

LA NORIA DEL MUSEO DE HUELVA, UN *UNICUM* EN LA ARQUEOLOGÍA ROMANA

Aquilino Delgado Domínguez¹ y Pablo S. Guisande Santamaría²

¹Museo Minero de Riotinto, Fundación Río Tinto, Plaza del Museo s/n, 21660 Minas de Riotinto (Huelva).
museomineroriotinto@telefonica.net

²Museo de Huelva, Alameda Sundheim, 13, 21003 Huelva. pablos.guisande@juntadeandalucia.es

A Juana Bedia, in memoriam

RESUMEN

El desagüe de las minas fue uno de los principales inconvenientes a los que se enfrentaron los mineros antiguos. La tecnología para estos trabajos provenía del mundo helenístico en el Mediterráneo Oriental, donde se diseñaron distintos sistemas de drenaje para los trabajos de interior: tornillo de Arquímedes, bomba de Ctesibio, polea de cangilones y norias. Este último sistema fue el más empleado en el Suroeste de la Península Ibérica. Así, de las 129 norias romanas encontradas en minas romanas, 74 han sido encontradas en el cinturón ibérico de piritas y 52 en Riotinto. De todas estas, la única noria completa conservada fue hallada en Masa Planes (Riotinto) y se expone en el Museo de Huelva, siendo el ingenio romano minero mejor conservado en el mundo.

PALABRAS CLAVE: Desagüe, noria, romano, Riotinto, Huelva.

ABSTRACT

Mine drainage was one of the main problems that ancient miners had to deal with. The technology for this task came from the Hellenistic world in the eastern Mediterranean where various systems were designed for underground mines. Archimedes screws, Ctesibios pumps, water lifters and water wheels were the most common systems. Water wheels were mostly used in the South West of the Iberian Peninsula. Out of one hundred and twenty-nine Roman water wheels found in the mines, seventy-four were in the Iberian Pyrite Belt and fifty-two were found in Riotinto. The only complete water wheel preserved today was found in Masa Planes (Riotinto) and is currently on display in the Huelva Museum. This wheel is the best preserved Roman artifact in the world.

KEY WORDS: Drainage, water wheel, Roman, Riotinto, Huelva.

Recibido: 1 de octubre, 2014 • Aceptado: 5 de mayo, 2015

INTRODUCCIÓN

Uno de los mayores problemas solventados por la minería romana fue el drenaje de las labores de con-tramina, sin el cual no hubiera sido posible el desa-rrollo de los trabajos. Este artículo trata sobre la noria hallada en 1928 en Masa Planes (Riotinto), que es la *rota aquaria* más completa de las que se han

registrado en las minas del territorio del Imperio Romano, actualmente conservada y expuesta en el Museo de Huelva.

SISTEMAS DE DESAGÜE EN ÉPOCA ROMANA

La importancia del desagüe en época romana apa-rece recogida para época de Adriano en los bronce

de Aljustrel, donde no se permitían trabajos de exploración o de arranque partiendo de ellas, pues una posible obstrucción de los mismos podría redundar en la inundación de parte del coto minero y por ende en impedir que al *fiscus* (la caja imperial) llegase la parte correspondiente de metal beneficiado en los hornos.

“15° Está prohibido dañar el canal de desagüe. El procurador permitirá (no obstante) que un concesionario, a fin de explorar una nueva mina, abra una galería de reconocimiento que comunique con dicho canal, pero de modo que tal galería no tenga de anchura y altura más de 4 pies (1,2 m.) Lex Territorio Metalli Vipascensis Dicta II, 15 y 16. Trad. Prof. Dr. G. Chic García” (Pérez Macías et al., 2012a, 52).

Los métodos de drenaje documentados en las minas romanas son: galería inclinada, bomba de Ctesibio, cóclea, polea de cangilones y noria, sobre la que nos centramos en este trabajo.

Galería inclinada o *cuniculus* (Pérez y Delgado, 2011a, 10): Es el método más sencillo para desaguar los trabajos mineros (Luzón Nogué, 1968, 101). Consistía en drenar las labores de contramina a una cota inferior por su propio peso mediante *cuniculi*. Estas conducciones disponían a distintos intervalos de “pocillos” que sirvieron tanto para orientar la dirección de la conducción como para labores de limpieza y ventilación. Estas labores han sido halladas en el Centenillo (Jaén), Coto Fortuna (Mazarrón, Murcia) (Gossé, 1942, 52). En Filón Sur se documentó el *cuniculus* de mayores dimensiones en Riotinto, tenía una longitud de 925 m de longitud y una pendiente de 3,08 %. En su recorrido se dispusieron 29 “pocillos” en un intervalo medio de 49,5 m, el más profundo tenía 84 m y el que menos sólo cinco (Palmer 1926-1927, 312-315). La excavación y el mantenimiento de estas labores supusieron una fuerte inversión, pero fundamental, pues sin ella no se hubieran podido desarrollar las operaciones mineras.

Cuando por la situación de la veta de mineral a extraer, no pudo desaguar mediante una galería a un nivel inferior, como ocurrió sobre todo en la zona de enriquecimiento supergénico, se recurrió al empleo de ingenios helenísticos: tornillos de Arquímedes, bomba de Ctesibio, polea de cangilones y norias.

El origen de esta tecnología está en el Mediterráneo Oriental, concretamente en el Egipto Lágida o Ptolemaico, a través de la Escuela de Alejandría (s. III a.C.), donde los sucesores del primer Ptolomeo reunieron en torno al Museo y su célebre Biblioteca a todos los sabios de época Helenística. El resultado fue la solución de multitud de problemas técnicos y la compilación de toda la física mecánica y neumática, siendo su aportación tan importante que se fijaron las bases de estas dos disciplinas científicas manteniéndose apenas sin variación hasta el s. XVIII (Gille, 1985, 97-119).

Bomba de Ctesibio: Bomba aspirante-impelente

que consta de dos recipientes gemelos de bronce unidos por un tubo en forma de horquillas la que se ajusta otro conducto vertical llamado “trompa” (Luzón Nogué, 1968, 118), donde se disponían las válvulas que abrían y cerraban la circulación del agua. Los pistones ubicados en los tubos accionados mediante la palanca ponían en movimiento el agua haciéndola subir por el tubo central. *“La máquina de Ctesibio, la qual levanta el agua en surtidores. Hácese esta de bronce, á cuyo pie se ponen dos caxoncillos”* (Vitrubio X, XII, 31).

En Sotiel Coronada (Calañas, Huelva) en el piso tercero en la traviesa 25, fija al suelo con una obra de mampostería, se encontró una bomba de Ctesibio de bronce (Gonzalo y Tarín, 1888, tomo II, 116; Luzón Nogué 1968,118) que actualmente se encuentra en el Museo Arqueológico Nacional. En la zona de Sureste se documentó en Cartagena (Murcia) un ejemplar construido en plomo (Domergue, 1990, figura XXII), aunque no está completa.

Tornillo de Arquímedes o cóclea: ingenio que consiste en un cilindro hueco por el que transcurre un tornillo sin fin. Estaba construido de madera, aunque en algunos casos la hélice interna era metálica como en el hallado en Sta. Bárbara (Córdoba) (Gossé, 1942, 56, láms. VIII a IX). Se accionaban mediante la fuerza humana colocados inclinados en hilera cargaban el agua desde un depósito inferior a uno superior en el que a su vez lo cargaba otro tornillo y así sucesivamente. La descripción antigua más pormenorizada nos la ofrece Vitrubio: *“Hay también una especie de rosca que saca gran cantidad de agua...La elevación de la máquina será según la regla del triángulo rectángulo de Pitágoras”* (Vitrubio X, XI, 26-28). Diodoro Sículo hace referencia a su efectividad: *“es una máquina tan ingeniosamente construida, que gracias a ella se podrían transportar enormes masas de agua y se sacaría fácilmente un río entero de la profundidades de la mina a la superficie”* (Diodoro Sículo V, 37). Posidonios menciona su empleo en el SO peninsular: *“los turdetanos abren sinuosas y profundas galerías, reduciendo a menudo las corrientes que en ellas se encuentran por medio de tornillos egipcios”* (Estrabón III, 2 y 9). Lo recogido en las fuentes escritas ha sido refrendado por el hallazgo de estos ingenios en el interior de varias minas hispanas. Así, en la mina de Sotiel Coronada (Calañas, Huelva), en un anchurón cercano al pozo San Juan, se encontró un sistema de combinado de polea de cangilones y tornillos de Arquímedes (Gonzalo y Tarín 1888, 506-34-35), uno de los cuales se conserva en el Museo de Liverpool. Una batería de cócleas fue hallada también en la mina de Sta. Bárbara (Córdoba), el que iniciaba la serie de tornillos tenía primer álabe de bronce (Gossé, 1942, 56, láms. VIII a IX). También han sido documentados en Cerro Muriano (Córdoba), el Centenillo (Jaén) (Hudson, 1947, 159) y Mina Diógenes (Ciudad Real) (Domergue, 1967, 41 y 43).

Polea de cangilones: Sistema variante de la rueda hidráulica empleado cuando la noria no era

efectiva debido a la profundidad o porqué la zona de carga de la noria tuviese un nivel de agua que no permitiera cargar los arcaduces de la noria. Consiste en que sobre una rueda hidráulica se disponía una cadena doble metálica en la que se colgaban unos arcaduces de bronce, con una capacidad de un congio (3,5 litros), como describe Vitrubio X, 9, 22-23. Cangilones de bronce han sido hallados en Riotinto (Luzón, 1968, 111 - 113) y la mina de Sotiel Coronada (Calañas, Huelva), donde se documentó sobre uno de ellos un nombre itálico *L. Vibi. Amaranti. PXIIS* (Luzón, 1968, 112), que se ha interpretado como el nombre de un posible concesionario minero de origen itálico.

NORIA O ROTA AQUARIA

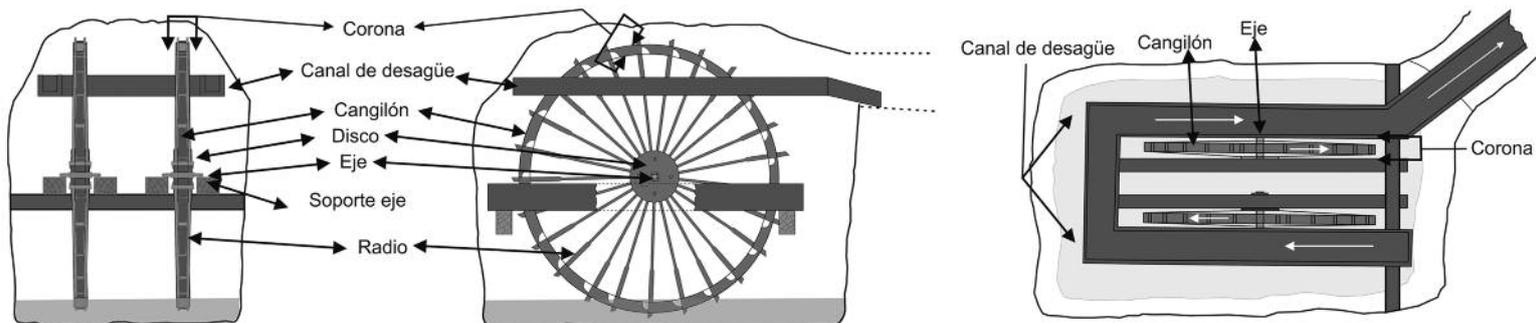
Noria: máquina para elevar agua formada por una serie de cangilones o arcaduces (*modioli*) unidos a una gran rueda que al girar suben el agua desde la parte de debajo de la misma, hacia la parte de arriba. La noria como los otros sistemas de desagüe tiene su origen en el mundo helenístico. Filón de Bizancio, autor del siglo III a. C., menciona una rueda hidráulica (*τροχῶσ*) en el capítulo 61 de su obra *Pneumática* (Carra de Vaux, 1902, 27-235). En otros trabajos suyos, ese mismo autor recomienda el empleo de norias para desaguar minas, aunque la mención acaba ahí, denominando a la noria para este uso como *περιακτοι τροχοι* (Parascuastica 43-44) (Diels y Schramm, 1920). Herón de Alejandría, en el siglo I d.C., menciona el empleo de noria compartimentada con cangilones (*πολικαθια* Dioptra VI, 200) (Vicent, 1858, 27-235). Vitrubio describe el uso de norias para elevar aguas en las ciudades, pero la máquina a la que se refiere es un *τιμπαννυ* (Vitrubio X, 9.), no una noria como la que nos ocupa, donde la persona que lo accionaba se situaba dentro de la noria (Delgado y Regalado, 2010, 661).

En el Imperio romano han sido documentadas 129 norias en labores mineras de interior. Los hallazgos más antiguos tuvieron lugar en las minas de oro rumanas. Entre 1855 y 1861 se hallaron dos ejes de

noria y dos cangilones de madera en Rosia Montana. En 1862, en la cercana mina de Brad-Baia, se encontraron 25 parejas de norias, de las que actualmente sólo se conservan dos ejes. El último hallazgo fue el producido en 1999 en Pàru Carpeni, donde se documentó una pareja de norias (Vulpe *et al.*, 2011, 55-90). En resumen, en la provincia Dacia (actual Rumania) se documentaron 55 norias en distintas minas.

En 1935, en la mina de Dolaucothi, en Pumsaint (Gales, UK), fueron hallados dos cangilones de norias, pertenecientes a una rueda hidráulica (Davies, 1935, 24; Jones *et al.*, 1960, 71-84; Boon y Williams, 1966, 122-127).

El resto de las ruedas hidráulicas han sido encontradas en el Suroeste peninsular, concretamente en la Faja Píritica Ibérica (provincia metalogenética ubicada entre Portugal y España), donde se han encontrado 74 *rotae*. Entre 1850 y 1860 fueron halladas 10 norias en São Domingos (Mértola, Portugal) (Domergue *et al.*, 1999, 49-59), de las que actualmente se conserva un cuarto de rueda en el Musée des Arts et Métiers. El siguiente hallazgo fue en 1875, en Tharsis (Alosno, Huelva), donde se descubrieron 10 *rotae* en Filón Norte (Stevenson, 1875, 276-281; Domergue y Bordes, 2004, 87-105), de las que actualmente se conserva una quinta parte en el Museum of Transport en Glasgow. En 1886 Gonzalo y Tarín describe cómo en Lagunazo (Alosno, Huelva) fueron encontradas restos de una pareja de norias, similares a las halladas en Tharsis (Gonzalo y Tarín, 1886, 525). Pero es en Riotinto, con 52 ejemplares, la mina donde se han registrado más ingenios hidráulicos como el que nos ocupa (Gonzalo y Tarín, 1888, 35; Palmer, 1926-1927, 299-322; Williams, 1932, 2-3; Hudson, 1947, 157-164; Luzón Nogué, 1968, 103-111; Weisgerber, 1979, 37-80; Oleson, 1984, 251-257; Fernández-Posse y Sánchez Palencia, 1996, 49-97; Ojeda Calvo, 2006, 11-39; Delgado y Regalado, 2010, 659-675, Delgado *et al.*, 2013). Se conservan tercios de dos ruedas y un eje de bronce en el Museo Británico; un eje de madera y fragmentos de madera de noria de las halladas en Filón Sur en el Museo



Fuente: Palmer 1926-1927; Luzón 1968.
Dibujo: ADD

Figura 1. Partes y sistema de funcionamiento de una noria.

Minero de Riotinto; ocho ejes de bronce, tres discos de madera y la rueda hallada en Masa Planes en 1928, objeto de este trabajo, que está conservada al 95% en el Museo de Huelva.

LAS NORIAS HALLADAS EN RIOTINTO (1886-1928)

Las norias halladas en la Faja Pirítica Iberica, han sido definidas como de “tipo hispánico” (Oleson, 1984, 251-253), caracterizadas por ser más altas, esbeltas y estrechas; poseer un diámetro entre 3,60 y 4,65 m; una anchura media del cangilón de 20 cm y de 30 cm en la noria de 30; con un peso total de entre 190 a 200 kg de peso, con un número de canjilones y radios que oscila entre 22 y 30.

El primer hallazgo en Riotinto se produjo en junio de 1886 en el interior del Pozo 9b en Filón Norte (Corta Salomón, Riotinto) (Gonzalo y Tarín, 1888, 35; Fronthingham, 1889, 121-122; Luzón, 1968, 104; Delgado y Regalado, 2010, 659- 675). Se encontraron dos norias, una de las cuales con 4,648 m de diámetro, presentaba un mejor estado de conservación, mientras la otra, algo menor (medía 4,52 m), ostentaba un peor estado de conservación, presentando ambas 22 radios. De esta pareja de *rotae aquaria* no se conserva ningún resto. Los datos que poseemos provienen de dos fuentes, la lámina número 6 del tomo II de la obra de Gonzalo y Tarín ya mencionada y un plano conservado en el Archivo Histórico Minero de la Fundación Río Tinto (Dibujo 1376).

El segundo hallazgo fue de otra pareja de norias, y se produjo con anterioridad a mayo de 1889, fecha de ingreso en el Museo Británico (Londres) (Weisberger, 1979, 37-80). Estas ruedas tenían 27 radios y unas dimensiones de 4,60 m. Características y dimensiones muy parecidas a las norias provenientes de Filón Sur (Riotinto), conservadas actualmente en los fondos del Museo Provincial de Huelva. Esta pareja *rotae* y un eje de bronce fueron donados al British Museum por los directores de Río Tinto Co. Ltd, el 22 de mayo de 1889, tal y como se recoge en la carta que el Dr. Paul Roberts, conservador jefe del Departamento de Antigüedades griegas y romanas del Museo Británico, dirigió al director del Museo Minero el 7 de junio de 2002 (Delgado y Regalado 2010b, 679). Debieron de ser halladas entre finales de 1888 y principios de 1889, pues no aparece recogido en el trabajo de Fronthingham, quien hace una pormenorizada descripción de los restos romanos documentados en Riotinto hasta ese momento, por lo que nos parece extraño que pasara por alto un segundo hallazgo cuando menciona el primero. En cuanto a la ubicación de este segundo par de norias fue en Filón Norte, concretamente en la zona que partir de 1892 ocupará Corta Salomón, pues es en esa área donde se estaba trabajando a nivel de las labores mineras romanas entre fines de 1888 y principios de 1889 (Delgado y Regalado, 2010, 663).

El tercer hallazgo se produjo en la zona centro

de Filón Sur o Nerva, donde durante las operaciones mineras se documentaron en 1910 14 parejas de ruedas (Palmer, 1926-1927, 299-336). Esta batería de norias fue hallada en el último trimestre de 1910, pues el descubrimiento de estos ingenios fue documentado y fotografiado por Frank J. Bodenham, Inspector de Trabajo. Este técnico no llegó a Riotinto para trabajar para Río Tinto Co. Ltd. hasta el 28 de septiembre de 1910 (Legajo 1618, *Staff Book 3*). Archivo Histórico Minero Fundación Río Tinto). Este ingeniero fue una de las fuentes para el trabajo de Palmer sobre el hallazgo de las norias de *South Lode* en Riotinto, aportando desde las fotografías a datos de primera mano sobre el hallazgo. El mal estado de conservación de estas 28 norias determinó que no se recuperara ninguna, aunque se tomaron mediciones. Por ellas sabemos que su tamaño osciló entre los 4,648 m y 4,52 m, todas con 30 radios.

Los trabajos desarrollados en Filón Sur entre 1919 y 1921 pusieron al descubierto otra batería de norias romanas, ocho parejas según Palmer (1926-1927, 300) y once según Williams, quien aportó la localización y la fecha del hallazgo: “*During the year 1919 to 1921, a whole nest of similar Wheels was uncovered in the South Lode*” (Williams, 1932, 4). Debido a que Palmer, jefe del Departamento de Filón Sur, estaba presente durante los hallazgos de las ruedas hidráulicas, nos decantamos por el número de norias que aporta en su trabajo, siendo este hallazgo el mejor documentado en Riotinto.

Estas dieciséis norias tenían un diámetro medio de 4,65 m. Actualmente se conservan tres discos dentados donde se insertaban los 27 radios y 8 ejes de bronce en el Museo de Huelva y fragmentos de madera de noria provenientes de los radios de las norias conservados en el Museo Minero de Riotinto (Delgado y Regalado, 2010, 661).

Las ruedas hidráulicas halladas entre 1910 y 1921 formaban parte de un mismo sistema, como se recoge en el plano de David Williams (Williams, 1932, 18, plate 1), en el que se indica que “*Chain of 14 wheels feeding to lowest Wheel of Chain “A”*”. Es decir, el sistema de 16 norias halladas entre 1919 y 1921 permitían ascender el agua 29,6 m desde el nivel 309 sobre el nivel de mar en Huelva hasta los 338,6. Desde donde el agua era drenada 52,3 m más hasta la cota 390,4, a una de las galerías romanas de desagüe que salían al pie del Cerro de las Vacas. La cadena hallada en Filón Sur sacaba el agua a la superficie desde una profundidad de muro a techo de 81,4 m (Delgado y Regalado, 2010, 666).

La construcción de un sistema de drenaje con cuarenta y cuatro norias necesitó de una fuerte inversión en trabajo y capital, incluyendo desde la construcción de las cavidades donde ubicar las norias, a la instalación de la maquinaria, la limpieza de las labores, su fortificación y mantenimiento. El desagüe no podía detenerse, pues se inundarían las zonas de arranque y el mineral no podría ser subido a boca de mina, ni posteriormente beneficiados en los hornos

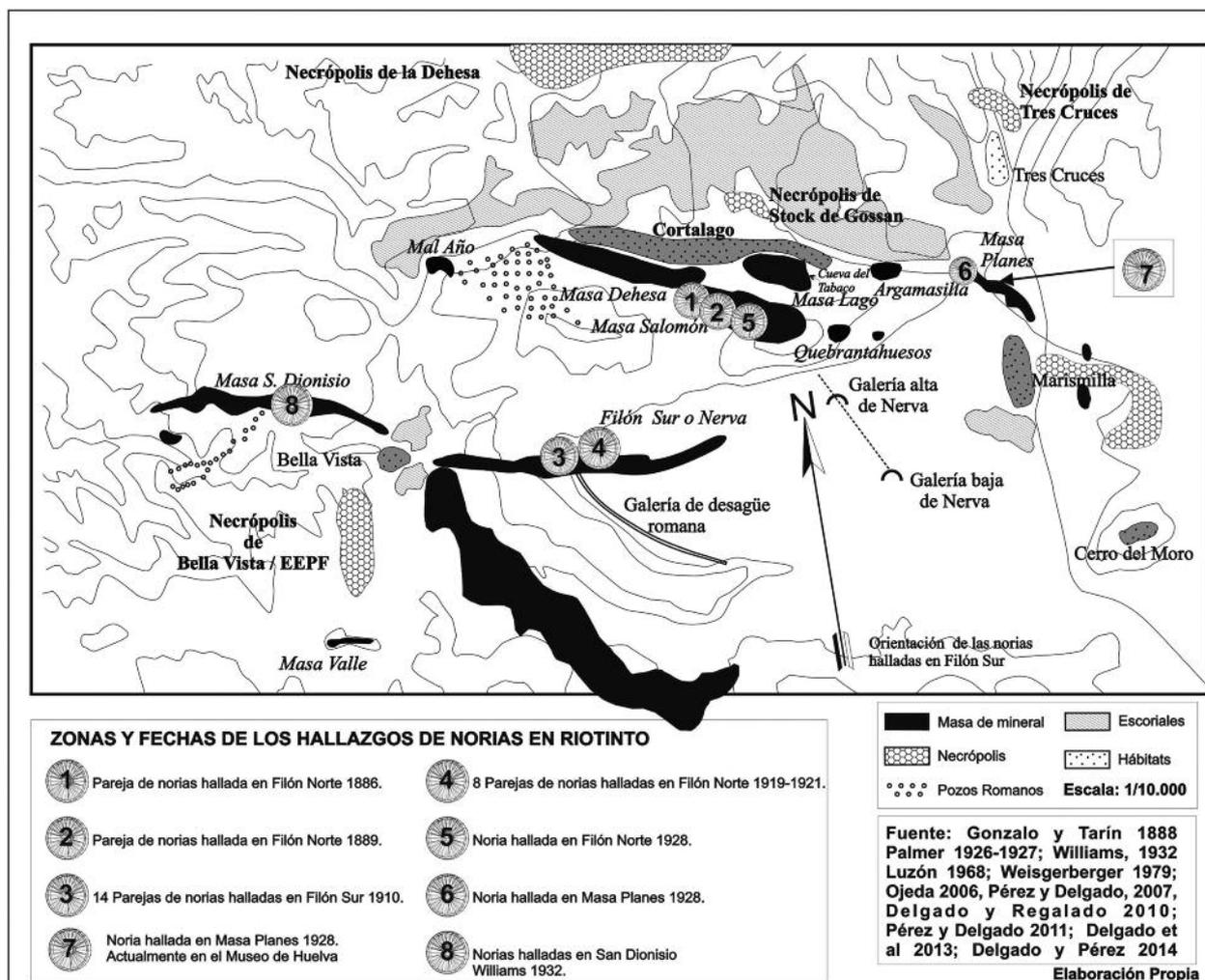


Figura 2. Norias halladas en Riotinto (Huelva).

imposibilitando que el cobre y la plata extraída en Riotinto pasasen al *fiscus*, la caja imperial (Pérez Macías, 1998, 217-218; Pérez y Delgado, 2007, 37-185).

En 1928 fueron halladas tres norias. La primera, en Filón Norte (Riotinto), tenía un diámetro de 4,59 y veinticuatro cangilonos. Cuando fue encontrada disponía de una cuerda doble, cuya función parece haber sido el favorecer el sostenimiento de los arcauces, siendo los datos y el plano aportados por José María Luzón Nogué los únicos de los que disponemos sobre este ingenio romano (Luzón Nogué, 1968, 112). Los otros dos hallazgos se produjeron en el criadero de Planes. El primero tenía unas dimensiones de 4,13 m de diámetro y veinticinco cangilonos, que conocemos sólo gracias a un plano escala 1:10 conservado en el Archivo Histórico Minero de la Fundación Río Tinto (Delgado y Regalado, 2010, 662, fig. 2). El segundo es la noria que centra este trabajo y que actualmente está conservada y expuesta en el Museo de Huelva.

Además de las *rotas* mencionadas, Williams refiere que fueron halladas norias también en San Dionisio. "About 40 wheels, commonly supposed to be of roman origin, have been discovered in various parts of the mines. Most of these wheels were

encountered in the Planes and San Dionisio lodes" (Williams, 1932, 2). Siendo esta referencia la única que conocemos sobre este particular.

LA NORIA DEL MUSEO DE HUELVA HALLADA EN PLANES (1928-1973)

La noria que nos ocupa fue hallada, en Masa Planes (Williams, 1932, 3) en 1928, sola sin formar parte de ningún sistema. El hecho de que se encontraran dos ingenios hidráulicos en la misma masa cobriza, Planes, se debe a que la minería romana se ubicó en la zona de enriquecimiento secundario bajo la masa lenticular de sulfuros, donde se disponían las mineralizaciones con leyes altas de cobre (covellina y calcosina) (Pérez *et al.*, 2012b, 57), por lo que era necesario desaguarlas para poder trabajar en ellas.

Esta *rota* fue encontrada a 65 m de profundidad en la masa mineral ya referida y junto a ella se documentaron restos de fortificaciones y una piel de burro "totalmente embebida de sales de cobre", como informó Leonard U. Salkield a Domergue y este recoge en una nota (Domergue, 1987, 246, nota 434), lo que podría apuntar que esta noria de sangre, fuera accionada por esta acémila y no por el esfuerzo humano como las otras halladas Riotinto. Sobre la

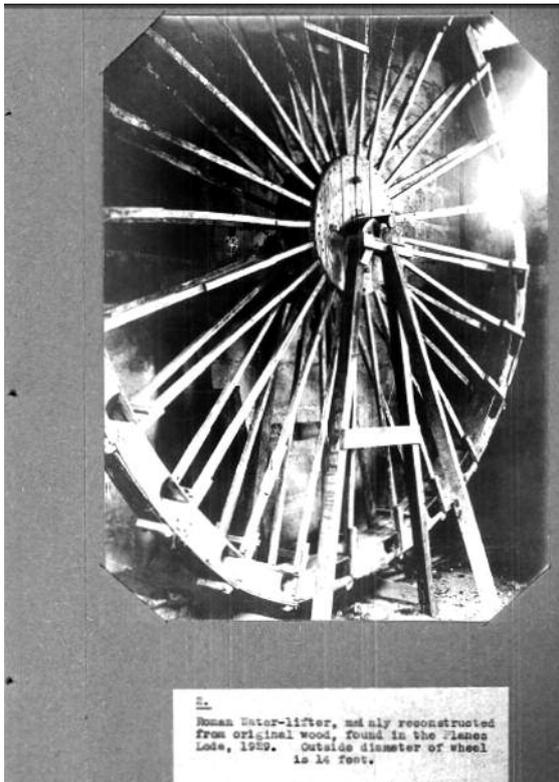


Figura 3. Noria hallada en Masa Planes (Riotinto) 1928. Archivo Histórico Minero, Fundación Río Tinto.

forma de mover las norias ver (Palmer, 1926-1927, 299-336; Boon, y Williams, 1966, 122-7; Domergue *et al.*, 1999, 57-58; Domergue y Bordes, 2004, 99-104; Ojeda Calvo, 2006, 33-36; Delgado y Regalado, 2010, 670-671).

Tras su hallazgo en 1928 en Masa Planes, la noria fue desmontada, sacada al exterior, vuelta a montar en la casa de máquinas del malacate de Planes, que al haber cambiado el motor de vapor a eléctrico había quedado parte en desuso. Se reacondicionó y se le puso una cubierta temporal de chapa ondulada, como se documenta en la fotografía A-3/279 conservaba en el Archivo Histórico Minero de Fundación Río Tinto y en la lámina de Williams ya citada. Allí permaneció tres años, pues para el 3 de febrero de 1932 (Williams, 1932, 10-11) ya estaba ubicada en el Museo de Bella Vista, un edificio que albergó el antiguo sismógrafo que quedó en desuso con la comienzo de la explotación de Corta Atalaya en 1907 (Delgado y Regalado, 2010b 680-684). El trabajo de Williams nos permite conocer que en 1932, en el Museo ya mencionado, se conservaban restos de varios ingenios de drenaje, como dos cangilones de bronce, tres ejes de bronce, dos maquetas de norias y “una noria completa hallada en Planes” (Williams, 1932, 10-11). Mármol en su trabajo sobre Riotinto nos informa sobre la presencia de la noria en el Museo ya citado (Mármol, 1935, 70).

En 1973 en el inventario que había en el Museo de Bella Vista (Expte. 0 Museo Minero de Riotinto), en el testero nº1 se relacionaban las siguientes piezas: “Una rueda hidráulica de 4,20 metros (medidas de la corona de la noria) encontrada en las Minas de Filón Planes; dos ruedas hidráulicas modelo de la

anterior tamaño 1/5 hecho con las mismas maderas sacadas del sitio de la rueda; 2 pedazos de las mazas de ruedas hidráulicas; un eje de madera para las ruedas hidráulicas; seis ejes de bronce para las ruedas hidráulicas y cuatro bolas de plomo para contrapeso, dos grandes y dos pequeñas” (Delgado y Regalado, 2010b, 684).

La noria junto con las piezas arqueológicas que contenía el Museo de Bella Vista, estuvieron en esa ubicación hasta que en 1973, Leopoldo Calvo Sotelo, Presidente de Unión Explosivos Río Tinto, quiso deshacerse de este importante patrimonio, que no valoraba, donándolo todo al Museo de Huelva. El entonces director, Mariano del Amo y de la Hera, con buen criterio sólo seleccionó algunas piezas, en torno al 7%, dejando por escrito que con la colección que quedaba en Riotinto había que constituir en el futuro un Museo (Expediente 0 Museo Minero de Riotinto) (Delgado y Regalado, 2011, 495).

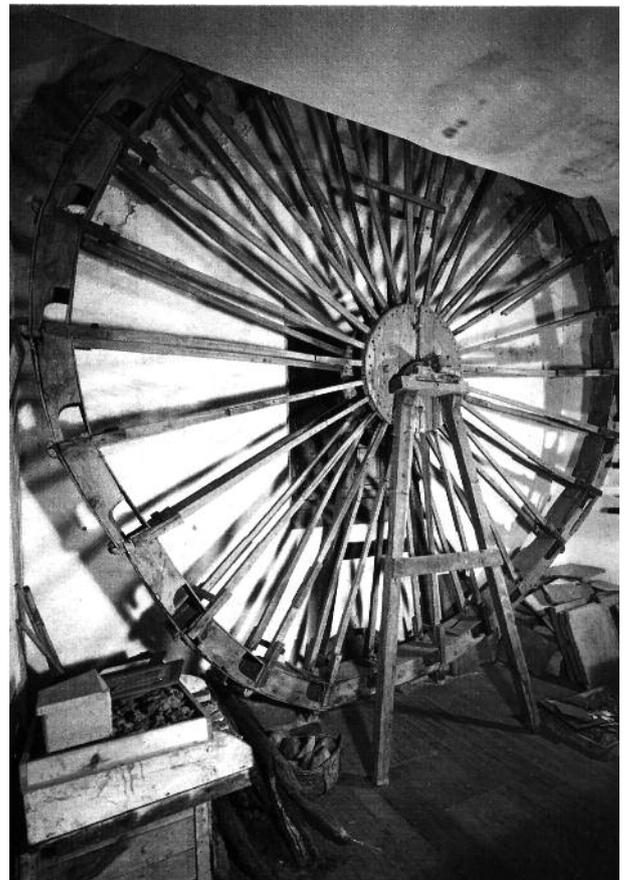


Figura 4. Noria romana en el Museo de Bella Vista (Riotinto) 1970. Archivo Histórico Minero, Fundación Río Tinto.

LA NORIA DEL MUSEO DE HUELVA (1973-2015). PARADIGMA DE LA INGENIERÍA MINERA ROMANA

El Museo de Huelva es una institución con cerca de un siglo de historia, pero por diversos avatares no

contó con sede definitiva hasta 1973, momento en el que tras los excepcionales hallazgos de la necrópolis de La Joya se decide por fin dotar a la capital de una sede cultural que la desidia había negado desde su fundación, allá por 1921. Recién cumplidos los cuarenta años de la inauguración del actual inmueble, el Museo recupera una de las principales señas de identidad que otorga ese sesgo diferenciador que toda institución precisa para convertirse en referente cultural.

La noria romana o *rota aquaria*, hallada en la zona de Masa Planes en Minas de Riotinto, es un *unicum*, una pieza arqueológica sin parangón. Y es que apenas encontramos escasos restos de piezas similares conexionadas en otras tres instituciones, British Museum (Weisgerber, 1979, 37-80); Musée des Arts et Métiers en París (Domergue *et al.*, 1999, 49-59) y el Museum of Transport de Glasgow (Domergue y Bordes, 2004, 87-105). El caso de la noria de Riotinto conforma un conjunto conservado en un 95%, lo que la convierte en la única *rota aquaria* del mundo prácticamente completa. Su originalidad hace que sea sin duda unas de las piezas más importantes del Museo de Huelva, que además, dadas sus dimensiones (4,30 m de diámetro), aporta un factor de monumentalidad al espacio museístico, inesperado para el visitante que accede al vestíbulo de la modesta institución onubense.

En este sentido, la reciente inscripción en el Catálogo General del Patrimonio Histórico Andaluz como Bien de Interés Cultural, con la tipología de Zona Patrimonial de la Cuenca Minera de Riotinto-Nerva (Decreto 504/2012, de 16 de octubre; BOJA Núm. 208 de 23 de octubre, 54-83), la segunda de Andalucía, tras Otíñar (Jaén), viene a confirmar la importancia de la minería y la metalurgia como actividad milenaria y seña de identidad que caracteriza a nuestro territorio.

La valoración y protección del patrimonio industrial en los últimos años y el hecho de hoy día los recursos minerales siguen despertando interés y se proceda a recuperar esta actividad a gran escala en los mismos lugares que hace 5000 años es prueba de que este patrimonio está aún vivo y la antropización de este territorio es un proceso que tiene que ver con la propia evolución del ser humano en tierras onubenses.

La historia de la pieza en el Museo de Huelva comienza con la inauguración del actual inmueble en 1973, cuando ingresó procedente del Museo de Bella Vista, Minas de Riotinto (Huelva), con el número de inventario 4.355, e identificada la pieza como "rueda hidráulica de 4,20 m encontrada en Mina Filón Planes (Del Amo y de la Hera, 1973, Archivo Museo de Huelva).

La rueda hidráulica se ubicó en el patio de luces del Museo de Huelva, empleando un entarimado de madera y unos borriquetes como sustento. Permanecerá en este lugar hasta su desmontaje en 1997, propiciado por las condiciones en las que se

encontraba la pieza. A este respecto el informe de la que fuera directora, Juana Bedia García, de enero de ese año, nos da las claves de su estado y aconsejaba un proyecto de restauración integral con urgencia y su retirada debido al "*deterioro que sufre que hace peligrar no solo su buena y adecuada conservación sino, también, el discurso establecido en nuestra Sección de Arqueología, herido ya como está por la falta de restauraciones y restituciones de otras piezas con gran interés y significado.* (...) Los 23 años transcurridos desde su montaje, la escasa calidad de los materiales utilizados y las goteras existentes en la claraboya, han debido ser causa suficiente para el desplazamiento en altura de las patas del borriquete exterior. Consecuentemente, el eje de bronce se ha desplazado haciendo bascular toda la estructura hacia atrás, apoyándose en el borriquete interior que ha perdido su angulación y se encuentra en posición vertical. Consecuencia de lo expresado es el abombamiento de la rueda y su situación de equilibrio descompensado" (Bedia García, 1997).

Los principales factores de deterioro de la madera con la que estaba construida la noria fueron la humedad, la temperatura y en menor medida la luz, factores íntimamente relacionados. Las fluctuaciones bruscas de humedad afectaron notablemente a la madera, que en el caso de niveles elevados absorbe la humedad del aire y se dilata (turgencia), provocando deformación, así como la potenciación de la biodegradación por el desarrollo de microorganismos. Mientras que en épocas cálidas se producía el efecto contrario (retracción), lo que conlleva el agrietamiento. Por lo que estos cambios atmosféricos redundaron en la pérdida de una de las particularidades de la madera: su elasticidad. Por todo lo anterior la humedad debe de mantenerse constante, en torno al 58-60%. El segundo factor, la temperatura, está relacionado directamente con el primero, pues a mayor temperatura la humedad relativa descenderá, y viceversa. La temperatura óptima en el caso de la noria romana del Museo de Huelva se sitúa en torno a 22° C. Por último, la luz, en cuanto a la radiación ultravioleta como infrarroja, es otra variable a tener en cuenta en la conservación preventiva, cuyo grado de deterioro es directamente proporcional a su nivel de energía, intensidad y duración de la exposición.

El estado de conservación de la *rota aquaria* del Museo de Huelva, debido a los factores indicados, determinó la necesidad de que fuera restaurada y así conservada para el futuro. Para tal fin en el Instituto Andaluz de Patrimonio Histórico (en adelante IAPH), se constituyó un equipo interdisciplinar que contó con las mejores técnicas de análisis, investigación, restauración y conservación.

El IAPH llevó a cabo una intervención ejemplar y sin precedentes empleando una metodología adaptada a las particularidades de este singular objeto arqueológico entre 1997 y 2002. Dicho proceso se estructuró en varias fases: la investigación de las fuentes documentales, el estudio histórico-arqueológico, así como



Figura 5. Noria en el Museo de Huelva tras su restauración. Colección del Museo de Huelva.

el tipológico, forma y funcional (Ojeda Calvo 2006, 11-39), el examen del soporte material a partir de diferentes técnicas de diagnóstico aplicadas, el análisis dendrocronológico, la datación por Carbono14 realizado por el Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria (INIA) (Rodríguez Trobajo, 2006, 44-46), el estudio radiográfico y gammagráfico, el análisis por espectrometría infrarroja, por difracción de rayos X y microscopía electrónica de barrido y óptica, el análisis químico y microbiológico (Fernández Ruíz *et al.*, 2006, 53-77), la limpieza, la consolidación material y estructural (Manzano Beltrán, 2006, 79-127), el embalaje, la instalación y musealización.

Este proceso propició, por tanto, el doble objetivo de prolongar la conservación en el tiempo y atender a su puesta en valor, aportado mediante el estudio de numerosos datos que redundan en el conocimiento de esta obra de ingeniería de la Antigüedad. La recuperación de la materialidad y estabilidad física de la noria tenía como objetivo último la contemplación del público mediante el montaje expositivo, fase en la que la conservación preventiva aconsejaba el diseño de un dispositivo que aligerase el peso de la pieza pero que al mismo tiempo supusiera el mínimo impacto visual en la unidad formal de la obra. Este doble objetivo se alcanzó mediante una estructura de sustentación a modo de vigas que aportó la solidez necesaria para la rueda, pero prácticamente imperceptible para el espectador (Leflet Estrada, 2006, 128-148).

Finalizado el proyecto de restauración en el IAPH, se trasladó nuevamente al Museo de Huelva, donde se inaugura en noviembre de 2003 en su lugar actual. Posteriormente, debido a la detección el aumento de la humedad relativa del gran cubo de cristal que alberga la pieza, causado principalmente por la iluminación, se decidió suprimir esta y detener el proceso de deterioro, con la consiguiente pérdida de visibilidad, pasando la pieza a un segundo plano en cuanto a protagonismo dentro del discurso museográfico. Por tanto, se planteó un proyecto para la incorporación de un complejo sistema de iluminación mediante tecnología LED que no afectase a la conservación de la pieza y permitiera su musealización. La instalación de

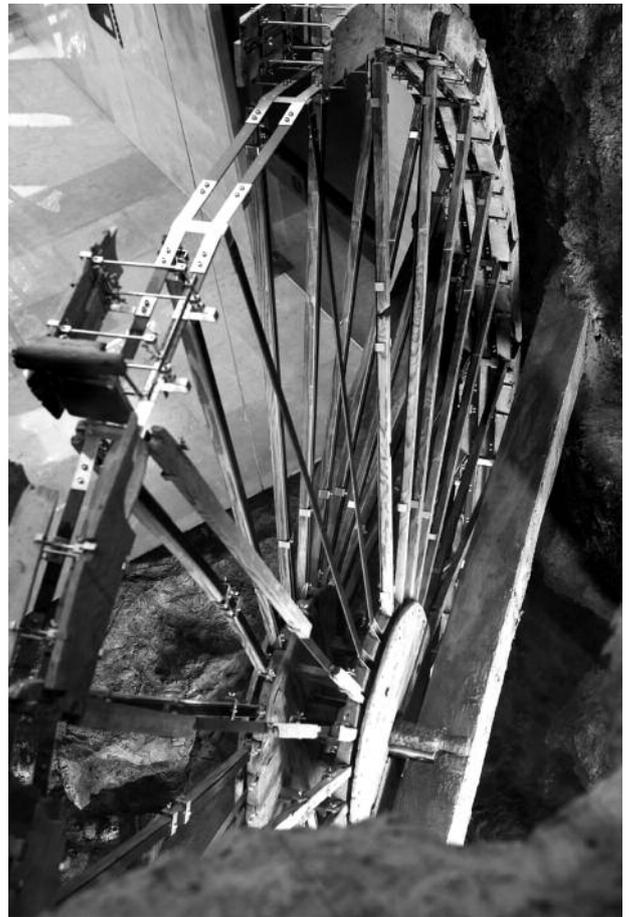


Figura 6. Vista de la noria desde arriba, Museo de Huelva. Colección del Museo de Huelva.

los numerosos puntos de luz se traduce en una ardua tarea con un excelente resultado final, ya que se ha alcanzado el objetivo de mantener dichos dispositivos fuera del campo de visión directo desde todos los ángulos posibles de contemplación de la pieza, evitando el deslumbramiento y consiguiendo de ese modo una presentación elegante y discreta que realza aun más los valores estéticos y monumentales que en definitiva representa esta pieza emblemática de los orígenes mineros de la cultura onubense.

La nueva iluminación instalada en la noria romana garantiza los niveles óptimos ambientales para la conservación de la pieza por su baja temperatura. Así mismo supone un ejemplo de adaptación al momento actual, en la que la colaboración entre las administraciones públicas y las entidades privadas por medio de su compromiso social, como en el caso de la Fundación Atlantic Copper, financiadora de la intervención, se hizo imprescindible. La recuperación de este bien cultural representativo y clave en la historia de Huelva resulta, sin lugar a dudas un gran paso en la conservación y valorización.

LA NORIA DEL MUSEO DE HUELVA, DESCRIPCIÓN, SISTEMA CONSTRUCTIVO Y CRONOLOGÍA

La rueda hidráulica en cuestión tiene unas dimensiones de 4,2672 m (14 pies) de diámetro, si se mide la corona de la noria y 4,34 m si se mide de punta a



Figura 7. Noria romana antes de la iluminación. Museo de Huelva.



Figura 8. Noria romana tras su iluminación (29 de mayo de 2014).

punta de los radios; que distintos autores describieran a la misma pieza pero indicando una de las dos dimensiones ha inducido a equívoco cuando se referían a la misma. Esta *rota* se conserva al 95%, sólo no presentando actualmente dos radios, un cangilón completo y un soporte del eje, además hay varios cangilones incompletos y radios a los que le falta parte del desarrollo (Manzano Beltrán, 2006, 79-127).

La noria está completamente construida en madera, sólo el eje es de bronce plomado. Para componerla fueron empleadas distintos tipos de madera para las diferentes partes del ingenio hidráulico. Así los radios fueron fabricados con madera de alerce y abeto. Los discos son de pino negral, los cangilones de pino silvestre y las clavijas de fresno (Rodríguez Trobajo, 2006, 44-46). Las uniones también se solventaron mediante ensamblajes unidos con espigas. La elección de los distintos tipos de madera se debe a que estaban destinados aprovechar las características de estas para diferentes fines. Las diferentes procedencias de las maderas, parece apuntar a su importación para construir cada una de las partes que conforman la noria (Ojeda Calvo, 2006, 31-33).

Este ingenio de drenaje presenta marcas, numerales romanos, como se ha documentado en norias halladas en otras ubicaciones como São Domingos (Domergue, *et al.*, 1999, 53); Tharsis (Stevenson, 1875, 278) y en la hallada en Riotinto que se conserva en el Museo Británico (Weisberger, 1979, 37-80). La rueda hidráulica conservada en el Museo de Huelva cuando fue desmontada para su restauración fue estudiada y se documentaron tanto las marcas de los radios como la de los tapacubos de madera (Ojeda Calvo, 2006, 31). La presencia de estos numerales para nosotros tiene varias explicaciones que son complementarias; la primera es que las dimensiones

que conocemos del interior de las minas romanas hace imposible que las ruedas hidráulicas pudieran ser introducidas desde el exterior, por lo que una vez construidas, serían desmontadas y vueltas a ensamblar en la zona de desagüe en contramina. Otra razón como apuntó primero Weisberger, es que la necesidad de reposición de las distintas partes de la noria se simplificaría mucho teniendo un modelo que permitiera reproducir la pieza de forma exacta, a la que una vez construida se le volvería a inscribir el número de la pieza, de forma que en posteriores arreglos se pudiera reconocer la pieza (Weisberger, 1979, 37-80). Esto último estaría confirmado como afirma Ojeda Calvo en “*el hecho de la concordancia de marcas de discos y tapas en la rueda de Huelva pese a ser de ruedas diferentes*” (Ojeda Calvo, 2006, 33). Esto nos lleva a pensar que en los *tignarii* que trabajaron en Riotinto (Delgado y Pérez, 2014, 416-421) bajo las ordenes de un *magister fabrum* dispusieron de un tipo de un patrón que permitió la reproducción de la máquina pues son muy similares dentro de un mismo coto minero en una arco cronológico que va desde el gobierno del *princeps* a fines del s. II d.C.

Durante el estudio de la rueda hidráulica del Museo de Huelva se realizó un estudio dendrocronológico cuyos resultados la fechan en torno al 88 d.C. (Rodríguez Trobajo, 2006, 60) que coincide con el período de máxima actividad minera en época romana entre el gobierno de Augusto (23 a.C.-14 d.C.) y el de Marco Aurelio (161-180 d.C.) (Pérez Macías, 1998, 217-218).

La anchura de la *rota aquaria* es de 29,5 cm y 79 cm si se tiene en cuenta el eje de bronce, dispone de 25 cangilones. El peso actual es de 147,4 kg, el eje (17,8 kg), los discos centrales (34,4 kg), los 48 radios (37,6 kg), los cangilones conservados completa-

mente y los que se han conservado incompletos (56,8 kg) y el soporte del eje (800 gr) (Manzano Beltrán, 2006, 80).

Según nuestros cálculos, realizados para este trabajo, el peso de la noria completa sería de 163 kg. Esta cantidad sale de incluir en el peso las partes que no se conservan (radios, cangilones, parte de alguno de los cangilones y un soporte), dicho de otra forma las partes que no conservadas tendrían un peso de 15,6 kg. También hemos estimado la fuerza necesaria para mover una rueda hidráulica de 4,30 m, 25 cangilones y más de 160 kg de peso sería de 0,063 caballos de vapor métricos, pudiendo desaguar este ingenio 71,77 litros por minuto.

CONCLUSIONES

Con este trabajo hemos querido hacer un estudio diacrónico de la noria hallada en 1928 en Masa Planes, que tras 41 años expuesta en el Museo de Bella Vista (Minas de Riotinto, Huelva), fue trasladada en 1973 al Museo de Huelva donde se conserva desde entonces. Esta pieza hallada en un filón cuprífero contextualiza el desarrollo de esa minería que no comenzó hasta época de Augusto, cuando se documentó por primera vez la producción de cobre en Riotinto (Blanco y Rothemberg, 1981, 111 y 173; Blanco Freijeiro, 1984, 108; Pérez Macías, 1998, 211; Pérez y Delgado, 2007, 37-185). Poner en operación los filones con mineralizaciones secundarias con altas leyes en cobre, que estaban a más profundidad hizo necesario disponer de una serie de infraestructuras, como las norias, en Filón Norte, Filón Sur, Masa San Dionisio y Planes (Riotinto, Huelva), para drenaje de la contramina.

Así, la minería de cobre, unida a la producción de plata, hicieron del criadero minero de Riotinto posiblemente el más importante del imperio romano, entre fines del s. I a.C., con el inicio de la dinastía Julio-Claudia (Pérez y Delgado, 2007, 37-185) y las últimas décadas del s. II d.C. durante la dinastía Antonina (Pérez Macías, 1998, 210-218). Ello viene avalado por los más de 16.000.000 toneladas de escoria romana y el plomo isótopo hallado en el hielo fósil en Groenlandia, que indica que entre el 150 a.C. y el 50 d.C., el 70 % de los metales operados metalúrgicamente procedían de la Cuenca Minera de Riotinto (Rosman *et al.*, 1997, 3413-3416).

BIBLIOGRAFÍA

- Bedia García, J. 1997. *Deterioros en la rueda hidráulica de época romana conservada en el Museo de Huelva*. Informe 29 de enero de 1997. Archivo del Museo de Huelva.
- Blanco Freijeiro, A. 1984. *Mineros y metalúrgicos primitivos en Huelva*. *Investigación y Ciencia*, 90, 100-109.
- Blanco, A. y Rothemberg, B. 1981. *Exploración arqueometalúrgica de la provincia de Huelva*. Barcelona.
- Boon, G. y Williams, C. 1966. Dolaucothi drainage wheel. *Journal of Roman Studies*, 56, 122-127.
- Carra de Vaux, B. 1902. *Le livre des appareils pneumatiques et machines hydrauliques par Philon de Byzance, edité d'après les versions arabes d'Oxford et de Constantinople et traduit en français*, Académie des inscriptions et Belle Lettres, Paris, 27-237.
- Davies, O. 1935. *Roman Mines in Europe*. Clarendon Press, Oxford.
- Delgado Domínguez, A. y Pérez Macías, J.A. 2014. Artífices e Industrias Auxiliares en las Minas Hispanas. *Anejos de Archivo Español de Arqueología*, XLV, 407-439.
- Delgado, A. y Regalado, M^oC. 2010a. *Rotae urionensis*. Las norias romanas de Riotinto (Huelva, España). *Patrimonio Geológico y Minero. Una apuesta por el desarrollo local sostenible*, Huelva, 659-676.
- Delgado, A. y Regalado, M^oC. 2010b. Musealización del Patrimonio Minero de Riotinto (Huelva). *Patrimonio Geológico y Minero. Una apuesta por el desarrollo local sostenible*, Huelva, 677-693.
- Delgado, A. y Regalado, M^oC. 2011. Museo Minero de Riotinto. En J.A. Pérez, A. Delgado, J.M. Pérez, y F.J. Delgado (Eds.), *Río Tinto, Historia, Patrimonio Minero y Turismo Cultural*. Huelva, 491-518.
- Delgado, A., Monge, A. y Queiroz, P.F. 2013. La datación por radiocarbono de los elementos de las norias romanas de madera de Filón Sur (Minas de Riotinto, Huelva). *Revista Onoba*, 1, Universidad de Huelva, 275-284.
- Diodoro de Sicilia. *Biblioteca Histórica Volumen II: Libros IV-VIII*. Traducción de Juan José Torres Esbarranch, 2004, Editorial Gredos, Madrid.
- Diels, H. y Schramm, E. (Eds.) 1920. Exzerpte aus Philons Mechanik, B. VII und VIII (vulgo fünftes Buch.). *Abhandlungen der preussischen Akademie der Wissenschaften*, Jahrgang 1919, 19. Verlag der Akademie Wissenschaften, Berlin de Gruyter, Berlin.
- Domergue, C. 1967. La mine antique de Diogenes (Province de Ciudad Real). *Melanges de la Casa de Velázquez*, III, 29-92.
- Domergue, C. 1987. *Catalogue des mines et fonderies antiques de la Péninsule Ibérique*. Madrid.
- Domergue, C. 1990. *Les mines de la péninsule Ibérique dans l'antiquité romaine*. Collection de l'École Française de Roma, Roma, 127 pp.
- Domergue, C. y Bordes, J.H. 2004: La roue élévatoire de la mine romaine de Tharsis (Huelva, Espagne). Étude archéologique et technique de ce type de roue. *Problema de macchinismo in ambito romano. Machina idrauliquenella-letteratura técnica, nellefontistrorografiche e nelle evidenze archeologiche di età imperiale*, Como, 87-105.
- Domergue, C., Binet, C. y Bordes, J.H. 1999. La roue de São Domingos. *La revue. Musée des Arts et Métiers*, 27, 49-59.
- Estrabón, *Geografía Libros III-IV*, Biblioteca Clásica Gredos n^o 169. Traducción M^a José Meana y Félix Piñero, Editorial Gredos, Madrid.
- Fernandez Ruíz, E., Ontiveros Ortega, E., Sameño Puerto, M. y Villegas Fernández, R. 2006. Estudios científico técnicos. En: *Rueda elevadora de agua de las minas de Riotinto: Memoria de Intervención*, Cuadernos PH, 18, 53-77.
- Fernández-Posse Arnaiz, M.D. y Sánchez Palencia, F.J. 1996. Riotinto: La memoria antigua desde la actualidad. En: *Clásicos de la Arqueología de Huelva*, 6, 50-86.
- Frothingham, A.L. Jr. 1889. *The American Journal of Archaeology and of the History of the Fine Arts*, 5 (1), 123 y 124.

- Guille, B. 1985. *La Cultura técnica en Grecia*, Ed. Juan Gránica, Barcelona.
- Gonzalo y Tarín, J. 1886. *Descripción física, geológica y minera de la provincia de Huelva*. Memorias de la Comisión del Mapa Geológico de España, 2. Madrid.
- Gossé, G. 1942. Las minas y el arte minero en la antigüedad. *Ampurias*, 4, 43-68.
- Hudson, D.R. 1947. Some archaic mining apparatus. *Metallurgia*, 35, 157-164.
- Jones, D. G.B., Blakey, I.J. y Mac Pherson, E.C.F. 1960. Dolaucothi: the Roman aqueduct. *Bulletin of the Board of Celtic Studies*, 19, 71-84.
- Leflet Estrada, J.J. 2006. Diseño de la estructura de sustentación búsqueda de la solidez imperceptible. En *Rueda elevadora de agua de las minas de Riotinto: Memoria de Intervención*. Cuadernos PH, 18, 129-148.
- LuzónNogué, J.M^a 1968. Sistemas de desagüe en las minas romanas del suroeste peninsular. *Archivo Español de Arqueología*, 41, 101-120.
- Manzano Beltrán, P.E. 2006. Estado de conservación y proceso de restauración de la rueda elevadora de agua. En: *Rueda elevadora de agua de las minas de Riotinto: Memoria de Intervención*. Cuadernos PH, 18, 78-127.
- Mármol, E. 1935. *Las Minas de Riotinto, Técnica, Historia, Economía y Arte*. Reportaje de Actualidad, Madrid.
- Ojeda Calvo, R. 2006. La Rota del Museo de Huelva: apuntes sobre el origen, descripción, uso y funcionalidad de una rueda de evacuación de agua hallada en Minas de Riotinto. En: *Rueda elevadora de agua de las minas de Riotinto: Memoria de Intervención*, Cuadernos PH, 18, 10-39.
- Oleson, J.P. 1984. *Greek and Roman Mechanical Water-lifting devices: The History of a Technology*. University of Toronto Press, Toronto.
- Palmer, R.E. 1926-1927. Notes on some ancient mining equipments and systems. *Transactions Institute of Mining and Metallurgy*, XXXV, 299-336.
- Pérez Macías, J.A. 1998. *Las minas de Huelva en la Antigüedad*. Huelva.
- Pérez Macías, J.A. 2008. Recursos minerales de cobre y minería prehistórica en el suroeste de España. *Verdoy*, 11, 9-36.
- Pérez Macías, J.A. y Delgado Domínguez, A. 2007. Los metales de Riotinto en época julio-Claudia. En: Pérez, J.A. y Delgado, A. (Eds.), *Las minas de Riotinto en época julio-claudia*. Huelva, 37-185.
- Pérez Macías, J.A. y Delgado Domínguez, A. 2011a. Ingeniería minera antigua y medieval en el suroeste ibérico. *Boletín Geológico y Minero*, 122 (1), 3-16.
- Pérez Macías, J.A. y Delgado Domínguez, A. 2011b. Obras de romanos en Riotinto según los ingenieros de minas de los siglos y XIX. *Italica*, 1, 87-104
- Pérez Macías, J.A. y Delgado Domínguez, A. 2012. Paisaje y territorio de Riotinto en época romana. En: Zarzalejos, M., Hevia, P. y Mansilla, L. (Eds.), *Paisajes Mineros Antiguos en la Península Ibérica. Investigaciones y nuevas líneas de trabajo. Homenaje a Claude Domergue*. Madrid, 47- 67.
- Pérez Macías, J.A., Martins, A., d'Encarnaçao, J., Chic García, G., Domergue, C. y Tenney, F. R. 2012a. *As Tabulas de Bronce de Vipasca*. Aljustrel.
- Pérez, J.A., Delgado, A. y Regalado, M.C. 2012b. Asentamiento romano de Marismilla (Riotinto-Nerva, Huelva). En: Pérez, J.A., Carriazo, J.L. y Gavilán, B. (Eds.), *Paisajes, Tiempos y Memoria*. Huelva, 45-82.
- Rosman, K.J.R., Chisholm, W., Hong, S., Candelone, J.P. y Boutron, C.F. 1997. Lead from Carthaginian and Roman Spanish Mines Isotopically Identified in Greenland Ice dated from 600 B.C. to 300 A.D. *Environmental Science & Technology*, 31, 3413-3416.
- Rodríguez Trobajo, E. 2006. Material y cronología de las *rotas* del Museo de Huelva. En: *Rueda elevadora de agua de las minas de Riotinto: Memoria de Intervención*. Cuadernos PH, 18, 41- 61.
- Stevenson, A.S. 1875. Observations on a roman water Wheel from the ancient working of the mines of Tharsis in Southern Spain. *Archaeologia Eliana*, VII, 276-281.
- Vicent, A.J.H. 1858. Le traité de la Diopre par Héron d'Alexandrie. *Nótics et extraits de la Bibliothèque Nationale XIX*, 2^o partie. Paris, 1-181.
- Vitrubio Polión, M. 1993. *Los Diez Libros de Arquitectura*. Editorial Alta Fulla, Barcelona.
- Vulpe, A., Theodorescu, R., Pop, I.A., Opris, I., Gudea, N. Ioan, N., Moga, V., Diaconescu, A. y Anghel, F. 2011. *The Cultural heritage at Rosia Montana, current situation and real perspectives*. The Independent group for monitoring the cultural heritage at Rosia Montana, Budapest.
- Weisberger, G. 1979. Das romische Wasserheberard aus Río Tinto in Spanien im British Museum London. *Anschnitt*, 2-3, 37-80.
- Williams, D. 1932. *Notes on Ancient History, and Museum exhibits at Río Tinto*. Archivo Histórico Minero de la Fundación Río Tinto, Legajo 11 B 13.

