



EL METAL

TÉCNICAS DE CONFORMADO, FORJA Y SOLDADURA

José Antonio Ares

Las técnicas de
trabajar los metales
con oficio y arte
explicadas con
rigor y claridad

EL METAL

TÉCNICAS DE CONFORMADO, FORJA Y SOLDADURA

José Antonio Ares

colección artes y oficios





EL METAL

TÉCNICAS DE CONFORMADO, FORJA Y SOLDADURA



El metal

Proyecto y realización
de Parramón Paidotribo

Dirección editorial:
María Fernanda Canal

Editor:
Tomàs Ubach

Ayudante de edición y archivo iconográfico:
M^a Carmen Ramos

Textos:
José Antonio Ares

Realización de los ejercicios:
José Antonio Ares

Diseño de la colección:
Josep Guasch

Fotografías:
Nos & Soto, Ares, AISA, J.M. Barres,
Enric Rosàs, Museu Cau Ferrat y Resources Computing
International, Ltd.

Dibujos infográficos:
Jaume Farrés

Maquetación:
Estudi Guasch, S.L.

Cuarta edición

© 2016, ParramónPaidotribo

www.parramon.com

E-mail: parramon@paidotribo.com

ISBN: 978-84-342-2664-7

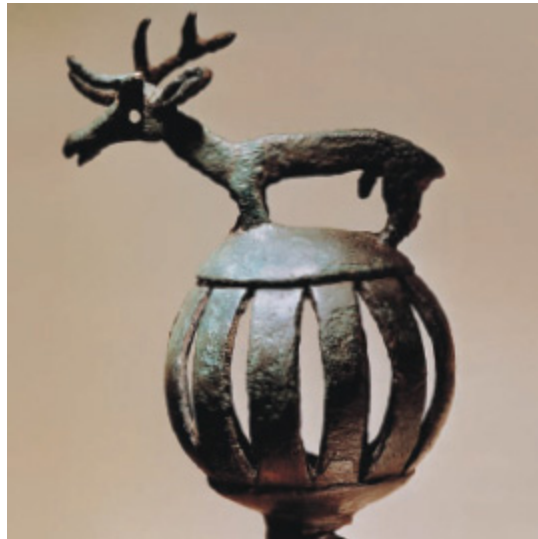
ISBN EPUB: 978-84-342-4333-0

Derechos exclusivos de edición para todo el mundo.

Sumario

INTRODUCCIÓN

Las edades de los metales



METALURGIA FÍSICA

Metales y aleaciones
Concepto de corrosión
Propiedades de los metales
Descripción de los metales
Fabricación del acero
Formas comerciales de los metales



HERRAMIENTAS Y MÁQUINAS

Instrumentos para medir y marcar

Plantillas

Herramientas de sujeción

Para golpear, doblar y curvar

Para perforar y cortar

Equipos de soldadura

Equipo y herramientas para la forja

Para acabados

El taller: recomendaciones de seguridad



TÉCNICAS BÁSICAS

Para cortar

Para unir

Para conformado

Forja: conceptos básicos
Ceras, barnices y pinturas
Pátinas



PROCESOS DE SOLDEO

Generalidades

Soldeo con electrodo revestido

Soldeo por resistencia

Soldeo por arco voltaico con gas protector

Soldeo oxigás

Soldeo blando y soldeo fuerte



GALERÍA

PASO A PASO

Construcción de un baúl

Construcción de una cancela enrejada

Mesa de centro en acero inoxidable

Aldaba de hierro

Realización de una bandeja calada en chapa de latón

Mesa de hierro para jardín

Realización de un joyero en chapa de cobre

Creación de un dragón de latón



GLOSARIO

BIBLIOGRAFÍA Y AGRADECIMIENTOS

Introducción

A menudo, las formas de algunos objetos y el material con que están realizados hacen pensar en una construcción difícil o al menos compleja. Este libro demuestra que el trabajo con metales puede ser más sencillo de lo que a simple vista parece.

La presente obra enseña técnicas básicas para trabajar directamente los metales con formas comerciales. El hierro, el cobre, el latón o el acero inoxidable son metales comunes, asequibles y fáciles de encontrar en el mercado. Son productos tratados en la industria y que llegan al mercado en múltiples formas comerciales.

También encontrará el lector temas referidos a la metalurgia de los metales y las aleaciones, es decir, características físicas y mecánicas, transformación en formas comerciales, etcétera. Y hallará referencias históricas de la relación que las distintas civilizaciones tuvieron con los metales y de como éstos han influido en el progreso de la humanidad. Pero no se encuentra entre las páginas de este libro ninguna técnica relacionada con la fundición, ya que estos interesantes procesos no tienen un trabajo tan físico y directo sobre el metal sino sobre los moldes y el complejo comportamiento del metal en ellos.

Descubrirá, en cambio, temas sobre su transformación mecánica, es decir, técnicas básicas de conformación, mecanización y técnicas de soldadura para la unión permanente de los metales y también un apartado dedicado a la forja, técnica esencial que puede merecer un libro aparte por su universo de posibilidades creativas.

Igualmente, se ofrece un capítulo relacionado con las herramientas y las máquinas necesarias para aplicar las técnicas, y otro dedicado a describir diferentes formas de acabados superficiales de los metales.

Para terminar, se proponen unos ejercicios prácticos, explicados paso a paso, cuya finalidad es mostrar el empleo en la práctica de las distintas técnicas básicas descritas al realizar un objeto.

En definitiva, este libro expone de manera clara, amena y rigurosa los procesos básicos referentes al trabajo con los metales más comunes.



José Antonio Ares i Río (Villar de Golfer, 1968) es licenciado en Bellas Artes por la Universitat de Barcelona en la especialidad de escultura. Ha cursado estudios de grabado en la Escola d' Arts i Oficis de la Diputació Provincial de Barcelona y de cincelado en la

Escola Massana, también de Barcelona. Actualmente y desde 1997 compagina la escultura con la docencia de técnicas escultóricas como maestro de taller en la Facultad de Bellas Artes de la Universitat de Barcelona. En el 2003, compartió el trabajo de preparación de este primer libro con la enorme felicidad del nacimiento de su hija la.

Las edades de los metales

El conocimiento de las técnicas para modificar los minerales y convertirlos en metales es relativamente nuevo, visto desde la perspectiva de la existencia de la humanidad. Desde la utilización de elementos sencillos como piedras, palos o huesos a modo de útiles de uso cotidiano hasta la aparición de los primeros enseres metálicos que requerían para su transformación conocimientos tecnológicos, transcurren miles de años.

En la primera mitad del siglo XIX el arqueólogo danés C. J. Thomsen elaboró una periodización dividiendo en tres etapas la clasificación del material arqueológico encontrado en los yacimientos. Este material se ordenaba según proviniera de la Edad de Piedra, al final de la cual aparece el uso del oro y el cobre, de la Edad del Bronce o de la Edad del Hierro.

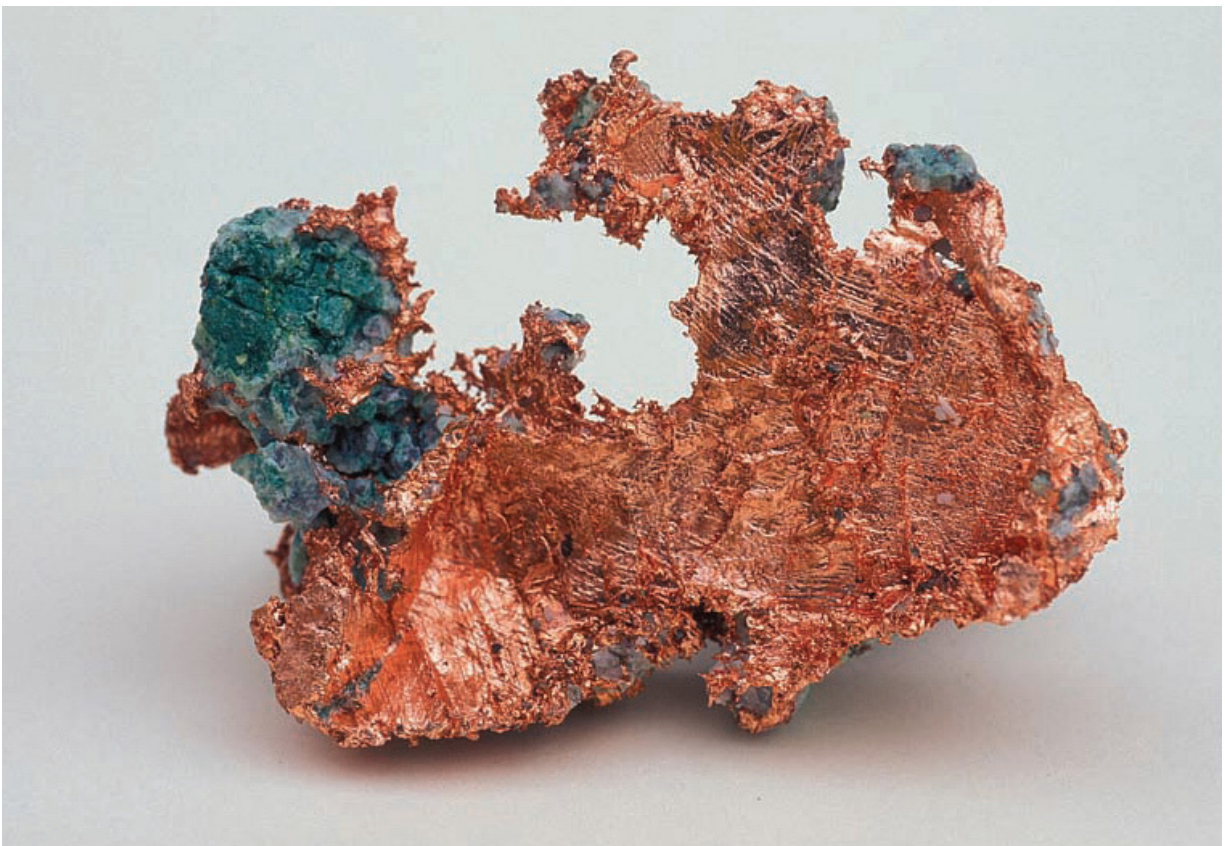
Estas divisiones no son cronológicamente exactas. Por ejemplo, se sabe que China pasó prácticamente de la Edad de Piedra a la del Bronce al tiempo que Gran Bretaña. O que en Japón el bronce y el hierro aparecieron a la vez. En cambio, en el Nuevo Mundo no se trabajó la metalurgia para fabricar útiles hasta la llegada de los españoles, con excepción del oro, en cuyo trabajo algunas civilizaciones demostraron una gran maestría.

Premetalurgia

Desde las primeras civilizaciones ha tenido especial importancia la ornamentación como símbolo de estatus dentro de un grupo social. Los ornamentos estaban contruidos con piedras y minerales que destacaban del resto por sus colores llamativos. Así, el azabache, la pirita, el jaspe, la obsidiana o el ámbar se usaban para confeccionar armas o adornos que denotaban una posición dentro del grupo y daban prestigio a sus dueños.

A partir del uso de estas piedras llamativas, las civilizaciones antiguas conocen otros minerales, algunos de los cuales constituyen la materia prima para obtener los metales.

Aprenden a conocerlos, a encontrarlos, a extraerlos y a manipularlos para conseguir, por ejemplo, pigmentos de diversos colores. Asimismo, aprenden que el fuego cambia el color de algunas rocas, y que si el calor es intenso incluso se puede modificar su forma externa.



En la naturaleza, además de pepitas de oro, es posible encontrar diversos metales nativos, es decir sin combinar, generalmente nobles o seminobles, como plata, platino y también cobre. De este último metal es esta muestra procedente de la mina Calcedonia (condado de Ontoganon, EE. UU.).



También el hierro, como el aquí expuesto, y algún otro metal es posible hallarlo en lo que se denomina estado nativo. En este caso procede de un meteorito hallado en Australia.

Metales nativos

Los primeros metales que se usaron para confeccionar objetos en las sociedades primitivas son los llamados nativos. Se hallan en la naturaleza en estado puro, sin combinar formando minerales. El oro, el cobre y la plata son los más comunes y los más buscados, más adelante se incluiría el hierro meteorítico.

La atracción de las sociedades primitivas por estos metales es evidente. Sus colores brillantes despiertan

curiosidad. Además, podían ser modificados formalmente por medio del martilleo en frío con piedras sobre yunques de piedra para fabricar pequeños objetos de ornamentación.

El cobre nativo es el primer metal que se trabajó como indican los objetos hallados en Tell de Sialk (Irán) y en Coyönü Tapesi (Turquía) entre el VIII y VII milenio a.C. Este metal se utilizó indistintamente para fines prácticos y ornamentales.

El oro, en cambio, se empleó con fines decorativos y ornamentales. Su maleabilidad permite crear láminas finas por martilleo a partir de las pepitas encontradas en la arena de los lechos de los ríos auríferos.

Calcolítico

El período calcolítico, también llamado Edad del Cobre, comprende el IV y el III milenio a.C. y se sitúa al final de la Edad de Piedra. La palabra *calco* viene del griego y significa “cobre” y lítico, también del griego, significa “piedra”.

Este período se considera el inicio de la metalurgia. Paralelamente al recogido y trabajo de los metales en estado nativo, algunas sociedades de este período extraen el mineral de cobre en las minas, como la de Timna, cerca del mar Muerto, para realizar su transformación mediante fundición y conseguir el metal, lo que constituye un proceso propiamente metalúrgico.

Esto permitía verter el cobre licuado en moldes de diversas formas para obtener utensilios de uso cotidiano como hojas de hachas, puntas de flechas o azadones. Estos útiles fueron muy importantes para el progreso de las civilizaciones en un momento en que la sociedad comienza a domesticar animales y a reemplazar la caza por la agricultura.



Situación de los primeros centros de producción de la metalurgia, en concreto del cobre, del bronce y del hierro, en el Próximo Oriente y Europa.

Edad del Bronce

Tras el período calcolítico se desarrolla la Edad del Bronce. Esta etapa se nombra así por el empleo de la aleación de cobre y estaño para fabricar útiles. Las primeras aleaciones de bronce no son mezclas realizadas por personas sino combinaciones de origen natural, como el cobre con arsénico, muy abundante en el Próximo Oriente.



Escena de una tumba de Sakkara, del Imperio Antiguo de Egipto (c 2330 a.C.), donde se representan escenas de fundición en la fila superior y de forja en la inferior.

Pero el descubrimiento del bronce consecuencia de la aleación del cobre con el estaño reveló excelentes resultados. Este metal nuevo es más duro y menos frágil que el cobre aleado a base de arsénico y, por lo tanto, mucho más duradero.

El bronce supuso una mejora en la calidad de las herramientas, pues las hizo más resistentes a los esfuerzos. Su facilidad de licuarse y moldearse permitió la fabricación

de innumerables objetos de uso común por medio de moldes, como vasos, calderos y toda clase de recipientes de uso cotidiano y religioso. Otra particularidad del bronce es que permitía afilar útiles como hachas, cuchillos o cinceles.

Los útiles de bronce revolucionaron también técnicas como la carpintería, propiciando la creación de azuelas, martillos y cinceles, o la agricultura, con la fabricación de azadas y hoces.

Además, la necesidad de encontrar yacimientos de estaño para fabricar bronce favoreció la exploración de territorios y la navegación y, con ello, el nacimiento de nuevas rutas comerciales.

Técnicas metalúrgicas en la Antigüedad

Los distintos lugares del mundo donde se inició la metalurgia desarrollaron técnicas en el fondo iguales pero lógicamente con algunas diferencias. Los primeros trabajos sobre metal, todavía dentro de la Edad de Piedra, empleaban precisamente piedras para darles forma, por lo tanto cabe imaginar que los trabajos eran meramente de conformado por golpes y quizá de doblado y hasta cizallado por el mismo procedimiento. De hecho estos primeros trabajos tuvieron poca repercusión en el desarrollo de estas sociedades por la escasez del material. Los objetos realizados eran sobre todo ornamentales y no tanto funcionales, aprovechando las cualidades del metal de brillo y plasticidad. Pese a esta modesta producción y con las debidas reservas, si podemos hablar que estos trabajos eran el inicio de la metalurgia.

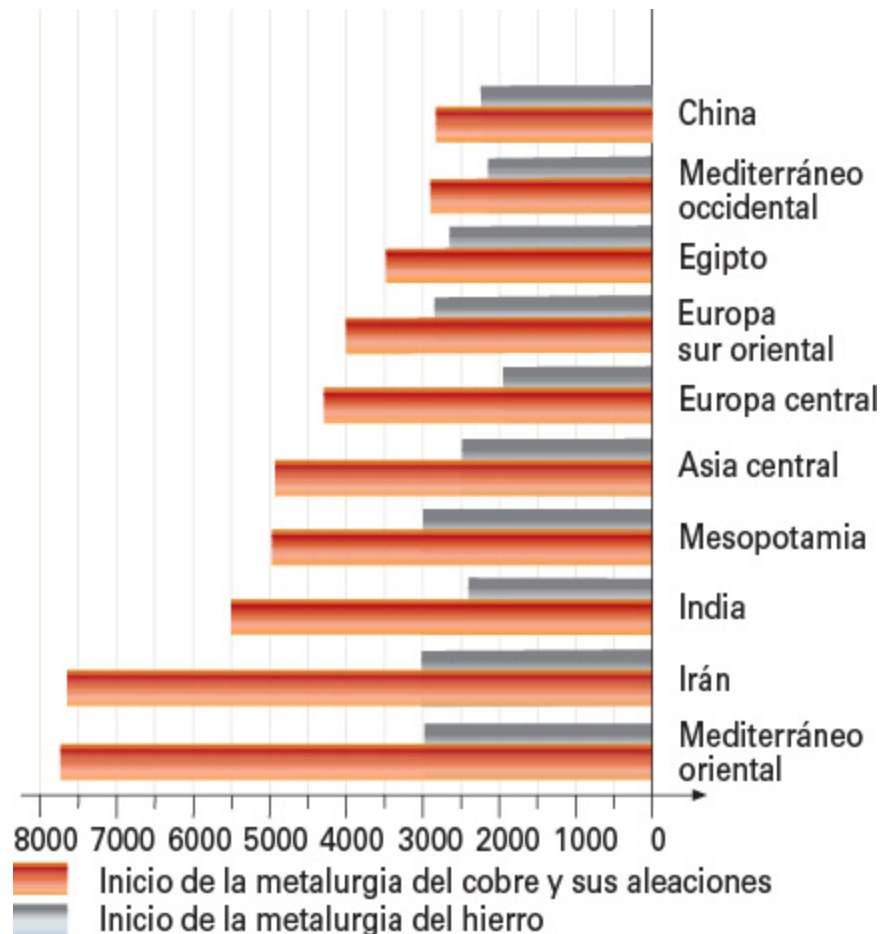
Ahora bien, todavía deberían transcurrir miles de años antes de que el ser humano fuese capaz de conocer los minerales que contenían el cobre y luego, una vez localizados, separar la mena de la ganga, es decir el metal

del detrito, por medios mecánicos y calor, proceso que se denomina reducción. Restos de esta actividad se han hallado en Irán datados hacia el 4000 a.C. Sin embargo, persiste una razonable duda entre los especialistas de si en un período algo anterior, entre el 5000 y el 4000 a.C., en Mesopotamia se logró fundir cobre e introducir en moldes, hito técnico notable ya que este metal tiene una temperatura de fusión de 1083 °C

Entre el 4000 y el 2000, prácticamente todas las culturas conocen la fundición y también las aleaciones, primero de cobre al arsénico, que en realidad era una impureza que mejoraba la dureza del cobre, y luego con el estaño. Desde el punto de vista técnico, se fue dominando la fusión –un gran capítulo de la metalurgia que no se trata en este libro– y con ello la confección de moldes y el vertido y comportamiento del metal fundido dentro de ellos. Pero también el empleo de herramientas metálicas evolucionó sobremanera la invención y fabricación de toda clase de artículos metálicos de todo tipo de usos (armamento, ornamentación, herramientas y útiles domésticos, etc.) como nos descubre la arqueología. Hacia el 2000 a.C., en lo que en Europa occidental se considera el período del Bronce Antiguo, los artesanos del metal podían efectuar trabajos complejos de martillado (en plancha, en hilo), técnicas de embutido, de remachado, incrustación y engaste. Con ello abordaban trabajos de repujado –posiblemente la técnica de decoración más antigua–, de grabado y de recortado. De ello se deduce que se disponían de herramientas para golpear, para sujetar, para medir y para cortar que no eran tan diferentes en la forma de las actuales. A partir del período llamado Bronce medio ya se empezaron a conocer técnicas de soldadura por medio de las aleaciones, es decir la soldadura blanda.

También cabe destacar los trabajos similares en los metales considerados nobles (oro y plata), que si bien no son objeto de este libro por pertenecer al campo de la

orfebrería, si que comparten muchas de las técnicas y herramientas de la metalurgia. Muy notables son los objetos y joyas de muchas civilizaciones, en este campo incluso las de América, por el dominio de los materiales y los acabados, la belleza de sus diseños y la creatividad. Destacan entre ellos los trabajos de repujado en oro hechos por los egipcios de máscaras funerarias y objetos de culto.



Esquema cronológico de los inicios de la metalurgia en distintas partes del mundo.

Finalmente, la metalurgia entró en su plenitud con la Edad del Hierro, el metal más abundante y asequible, con la salvedad de que se precisan alcanzar los 1535 °C para lograr su fusión y por ello la humanidad tuvo que perfeccionar los hornos de fundición de mineral. Entre el

2000 y el 500 a.C. todas las civilizaciones del Viejo Mundo supieron trabajar el hierro, con la salvedad del África tropical y ecuatorial. En América, fueron plenamente los españoles y acaso los vikingos quienes introdujeron la técnica de trabajar el hierro en este continente.

Pese a una amplia y hasta sofisticada fabricación de objetos de hierro en las grandes civilizaciones del Mundo Antiguo, todavía tardarían siglos en lograrse el refinado del metal para fabricar acero, primero en cantidades modestas y luego a gran escala a partir del siglo XIX.



Cabeza de Horus, el dios halcón de los egipcios, donde se destaca la maestría de esta civilización en el trabajo de metal repujado de la cabeza, en este caso de oro. Dicha cabeza fue realizada a partir de una plancha embutiéndola y estirándola por golpeo hasta los mínimos detalles sin que haya soldadura ninguna.

Edad del Hierro

La Edad del Hierro empieza hacia el II milenio a.C., y los primeros en utilizar este material fueron los hititas, pueblo de la zona de Anatolia. A partir de ellos, siglos después entraría todo el mundo antiguo en esta Edad. Las dificultades técnicas que presenta la transformación de los minerales de hierro hizo retrasar su uso, teniendo en cuenta que hacía 5000 años que la humanidad estaba en contacto con los metales.

El cobre, por ejemplo, puede fundirse en un horno primitivo accionado por un soplete de boca o por un fuelle, y alcanzar temperaturas de hasta 1100 °C. Por el contrario, para fundir el hierro es necesario alcanzar temperaturas superiores a los 1700 °C, para lo cual hubo que inventar hornos más complejos.

Otra diferencia es que el cobre o el bronce pueden trabajarse en frío, incluso con herramientas de piedra, gracias a su maleabilidad a temperatura ambiente. En cambio, el hierro es muy tenaz y para volverlo maleable debe calentarse hasta ponerlo al rojo vivo. Por este motivo, los metalistas de la época tuvieron que inventar pinzas o tenazas que les permitieran manipular el metal incandescente y yunques más resistentes para trabajarlo, lo cual representó una auténtica innovación tecnológica.

Por otro lado, el mineral de hierro es muy abundante en la superficie de la corteza terrestre. Este hecho favoreció, junto con la abundancia de bosques donde se elaboraba el carbón vegetal necesario para el tratamiento del mineral de hierro, la expansión de la siderurgia por el Próximo Oriente y la cuenca del Mediterráneo.

La metalurgia del hierro pronto fue difundida desde las regiones pioneras del Próximo Oriente, Chipre y el Egeo por los griegos en el siglo VIII a.C. en Sicilia e Italia, o por medio de las actividades comerciales de los fenicios por todo el Mediterráneo.

En general, el hierro posee grandes ventajas respecto a otros metales como el bronce o el cobre; por ejemplo, que el mineral del cual se extrae es más abundante y fácil de encontrar. Las herramientas de uso cotidiano y las armas son más resistentes y duraderas que las de cobre o bronce, que se rompían al chocar debido a su fragilidad. Con hierro se construyeron infinidad de objetos y herramientas destinados a la actividad agraria como rejas para arados, arneses de carros, guadañas y hoces. También se hicieron espadas, puntas de lanza, escudos, bridas para caballos y yelmos más resistentes. El conocimiento de la metalurgia del hierro contribuyó en gran medida al progreso y a la expansión socioeconómica de las civilizaciones antiguas.



Los egipcios empleaban el hierro además de para fabricar armas para construir herramientas, como muestra esta azuela.



Las civilizaciones de Mesopotamia también destacaron por el conocimiento de las técnicas del metal. Puertas de bronce del palacio de Salmanasar II en Balawat, datadas entre el 858-824 a.C. British Museum (Londres, Reino Unido).



Falcatas ibéricas de hierro halladas en Almedinilla (Córdoba). Estas espadas de hoja ancha y curva se fabricaban con la soldadura en caliente de tres hojas de hierro; la del centro se prolongaba formando la empuñadura que muchas veces tenían forma de animal, en este caso de caballo, protegiendo además la mano. Las falcatas se fabricaron entre los siglos V y I a.C., aunque la metalurgia del hierro entró en la península Ibérica hacia los siglos VIII-VII a.C. de la mano de los fenicios. Museo Arqueológico Nacional (Madrid, España).



Reproducción de una escena de un vaso griego donde se reproduce la sangría de metal de un horno de fundición primitivo.



Este ornamento de hierro de un carro de guerra escita, pueblo que habitaba las estepas de la orilla norte del mar Negro, revela el arte y dominio que se tenía en

el trabajo de este metal en los siglos VII-VI a.C. Procedente del yacimiento de Altái (Rusia).

Metalurgia *física*



La metalurgia estudia el conjunto de procedimientos y técnicas para la obtención de los metales, así como la forma en que se transforman y se elaboran. En los apartados que siguen se repasan temas relacionados con la metalurgia física, es decir, con la rama de la ciencia que estudia las características físicas y mecánicas de los metales y las aleaciones, en especial con los que se trabaja en este libro.