

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

Reyes Ojeda Calvo, Centro de Intervención del IAPH. Dpto. de Investigación

La rueda elevadora de agua hallada en las minas romanas de Riotinto y conservada actualmente en el Museo Provincial de Huelva es un ingenio mecánico utilizado para achicar el agua del nivel freático. Entre 1999 y 2002, en el Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico (Consejería de Cultura de la Junta de Andalucía), se ha llevado a cabo la restauración de esta rueda romana, circunstancia que ha permitido a un equipo de diversos técnicos y especialistas profundizar en su conocimiento, desde el punto de vista histórico y material. Se trata de una rueda del tipo de cangilones integrados, cuya principal fuerza motriz era humana. Tiene un diámetro de 4,20 m y 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. Construida íntegramente en madera (a excepción del eje de bronce) destaca la perfección del trabajo de carpintería por la selección de maderas, el corte y ensamblaje de las mismas y el uso exclusivo de espigas de madera de sección cuadrada. Del mismo modo, su adscripción romana ha podido atestiguar e, incluso, se ha encuadrado en el siglo II de nuestra era ya que, gracias al convenio de colaboración establecido con el Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria (INIA), se ha realizado una serie de estudios dendrocronológicos y de Carbono-14 sobre las maderas de diversas piezas, que han aportado una fecha *post quem* para su factura.

The rota or wheel at the Huelva Museum: notes on the origin, classification, usage and function of the waterwheel found at the Riotinto Mines

The Waterwheel discovered at the Roman Mines of Rio Tinto, and currently conserved at the Huelva Provincial Museum, is a mechanical invention that was used to collect ground water. Between 1999 and 2002 this Roman waterwheel was restored at the Andalusian Historical Heritage Institute (Department of Culture of the Autonomous Regional Community Government of Andalusia), enabling a multidisciplinary team of experts and specialists to learn more about its history and the materials used to build it. The wheel collected water by means of buckets and was mainly powered by teams of operators. It has a diameter of 4,20 m and 95% of the original pieces have been recovered. Although the context and details of its discovery are not known, inter-disciplinary research has enabled researchers to identify the place where the wheel was discovered (Masa Planes), together with certain details relating to the design and technique used to build the wheel. It was built entirely from wood (with the exception of the bronze axle) and is striking for the perfection of the carpentry work in terms of the selection of woods, the way they were cut and assembled, and the exclusive use of square-sectioned wooden pins. Similarly, its classification as a Roman construction has been confirmed and even charted to the 2nd century AD; as a result of the collaboration agreement signed with the National Agricultural Research and Technology Institute (INIA), a series of dendochronological and Carbon-14 studies have been performed on wood from different parts of the wheel, providing a date *post quem* for its classification.

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

A pesar de haberse producido numerosos hallazgos de ruedas elevadoras de agua en las minas del Sudoeste peninsular entre mediados del siglo XIX y el primer tercio del XX, pocas *rotae* han llegado hasta nosotros. El estado en que se encontraron tras los derrumbes de las cavidades donde se ubicaban y, posiblemente, los medios y procedimientos empleados para su extracción, han motivado que en la actualidad se conserven escasos vestigios de estas máquinas romanas. Es por esto que la rueda del museo onubense es la única que ha llegado hasta nuestros días prácticamente completa y sólo consta la existencia de otros tres ejemplares bastante incompletos y varios elementos aislados de otras. La mayoría de los restos son de difícil identificación, por haberse perdido las referencias exactas del momento y lugar del hallazgo y existir cierta ambigüedad y confusión entre las referencias escritas y la documentación gráfica que conocemos.

En el presente capítulo se pretende exponer sintéticamente un estado de la cuestión en torno a estas ruedas de drenaje romanas. Se tratará del origen de este ingenio mecánico denominado *Rota Aquaria*, se ubicará el hallazgo de Riotinto en su contexto espacio-temporal y concluiremos con algunas consideraciones relativas al estudio tipológico, formal y funcional de esta rueda onubense, ya que el análisis cronotipológico y los apartados correspondientes a componentes, técnica y materiales de fabricación son desarrollados pormenorizadamente en los capítulos II (Rodríguez Trobajo) y IV (Manzano Beltrán) de este libro.

El origen de la *Rota Aquaria*

La rueda que se expone 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 (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 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 (287-212 a.C.) 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 (*Pneumatica*, capítulo 61). Este mismo autor en su *Parasceustica* recomienda las ruedas para bombear agua de las minas, si bien no da detalles sobre su diseño y el movimiento del mecanismo, denominándolas *περίακτοί τροχοί* (*Parasceustica* pp.43-44). En un pasaje de *Peri Alexandreias*, Callixino 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 agua egipcias 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, *πολυΚαθία* (Herón, *Dioptra* 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 *τροχός* o *rota*, *κύκλος* o *κύκλας* (rueda), *αντλία* o *antlia* (bomba), y a veces, *ὄργανον* (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 relacionados entre sí por estar basados en la rueda con compartimentos (Vitruvio, *De Architectura*, X, 4-1-3, 51):

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 *saqiyah* 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). 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.

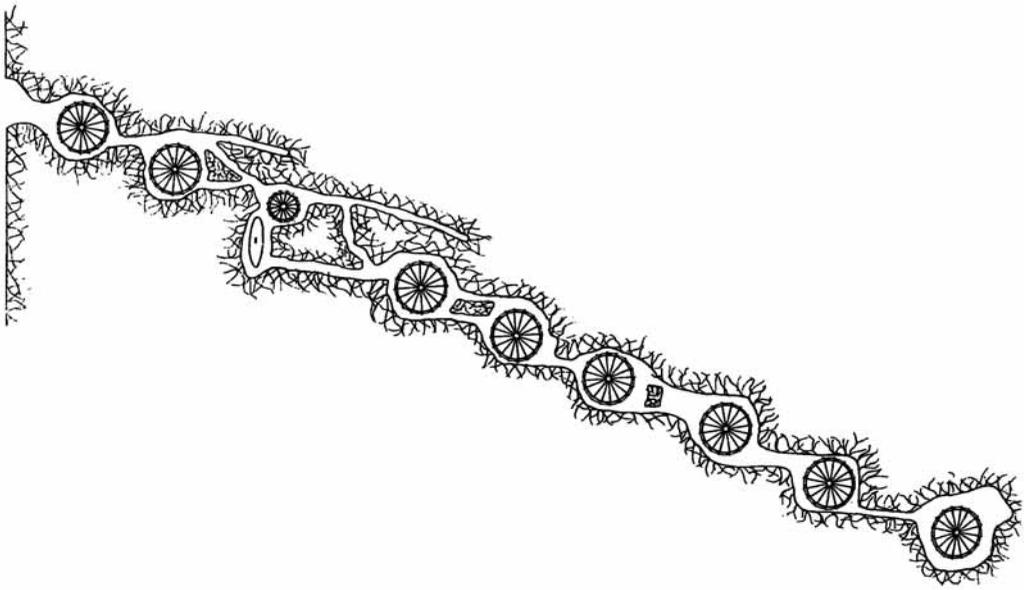
Por último está la noria o rueda de corriente, ingenio con paletas en la corona que utiliza la fuerza motriz del

agua¹. Lo más correcto sería denominar rueda hidráulica sólo a estas ruedas que van impelidas por el agua (generalmente, por la corriente de un río), siendo esta máquina la auténtica precursora de la moderna turbina hidráulica. Estas ruedas hidráulicas pueden tener el canal de alimentación superior a la altura del eje o a nivel inferior. Incluso, puede haber ruedas hidráulicas reversibles, con canal de alimentación superior y posibilidad de cambiar el sentido de rotación (por ejemplo, para levantar cargas).

Por lo que respecta a la rueda elevadora de agua, motivo de nuestro estudio, proliferó por todo el Imperio Romano. En Occidente, entre las evidencias arqueológicas de su uso, han sido halladas 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- (SCRINARI, RICCIARDI, 1996), Pompeya -Termas Estabianas, Termas del Foro, casas particulares, etc.-, posiblemente en dos campamentos militares de Germania, así como en Ampurias y en *Complutum*, por citar varios ejemplos.

A pesar de estos testimonios arqueológicos, sólo hay constancia del hallazgo de restos de algunas ruedas elevadoras en antiguas minas del Sudoeste de España, del Sur de Portugal, de Rumanía y de Gran Bretaña², y recientemente se ha recuperado un fragmento conservado en los limos de la cisterna de unos baños privados en Ostia, en la Casa de los *Cisiarii* (BEDELLO TATA, FOGAGNOLO, 2005). No es casual que, salvo estos últimos restos hallados en las termas de los Cisiarios, el resto de los ingenios hidráulicos se haya recuperado en contextos estancos de las minas, más propicios para la conservación de la madera.

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 cubos de madera y de capazos impermeabilizados no era suficiente se emplearon 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). De estos mecanismos han quedado evidencias: no sólo del empleo de numerosas ruedas elevadoras de agua, sino también de otros ingenios descritos por Vitruvio para elevar agua, como los tres *tornillos de Arquímedes* hallados en Sotiel Coronada o la *bomba de Ctesibio* conservada



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

en el Museo Arqueológico Nacional, que fue hallada en 1889 en Sotiel Coronada³.

La rueda de desagüe del Museo de Huelva y otros hallazgos de su especie

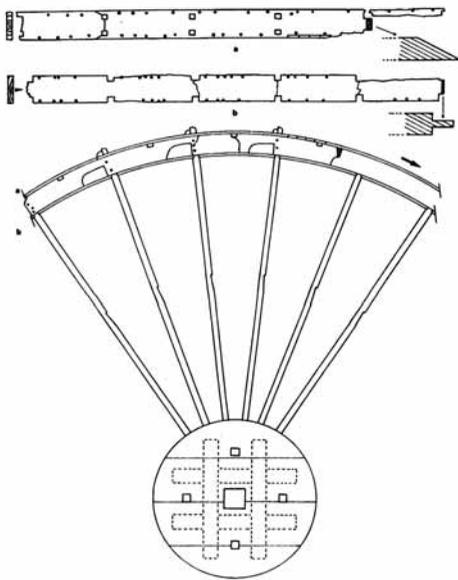
Como vemos, la rueda de cangilones es uno de los medios mecánicos empleados en la minería romana para extraer el agua del nivel freático acumulada en los pozos, elevándola hacia la superficie, cuando la cota de la zona explotada impedía usar galerías inclinadas de desagüe (caso de la zona que nos ocupa, 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.

En las minas del Sudoeste de la Península Ibérica, entre mediados del siglo XIX y principios del XX, fueron descubiertas numerosas ruedas elevadoras de agua. Los datos recogidos y publicados por los ingenieros y autores contemporáneos a esos descubrimientos son fundamentales para su estudio, si bien la documentación y

noticias disponibles en ocasiones se prestan a confusión y resulta arriesgado localizar e identificar las piezas conservadas en relación con las referencias y representaciones gráficas conocidas. 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. De las otras se conservan una quinta parte de rueda en el *Museum of Transport de Glasgow*, un tercio de rueda en el *British Museum*, casi un cuarto en el *Musée des Arts et Métiers* de París y tres mitades de discos y algunos ejes de bronce en el Museo Provincial de Huelva.

Este procedimiento de extracción de aguas, por ser el que mejor se presta a las irregularidades de las galerías, está bastante documentado en el Sudoeste peninsular con los hallazgos de São Domingos (en Portugal), Tharsis y Riotinto (Huelva), amén de otras menciones a descubrimientos como en El Lagunazo (GONZALO Y TARÍN, 1888).

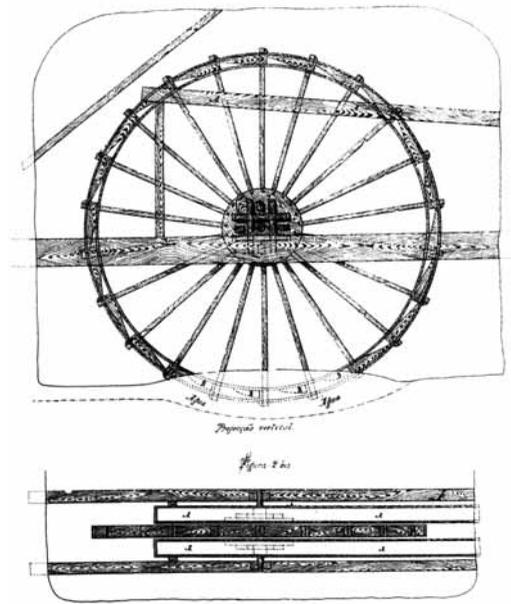
En el Alentejo portugués fue hallada una batería de estas ruedas en la mina de cobre de São Domingos, cuya explotación estuvo a cargo del ingeniero francés E. Deligny entre 1850 y 1860. Las diez ruedas encontradas se disponían por unidades escalonadamente y parecen responder a un mismo módulo con la excepción de dos de ellas, de menor formato (figura 1)⁴.



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

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 remitimos (DOMERGUE, BINET, BORDES, 1999) y que ha resultado esencial para 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 São Domingos (figura 2): 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 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 3) corresponde a una de las pequeñas, de 3,60 m de diámetro.

Existe otra representación de la rueda, carente de escala, reproducida en la figura 5 de la obra de Gonzalo y Tarín (GONZALO Y TARÍN, 1888), 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 Palmer (PALMER, 1926/27: 313, figura

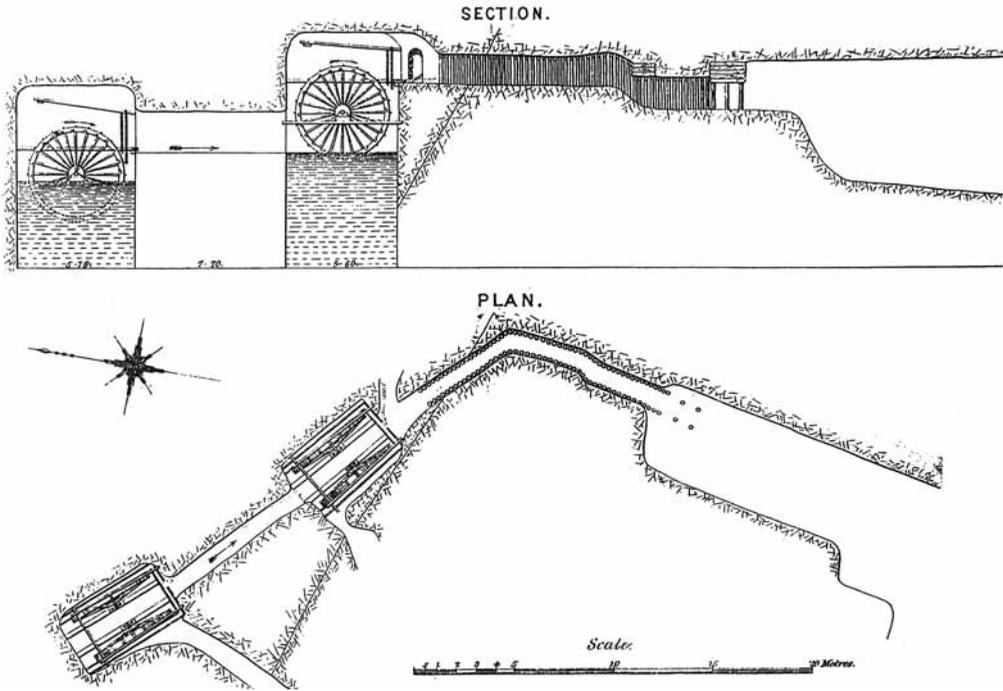


3. Representación de una de las ruedas halladas en São Domingos. *Revista de Obras Publicas e Minas*, 1883, p.7, figura 2. Esta rueda consta de 22 radios y otros tantos cangilones, por lo que debe ser una de las de menor formato

82) que vuelve a reproducir este error y menciona que el diámetro de las ruedas de São Domingos era de 16 pies (4,876 m) para las grandes y de 12 pies y 6 pulgadas (3,81 m) para las pequeñas. En los tres casos interesa destacar el número de radios (22) y el hecho de que los listones de refuerzo localizados en la corona van redondeados en el lado opuesto al giro, es decir, al contrario de la posición que parece más correcta, puesto que el motivo de esta curvatura no es otro que el de ofrecer menos resistencia al agua en el momento de la inmersión.

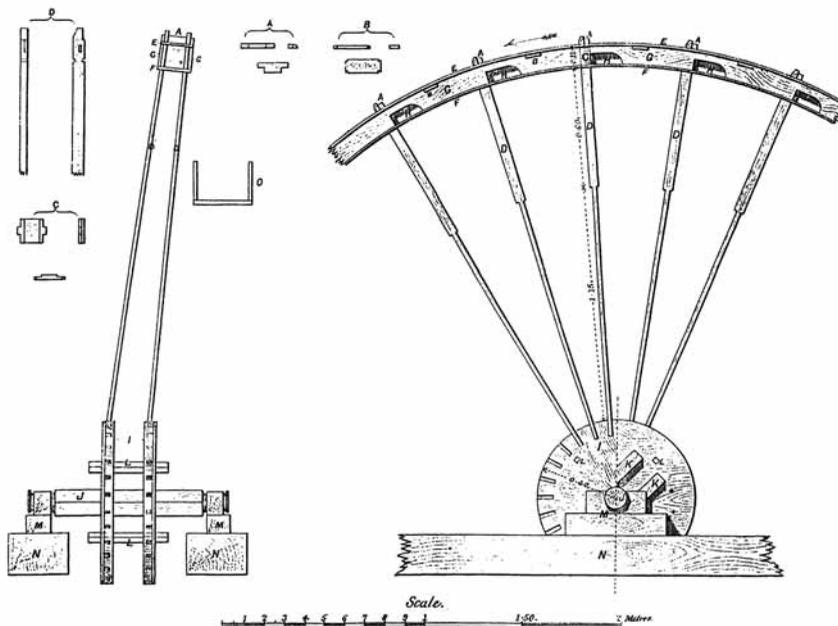
En el Filón Norte de las Minas de Tharsis se descubrió una instalación de, al menos, cinco pares de ruedas dispuestas escalonadamente y que fueron publicadas por A. Stevenson en 1875 incluyendo dos dibujos datados en 1867 (STEVENSON, 1875). En su ilustración número 1: en *Plan and Sections of Old Roman Water Wheels on north wall of lode at the Tharsis Mines, 1867* (figura 4), de las cinco parejas documentadas ("todas con el mismo diámetro"), se representan los dos pares superiores, observando que constaban de un total de 24 radios y se aprecia cómo las dos ruedas del nivel superior desaguan en una galería entibada (la galería de desagüe de la Margosilla). A juzgar por lo mostrado en la ilustración número 2, donde se representa a escala la sección y el alzado de un fragmento de rueda y detalles de un radio y un cangilón despiezado (figura 5), se estima que el número de radios oscila entre 24 y 26, que su

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



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

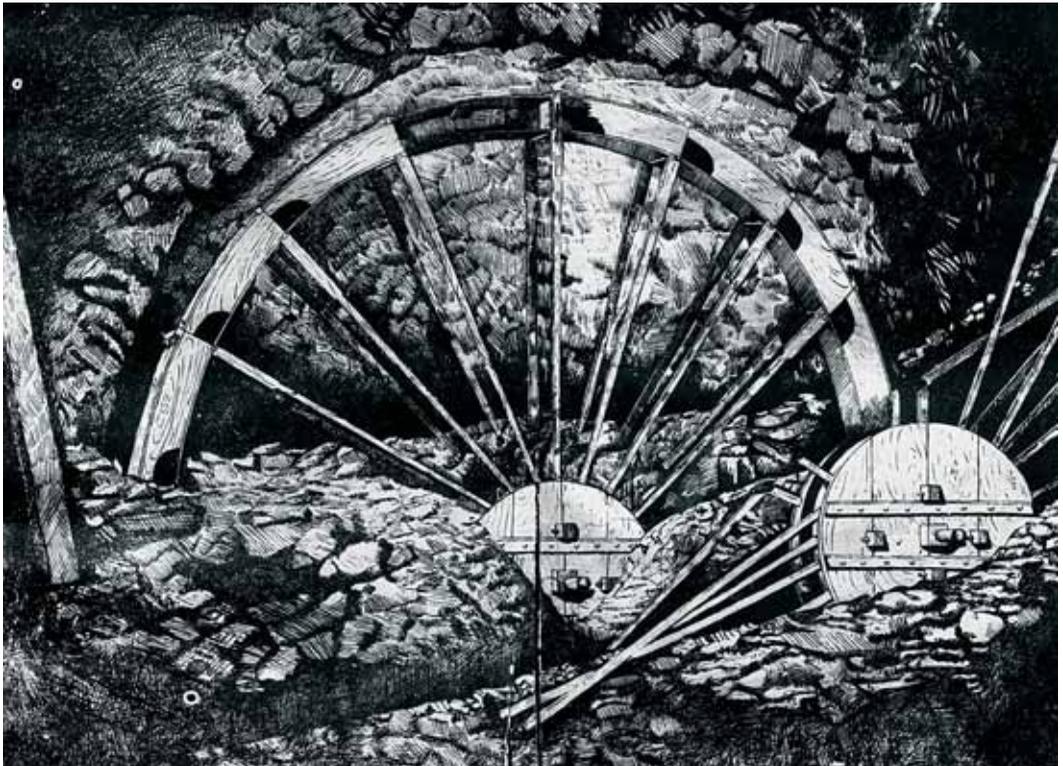
PLAN AND SECTIONS OF OLD ROMAN WATER WHEELS ON NORTH WALL OF LODE AT THE THARSIS MINES, 1867.



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



6. La apertura de "cortas" propició el hallazgo de muchas de estas ruedas elevadoras, enterradas o semienterradas por los desplomes de las cavidades donde se ubicaban. Foto referencia A-3/277/Bodenham. "Corta Filón Norte". Archivo Fundación Riotinto



7. Minas de Río-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

disco media 0,80 m y su diámetro total estaba en torno a 4,52 m. Estos dibujos de Stevenson han tenido más difusión gracias al trabajo de Gonzalo y Tarín, 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 (GONZALO Y TARÍN, 1888: 35, lámina 3).

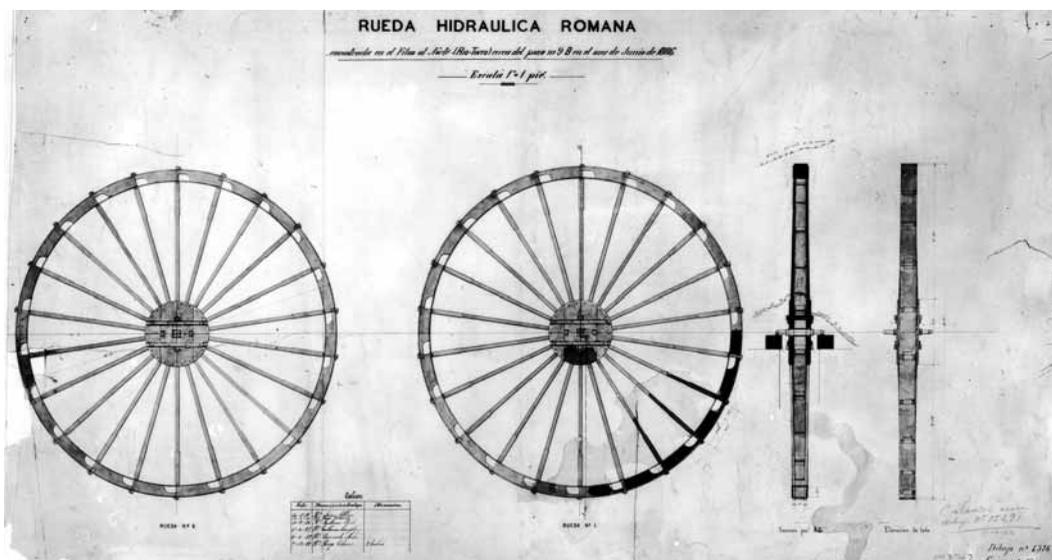
Sorprende en estas ilustraciones que las ruedas representadas (planta, secciones y detalles constructivos) presenten una mayor inclinación de los radios de la cara interna, lo cual produciría cierta inestabilidad de la estructura. Por este motivo algunos estudiosos se cuestionaron la exactitud de los dibujos, hasta que recientemente se ha podido estudiar directamente lo que queda de una de las ruedas.

Según parece, las dos ruedas mejor conservadas se trasladaron 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, tras localizar el paradero de un fragmento de una estas ruedas (junto a los originales de los dibujos publicados por Stevenson) en el Museum of Transport de Glasgow, han conseguido realizar en el año 2000 un examen directo de la misma, publicado recientemente (DOMERGUE, BORDES, 2004)⁵. Se conserva algo menos de una quinta parte de rueda de 27 radios y 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 las ruedas de los planos, etc.) aunque si se trata de la misma porción de rueda. Si estamos ante alguna otra rueda de las parejas descubiertas (a pesar de que Stevenson advertía que *todas las ruedas halladas son del mismo diámetro*) o existen errores en el dibujo son dudas de difícil aclaración, por lo que debemos atenernos a las evidencias de la rueda conservada.

Por lo que respecta a Riotinto, la zona con mayor número de hallazgos conocidos hasta ahora, Luzón calcula que entre 1886 y 1932 se habían descubierto unas cuarenta de estas ruedas, comúnmente colocadas por parejas (LUZÓN, 1968: 103).

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 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 enterra-



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

das 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 de las ruedas aparecieran destrozadas y apenas se conserven 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 muestran el estado en que éstas eran encontradas, pese a no quedar constancia del lugar y año de procedencia de muchos 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 Riotinto.

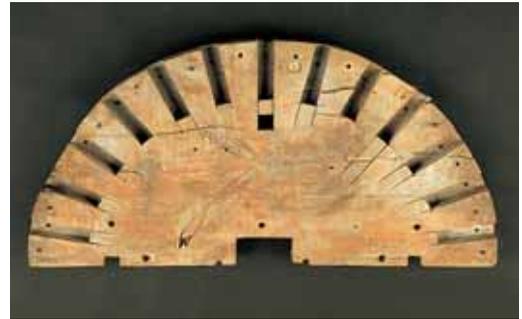
La primera evidencia que conocemos es el hallazgo en el Filón Norte de un par de ruedas elevadoras en junio de 1886. De este momento tenemos dos documentos gráficos: un dibujo a plumilla y un plano realizado a escala.

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 número 1 con un diámetro de 15 pies y 3 pulgadas (4,648 m) y la número 2, algo menor, con 14 pies y 10 pulgadas (4,52 m).

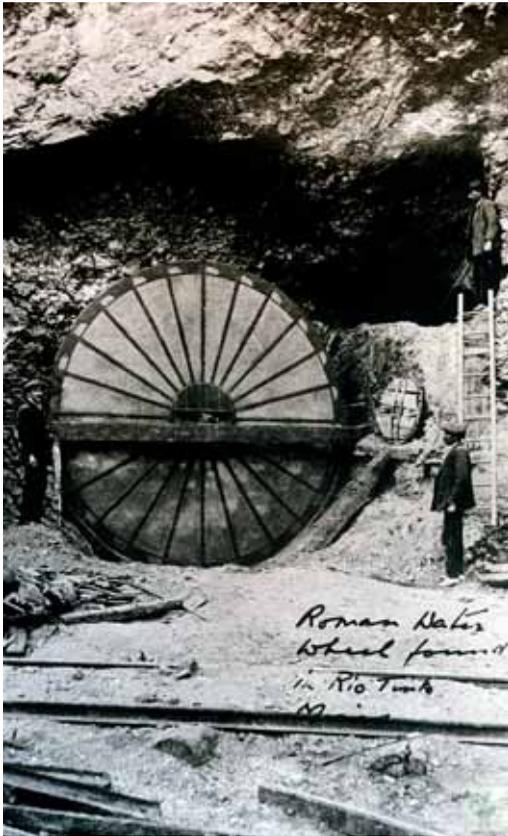
Tres años después del descubrimiento de esta pareja de ruedas, ingresan en el British Museum (30 de mayo de 1889) los restos de una rueda procedente de Riotinto, inventariados como *Fragmento de rueda gran-*



9. De la rueda expuesta en el British Museum se conserva casi un tercio. Imagen: Pedro E. Manzano Beltrán



10. Tres fragmentos de discos conservados en el Museo de Huelva



11. Modelo construido *in situ* a partir de los hallazgos conocidos. Foto: referencia Legajo 1 n°38, con la leyenda en el ángulo inferior izquierdo: *Roman water wheel found in Rio Tinto Mines*. Archivo Fundación Riotinto



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

de de madera para elevar el agua en una mina. Hallado en una explotación antigua de la mina de Rio Tinto en España, donada al museo por los directores de la Compañía Minera de Rio Tinto. A G. Weisgerber debemos el primer estudio pormenorizado de los detalles constructivos de estas ruedas, 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 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 han medido y dibujado todos los elementos y los detalles constructivos de ambas ruedas nos 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). Más bien nos inclinamos a pensar que la rueda expuesta en el museo británico 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.

Por otra parte, queda descartado que el hallazgo de la rueda del Museo de Huelva tenga relación con el descubrimiento de la rueda del British Museum, 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 nuestra rueda, sin embargo ésta tiene sólo 25 cangilones. Son los restos de otros discos conservados en los almacenes del museo onubense (figura 10) los que, por sus mortajas para encajar los radios, indican que pertenecieron a ruedas de 27 cangilones. Hemos tenido oportuni-

dad de analizar los tres fragmentos de discos allí guardados (dos de los cuales componen un mismo disco) y, por número de radios y, presumiblemente, mayor formato, si que podrían haber formado pareja con la rueda del British Museum⁶.

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 publica 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)⁷ 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 y posterior manipulación.

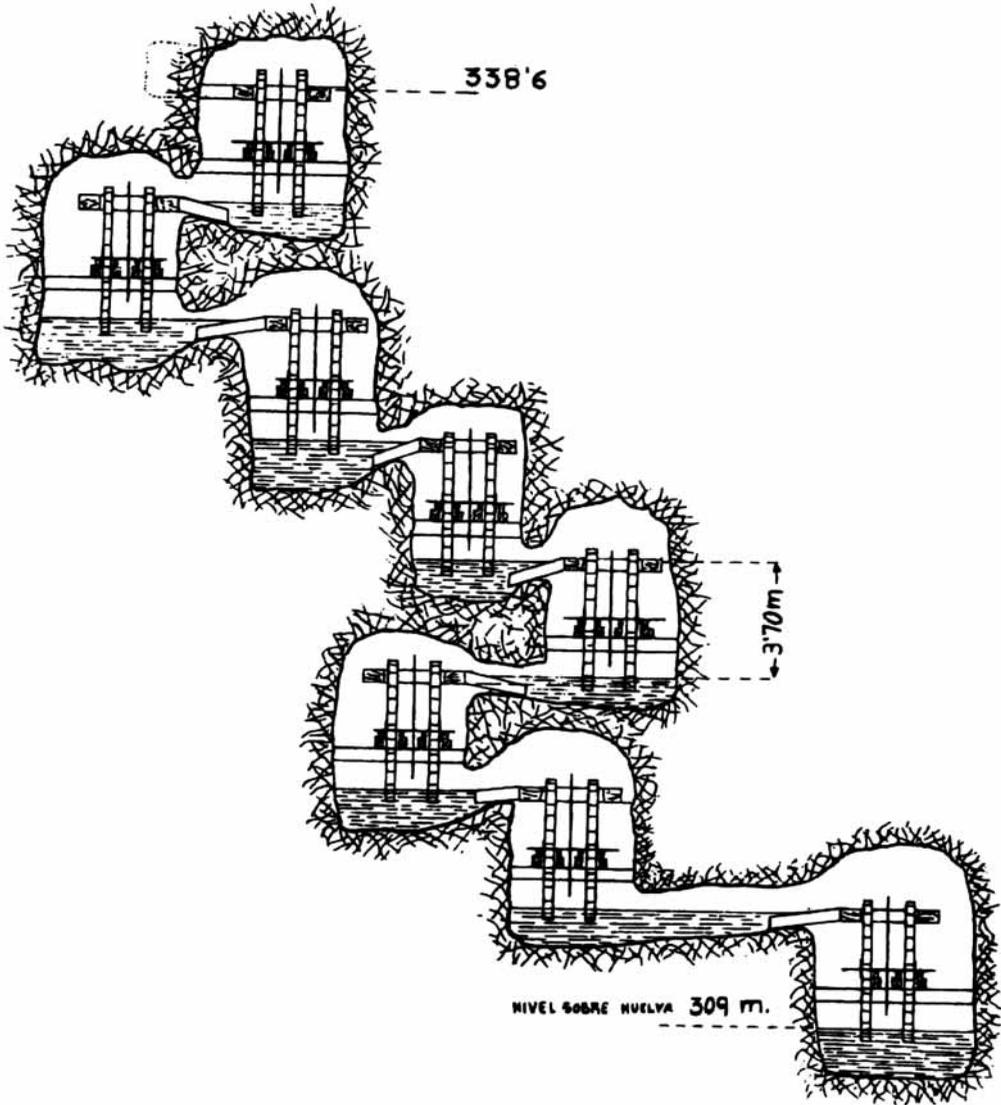
De las ocho parejas halladas entre 1919 y 1921, Palmer publica un plano con los datos disponibles sobre su disposición en la figura 74 (figura 14), localizándose el par inferior en el nivel 309'0 de la mina. De casi 4,65 m de diámetro exterior (15'3"), disponían de 30 cangilones, como refiere Palmer y se aprecia en su figura 69 (figura 15). Puede darse cierta confusión entre las 14 ruedas antes citadas y estas ocho 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). Tampoco

hay que descartar esta procedencia, pues es posible que Luzón encontrase este dato en su indagación en los archivos de la compañía británica, ya que no hay duda de que conoció sus fondos archivísticos, a juzgar por el material gráfico que adjunta en su publicación, alguno hasta entonces inédito.

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

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 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.

Finalmente, queda por reseñar la rueda del Museo Provincial de Huelva, objeto de esta monografía (figura 18), rueda de 25 cangilones y 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 (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*⁸.



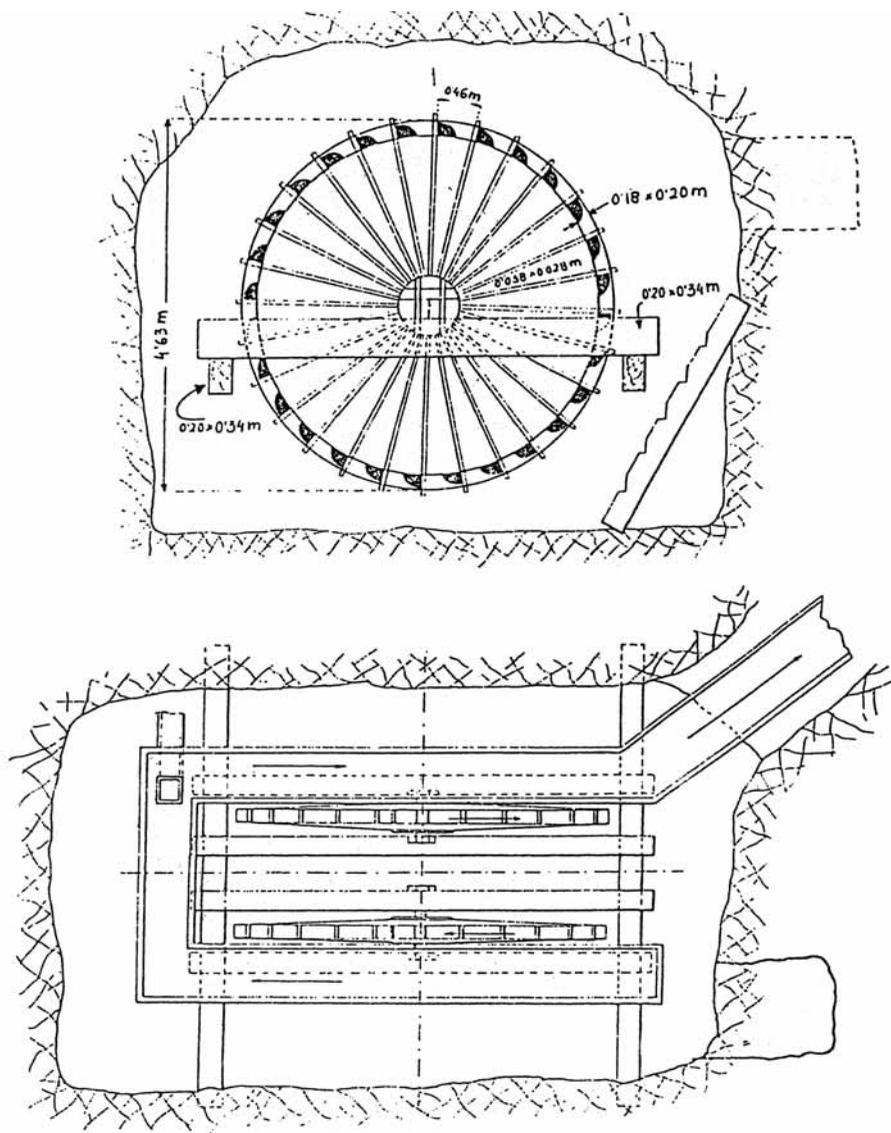
14. Disposición escalonada de ocho pares de ruedas descubiertas en Ríotinto entre 1919-1921. PALMER, R.E. (1926/27): Notes on some Ancient Mine Equipments and Systems, *Transactions Institution of Mining and Metallurgy*, XXXVI (T.I.M.M.). London, p.303, figura 74

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 para proceder a su estudio y tratamiento, lo hace como procedente del Filón Norte. Tras consultar los archivos del Museo Provincial de Huelva y de la Fundación Ríotinto, se ha podido comprobar que fue descubierta en la Masa Planes:

* Se ha dicho que la rueda que se expone en el museo onubense tiene un diámetro máximo de 4,30 m, mien-

tras 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 tabicas 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), con lo que ambas ruedas tienen el mismo diámetro.

* 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 Ríotinto⁹, en cuyo reverso lleva

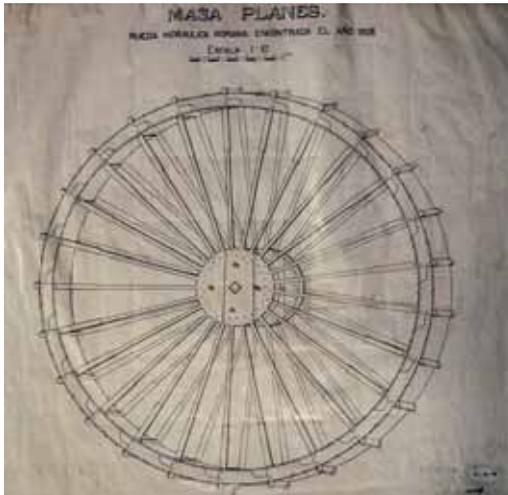


15. Alzado y planta de una rueda de 30 cangilones descubierta en el nivel 309'0 de Riotinto. PALMER, R.E. (1926-27): Notes on some Ancient Mine Equipments and Systems, Transactions Institution of Mining and Metallurgy, XXXVI (T.I.M.M.), London, p.300, figura 69

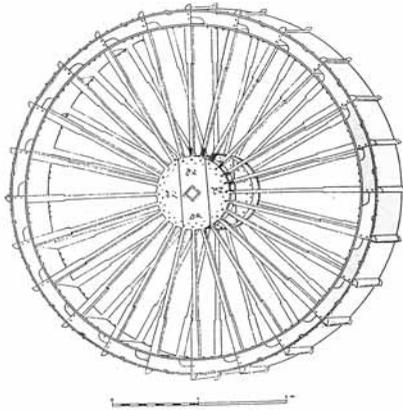
anotada la leyenda *rueda romana encontrada en excavaciones en el Filón Planes (4). Reconstruida en un almacén* (figura 19). Se trata de la misma rueda.

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* (DOMERGUE, 1987: 238, 246, n. 434). Cuando menciona este hecho Domergue no especifica el número 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 guarda en la cartoteca del Archivo de la Fundación Riotinto (figura 16) presenta una rueda de 25 cangilones y de diámetro casi idéntico, aunque difieren en el formato del cubo y algunos detalles constructivos del mismo (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). Todo ello induce a pensar si son una misma rueda, dibujada con ciertas inexactitudes, o si en ambos casos se trata de las dos ruedas de un mismo par, considerando que los ejemplares de una pareja no tendrían por qué ser exactamente iguales entre sí.



16. Rueda descubierta en Masa Planes en 1928 según dibujo a escala conservado en la Cartoteca de la Fundación Riotinto. Se trata de un plano en tela encerada que reproduce una rueda muy similar a la del Museo de Huelva, también de 25 cangliones



17. Rueda elevadora encontrada, según Luzón, en el Filón Norte de Riotinto. Esta rueda de 24 cangliones, tan semejante a la de la figura 14, estaba aislada y conservaba restos de cuerda. Extraído de LUZÓN NOGUÉ, J.M. (1968): Los sistemas de desagüe en minas romanas del Suroeste peninsular. *A.E.A.*, nº 41, p.112, figura 10



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

La primera fotografía conocida de la rueda proviene del denominado *Archivo Bodenham* (figura 19). Frank J. Bodenham 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 ese siglo. Con casi toda probabilidad el hallazgo de la rueda del Museo Provincial de Huelva pudo producirse entre finales de los años 20 y la década de los 30 de la pasada centuria. Nos consta que para 1924 ya se había producido algún hallazgo en Planes (figura 20), pero nos inclinamos a pensar que el de esta rueda tuvo lugar en 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 dos hechos concretos:

- * El artículo de R.E. 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 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 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 conservado en el Archivo de la Fundación Riotinto. C. Domergue, cuando se refiere a Planes, menciona que en él se descubrieron ruedas y, aunque no precisa el número, 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: diámetro exterior, número de radios y de cangliones, 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, ambas 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*, 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 (muchas procedentes de la necrópolis de La Dehesa), la compañía creó un pequeño museo a la entrada del

barrio inglés de Bellavista. Éste será el lugar donde quedó expuesta nuestra rueda aunque sorprende que, dado su buen estado de conservación, no fuera enviada a Gran Bretaña como ocurrió con otras muchos hallazgos realizados por la compañía británica. Pérez Macías opina que hay que reconocer que gracias al interés de muchos de los ingenieros y encargados británicos pudieron ser rescatadas y documentadas muchas piezas arqueológicas, aunque éstas fueron consideradas propiedad de la Compañía (PÉREZ MACÍAS, 1998) y, por la tanto, algunas de las significativas fueron enviadas a su país¹⁰, como solía ocurrir con infinidad de bienes muebles descubiertos en las colonias británicas.

En la fotografía más antigua que conocemos de la rueda del Museo de Huelva (figura 19), se aprecia que ésta se albergaba en un espacio sucio y cerrado, de paredes sin enfoscar ni enlucir y techo de uralita, lugar que no identificamos como sala del Museo de Bellavista. En este ámbito, más parecido a un almacén sin acondicionar, 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 fotografía 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, falta de un cangilón, etc.).

De su etapa en el Museo de Riotinto (conocido como Museo de Bellavista) poco podemos decir salvo mencionar que, por las fotografías consultadas de la rueda en el interior de ese museo¹¹, allí descansa ya 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 hangar o almacén en el que inicialmente estuvo guardada al interior del Museo 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 pasa-

ron a manos de ingenieros españoles. El nuevo director, L. Calvo Sotelo, ante el estado de abandono del museo, ofreció una “donación en depósito” (PÉREZ MACÍAS, 1998)¹² al recién creado Museo Provincial de Huelva, trasladándose parte de su material al museo onubense en 1973. Entre este material estaba nuestra rueda, siendo expuesta en el patio de luces de la entrada principal del museo onubense¹³ hasta 1997, año en que se desmontó para su restauración¹⁴.

Como en el caso de otras ruedas descubiertas, el estado de deterioro que presentaba la nuestra consistía principalmente en su falta de integridad, debida fundamentalmente a los desplomes de las galerías en que estuvieron emplazadas (aunque la madera se conservara por estar en parte mineralizada). A este motivo habría que añadir una deficiente manipulación de las ruedas, lo que propició la pérdida y extravío de muchas de las piezas que las componían durante el proceso de extracción (solían hallarse total o parcialmente sepultadas) y en el posterior montaje de las mismas (pensamos, incluso, que algunas de estas ruedas se recompusieron con piezas reunidas a partir de diferentes hallazgos). 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. Estos traslados y las manipulaciones de las piezas en esos procesos han debido ser el principal factor de degradación que presentaba la rueda¹⁵. Entre 1998 y 2002 fue restaurada e investigada en el IAPH y, desde noviembre de 2003, se expone nuevamente en el museo onubense.

Contexto espacio-temporal de la rueda de Riotinto

Marco espacial

La Cuenca Minera de Riotinto¹⁶ se sitúa en la comarca del Andévalo onubense, siendo sus criaderos piritico-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 piritica 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.



19. Primera fotografía conocida de la rueda del Museo de Huelva. Foto referencia A-3/279/Bodenh-71-VARIOS (40). Lleva anotada en el reverso la leyenda: "Rueda romana encontrada en excavaciones en el Filón Planes (4). Reconstruida en un almacén". Archivo Fundación Riotinto

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 Riotinto, 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 Norte)¹⁷ 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).

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 a partir del 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 de desarrollo a que llegó la minería romana en la zona (figura 20).

Contexto histórico

La mayor parte de las minas del Sudoeste peninsular, explotadas desde mucho antes de la llegada de los romanos (especialmente las de plata y cobre, 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, empleándose el sistema de pozo y galería. Se ha constatado que en época alto-imperial se desarrolla allí una minería y una metalurgia de gran intensidad, sólo superada por la minería contemporánea (explotación de cobre y plata, producción de hierro...). 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 importantes del Mundo Antiguo (PÉREZ MACÍAS, 1998: 260).

La datación de la rueda del Museo de Huelva se enmarca en el momento de auge de la minería romana en Huelva, centrado en los siglos I y II d.C., periodo que comienza con Augusto y alcanza su punto álgido con Marco Aurelio (161-180 d.C.) en época de los Antoninos. La explotación decae en el siglo III, no sólo por las circunstancias coyunturales de ese periodo histórico, sino porque cada vez se hacía más difícil alcanzar las vetas de plata y cobre. No obstante, los arqueólogos aprecian cierta recuperación en las labores mineras del siglo IV y existen evidencias arqueológicas, al menos, hasta época de Honorio (395-423 d.C.).

La política imperial en materia de minas (BLANCO, LUZÓN, 1966: 75; BLANCO FREIJEIRO, 1984; LUZÓN NOGUÉ, 1966; PÉREZ MACÍAS, 1998)¹⁸ 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, Aljustrel) y lápidas referidas a procuradores imperiales (cargos desempeñados en muchos casos por libertos imperiales), como la encontrada en la galería de San Carlos

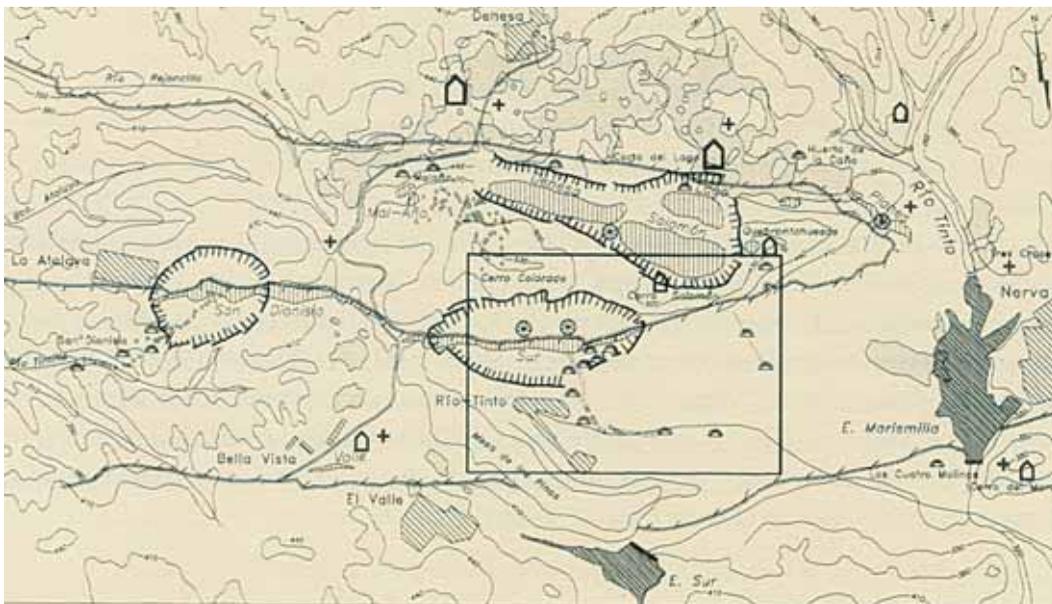
en el siglo XVIII, dedicada a Nerva y que dio nombre al pueblo que surgía en la zona del hallazgo. El *procurator metallorum*, como primera autoridad del distrito minero, velaba por los intereses del estado, el cumplimiento de las leyes y la productividad, cuidaba del mantenimiento de los pozos y galerías y del suministro de materias básicas como la madera (BLANCO FREIJEIRO, 1984)¹⁹. Por debajo de él se hallaba un equipo de funcionarios y una serie de técnicos de alta cualificación llegados desde cualquier punto del Imperio. Como mano de obra no sólo 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 lejanas²⁰.

Como atestiguan los investigadores citados, la política minera de esa época propició la apertura de nuevas minas y la ampliación de las hasta entonces conocidas²¹. 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. A esta intensa y eficaz actividad minera le seguía la fundición, asombrando a los especialistas el volumen de escoriales existentes: se han cifrado en más de 20 millones de toneladas las escorias repartidas hasta hace pocos años por las minas de la región, buena parte de ellas en los alrededores de los filones de Riotinto y Tharsis (BLAN-

CO, LUZÓN, 1966: 75). Toda esta actividad hacía necesaria una amplia red de abastecimiento y transporte y toda una compleja infraestructura, desde destacamentos militares hasta zonas de habitación y necrópolis, acopio de combustibles y alimentos, etc. En Riotinto, Tharsis, Aznalcóllar y otras zonas se conocen varios de estos yacimientos.

No existen evidencias de explotaciones durante la Edad Media ni existen referencias escritas en toda la franja pirenaica del Sudoeste. Es en tiempos de Felipe II cuando se redescubre la importancia de la minería romana de la comarca, llegándose a rastrear los trabajos mineros antiguos de Riotinto para demostrar la existencia de plata. Desde entonces son numerosos los investigadores que han dejado constancia del volumen de las labores romanas.

A partir del siglo XIX, sobre todo desde que en 1873 la explotación corrió a cargo de la compañía británica *Riotinto Company Limited*, toda una serie de ingenieros, geólogos o químicos, vinculados a estas minas por motivos laborales, se encargaron de la documentación y estudio de la minería antigua, aprovechando la gran cantidad de evidencias y hallazgos de carácter arqueológico. El alto número de piezas recuperadas durante su trabajo motivó el nacimiento de algunos pequeños museos, de los que hay que destacar el creado en el barrio inglés de Bellavista, en Minas de Riotinto, o el de



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 ARNAIZ, M.D.; SÁNCHEZ PALENCIA, F.J., 1996, figura 2

Pueblo Nuevo, en Tharsis. Es en este contexto donde se producirá el hallazgo de la rueda que estudiamos en la presente monografía.

Notas al estudio tipológico, formal y funcional de la rueda

No es objetivo de este capítulo introductorio hacer una detallada descripción formal de cada uno de los componentes de la rueda del Museo Provincial de Huelva ni un estudio sobre la técnica de fabricación y montaje, puesto que esto se realiza en otros capítulos del libro. Así, el análisis dendrocronológico y el estudio cronotipológico y técnico de esta *rota* son desarrollados rigurosamente por Rodríguez Trobajo en el capítulo II de este cuaderno, del mismo modo que la descripción y análisis de la rueda, incluyendo el despiece y detalles constructivos de cada uno de sus componentes, lo realiza minuciosamente en el capítulo IV Manzano Beltrán, complementándolo con una amplia serie de gráficos al respecto. A estos capítulos remitimos ya que en nuestra revisión arqueológica sólo entraremos a considerar algunas cuestiones puntuales y complementarias de ambos trabajos.

En todos estos estudios hemos tenido como referente básico las dos recientes investigaciones desarrolladas por el equipo de Domergue en torno a las ruedas de São Domingos y de Tharsis, especialmente para cuestiones técnicas y mecánicas relativas a este tipo de ruedas elevadoras (DOMERGUE, BINET, BORDES, 1999; DOMERGUE, BORDES, 2004).

Composición, fabricación y montaje de la rueda del Museo de Huelva

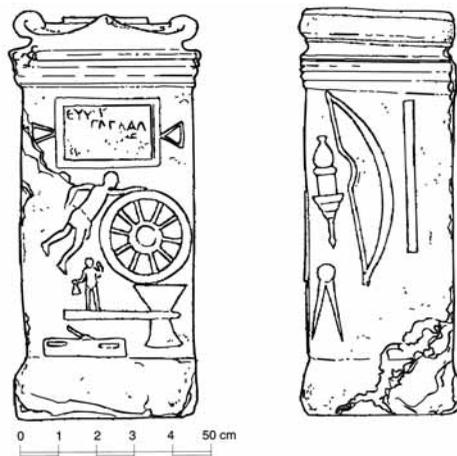
Se trata de una rueda elevadora de agua romana, del tipo de cangilones integrados en su corona, accionada por fuerza motriz humana. Con un diámetro de 4,20 m (4,30 m si se incluyen las cabezas de los radios que sobresalen de la corona exterior), la rueda del Museo de Huelva está compartimentada en 25 cangilones y de todas las ruedas de su naturaleza que han llegado hasta la actualidad es la única conservada prácticamente entera.

A excepción del eje, que es de bronce, la rueda está construida íntegramente en madera, elementos de ensamblaje incluidos, a fin de evitar la corrosión. En su construcción destaca su adecuación a unos modelos

tipificados y el excelente trabajo de carpintería por el corte y ensambles de las maderas. El resultado de los análisis lígneos realizados por el Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria (INIA) muestra gran unidad constructiva y la sabia elección de la materia prima²² con que se fabricó cada elemento de la rueda, a fin de dotarla de una gran resistencia para las especiales condiciones de trabajo de la mina (Rodríguez Trobajo, capítulo II). También al INIA debemos la datación de la rueda pues se ha realizado una serie de estudios dendrocronológicos y de C-14 sobre las maderas de diversas piezas, que han aportado una fecha *post quem* para su factura en 100-210 cal AD²³.

Una puesta al día de los estudios arqueológicos de la noria pasa por la descripción sucinta de las diferentes partes que la constituyen. Para ello nos basamos en el detallado análisis desarrollado por Manzano Beltrán y remitimos a su documentación gráfica para las mediciones de los componentes de la rueda (Manzano Beltrán, capítulo IV). Empezaremos por indicar que la rueda, realizada íntegramente en madera, consta de un cubo (donde se inserta el eje de giro), una serie de radios (dispuestos por parejas) y la corona exterior, conformada por 25 cangilones.

El cubo de la rueda 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



21. Estela funeraria perteneciente a un artesano de la madera (constructor de carretas) conservada en el Museo de Siracusa. Dibujo extraído de ADAM, J.P. (1996): *La construcción romana. Materiales y técnicas*, Ed. de los Oficios, León, p. 103, figura 228. Además de una rueda, entre las herramientas de su trabajo aparece el hacha doble, la gariopa y el taladro de ballesta junto a dos de los instrumentos de medición comúnmente utilizados por los carpinteros: el compás y la regla

donde el eje iba embutido. Equidistantes a ese orificio se encuentran otros cuatro más pequeños para alojar los cuatro travesaños que arriostan ambos discos.

Cada uno de los discos (ligeramente ovalados por la contracción de la madera al secarse) consta 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 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. 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, tienen una longitud aproximada de 185 cm y una anchura de 5 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 une 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, al objeto de ofrecer menor resistencia al agua. Las 25 parejas de radios sostienen la corona de la rueda y 25 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. Consisten en piezas cúbicas compuestas por seis tabicas y sujetas entre pares de radios (capítulo IV, figuras 12-17):

- * Dos tabicas laterales de separación entre cangilones y entre radios.
- * Una tabica de fondo (con travesía exterior de refuerzo, hoy inexistente²⁴).

- * Una tabica de tapa, configurando el contorno o perímetro exterior de la rueda (con travesía 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 (1 cm las primeras y 1,5 cm estas 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 agua²⁵.

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 arriostan 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 fluidos²⁶. 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 (figura 5) y en una de las fotos del Archivo de la Fundación Riotinto (figura 12).

De los dos cojinetes de madera donde se apoyan los extremos del eje de bronce, se ha conservado uno. Es una pieza longitudinal de madera de roble, 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 encastadas en la roca.

El agua recogida en los cangilones al sumergirse sería vertida por éstos durante la subida, en dos canaletas o arquetas de las que no ha quedado nada.

En cuanto a la técnica de ejecución²⁷, recordemos que los carpinteros (*fabri lignarii*) trabajaban con rollos previamente troceados (maderos) y preparados mediante su descortezado y escuadrado. En estas tareas usaban, básicamente, el hacha y la sierra de marco. Respecto a las herramientas utilizadas para tallar los componentes de las piezas que fabricaban sabemos que, para rectificar las superficies y para el acabado, el utensilio fundamental era el *ascia* (azuela) mientras que para el cepillado de la madera se usaba, como ahora, la garlopa y el bastrén (en la rueda del museo onubense se aprecia un cuidadoso acabado de cuchilla). En la ensambladura de las piezas las partes sobresalientes o espigas se fabricaban con la sierra, mientras que las cavidades de encaje o mortaja eran realizadas con formones. 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. Los orificios más pequeños donde insertar las clavijas pudieron realizarse con un taladro de ballesta como el representado en la estela funeraria de la figura 21. 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 São Domingos, 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 rueda está directamente relacionado con el número de cangilones en que se compartimenta la corona (y a veces con el volumen y la 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 Oleson²⁸ ha dado en llamar el “tipo hispánico” de rueda frente al más pesado y compacto “tipo dacio” (OLESON, 1984). 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 diámetro²⁹ y un número de radios y cangilones comprendido entre 30 y 22). 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 uno o más talleres encargados de su fabricación, como ya se cuestionaba Forbes (FORBES, 1966), 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 instalación en el interior de la mina. Todo hace indicar que se trata de piezas prefabricadas para poder ser montadas en el



22. Detalles de los 25 radios con las marcas de numerales incisas y de la cara interna del disco delantero. Imagen: Eugenio Fernández Ruíz. IAPH

interior de la mina, dadas las dimensiones de las ruedas y la angostura de las galerías y pozos. La incógnita es 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, del alerce o del pino silvestre de la de São 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 Sudoeste peninsular. El cuarto de rueda procedente de São Domingos, conservada en el Musée des Arts et Métiers de Paris, 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. Estas marcas se disponen longitudi-

nalmente 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 este sentido de escritura se invierte en ésta 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.

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 que mejor puede dar una pista sobre el modo de numerar cada uno de los componentes de la rueda:

* 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*, *IIIV* (*VII retro*, corregido), *IIIV* (*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*).

* Las tabicas de fondo y de tapa también presentan algunas numeraciones: un *V* en una de fondo, otra lleva un *XII*³⁰ 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 tabicas laterales aparecen todas numeradas sin excepción, frecuentemente con dos números, uno en cada extremo, de tal modo que hacia referencia a las tabicas a colocar a su izquierda y derecha, como señala Weisgerber, 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 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 (capítulo IV, figuras 7-8):

* 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.

* El otro disco, 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 22), 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*, *VIIII*, *X*, *XI*, *XII*, *IIIX* (*XIII retro*), *XIV*, *VX* (*XV retro*), *IVX* (*XVI retro*), *IIVX* (*XVII 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 hace en 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:

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 todos 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 (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 apuntadas 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:

podieron 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 São 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)³¹ 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 Vitruvio, 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 ligados 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” (Vitruvio, *De Architectura*, X, 5).

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 (figura 14), en el Filón Norte de Tharsis (figura 4) y en las minas de São Domingo (figura 1), 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 rue-

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

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 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 con 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 accionarían 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, reproducido por Stevenson, 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.

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 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. 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 impide 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 Bordes, 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° (DOMERGUE *et al.*, 1999: 57).

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 hacen 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) (DOMERGUE *et al.*, 1999: 57)³². Esta 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 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 similar³³. 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* (PALMER, 1926/27: 304).

Hay otras hipótesis posibles. Ya 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, *en vez de ser una polea, 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). 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 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 (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 desarrollado por el equipo de C. Domergue respecto al 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 Tharsis (DOMERGUE *et al.*, 1999: 58; DOMERGUE, BORDES, 2004: 100 y ss.) 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 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) sólo 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 número 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, quizás, habría que añadir un formato intermedio dentro del denominado “tipo hispánico” (DOMERGUE *et al.*, 1999: 59).

Conclusiones

A nuestro juicio, el hecho de que las dimensiones y número de radios y cangilones de las ruedas conservadas no coincidan con las de las ruedas representadas en la documentación gráfica disponible no es motivo para pensar que haya errores de ese calibre en muchos de esos planos y dibujos. Creemos que se trata de representaciones de ruedas distintas a las ruedas cuyos restos se han conservado, particularmente en lo que respecta a los planos a escala conservados en el Archivo de la Fundación Riotinto (figuras 8 y 16). Cuesta creer que unos planos realizados con tal pulcritud y lujo de detalles pasen por alto contabilizar el número exacto de mortajas existentes en los discos, claros indicadores del número de radios y, por ende, del número de cangilones de cada rueda.

En definitiva, pensamos que los dibujos realizados a escala pueden ser restituciones gráficas a partir de las piezas de algunas ruedas que se hallaron fracturadas y que nunca llegaron a montarse tras su descubrimiento.

En apoyo de esta hipótesis vendría las representaciones de las ruedas de Tharsis mostradas por Stevenson (figura 5) donde se aprecia una convexidad manifiesta en una de sus caras (la interna, según su colocación por parejas). Independientemente de que puedan o no ser identificadas con la rueda cuyos restos se conservan en Glasgow, pensamos que este detalle en los dibujos quizás pueda ser debido a una errónea interpretación de la colocación de los radios tras el hallaz-

go (no olvidemos que éstos solían hallarse fracturados y fuera de lugar). Investigadores como Domergue y Bordes manifiestan que, de ser así realmente, ello supondría cierta inestabilidad de la corona y dificultad para el vertido de agua a ambos lados (DOMERGUE, BORDES, 2004: 88).

El estudio detallado de la rueda del Museo Provincial 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 (DOMERGUE *et al.*, 1999: 59). Parece haber existido además, al menos un formato intermedio, como es el caso de nuestra rueda, con 25 cangilones y 4,20 m de diámetro. A nuestro modo de ver, esta realidad no contradice las conclusiones expuestas por Domergue y Bordes tras su profundo 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)³⁴. La dimensión de estas ruedas, dentro de unos márgenes determinados, pudo estar condicionada por la cavidad excavada donde se fuese a alojar.

Al encontrarse las ruedas muy fracturadas, incluso las que se encontraran en mejor estado, debieron reconstruirse tras su extracción. Parece que en esta labor, y cuando algunas piezas de las ruedas 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.

Todos coincidimos en afirmar que las marcas de numerales se hicieron para proceder al 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 haya correlativa se debe al montaje realiza-

do tras su hallazgo y extracción. Por otra parte, 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. 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. En los casos en que en una misma cara se aprecian actualmente radios con y sin marcas estaríamos ante los recambios modernos a que antes hemos aludido.

Por último, es muy complicado, con las piezas conocidas, interpretar el porqué de la existencia de números dispuestos en sentido inverso (*retro*). No creemos que sea casual sino que debe tener una explicación relacionada directamente con el sistema de montaje 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.

Notas

¹ 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.

² Weisgerber calcula que en todo el Imperio se han hallado unas 110 ruedas de drenaje (WEISGERBER, 1979, p.62).

³ 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.

⁴ Las medidas dadas por los diversos autores que se han ocupado de ellas varían ligeramente.

⁵ Agradecemos la gentileza del Dr. Domergue por permitirnos conocer los resultados de esta investigación cuando aún estaban inéditos.

⁶ Son tres semidiscos y cuatro de los nueve ejes de bronce que en 1966 quedaban en el Museo de Riotinto. Estos fragmentos de disco, que conservan algunas cabezas de radio fracturadas insertas en las mortajas, son analizados por Rodríguez Trobajo en el capítulo II: los semi-discos nº 138 y nº C-491 (referencia 6584 y 5491-A) tienen 13 y 14 mortajas respectivamente, por lo que conformaban ruedas de 27 radios y 98 cm de diámetro de disco. Pudieron formar parte de un mismo conjunto ya que el estudio dendro-cronológico concluye que sus piezas fueron extraídas del mismo árbol. El otro fragmento de disco (ref. nº 549-I), con 13 mortajas, parece ser algo menos de una mitad de disco, por lo que pudo tener 27 o más radios.

⁷ Domergue habla de 14 pares en vez de 14 ruedas.

⁸ Expediente denominado "Relación de objetos pertenecientes al Museo de Riotinto trasladados al Museo Provincial de Huelva" (Expediente Gral. /73) realizado por el entonces director M. Del Amo.

⁹ 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.*, figura 6), aunque, al no verse el extremo superior de la misma, no era claramente identificable con la rueda del Museo de Huelva.

¹⁰ Este es el caso del tercio de rueda que en 1889 ingresó en el British Museum procedente, al parecer, del Filón Norte de Riotinto.

¹¹ Así, por ejemplo, en la foto referencia *Revista Rio Tinto*. "La minería de Riotinto". Mayo, 1970. Gáez S.L. Madrid. Dep. Legal M-11962. *Signal*. 622 *Mine Rio*, 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.

¹² 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).

¹³ Los elementos que conforman la rueda fueron montados en el patio de luces del Museo de Huelva en 1973 por la empresa *Macarrón*. Dato apor-

tado 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 (1'20 x 4'10 m) sobre el que se instalaron los borriquetes de madera, unidos mediante tirantes (parece que son los mismos que tenía en el Museo de Bellavista) y por el eje de bronce original. Estos borriquetes se fijaron al entarimado mediante puntillas.

¹⁴ Con 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 provocó 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*.

¹⁵ 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 su figura 72 no es una rueda íntegra descubierta en 1886, sino un modelo a escala natural de 14 pies y 10 pulgadas de diámetro máximo construido *in situ* con los datos obtenidos a partir del hallazgo.

¹⁶ La Cuenca Minera de Riotinto tiene una extensión aproximada de 640 km² y abarca los términos municipales onubenses de Berrocal, El Campillo, Campofrío, La Granada de Riotinto, Minas de Riotinto, Nerva y Zalamea la Real.

¹⁷ Cortas Dehesa, Lago y Salomón.

¹⁸ En esta síntesis seguimos a esos investigadores.

¹⁹ 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 (p. 109), pudieron emplear otro material de combustión derivado de la pirita.

²⁰ 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.

²¹ Todas las minas conocidas y explotadas desde el siglo XIX fueron ya puestas en explotación en este momento.

²² Discos y tapas de pino negral, radios de abeto, cangilones de pino silvestre, el cojinete conservado de roble y las espigas y clavijas mayoritariamente de roble.

²³ Eduardo Rodríguez Trobajo en el capítulo II compara esta datación con la de las piezas sueltas del Museo de Huelva.

²⁴ Manzano Beltrán (*Vid.* Capítulo IV) deduce su existencia por el estudio directo de cada uno de los componentes de la rueda, ratificados por los planos de otras ruedas existentes en el Archivo de la Fundación Riotinto.

²⁵ Extraído del estudio de Manzano Beltrán (*Vid.* Capítulo IV). Además, Manzano observa que se procuraba colocar estas piezas compartidas de forma alterna para “coser” mejor los cangilones. Actualmente, muchas de estas piezas se encontraron aserradas.

²⁶ 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.

²⁷ *Vid.* J.P. Adam (1996) para más información sobre el trabajo de la madera en época romana.

²⁸ 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, llevar los cangilones alojados entre robustos radios (no van emparejados) y presentar los cangilones una abertura triangular localizada en el centro de las tabicas laterales. En 1855 en las minas romanas de *Alburnus Maior* (Rosia Montana, Rumanía) se recuperaron los fragmentos de un eje y dos radios de una rueda, hallándose un nuevo eje unos años después. En Rudas-Barza (Rumanía) se descubrieron en 1862 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 la mina de oro de Dolaucothi (Cardiff, al S de Gales), aunque en su caso los cangilones van sujetos entre radios apareados.

²⁹ En muchos casos no se especifica si las medidas comprenden o no las cabezas de los radios que sobresalen de la corona de la rueda. Otras ligeras variaciones pueden atribuirse a diferentes comportamientos de las maderas.

³⁰ Un *XIII* según la figura publicada en ese artículo.

³¹ El radio VII (RD-21) lleva el n° 20 hecho con bolígrafo y en el RT-16 aparece el n° 10 realizado a lápiz.

³² 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, cargada de partículas minerales.

³³ En este punto debemos citar dos piezas enumeradas en la “Relación de objetos pertenecientes al Museo de Riotinto trasladados al Museo Provincial de Huelva” (Expediente Gral. 773), 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 objetos en los almacenes del museo que, con ciertas 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 y nos cuestionamos su función como calzos.

³⁴ Como estos investigadores demuestran en su estudio comparativo de los fragmentos de ruedas conservados en Londres, Glasgow y París, siempre que la dimensión esté dentro de unos márgenes determinados, existe una estrecha horquilla en cuanto al rendimiento de las ruedas: a mayor diámetro, menor número de giros por unidad de tiempo pero mayor volumen de agua evacuado; a menor diámetro, mayor número de giros por unidad de tiempo pero menor volumen de agua evacuado.

Bibliografía

ADAM, J. P. (1996) *La construcción romana. Materiales y técnicas*. León: Ed. de los Oficios, 1996, pp. 91-109

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

BEDELLO TATA, M.; FOGAGNOLO, S. (2005) Una ruota hidráulica da Ostia. *Aquam in altum exprimere. Les machines élévatoires 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

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, nº 113-114, 1966, pp. 73-88

CARO BAROJA, J. (1954) Norias, azudas y aceñas. *Revista de dialectología y tradiciones populares*. Tomo X, 1954, pp. 29-160

DOMERGUE, C. (1987) *Catologue des mines et de fonderies antiques de la Peninsule Ibérique*.

Tomo I. Publications de la Casa de Velásquez, Serie Archeologie VIII, 1987

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

DOMERGUE, C; BORDES, J-L. (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 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-POSSE ARNAIZ, M.D.; SÁNCHEZ PALENCIA, F.J. (1996) Riotinto: la memoria antigua desde la actualidad en *Memoria antigua de romanos, nuevamente descubierta en las minas de Río Tinto. Ilustrada con su explicación y Notas, por un curioso Sevillano* (Reproducción facsimil del texto de Francisco Thomas Sanz de 1762), Col. Clásicos de la Arqueología de Huelva, nº 6, pp. 49-97

FORBES, R.J. (1966) *Studies in Ancient Technology*. Leiden: E.J. Brill, v. 7, 1966

GONZALO Y 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

LUZÓN NOGUÉ, J.M. (1968) Los sistemas de desagüe en minas romanas del Suroeste peninsular. A.E.A., nº 41, pp. 101-120

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

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

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

SANTA MARIA SCRINARI, V. ; RICCIARDI, M.A. (1996) *La civiltà dell'acqua in Ostia Antica*. Roma: Fratelli Palombi, 1996, v.1

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)

WEISGERBER, G. (1979) Das römische Wasserheberard aus Río Tinto in Spanien im British Museum London. *Anschnitt*, 2-3, Bochum, 1979, pp. 37-80