto (planta de nuestra Fig.), 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 los extremos del eje de bronce. Dos maderos que se encastran en la pared, perpendiculares a las ruedas, sustentan los extremos de las dos parejas de vigas.

En relación a ese dibujo de Palmer hemos de fijarnos en un tronco dispuesto en diagonal que aparece a la derecha de la rueda y apoyado en la pared, 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 accionara la rueda, ya que en la foto de la reconstrucción de una noria (Lám.) puede verse, mal que bien, una pieza similar en idéntica posición. Otro plano y alzado, esta vez de las dos parejas superiores del conjunto descubierto en Tharsis, reproducido por Stevenson, ilustra con la misma claridad el modo de colocación (Fig.) y dibujan las canaletas de desagüe. Tan solo difiere del anterior en que son las vigas donde apoya el eje las que, directamente, van encastradas en la pared de la cavidad donde se alojan las ruedas y en que se representan sobre cada rueda lo que parece 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, p.3) como el punto de apoyo de los operarios que accionaban la rueda con los pies.

Lo que acabamos de mencionar trae a colación la discusión sobre el sistema de tracción de este tipo de ruedas. Los diversos estudios que se han realizado respecto al modo de accionar las ruedas hidráulicas coinciden en que la fuerza motriz era humana

⁵⁹ PALMER, R.E. (1926-27): *Opus Cit.* p. 302.

pero no llegan a una conclusión clara respecto a la disposición del individuo y a la forma de asir la rueda para ponerla en movimiento. 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. Lo gastado de estas piezas parecía 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 de la llanta, que impiden colocar el pie de frente. ¿Dónde y cómo se aplicaba esa fuerza?

Como no hay espacio posible, dada la configuración de este tipo de ruedas, se descarta totalmente que fuese movida con hombres caminando en su interior, como es el caso de las robustas ruedas de las máquinas elevadoras utilizadas en la construcción (las ruedas de pisar de los polipastos).

La teoría de que la rueda del Museo de Huelva y otras de su especie fuesen accionadas con los pies en el perímetro exterior, como hemos visto, se fundamenta en la existencia en el contorno exterior de la corona de unos listones de madera que, además de ajustar las cabezas de los radios y reforzar las tabicas de techo, pudieron servir como punto de apoyo para ejercer la fuerza. Es un sistema constatado en otros lugares y es la hipótesis que más adeptos tiene. De hecho, como opinan Domergue, Binet y Bordes⁶⁰, se ejerce la máxima potencia utilizando todo el peso del cuerpo. Estos investigadores piensan que el trabajador pudo estar colocado algo por debajo del punto más alto y apoyar los brazos en maderos exteriores inclinados unos 45°.

Para nosotros este modo de tracción tiene puntos controvertidos si tenemos en cuenta la estrechez y fragilidad de la llanta, la ligereza de los radios y, sobre todo, las características y formato de los listones, que los hace poco aptos para su uso como asideros o agarraderos. 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 muy a menudo, aunque contase con una viga para apoyarse con las manos)⁶¹. Esta

⁶⁰ DOMERGUE, C. *et alii* (1999). *Opus cit.* p. 57.

⁶¹ *Ibidem*. La posibilidad de que la forma redondeada de los listones tuviera el objeto de no dañar los pies del trabajador, como apuntan estos autores, 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 no parece debido a la presión ejercida para accionar la rueda, sino que es similar al observado en el resto de la rueda y es explicable por los procesos de abrasión del agua de la mina.

dificultad ya la señaló F. Bodenham, ingeniero superintendente de los trabajos en Riotinto cuando se descubrió la serie de catorce ruedas en el Filón Sur. Según Palmer⁶², el ingeniero pensaba que la forma de los listones hace imposible girar la rueda con el método que tradicionalmente se ha supuesto 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 similar⁶³. Palmer hace un interesante cálculo de la fuerza total necesaria y de la velocidad con que se moverían estos artilugios. Teniendo en cuenta esos cálculos, 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"*⁶⁴.

Hay otras hipótesis posibles. Ya Pošepný planteó que las ruedas elevadoras pudieron ser movidas ayudándose de cuerdas (Pošepný, F., 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 N⁶⁵. 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, "en vez de ser una polea, consistía en una noria completa en la que se había colocado la cuerda doble que describe Vitruvio, con

⁶² *Opus cit.* pp.301-302.

⁶³ En este punto debemos citar dos piezas enumeradas en el Expediente Gral./73 donde se inventariaron los materiales que pasaron del Museo de Bellavista al Museo Provincial de Huelva como *"Rulos o calzos para frenar encontrados en los trabajos antiguos"*. Hemos identificado dos piezas en los almacenes del museo que, con cierta reservas, pudieran corresponder a esta descripción. Se trata de dos utensilios 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. No hay dudas respecto a su forma de rulos pero si dudamos sobre su función como calzos.

⁶⁴ *Ibidem.* p.304.

travesaños horizontales de madera para la sujeción de las cubas⁶⁶. Estas cuerdas pudieron emplearse para girar la rueda de algún modo y no para sujetar cangilones, puesto que la rueda representada los lleva integrados en su corona y, quizás, cargarla con sobrepeso no fuera viable.

Otros autores (Domergue *et alii*, 1999, p. 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 pies⁶⁷ y piensa que las ruedas eran movidas manualmente tirando de los radios hacia abajo, como presenta en la figura 19 de su publicación (no obstante, es consciente de la incomodidad que puede representar el agua derramada desde los cangilones).

Finalizaremos esta puesta al día de los estudios sobre las ruedas elevadoras haciendo mención al trabajo de investigación desarrollada por el equipo de C. Domergue, sobre el funcionamiento mecánico y el rendimiento de este modelo de ruedas. Este trabajo se constituye en el referente incuestionable sobre ese aspecto de la minería romana. En el ensayo publicado sobre la rueda de Tharsis⁶⁸ se concluye que, a juzgar por los hallazgos conocidos en el Sudoeste 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 (*X volumen de agua elevada a una altura H*). Estos investigadores 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 que han estudiado (4'60 m.) es el óptimo, teniendo en cuenta también la altura del vertido del agua. Según

⁶⁵ FORBES (1966), p. 221.

⁶⁶ *Opus cit.* p.112, fig. 10.

⁶⁷ WEISGERBER, G. (1979). *Opus cit.* p. 76.

⁶⁸ DOMERGUE, C. *et alii* (1999). *Opus cit.* p.58; DOMERGUE, C.– J.L. BORDES (2004). *Opus Cit. Vid.* pp. 100 y ss.

sus cálculos (considerando que hay que tener en cuenta otras variables como el factor humano, las pérdidas de agua o la altura en que se colocasen las canaletas) 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) solo presenta ligeras variaciones:

- a mayor diámetro, la rueda da menos giros por minuto pero aumenta el número o la capacidad de los cangilones.
- a menor diámetro, la rueda da un mayor nº de giros por minuto aunque disminuye el número o volumen de los cangilones.

Por este motivo, pensamos que la rueda del Museo de Huelva, la que faltaba por estudiar pormenorizadamente, pese a ser algo más pequeña y tener dos cangilones menos, está incluida en este modelo y que hay que añadir un tercer formato dentro del tipo hispánico (las de 4'60 m. de diámetro las incluyen dentro del gran formato y las de 3'60 m. en el formato pequeño).

NOTAS:
