

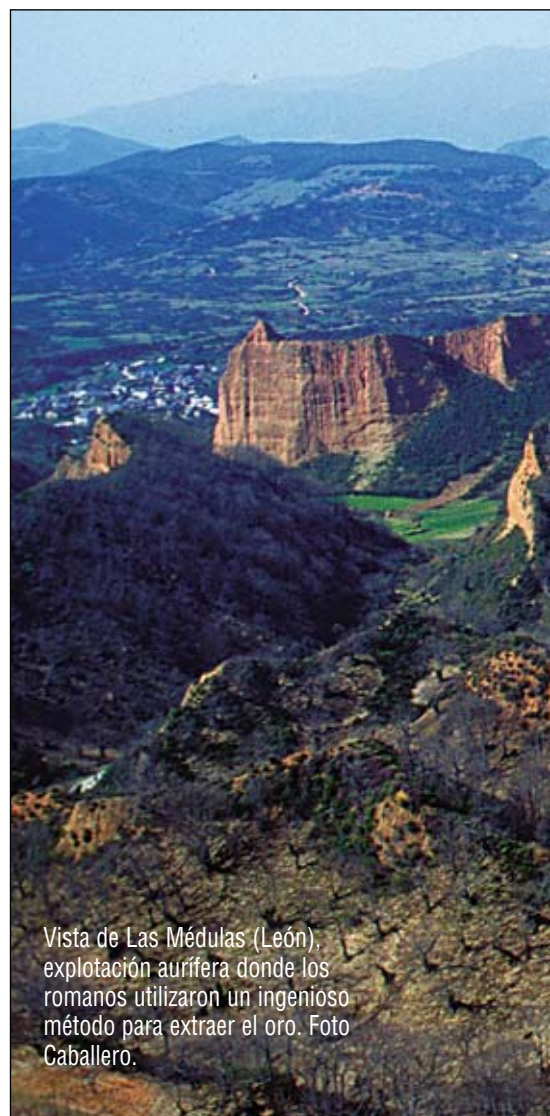
LA EXPOSICIÓN “ARTIFEX”,  
PROMOVIDA POR CEHOPU, INICIA  
SU ITINERANCIA EN SEVILLA

# OBRAS DE ROMANOS

*Pavimentum* de una calzada romana en Itálica (Santiponce, Sevilla).

SOLEDAD BÚRDALO / FOTOS: CEHOPU

La civilización romana es un ejemplo deslumbrante de desarrollo científico e ingeniería creativa, alguno de cuyos ejemplos más destacados se realizaron en Hispania. Puentes, acueductos, calzadas, puertos, faros, máquinas, junto a distintas innovaciones técnicas se muestran, en un ejemplar recorrido didáctico en “Artifex. Ingeniería romana en España”, una exposición promovida por el Centro de Estudios Históricos de Obras Públicas y Urbanismo (Cehopu), el Ministerio de Cultura y la Fundación Juanelo Turriano.



Vista de Las Médulas (León), explotación aurífera donde los romanos utilizaron un ingenioso método para extraer el oro. Foto Caballero.



*Opus mixtum*, con hiladas de piedra y ladrillo, en el acueducto de San Lázaro (Mérida).





Se considera a los romanos como los mejores ingenieros de la antigüedad. Sus geniales innovaciones, como el empleo masivo del hormigón de cal o la construcción de arcos formados por dovelas, permitieron acometer obras de una envergadura hasta entonces nunca vista, que todavía hoy nos sorprenden por su modernidad y complejidad. De ello da fe el extraordinario legado de obras de ingeniería llevadas a cabo en Hispania —puentes, acueductos, calzadas, puertos, faros—, que en algunos casos siguen cumpliendo con la función para la que fueron creadas, y que testimonian el elevado nivel científico y técnico de la civilización romana. Y a repasar esos logros, muchos de los cuales se utilizaron hasta bien entrado el siglo XVIII, se dedica la exposición “Artifex. Ingeniería romana en España”, que desde octubre hasta enero de 2006 acoge el Museo Arqueológico de Sevilla, organizada por el Centro de Estudios Históricos de Obras Públicas y Urbanismo (Cehopu) adscrito al Cedex, la Subdirección General de Promoción de las



Puente de Bibei (Ourense), ejemplo de la pericia romana en estas obras. Foto Santiago Muñoz.

Bellas Artes del Ministerio de Cultura y la Fundación Juanelo Turriano.

Se trata de la adaptación para la itinerancia de la exitosa exposición homónima que en 2002 acogió el Museo Arqueológico Nacional de Madrid, que reci-

bió más de 100.000 visitantes durante los dos meses que permaneció abierta al público. En esta nueva andadura, y tras su paso por la capital andaluza, “Artifex” comenzará un largo periplo que la llevará por varias ciudades españolas a lo largo





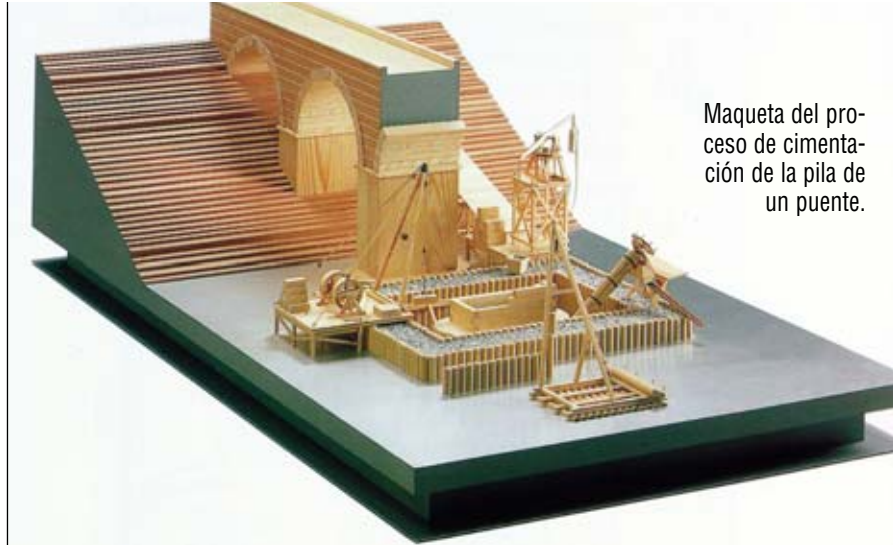
Cantera de piedras de El Médol (Tarragona).

del año 2006.

La muestra, comisariada por el profesor Ignacio González Tascón, propone al visitante un recorrido por el arte y la técnica constructiva de la antigüedad romana a través de sus obras públicas en Hispania. A lo largo de las cinco áreas diferentes que vertebran el atractivo itinerario, los visitantes reciben una amplia información sobre aspectos tan diversos de la técnica romana como los materiales y maquinaria empleados en la construcción; las infraestructuras para el transporte tanto terrestre como marítimo; los sistemas de abastecimiento de agua a las ciudades; las actividades mineras y metalúrgicas, así como sobre diversas técnicas y artes industriales, unas de uso común y otras suntuarias.

### Planteamiento didáctico

Con un planteamiento eminentemente didáctico, el montaje se apoya en paneles explicativos, audiovisuales, piezas originales y un nutrido grupo de maquetas y objetos ilustrativos de las distintas técnicas, mecanismos y obras expuestas. En total, se muestran medio centenar de piezas entre las que figuran una réplica exacta de la célebre bomba de Ctesibio, miliarios, ventanas de *lapis specularis*, y un grupo de



Maqueta del proceso de cimentación de la pila de un puente.



Pilares de *opus testaceum* en el foso del anfiteatro de Itálica (Santiponce, Sevilla).



Sala de la mina La Condenada, en Segóbriga (cerca de Saelices, Cuenca).

cabezas que ilustran el proceso de fundición en bronce de una estatua por el procedimiento de cera perdida. Y es que la propuesta no se limita a mostrar las diferentes construcciones que el mundo romano llevó a cabo en la Península, sino que se detiene en los diversos dispositivos, mecanismos y técnicas desarrolladas por

esa civilización para hacer realidad todas sus creaciones. “Es una exposición de procesos productivos, de las técnicas de ingeniería civil que se utilizaron para conseguir el resultado final, que se puede aplicar a la construcción de puentes o la fabricación de tintes para dar color a los tejidos”, explica González Tascón.



Acueducto de Los Milagros, en Mérida.



El primero de los bloques expositivos se detiene en los materiales y las técnicas utilizadas por los artífices romanos, en especial en dos de sus aportaciones más innovadoras: el empleo masivo del hormigón de cal u hormigón romano (denominado *opus caementicium*) y la construcción de arcos de dovelas. El primero, formado por una mezcla de grava, arena, cal y agua, es una de las aportaciones más importantes de la ingeniería y arquitectura romanas, cuyo uso se extendió con gran rapidez por todo el imperio debido a sus cualidades constructivas –solidez y adaptabilidad–, además de por su bajo coste y fácil aplicación. Asimismo desarrollaron un tipo de hormigón especial capaz de fraguar y endurecer bajo el agua –en cuya preparación se utilizaba puzolana, una especie de ceniza volcánica– que se utilizó con gran éxito en los diques portuarios y en la cimentación de las pilas de los puentes.

Junto a éstos, se repasa el empleo de otros materiales como la piedra –que en forma de sillar se utilizaría en grandes obras públicas como puentes y acueductos–, el ladrillo (*opus testaceum*), y el *lapis specularis* o espejuelo. La denominación de este último proviene de su principal característica, la de dejar pasar la luz y poder ver a través de su masa. Utilizado como cerramiento de ventanas en termas y otros edificios lujosos –desempeñando funciones análogas a las de los actuales vidrios–, este apreciado mineral –se trata de un yeso selenítico que tiene la propiedad de dejarse cortar con facilidad en li-



Maqueta de grúa movida con rueda de pisar.



Aparejo de *opus quadratum* en el puente romano de Mérida.

geras capas– tuvo su principal área de producción en Hispania. Las canteras más importantes y de mejor calidad de todo el imperio de la preciada piedra especular se localizaban en la actual provincia de Cuenca, teniendo como epicentro del rico distrito minero a la ciudad romana de Segóbriga (Saelices).

El otro gran hallazgo constructivo del mundo romano, el arco formado por dovelas, abrió una nueva era en la realización de obras de arquitectura e ingeniería. Los puentes anteriores a la civilización romana estaban constituidos por tableros rectos, formados por vigas de madera, cuya luz rara vez sobrepasaba los diez metros. En cambio, el nuevo artificio constructivo, cuya compleja ejecución requiere la construcción previa de una cimbra de madera sobre la cual se apoyan las dovelas de piedra, permite levantar sólidos y resistentes pasos cada vez de mayor longitud, con luces que se aproximan a los 30 metros, como en el paradigmático puente de Alcántara.

## Red de calzadas

A las comunicaciones, soporte imprescindible de la expansión militar, comercial, administrativa y cultural de Roma, se consagra el segundo apartado de la muestra. Junto a la descripción de la densa y módica red de calzadas que los romanos implantan en la Península, se abunda en las mejoras significativas que se aportan en esa época a la construcción de carreteras, destacando la inteligente elección de





La presa de Proserpina (Badajoz), construida en granito para abastecer de agua a Mérida. Foto Caballero.

## Bomba de Ctesibio

Entre las numerosas piezas que exhibe "Artifex" llama la atención una réplica en bronce que puede funcionar de la célebre bomba de Ctesibio, ingenio empleado en época romana en labores de achique minero. Explicada entre otros por Vitruvio, se trata de una bomba de pistones de doble efecto, es decir, aspirante e impelente, de gran precisión, cuyas piezas estaban realizadas habitualmente en fundición de bronce.

Accionando alternativamente los pistones mediante una palanca manual el agua ascendía por uno u otro pistón, saliendo luego a presión por un conducto común. Su invención se atribuye al sabio helenístico Ctesibio de Alejandría a mediados del siglo III a.C., y además de su empleo en las operaciones de achique se usaba también para la extinción de incendios en el interior de las minas, así como para romper grandes piedras por el procedimiento de calentarlas con fuego, para luego verter sobre ellas agua fría provocando su resquebrajamiento.

El ejemplar de bronce que ha servido de modelo para la reproducción –realizada siguiendo las técnicas tradicionales de la época, como la fundición a la cera perdida–, que actualmente se conserva en el Museo Arqueológico Nacional de Madrid, procede de la mina de Sotiel Coronado (Valverde del Camino, Huelva), donde fue descubierto en 1889 en perfecto estado de conservación.



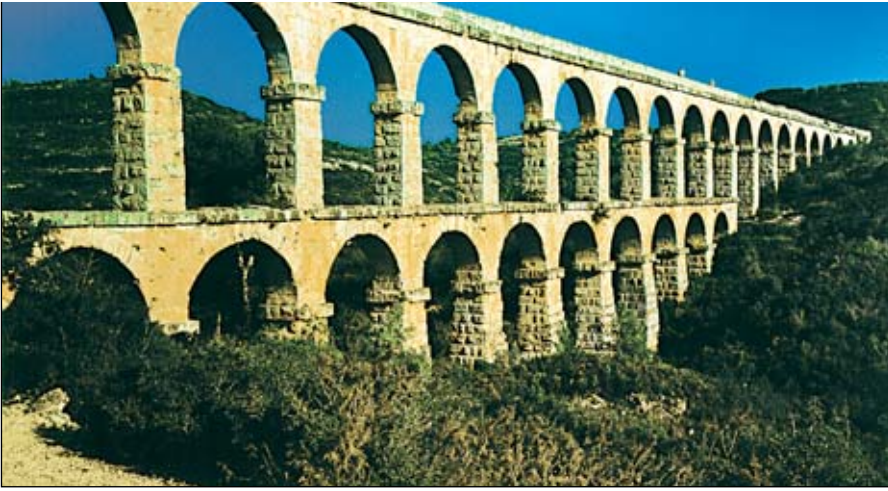
los trazados y su esmerada ejecución.

Aunque las técnicas empleadas en su construcción son muy variadas, ya que dependían de la importancia de la vía y de la naturaleza del terreno en el que se asentaba, de manera esquemática el proceso era el siguiente: una vez seleccionado el corredor –en general se optaba por pasos elevados por la mayor consistencia de los suelos y para evitar el riesgo de inundaciones–, se hacían dos surcos paralelos, delimitando la anchura de la calzada, que oscilaba mucho de unas vías a otras (las más importantes podían tener de 4 a 5 metros de ancho). Entre esos dos surcos se excavaba una zanja o caja en el terreno, disponiendo en el fondo una capa de piedra gruesa para facilitar el necesario y vital drenaje, cuyo espesor dependía de la naturaleza del terreno.

A esta primera capa de cimentación (*statumen*) le sucedía otra de arena y gravilla, de unos cincuenta centímetros de espesor, que formaba una cama elástica y poco deformable (*rudus*), sobre la que se asentaba la capa final o de rodadura (*pavimentum*), de unos 20 centímetros, constituida una veces por cantos rodados compactados y otras por gruesas losas de piedra. Transversalmente estas capas tenían una fuerte pendiente para que el agua de lluvia escurriera con rapidez hacia las cunetas y no se quedara dentro de la caja.

La exhibición también se extiende en el significado de los miliarios, monolitos pétreos que proporcionaban información útil





Acueducto de Las Ferreras, en la traída de aguas a la ciudad de Tarraco.



Piletas para la fabricación del *garum* en Sexi, Almuñécar (Granada).



*Opus caementicum* en el *castellum* de Segóbriga.

a los viajeros. Su nombre viene dado por la principal información que ofrecen, es decir, el número de millas (*milia passuum*, mil pasos, equivalente a 1.481 metros) existentes desde su emplazamiento hasta el punto de origen del camino. Los miliarios más habituales solían ser de forma

cilíndrica —de entre dos y cuatro metros de altura y 50 a 80 centímetros de base—, y en los casos más completos, además de marcar las distancias, indicaban el emperador o el magistrado que había promovido la construcción de la calzada. Para saber dónde tenían que colocar cada mi-



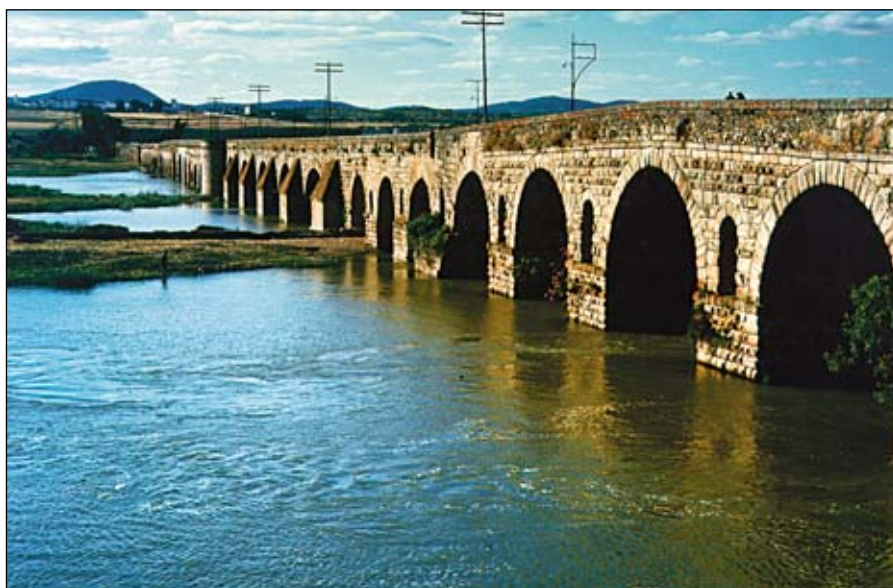
Bóvedas de arista del anfiteatro de Itálica.

liario, los romanos usaban una máquina denominada con posterioridad *hodómetro*. Era un carro que avanzaba por la calzada y mediante el giro de unos engranajes incorporados, cada vez que se cubría una milla de recorrido hacía caer un guijarro en un recipiente de metal, indicando el punto donde debía colocarse el miliario.

## Construcción de puentes

Los puentes son los otros grandes protagonistas de este bloque dedicado a las infraestructuras de transporte. Además de recorrer los pasos más sobresalientes de Hispania —Mérida, Alcántara, ...—, se analiza con detenimiento el concienzudo proceso de ejecución de estas sólidas y duraderas estructuras que jalonaban la red de calzadas, salvando los principales ríos y arroyos de la Península. Una detallada maqueta de un puente en construcción permite apreciar la depurada técnica empleada en la cimentación de las pilas cuando éstas se apoyaban en terrenos fangosos, mediante la creación de un doble recinto seco o ataguía —para asentar la sillería en capas firmes del terreno— formado por pilotes o estacas de madera, achicando el agua que se filtraba en su interior con el tornillo de Arquímedes u otros dispositivos.





Puente romano de la ciudad de Mérida.

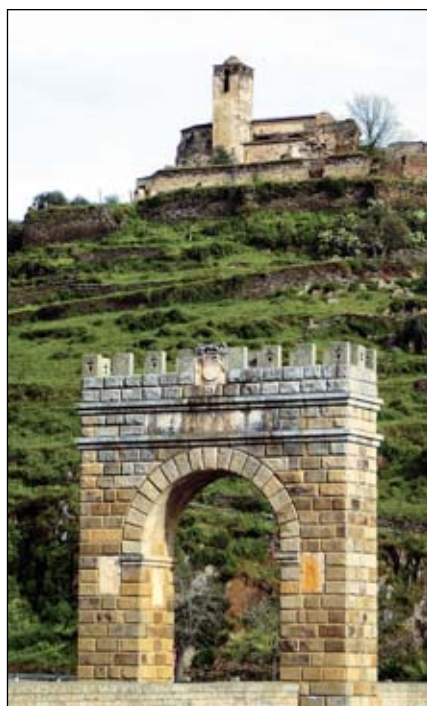


Talud de aguas arriba de la presa de Cornalvo.

En relación a las comunicaciones marítimas, otra de las curiosidades que ofrece la muestra es el proceso de ejecución de la Torre de Hércules, el único faro romano en funcionamiento, que data del siglo II, y del que se exhiben una serie de planos del siglo XVIII que ofrecen el estado de la torre antes y después de su reedificación.

## Abastecimiento de agua

Las intervenciones en el medio hídrico ocupan otra de las secciones de la muestra, que se centra de manera especial en los sistemas públicos de abastecimiento de agua a las ciudades. El dominio de los ingenieros romanos de las artes hidráulicas tiene su representación más emblemática en los acueductos, notables conducciones que trasladaban el agua desde los puntos de captación hasta los centros urbanos, y cuya realización implicaba el desarrollo de una gran variedad de obras:



Arco del puente de Alcántara (Cáceres).

azudes, presas, canales cubiertos, sifones, depósitos de decantación y distribución, etc. Uno de los aspectos que más sorprende de estas obras maestras de la ingeniería es su cuidada geometría. Para el diseño de la traza —que debía mantener una inclinación prácticamente constante para asegurar que el agua llegara a la ciudad por gravedad—, los técnicos contaban con diversos instrumentos de nivelación, destacando por su precisión el *chorobates*. Una maqueta ilustra el funcionamiento de este aparato topográfico, consistente en una regla de madera de veinte pies de largo —casi seis metros— con patas, dotada de plomada y de nivel de agua.

Por lo general, el canal de fábrica o *specus* discurría enterrado para proteger la calidad de las aguas. En este caso, la traza se señalizaba mediante unos mojones que la identificaban y facilitaban las labores de reparación. Cuando esto no era posible y el trazado obligaba a salvar barrancos o el paso de ríos, el *specus* se elevaba sobre grandes arquerías, que son sin duda el elemento más vistoso y monumental del sistema. La exhibición se detiene en los acueductos más sobresalientes que dieron servicio a Hispania; algunos ya desaparecidos, como el de Gades (Cádiz), el de mayor recorrido, que tomaba sus aguas en los lejanos manantiales de Tempul, a unos 75 kilómetros de distancia; y otros que muestran su elegante silueta desafiante al paso de los siglos: Los Milagros (Mérida), que transportaba el agua desde el embalse de Proserpina, con su bellísima y potente arquería de granito y ladrillo; el de Las Ferreras (Tarragona), conocido como Puente del Diablo, realizado “a hueso”, es decir, sin ayuda de mortero; y el de Segovia, el más monumental y el mejor conservado, construido también “a hueso”.

Para salvar grandes depresiones del terreno, los ingenieros romanos optaron también por el sistema de sifón, una ingeniosa solución que funciona a la manera de los vasos comunicantes. Para el paso del canal al sifón se requería la construcción de dos arquetas de transición, en las que se produce el cambio de régimen, de lámina libre a tubería a presión. La arqueta de entrada al sifón, de mayores dimensiones, es la que garantiza que la tubería forzada permanezca siempre en carga, evitando la entrada de burbujas de aire. La arqueta de salida, más pequeña, es la que devuelve las aguas al *specus* en un régimen de canal sin presión. Estas conducciones se solían realizar con materiales cerámicos cuando

CABALLERO





El dique romano de Ampurias, construido hacia los siglos II-I a.C., es el más antiguo que se conserva en España.

la presión era pequeña, o con plomo cuando se trataba de grandes desniveles, ya que admitía mayores presiones interiores y tenía fácil ensamblaje mediante soldadura.

### Actividad minera

Otro bloque expositivo se hace eco de la intensa actividad minera de la Hispania romana. La aplicación generalizada de los avances tecnológicos logrados en otros campos, en especial el de la hidráulica, permitió acometer trabajos de una magnitud desconocida hasta la época. La muestra se detiene en uno de los ejemplos más espectaculares y representativos de estos trabajos, la explotación aurífera de Las Médulas (León), donde el audaz e intensivo empleo de la fuerza hidráulica —utilizada tanto en la extracción y lavado como en la evacuación de estériles— logró movilizar y lavar un volumen de material inimaginable hasta entonces. El método usado para extraer oro, llamado *ruina montium* o destrucción de los montes, se basaba en la erosión producida por el agua, que era precipitada en grandes cantidades desde los depósitos a través de galerías. Este proceso de explotación exigió crear una inmensa red hidráulica que se extendía a lo largo de ambas vertientes de los montes Aquilianos, formada por canales de abastecimiento —que en ocasiones alcanzaban los 100 kilómetros—, que transportaban el agua hasta los depósitos de distribución construidos sobre los frentes de laboreo.

También se presta atención a los procedimientos introducidos o mejorados por los romanos para resolver uno de los

## LA MUESTRA PROPONE UN RECORRIDO EXPLICATIVO NO SÓLO POR LAS GRANDES OBRAS DE INGENIERÍA, SINO TAMBIÉN POR LA TECNOLOGÍA Y LOS MATERIALES QUE LAS HICIERON POSIBLES



Bóveda de arista en el arco de cuadrifronte de Cáparra (Cáceres). Foto Cinterco.

principales problemas de la mina, que es la existencia de agua en el terreno. Junto a la generalización de grandes galerías de drenaje en aquellas explotaciones donde el terreno lo permitía, los técnicos recurrían a sistemas escalonados de elevación del agua, como la rota o rueda de

cangilones, el tornillo de Arquímedes, o la bomba de Ctesibio, artefactos que fueron esenciales en el drenaje de minas profundas.

Otro de los atractivos que depara este bloque dedicado a la minería y la metalurgia es el que muestra el proceso de fundición en bronce a la cera perdida, un complejo sistema de moldes y contramoldes que permite reproducir, a partir de una única escultura modelada en barro, una serie de copias en bronce a precios asequibles. La cabeza de un personaje noble hallada en la necrópolis de Cabezo de Azaila (Teruel), datada del siglo I antes de Cristo, y que hoy se conserva en el Museo Arqueológico Nacional de Madrid, ha servido de modelo para ilustrar esta técnica convertida en arte en época romana.

El último apartado expositivo, dedicado a otras artes industriales, muestra las refinadas técnicas desarrolladas por los romanos para teñir telas de diferentes colores, así como las materias primas —plantas, insectos, moluscos, etc.— de las que se obtenían estos materiales tintóreos. No falta tampoco una mirada a la fabricación de vidrio; la tecnología empleada en las factorías de aceite, o la potente industria de salazones de Hispania, cuyas factorías de Cádiz, Málaga y Cartagena eran las principales exportadoras de pescado en conserva a Roma, incluyendo el legendario *garum*, una pasta de pescado salada muy apreciada por los romanos. ■