

EL METAL

TÉCNICAS DE CONFORMADO, FORJA Y SOLDADURA

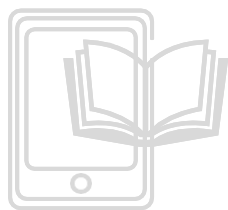
José Antonio Ares

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



© Parramón

colección artes y oficios



BASE LEGAL PARA DIGITALIZACIÓN DE LIBROS CON DERECHOS DE AUTOR

El Sistema Integrado de Bibliotecas de la Universidad Central del Ecuador, digitalizará su acervo bibliográfico siempre y cuando sea para fines educativos y de investigación. No se permite la reproducción y distribución para la comercialización directa e indirecta del mismo.

La digitalización del material bibliográfico se lo realiza de acuerdo al Código Orgánico De La Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación Art. 212 numeral 9, Literal ii “(...) Una biblioteca o archivo podrá, además, realizar los siguientes actos (...) La reproducción electrónica y comunicación pública de obras de su colección para ser consultadas gratuita y simultáneamente hasta por un número razonable de usuarios, sólo en terminales de redes de la respectiva institución o para usuarios de esa institución bajo su control, en condiciones que garanticen que no se puedan hacer copias electrónicas de esas reproducciones” y literal vii “La reproducción, adaptación, traducción, transformación, arreglo, distribución y comunicación de una obra protegida por derechos de autor o una prestación protegida por derechos conexos, en uno o más formatos accesibles para el uso exclusivo de personas con discapacidad”.

Este material se considera un producto intelectual a favor de su autor; por tanto, la titularidad de sus derechos se encuentra protegida por el Código Orgánico De La Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación. La violación a dichos derechos constituye un delito que será responsabilidad del usuario.

Este libro está disponible físicamente en:

BIBLIOTECA	Biblioteca Facultad de Artes	PISO	
		ESTANTE	02
		BANDEJA	11
CONVENIO INTERINSTITUCIONAL		UNIVERSIDAD	



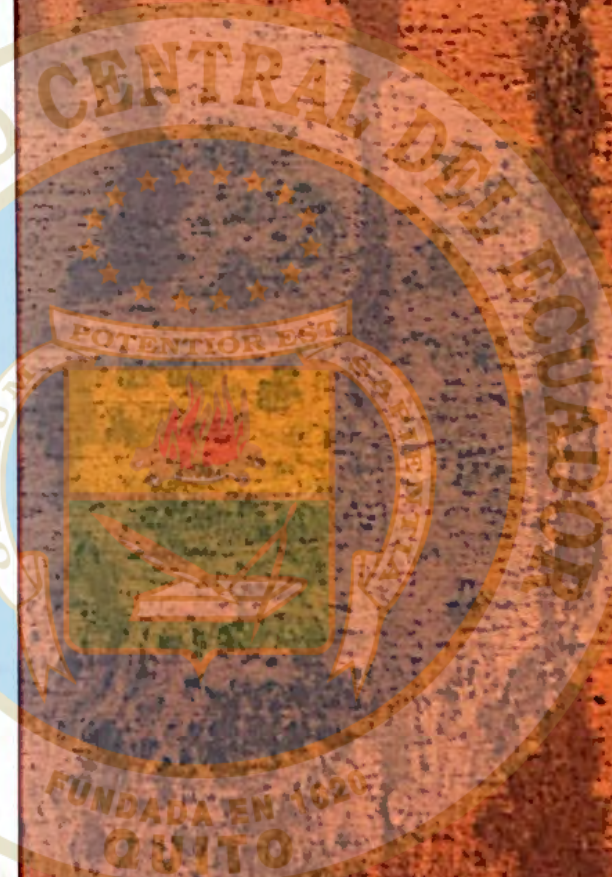
José Antonio Ares I Río

(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.



Parramón ediciones, s.a.

Ronda de Sant Pere, 5, 4ª planta - 08010 Barcelona (España)



EL METAL

TÉCNICAS DE CONFORMADO, FORJA Y SOLDADURA

José Antonio Ares

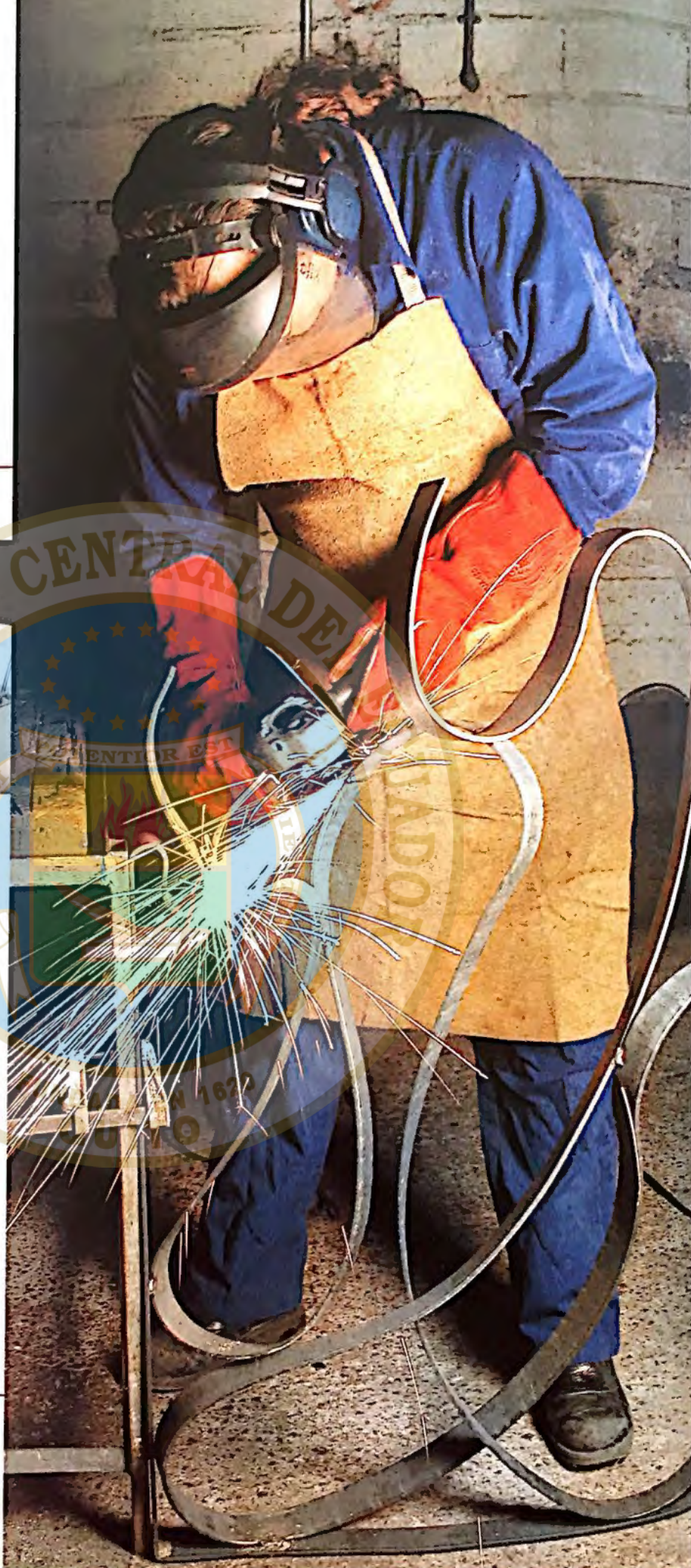


colección artes y oficios



Facultad de Artes
BIBLIOTECA





EL METAL

TÉCNICAS DE CONFORMADO, FORJA Y SOLDADURA



Parramón ediciones, s.a.



INTRODUCCIÓN, 6

Las edades de los metales, 8

El metal

Proyecto y realización
de Parramón Ediciones, S.A.

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.

Dirección de producción:
Rafael Marfil

Producción:
Manel Sánchez

Segunda edición: mayo 2007
© 2004 Parramón Ediciones, S.A.
Derechos exclusivos de edición
para todo el mundo.
Ronda de Sant Pere, 5, 4^a planta
08010 Barcelona (España)
Empresa del Grupo Editorial Norma
de América Latina

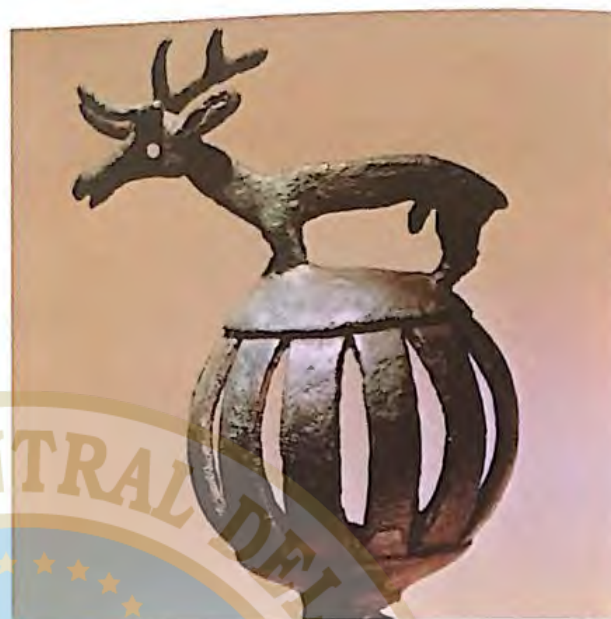
www.parramon.com

Preimpresión: Pacmer, S.A
ISBN: 978-84-342-2664-7
Depósito legal: NA-2.080-2004
Impreso en España

Prohibida la reproducción total o parcial
de esta obra mediante cualquier recurso
o procedimiento, comprendidos la impresión,
la reprografía, el microfilm, el tratamiento
informático o cualquier otro sistema,
sin permiso escrito de la editorial.

METALURGIA FÍSICA, 14

Metales y aleaciones, 16
Concepto de corrosión, 17
Propiedades de los metales, 18
Descripción de los metales, 19
Fabricación del acero, 20
Formas comerciales de los metales, 22





HERRAMIENTAS Y MÁQUINAS, 26

- Instrumentos para medir y marcar, 28
- Plantillas, 30
- Herramientas de sujeción, 32
- Para golpear, doblar y curvar, 34
- Para perforar y cortar, 38
- Equipos de soldadura, 42
- Equipo y herramientas para la forja, 46
- Para acabados, 48
- El taller: recomendaciones de seguridad, 50



TÉCNICAS BÁSICAS, 54

- Para cortar, 56
- Para unir, 62
- Para conformado, 66
- Forja: conceptos básicos, 72
- Ceras, barnices y pinturas, 76
- Pátinas, 78



PROCESOS DE SOLDEO, 80

- Generalidades, 82
- Soldeo con electrodo revestido, 90
- Soldeo por resistencia, 94
- Soldeo por arco voltaico con gas protector, 95
- Soldeo oxigás, 100
- Soldeo blando y soldeo fuerte, 102

GALERÍA, 104



PASO A PASO, 110

- Construcción de un baúl, 112
- Construcción de una cancela enrejada, 116
- Mesa de centro en acero inoxidable, 122
- Aldaba de hierro, 126
- Realización de una bandeja calada en chapa de latón, 132
- Mesa de hierro para jardín, 136
- Realización de un joyero en chapa de cobre, 144
- Creación de un dragón de latón, 150

GLOSARIO, 158

BIBLIOGRAFÍA Y AGRADECIMIENTOS, 160

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.

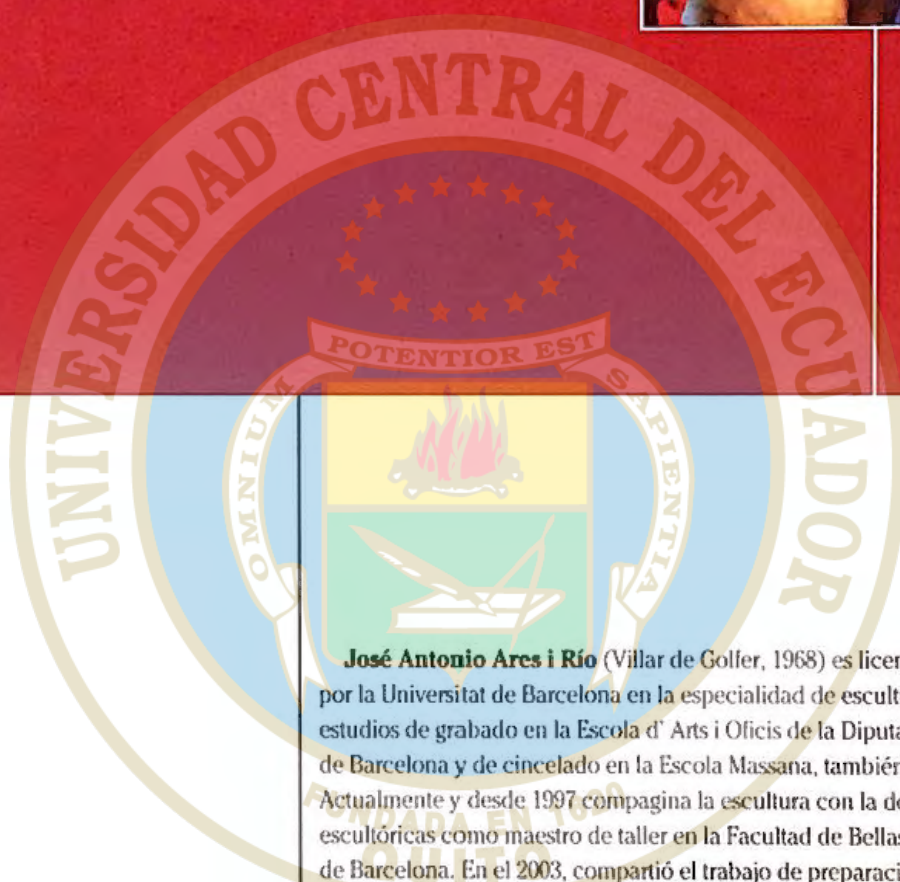
También encontrará el lector temas referidos a la metalurgia de los metales y las aleaciones, es decir, características físicas y mecánicas, transformación en formas comerciales, etcétera. Y hallará referencias históricas de la relación que las distintas civilizaciones tuvieron con los metales y de como 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 Arces i Río (Villar de Goller, 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 en-

contrado 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 despertaban 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

▼ 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.

origen natural, como el cobre con arsénico, muy abundante en el Próximo Oriente.

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

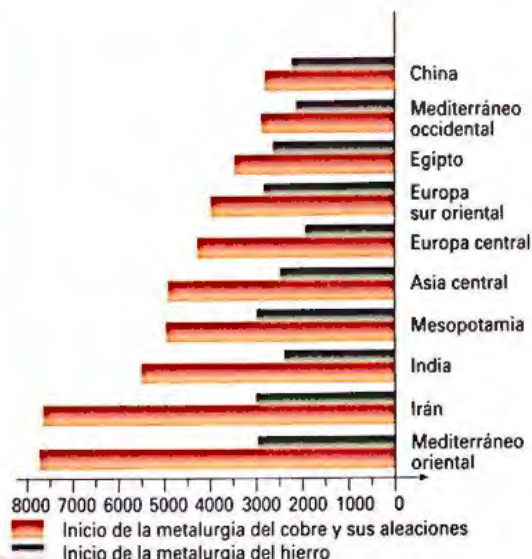
Los distintos lugares del mundo donde se inició la metalurgia desarrollaron técnicas en el fondo iguales pero lógicamente con algunas diferencias. Los primeros trabajos sobre metal, todavía dentro de la Edad de Piedra, empleaban precisamente piedras para darles forma, por lo tanto cabe imaginar que los 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, incrus-

tación 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 acaba-



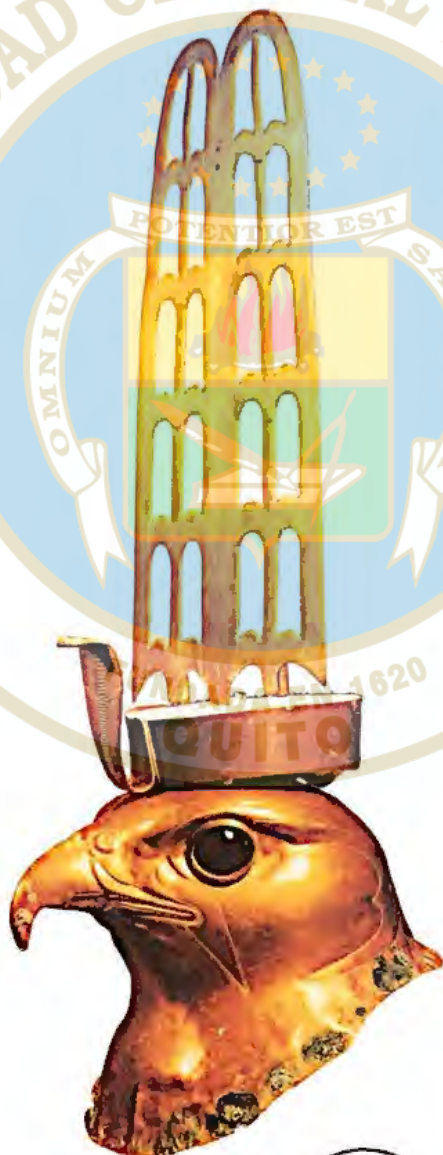
▲ Esquema cronológico de los inicios de la metalurgia en distintas partes del mundo.

dos, 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.

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 embutida 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 hacia 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.

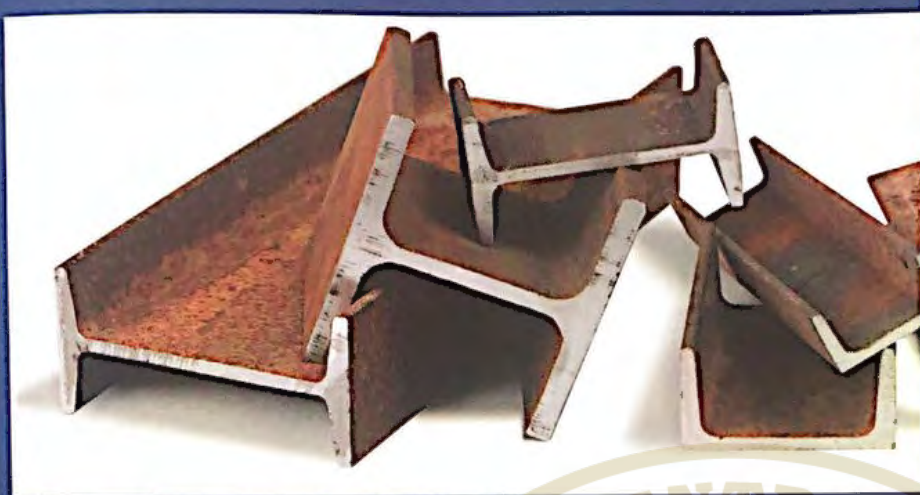
► Este ornamento de hierro de un carro de guerra escita, pueblo que habitaba las estepas de la orilla norte del mar Negro, revela el arte y dominio que se tenía en el trabajo de este metal en los siglos VII-VI a.C. Procedente del yacimiento de Altái (Rusia).





a 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.

La intención es mencionar y repasar conceptos de uso común en el ámbito del trabajo con metales, entre ellos las propiedades y características de los metales y las aleaciones, o la fabricación de perfiles comerciales a partir de la materia prima. También se dedica un pequeño apartado a la oxidación y a la corrosión, debido a la importancia que tienen tales procesos en el ámbito del metal, aunque no pertenezcan estrictamente a esta rama sino a la metalurgia química. En definitiva, la función de este capítulo es servir únicamente como espacio de repaso y consulta.



Metalurgia *física*

Metales y aleaciones

Técnicamente, **los metales** son elementos con tendencia a ceder electrones. Su estructura es cristalina cúbica o hexagonal, es decir, la forma geométrica que forma el conjunto ordenado de átomos, iones o moléculas de que están compuestos. Su superficie, cuando está pulida, posee un brillo característico; la mayoría son de color gris o grisáceo y blanco, excepto el cobre, que es de un rojo particular y el oro, que es amarillo. Todos son sólidos a temperatura ambiente excepto el mercurio que es líquido. Son buenos conductores de la electricidad y del calor. En general, los metales poseen dos de las cualidades más importantes para un material que debe ser trabajado: la maleabilidad y la ductilidad, ya que permiten modificar su forma sin que se rompan.

Para mejorar otras propiedades de los metales, como la tenacidad y la dureza, se combinan entre sí constituyendo **las aleaciones**. Éstas pueden ser de sistema binario, es decir, que la combinación de metales consta de dos componentes. Por ejemplo, el acero al carbono, que consta de hierro y carbono. Algunas aleaciones pueden tener hasta siete componentes, como algunos aceros rápidos, compuestos por hierro, cobalto y wolframio, entre otros metales.

Las aleaciones son opacas, de brillo metálico, y buenas conductoras de la electricidad y del calor. Por regla general, son más duras que los metales que las componen pero menos dúctiles y maleables. También ganan en fusibilidad, siendo las aleaciones más fusibles que el menos fusible de los metales que la componen.

Existen dos grupos de metales: los **férricos** y los **no férricos**.

Los metales **férricos**, como su nombre indica, están constituidos por hierro; por ejemplo, el acero al carbono (hierro y carbono), el acero inoxidable (hierro, cromo, níquel, manganeso y silicio), la fundición gris (hierro, carbono y silicio) y la fundición blanca (hierro, carbono y manganeso).

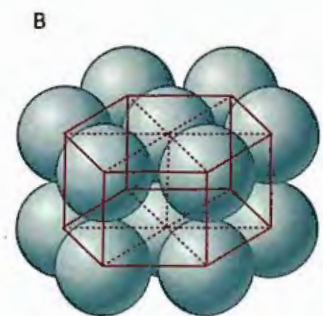
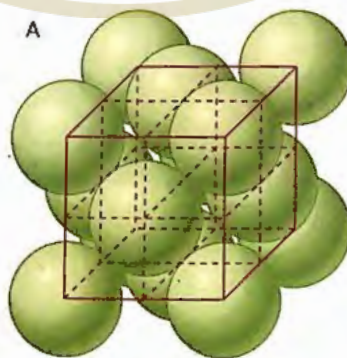
Los metales **no férricos** son el resto de metales y aleaciones no constituidos por hierro; por ejemplo, el cobre, el latón, el bronce, el aluminio y el cinc, entre otros.

► Dos metales diferentes obtenidos por aleación: la fundición gris compuesta por hierro, carbono y silicio y el bronce, compuesto por cobre, estaño y cinc.



◀ El punto de fusión de las aleaciones es siempre menor que el de cualquiera de los metales que la componen. Esta propiedad se aprovecha para la soldadura blanda cuyo metal de aportación está formado generalmente por una aleación de estaño y plomo al 50 %, fácilmente fusible con un soldador eléctrico o de gas.

► Sistemas de cristalización de los metales: red cúbica, propia del hierro, el cobre o el aluminio (A), red hexagonal, perteneciente al cinc o al cobalto (B).



Se entiende por **corrosión** el paso de forma espontánea de un metal en su estado natural libre a un estado natural combinado mediante un proceso de oxidación. Al exponerlo a condiciones ambientales, el metal tiende a conseguir su estabilización química para volver a su estado anterior combinándose con otros elementos.

La **oxidación** de los metales es la combinación del metal con el oxígeno del aire. En este proceso se forma una fina capa de óxido sobre la superficie que en muchos casos impide la entrada de más oxígeno, cumpliendo de esta manera una función protectora. Por ejemplo, el aluminio produce una capa de óxido muy compacta que lo protege permanentemente de la corrosión.

La **corrosión** se produce en ambientes húmedos y constituye un proceso electroquímico. Para que se produzca la corrosión espontáneamente es necesario que coinci-

dan tres factores: el **ánodo**, el **cátodo** y el **electrolito**. Este conjunto se denomina **pila galvánica**.

El electrolito es una solución acuosa conductora de la corriente eléctrica; por ejemplo, los ambientes marinos. En este medio el ánodo repele los iones positivos mientras que el cátodo los atrae, creándose un intercambio de electrones entre el ánodo y el cátodo. La corrosión se produce en las zonas anódicas, las catódicas permanecen inalteradas.

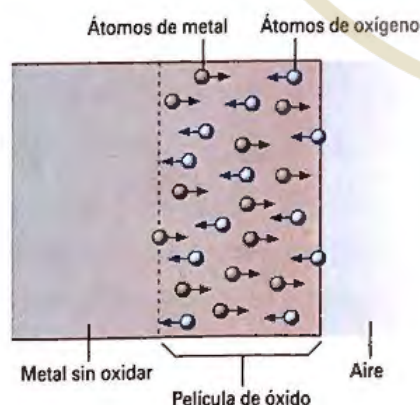
Los metales anódicos se corroen en presencia de metales catódicos. Por ejemplo, es el caso del acero galvanizado, que es acero al carbono recubierto de una fina capa de cinc; es este último metal, con un potencial negativo superior al del acero, el que sufre los efectos de la corrosión. En cambio, en la hojalata, que es acero al carbono recubierto de una fina capa de estaño, es el acero el que se corroe al ser más electronegativo que el estaño.



▲ Para proteger de la corrosión marina las piezas metálicas de algunas embarcaciones se recurre a los ánodos de sacrificio. Éstos están constituidos por metales más electronegativos que el metal que se debe proteger, para que se produzca la corrosión por el efecto de pila galvánica del metal anódico.



◀ Efecto de pila galvánica. La pieza de hierro del mango ha sufrido un fuerte proceso de corrosión frente a la inalterabilidad de la pieza de cobre.



▲ Esquema del intercambio de electrones en el proceso de oxidación de los metales.

CUADRO DE POTENCIALES DE ALGUNOS METALES

Cuanta mayor distancia hay entre metales, mayor grado de corrosión existe entre ellos, teniendo en cuenta que siempre se corroe el más electronegativo.

ELEMENTO	ELECTRONEGATIVIDAD
Mg (magnesio)	-2,37 V
Al (aluminio)	-1,66 V
Zn (cinc)	-0,763 V
Fe (hierro)	-0,44 V
Cd (cadmio)	-0,403 V
Ni (níquel)	-0,25 V
Sn (estaño)	-0,136 V
Pb (plomo)	-0,126 V
H (hidrógeno)	0,000 V
Cu (cobre)	+0,337 V
O ₂ (molécula de oxígeno)	+0,401 V
Ag (plata)	+0,799 V
Au (oro)	+1,5 V

Propiedades de los metales

Los metales poseen una serie de características mecánicas y físicas que los definen. Son las denominadas propiedades de los metales.

Las *propiedades físicas* hacen referencia al comportamiento del metal en situaciones que afectan a su estructura interna.

La **dilatación y contracción** es la variación de las dimensiones del metal en función de la temperatura que se le aplica. Al calentar aumentan las dimensiones del metal, se dilata, y al enfriarse disminuyen, se contrae.

Por **fusibilidad** se entiende la temperatura a la que un metal se vuelve líquido por medio de la absorción de calor.

La **conductividad térmica y eléctrica** obedece a la capacidad de los metales de permitir la transmisión del calor o la electricidad a través de sus moléculas.

La **soldabilidad** es la propiedad que permite la unión de los metales por medio de la fusión.

La **forjabilidad** es la capacidad de deformación plástica del metal en caliente por medio de la percusión o el estampado.

Las *propiedades mecánicas* son las que determinan el comportamiento de los metales ante esfuerzos y cargas que tienden a cambiar su forma. Por ejemplo:

La **maleabilidad** es la propiedad que permite modificar la forma del metal sin que se produzcan grietas. Esto permite transformarlos en láminas y perfiles de cualquier clase.

La **ductilidad** es la propiedad que permite el estirado del metal para formar hilos sin que se produzca su rotura.

La **tenacidad** es la resistencia a la rotura al someter el metal a cargas de tracción.

La **elasticidad** es la propiedad que permite a los metales deformarse ante una fuerza y volver a su forma inicial al cesar ésta.

La **flexibilidad** permite al metal doblarse o curvarse sin que se produzca su rotura.

La **resiliencia** es la resistencia de los metales a la rotura por la acción del choque o la percusión.

La **dureza** es la resistencia del metal al desgaste por frotamiento.



◀ Gracias a la maleabilidad se consiguen láminas de metal muy finas, en este caso de estaño.



▲ La ductilidad permite crear hilos de metal muy finos, como es el caso del cobre.



◀ Algunos metales poco flexibles, como este trozo de aluminio, sufren la rotura de fibras ante esfuerzos de doblado.



► Jordi Torras, *Salamandra*, 1995.

Bronce y madera.

La fusibilidad permite licuar el metal para obtener objetos por medio de un molde.

Acero inoxidable

Es una aleación de hierro, carbono y cromo como elementos principales a los que se puede añadir níquel, molibdeno, titanio o silicio, entre otros, que influyen en las características y propiedades de este acero. Se clasifican en tres grandes grupos: martensíticos, ferríticos y, los más empleados, austeníticos.

Todos son resistentes a la corrosión en contacto con el aire, la humedad o algunos ácidos. Los martensíticos y los ferríticos son magnéticos, es decir, son atraídos por un imán, mientras que los austeníticos no.

Acero al carbono

Es una aleación de hierro y carbono, de color gris, llamada habitualmente hierro. La cantidad de carbono en la aleación determina sus propiedades y características. El más usado es el acero con un contenido en carbono inferior al 1,7 %; cuando éste es superior recibe el nombre de fundición.

El acero al carbono es dúctil y maleable, duro, elástico y tenaz y funde a 1535 °C.

Aluminio

Se trata de un metal ligero de color blanco, muy resistente a la corrosión en contacto con el aire o la humedad. Es un metal relativamente blando muy dúctil, maleable y poco denso, que funde a 660 °C.

Cobre

Metal de color rojizo, muy dúctil y maleable y excelente conductor de la electricidad y del calor. Es muy tenaz y su temperatura de fusión es de 1083 °C.

Latón

Se trata de una aleación de cobre y cinc, de color amarillo. Es duro y tenaz y muy resistente a la corrosión. Funde en un intervalo de fusión de entre 800 y 1025 °C, dependiendo de su composición.

Cinc

Metal de color gris azulado muy resistente a la corrosión en contacto con el aire o la humedad. Es blando, poco elástico y maleable y su temperatura de fusión es de 419 °C.

Estaño

Metal de color blanco brillante muy resistente a la corrosión. Es maleable, flexible, poco dúctil y frágil a temperaturas elevadas. Es un metal denso que funde a 232 °C.

Plomo

Metal de color gris oscuro muy blando y denso que se raya fácilmente. Es tenaz, dúctil, maleable y resistente a la corrosión del ambiente. Funde a 327 °C.

► Acero inoxidable (A), Acero al carbono (B), Aluminio (C), Cobre (D), Latón (E), Cinc (F), Estaño (G), Plomo (H).



Fabricación del acero



A-FURNACE. B-STAIRS. C-DIE. D-CHARCOAL

El hierro es un metal con un porcentaje de carbono inferior al 0,05 %. Aleado en proporción adecuada con carbono se mejoran algunas de sus características, como la dureza o la elasticidad, además se le pueden aplicar tratamientos térmicos como el temple. Es el caso de los aceros. En cambio, si se alea con carbono en proporción superior al 1,7 % se vuelve un material frágil y rompedizo, muy poco dúctil y maleable. Es el caso de la fundición.

El acero es una aleación compuesta básicamente por hierro y carbono. Este último entra en un porcentaje alrededor de un 0,05 % y un 1,7 %. El acero se fabrica a partir del mineral de hierro como la magnetita, el oligisto y los hematites, entre otros.

◀ Escena del libro noveno de *De Re Metallica* (1556), obra enciclopédica de Georgius Agricola (1494-1555), que representa todos los trabajos en metal del siglo XVI.

▼ Colada de hierro en estado líquido en una fundición. El proceso de fabricación y refinado del hierro hasta llegar al acero consiste en rebajar el contenido de carbono y otras impurezas. A su vez, según sea su futura utilización, pueden añadirse otros elementos para fabricar aceros que posean características especiales.



Hasta el siglo XIV se producía una variedad de hierro forjado calentando una masa de mineral de hierro y carbón vegetal en un horno al que se le insuflaba aire de forma manual. Se obtenía así una masa esponjosa de hierro y escorias, debido a las impurezas del metal y a las cenizas del carbón vegetal. Esta masa de hierro con impurezas se golpeaba aún incandescente con pesados martillos a fin de extraer de ella las escorias y consolidar el metal. En ocasiones, de una manera fortuita, se obtenía acero por este procedimiento, al absorber el hierro carbono procedente del carbón vegetal.

Posteriormente, se aumentó la altura y el tamaño de los hornos. Este cambio técnico forzó el paso de gases de combustión por la mezcla de materias primas, facilitando la absorción del carbono por el hierro y generando el llamado **arrabio**. Una vez afinado el arrabio se obtenía el acero.

Horno de oxígeno básico

A partir del siglo XIX se emplean altos hornos para producir acero. Y con el convertidor Bessemer se inicia la producción de este metal en grandes cantidades.

En general, el proceso del oxígeno básico consiste en refinar el arrabio en un horno de forma troncocónica de gran altura –el alto horno–, haciendo pasar oxígeno a alta presión a través del metal fundido. El oxígeno se combina con el carbono y con los elementos no deseados e inicia una reacción de oxidación de las impurezas del arrabio.

A la vez se agrega cal y otros materiales, usados como fundentes, para generar una reacción química que produzca calor a una temperatura aproximada de 1650 °C. Cuando se obtiene la composición correcta de acero, comprobada a través de muestras, se vierte el acero fundido en la olla de colada continua.

Este proceso se utiliza para la fabricación a gran escala de aceros al carbono, gracias a que un horno de oxígeno básico puede generar hasta 300 toneladas de acero en apenas 45 minutos.

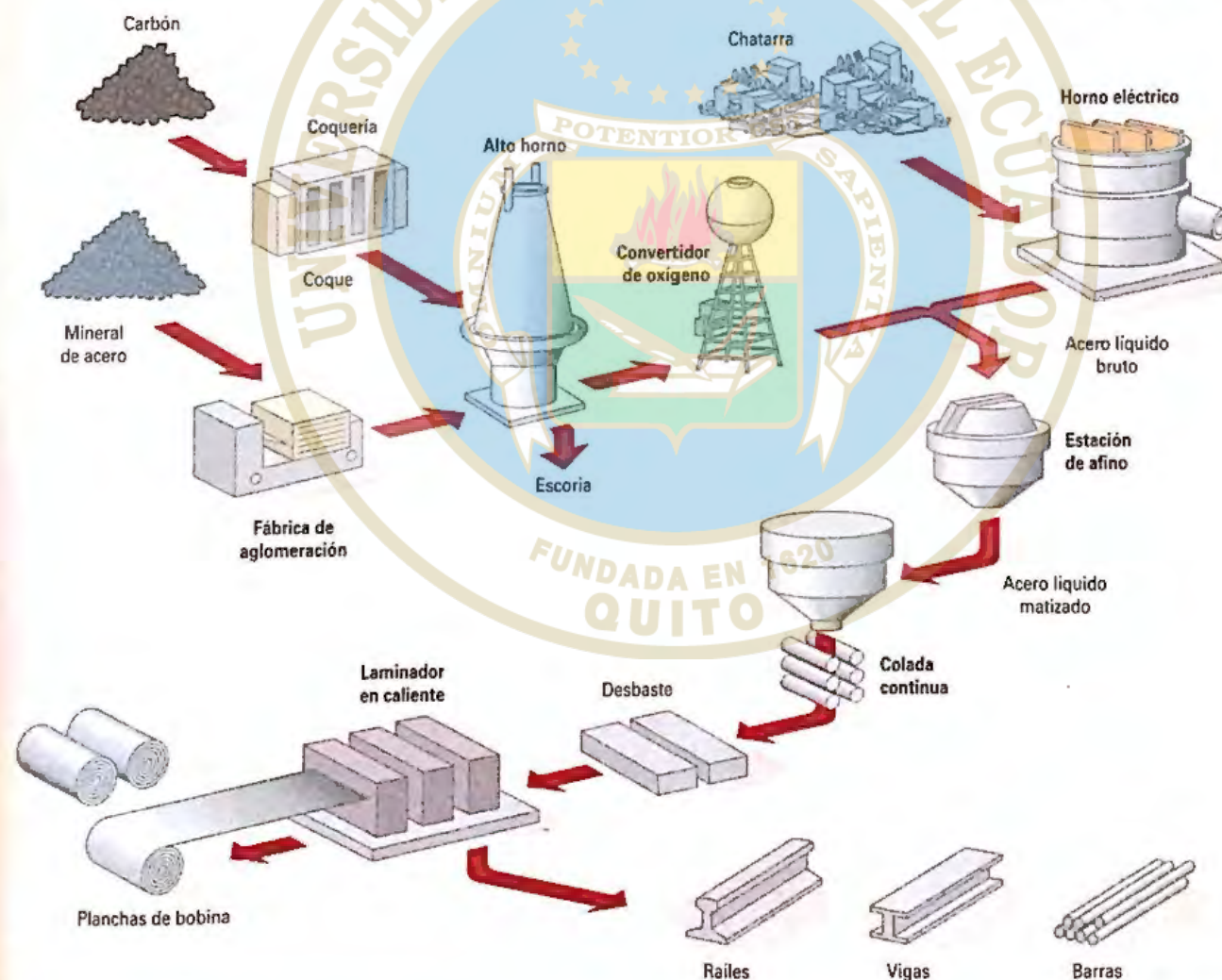
Horno de arco eléctrico

Con este horno, el calor necesario para la fusión del metal se obtiene de la electricidad, y no de la combustión de carbón. Dentro de una cámara hermética se forma un arco voltaico entre dos grandes electrodos. Este arco genera un calor intenso, hasta 1930 °C, que derrite la carga de metal. En ese momento se agregan a la masa derretida las cantidades exactas de los elementos de aleación necesarios.

La materia prima que se utiliza en este proceso es la chatarra de acero, la cual es previamente analizada y clasificada para que su contenido en aleación no afecte a la composición del metal refinado.

La ventaja más importante respecto a otros hornos es que la temperatura se puede controlar con gran precisión, automáticamente. Esto resulta muy útil principalmente en la fabricación de aceros especiales y aceros inoxidables, pues no se emplea ningún combustible que pudiera ocasionar impurezas en el acero.

▼ Proceso para la fabricación del acero y sus distintos productos semielaborados a partir del mineral y de las chatarras.



Facultad de Artes
BIBLIOTECA



Formas comerciales de los metales

Los metales se presentan en el mercado en forma de productos acabados. Se trata de barras de muy diversas secciones y tamaños llamados **perfiles comerciales**. Estos productos están normalizados dependiendo de su grado de transformación, de su forma, del acabado que tienen y del uso a que están destinados. Se suministran como productos semielaborados y productos acabados.

Los productos semielaborados son la materia prima empleada como punto de partida para ejecutar los productos acabados. Se consiguen por laminación en caliente del producto en bruto obtenido de la colada extraída de los altos hornos.

Tales productos son el desbaste, de sección cuadrada o rectangular, la palanquilla, de sección cuadrada, y el llantón, de sección rectangular. Todos ellos se elaboran sin aristas.

Los productos acabados se obtienen por diversos sistemas de conformado. Entre ellos destaca la **laminación**, la **extrusión**, la **fabricación de tubos**, el **trefilado** y el **estirado**.

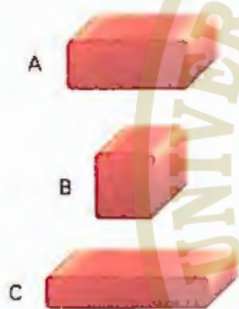
Laminado

Laminar consiste en hacer pasar una masa metálica entre dos rodillos superpuestos y que giran en sentido inverso. Este procedimiento se puede realizar tanto en frío como en caliente.

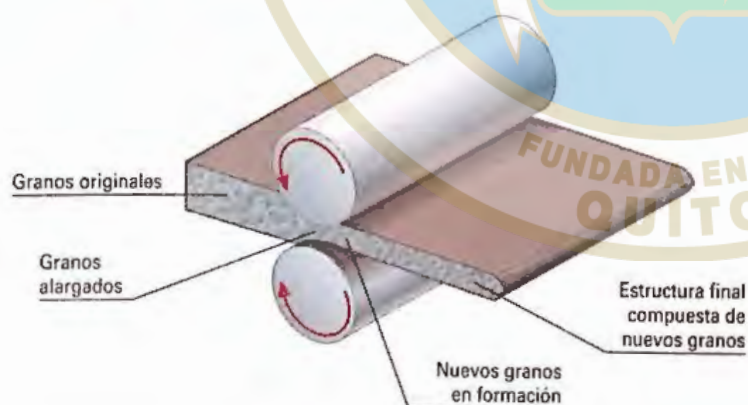
Cuando el proceso se lleva a cabo en caliente se produce un efecto de forja continua. La laminación en caliente no produce acritud, es decir, el material no se endurece debido a la deformación. Además, ésta puede ser tan intensa como sea necesario si se mantiene el material a la temperatura adecuada, entre la de recristalización y la de fusión. También mejoran con este proceso las características estructurales y químicas del metal.

En la laminación en frío se trabaja a temperatura ambiente, lo que provoca que los metales adquieran acritud por la deformación. Esta característica se elimina efectuando un **recocido** al terminar el proceso.

De entre todos los metales, los **aceros** son los más utilizados en los procesos de laminado, tanto en frío como en caliente. También se obtienen gran variedad de perfiles con el **cobre** y sus aleaciones, el **aluminio** y sus aleaciones, las aleaciones de **magnesio**, el **cinc** o el **plomo**.



Secciones de los productos semielaborados de acero a la salida de la primera laminación en caliente. Desbaste (A), palanquilla (B) y llantón (C).



La enorme presión de los rodillos de laminación produce variaciones en la estructura de los metales. Cuando la laminación se realiza a temperatura ambiente el metal se endurece y pierde plasticidad y elasticidad, volviéndose más frágil, por lo que es necesario aplicar un **recocido** posterior que le devuelva esas propiedades.

Si se realiza en caliente, se produce un efecto de forja continua que mejora propiedades como la tenacidad o la ductilidad del metal, volviéndolo más resistente a la rotura, la torsión, la tracción o la contracción.

El conformado de los productos se realiza en **cajas de laminación**, formada, esencialmente, por dos o más cilindros superpuestos. Cuando estas cajas se disponen de manera que permitan el paso del material sucesivamente por cada una, con el objeto de obtener un determinado perfil, reciben el nombre de **tren de laminación**. Existen trenes de laminación desbastadores, de palanquilla, estructurales, de perfiles, etc., clasificados en función del producto que elaboran.

Los trenes comerciales se utilizan para la fabricación de perfiles de pequeño y medio peso. Están formados por cilindros acanalados repartidos en grupos con formas que se van acercando paulatinamente a la forma final del producto acabado. El producto semielaborado se hace pasar primero por el grupo desbastador, seguidamente por el preparador y, para finalizar, por el acabador.

Estirado y trefilado

Se trata de dos procesos de conformación de materiales dúctiles. Ambos deforman por medio del estiramiento a través de unos orificios calibrados, llamados **hileras**.

La diferencia entre uno y otro proceso radica en tres aspectos esenciales: la clase de material al que se aplican, el objeto de la operación y la realización de la misma.

El **estirado** se aplica a barras de diámetro superior a 10 mm, mientras que el **trefilado** trabaja con redondos de 5 a 8 mm de diámetro, obtenidos por laminación especialmente para este proceso.

Secciones sucesivas obtenidas en cada grupo de cajas laminadoras hasta conseguir un perfil angular.



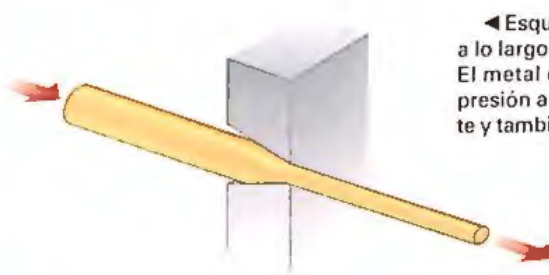
Secciones obtenidas en cada grupo de cajas laminadoras para conseguir la laminación de carril.



El estirado tiene por objeto calibrar, endurecer con la deformación o conferir una determinada forma, mientras que la función del trefilado es adelgazar el material. Asimismo, el estirado realiza la operación en una sola pasada y el trefilado precisa varias para adelgazar el metal.

Los materiales que se trefilan para obtener toda clase de alambres son los aceros, el cobre, el bronce y el aluminio. Los filamentos de las lámparas eléctricas se obtienen a partir de wolframio trefilado.

Para el estirado se utilizan metales resistentes a la tracción, para que no se rompan, y dúctiles. Los más empleados son los aceros al carbono y aleados, el cobre, los latones, el aluminio y sus aleaciones y el magnesio.



◀ Esquema de cómo se estira o trefila un perfil a lo largo en una hilera hecha de metal muy duro. El metal que reduce su sección se hace pasar a presión a través de esta hilera estirado por delante y también empujado por atrás.

Extrusión

La extrusión es un método para conformar los metales y sus aleaciones, haciéndolos fluir a presión, en frío o en caliente. Por medio del mismo se obtienen perfiles y tubos de secciones uniformes y buen acabado.

En la **extrusión en frío** se obliga a fluir el material colocado en el fondo de una matriz entre las paredes de ésta y las del punzón que lo presiona con energía.

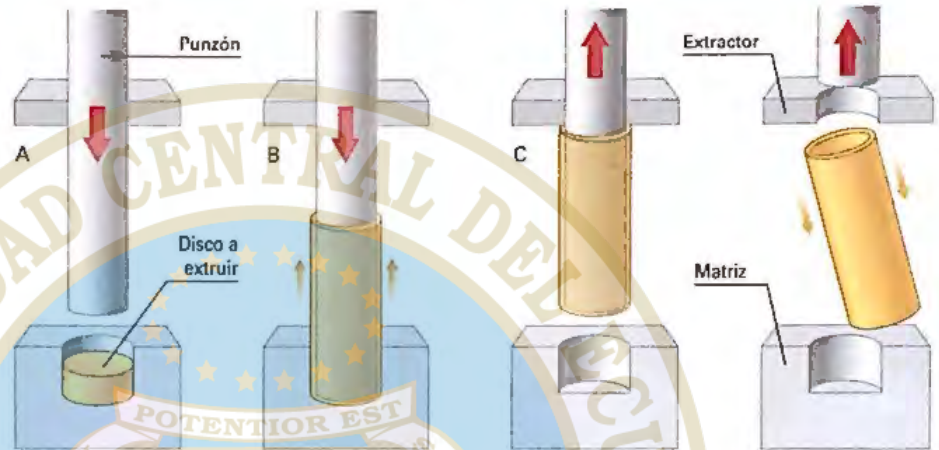
Los metales empleados son muy dúctiles, como el plomo, el estaño, el cinc o el cobre, y la presión ejercida por el punzón muy potente. Ésta es aplicada por choque para que la energía liberada por el impacto desprenda calor y facilite la extrusión.

Con la extrusión en frío se fabrican pequeños recipientes de paredes flexibles destinados a contener pastas como pegamentos, pinturas, cremas, etc. También se fabrican vainas para pilas cilíndricas, condensadores...

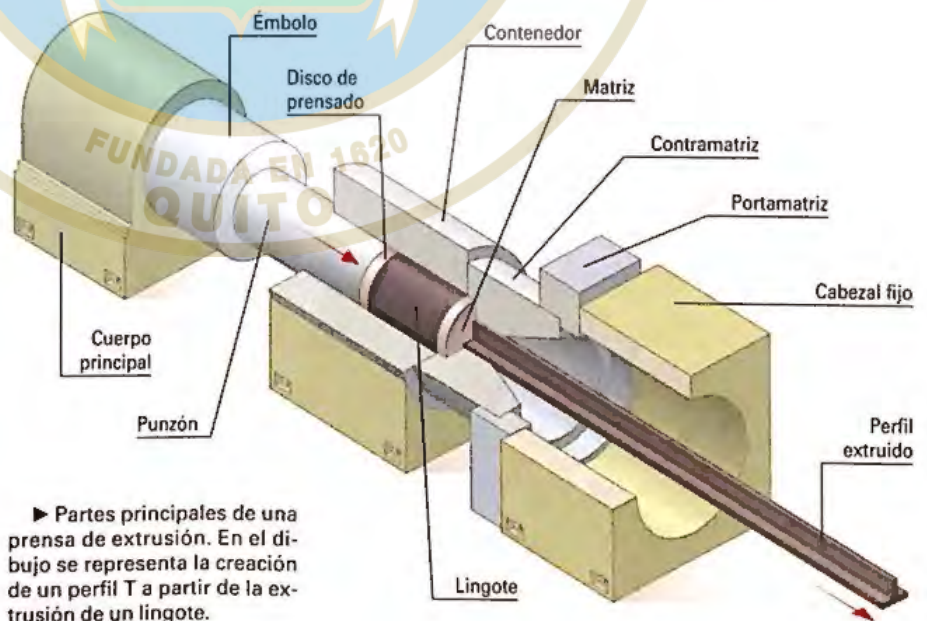
En la **extrusión en caliente** se hace fluir los metales a temperaturas cercanas a la de fusión, a través de matrices con boquillas de igual sección que el perfil que se desea conseguir.

Con esta técnica se conforman gran número de metales y aleaciones, como el plomo, el estaño, el cinc, el cobre, el aluminio, el níquel o el manganeso, y todas sus aleaciones. También se aplica con los aceros dulces e inoxidables.

Con la extrusión en caliente se obtienen piezas de perfiles angulares, tes, dobles tes, tubos redondos o irregulares, con aletas, con nervio y molduras de cualquier forma.



▲ Fases de la extrusión en frío. La operación se efectúa en una prensa adecuada. En (A) un disco de metal que hay que extruir se coloca dentro de la matriz, compuesta de metal muy duro. En (B) un impacto a una presión determinada de un punzón de metal duro logra dar forma o extrusionar el disco de metal, que en (C), al retirarse el punzón hacia el interior del extractor, se desprende la pieza. La presión con que se efectúa el impacto se calcula en función de una serie de variables, como las características del metal que se desea extrusionar, su forma y el grosor del disco, entre otras.



► Partes principales de una prensa de extrusión. En el dibujo se representa la creación de un perfil T a partir de la extrusión de un lingote.



◀ Perfiles de cobre (derecha) y latón, macizos y huecos de secciones cuadrada y circular.

▼ Perfiles de aluminio realizados por extrusión. Mediante dicho procedimiento, este metal se presenta en el mercado con innumerables formas complejas.

Estos perfiles son muy utilizados en la construcción de marcos para ventanas y cerramientos en general. También son muy apreciados en la industria aeronáutica, del automóvil y ferroviaria por su ligereza y resistencia.

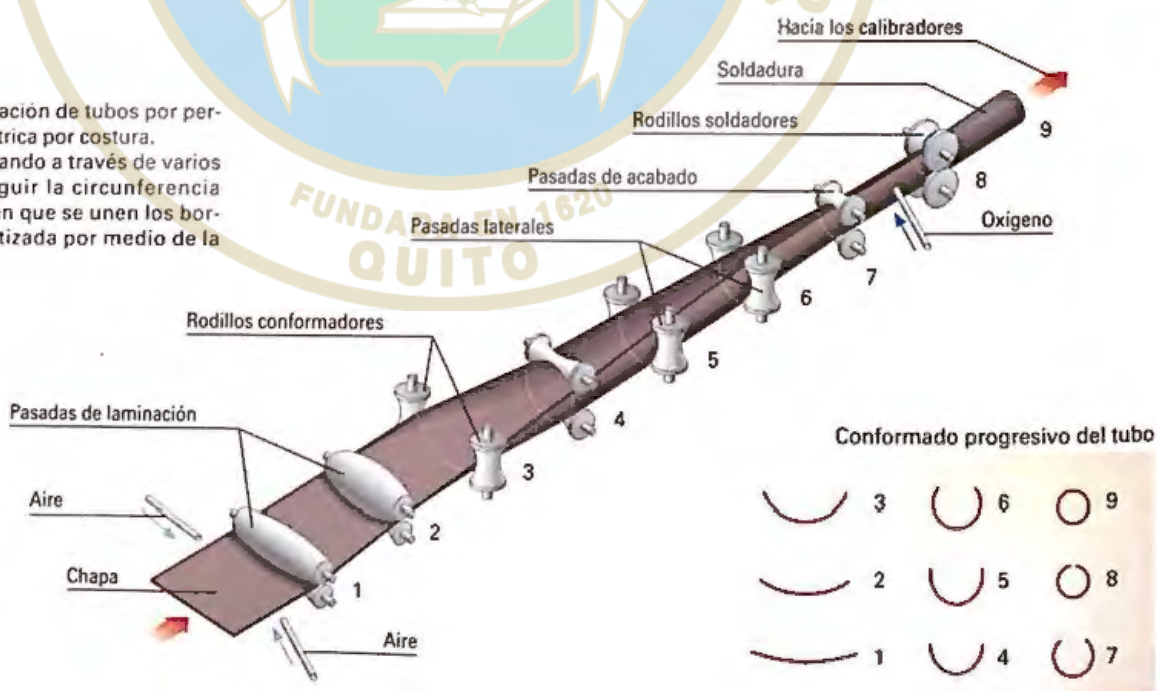
Fabricación de tubos

La fabricación de tubos se realiza por medio de una gran variedad de procedimientos, atendiendo a la multitud de tipos diferentes que se comercializan y en función de su utilidad. Existen tubos abiertos, engrapados, soldados eléctricamente por costura, por arco o por soldadura oxiacetilénica. Tubos fundidos, embutidos en caliente, extruidos en caliente o fabricados por perforación con mandril. Los hay empleados para elementos constructivos, para la conducción de fluidos, para la construcción de andamios. Otros se usan en la industria automovilística, en aplicaciones domésticas o en la fabricación de muebles metálicos.



► Fases de la fabricación de tubos por perfilado y soldadura eléctrica por costura.

La chapa se va curvando a través de varios rodillos hasta conseguir la circunferencia completa, momento en que se unen los bordes de forma automatizada por medio de la soldadura eléctrica.



Perfiles de acero

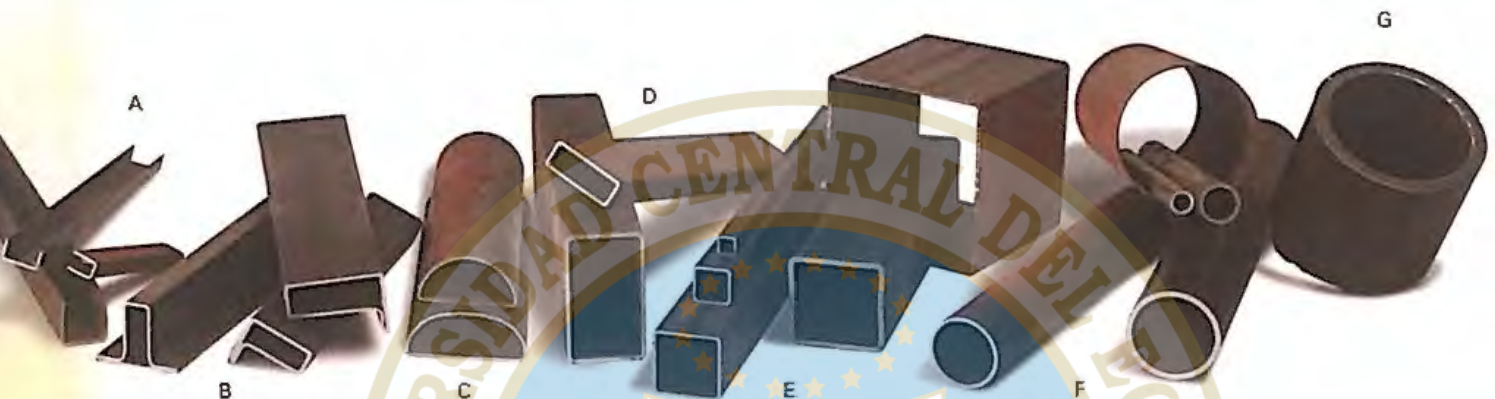
El gran número de productos acabados producidos en acero permite distinguir entre perfiles comerciales conformados por perfilación en frío y perfiles comerciales conformados por laminación en caliente.

Los primeros se realizan a partir de una chapa fina, de entre 1 y 6 mm de espesor, en perfiladoras que doblan y curvan el metal en frío, es decir, a temperatura ambiente. En ge-

neral, en la perfilación en frío no existe laminación propiamente dicha, pues la sección final de la chapa conformada para generar el perfil no varía de la sección inicial.

Este perfil se usa generalmente para la construcción de muebles metálicos y estructuras ligeras, por ejemplo marcos para puertas y ventanas, y elementos de construcción como barandillas o rejas.

▼ Diferentes tubos conformados en frío y fabricados a partir de chapas finas de diferente grueso en perfiladoras automáticas: tubos abiertos de alas iguales muy usados para crear guías para persianas (A), tubos especiales para la construcción de marcos y puertas (B), tubos pasamanos utilizados para la realización de barandillas (C), tubos rectangulares (D), tubos cuadrados (E), tubos redondos (F), tubo fabricado por perforación de un tocho en caliente (G).



La laminación en caliente, es decir, cuando el metal ha sido elevado a una temperatura adecuada, mejora las características del metal eliminando cualquier posible sopladura producida en la fundición. También hace desaparecer algunas heterogeneidades del metal, tanto en la composición química como en su estructura, eliminando del metal impurezas o restos de escorias procedentes asimismo de la fundición.

En general, los productos creados a partir de los trenes de laminación en caliente están destinados a funciones estructurales por sus óptimas cualidades mecánicas, de resistencia a la torsión, a la compresión o a la tracción. Son muy usados en la construcción de estructuras para ingeniería civil como puentes, torres eléctricas o compuertas de embalses; en arquitectura como esqueleto de edificios, o en la industria naval.

▼ Distintas formas de perfiles conformados por laminación en caliente: perfil normal "I" PN (A), perfil Grey (B), perfil normal "U" PN (C), perfil normal "T" PN (D), perfil angular de alas iguales (E), cuadrados (F), redondos (G), hexagonales (H), pletinas (I).



E

l lector encontrará en las siguientes páginas diferentes objetos para realizar los más diversos trabajos con metales. Son las herramientas y las máquinas, útiles algunos cuya tecnología no ha experimentado ninguna modificación con respecto a los que se usaban hace

siglos, como los martillos, tases, limas, etcétera.

Otros, sin embargo, forman parte de los progresos y avances tecnológicos del siglo xx; es el caso de las máquinas de soldar o las de corte por plasma.

En cualquier caso, no se trata de simples instrumentos, sino que son la prolongación de las manos, la vía para conseguir los propósitos de creación más variados.

Es imprescindible, por tanto, cuidar y mantener las herramientas siempre en perfecto estado de conservación y no forzar las máquinas más allá del límite aconsejado por el fabricante a fin de garantizar su buen funcionamiento.

Amén de usar el equipo de protección personal necesario para cada caso.



Herramientas y máquinas



Instrumentos para medir y marcar

Para comenzar a fabricar cualquier objeto es necesario poder trazar líneas rectas o perfectamente curvas sobre el material para, posteriormente, cortarlo, doblarlo o curvarlo con toda precisión. Para ello disponemos de aparatos, herramientas y útiles de medición, verificación, trazado y marcado que ayudan a comparar y determinar distancias, ángulos o superficies.

Diferentes tipos

Pie de rey o calibre

Es un instrumento para conocer con precisión medidas de longitud exactas superiores a 0,5 mm y con un grado de apreciación de hasta 0,002 mm, dependiendo de la regla o calibre. Consta de una regla de acero, inoxidable la mayoría de las veces, dividida en mi-

límetros y pulgadas y acabada en un extremo con un pico grande en ángulo de 90° y otro menor a la altura del ángulo. Sobre esta regla se desliza otra, también acabada con otro pico grande y otra pequeño, que presenta grabada en sus bordes biselados una graduación especial denominada nonio.

El pie de rey permite realizar mediciones de exteriores de piezas con los picos grande y de interiores por medio de los picos menores, y también de profundidades por medio de la sonda situada en la parte posterior de la regla o calibre.

Reglas metálicas y flexómetros

Las reglas metálicas están fabricadas en acero inoxidable, tienen sección rectangular y son muy apropiadas para el trazado de líneas sobre los metales. Las reglas de madera o de

plástico se estropean con facilidad a causa del contacto con los metales y la punta de trazar.

El flexómetro o metro enrollable es un instrumento muy práctico para medir tanto superficies planas como objetos volumétricos. Esto se debe a que consta de una flexible cinta de acero muy delgada y ligeramente curva que se enrolla dentro de una cajita de plástico. Suele tener una longitud de entre 1 y 5 m. Para abreviar se le suele llamar metro. No debe confundirse con la cinta métrica, fabricada con fibras textiles y que se utiliza para medir longitudes superiores a 10 m.

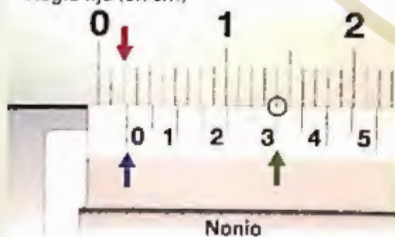
Escuadras y falsa escuadra

Estos instrumentos nos permiten trazar y verificar ángulos entre superficies perpendiculares. Conviene poseer escuadras de varios tamaños, pues nunca se debe comprobar una

¿CÓMO SE MIDE CON EL PIE DE REY?

Cuando realizamos una medición con el pie de rey, nos podemos encontrar con que el cero del nonio coincide exactamente con una de las marcas en que está dividida la regla fija del pie de rey; en este caso, la medida será la que marque la regla, por ejemplo 7 mm. Pero también puede suceder que el cero del nonio no coincida con ninguna marca. Para solucionar este conflicto se recurre a las divisiones de que consta el nonio. Imaginemos que al realizar la medición de un objeto el cero del nonio queda entre dos divisiones de la regla fija, 2 y 3 por ejemplo, entonces debemos tener en cuenta el trazo que aparece enfrente a la izquierda del cero del nonio, éste será el entero, 2 mm; y el trazo de las divisiones del nonio que coincida con una división de la regla, cualquiera que ésta sea, señalará el decimal, por ejemplo 3. Al final tenemos una medida exacta de 2,3 mm.

Regla fija (en cm)



▲ Lectura del nonio del pie de rey.

► Falsa escuadra o saltarreglas y diferentes escuadras y cartabones.





▲ ► Compases de medición de interiores y exteriores, compases de trazar y compás de varas (de- recha).

superficie grande con una escuadra pequeña. De esta manera, se evita el riesgo de no apreciar el error que pudiera existir más allá de la superficie de contacto de la escuadra.

La falsa escuadra, también llamada saltarreglas, es un instrumento útil para transportar y trazar ángulos determinados sobre la superficie de trabajo; así como para verificar y comparar algunos ángulos. Consta de dos piezas, de acero generalmente, articuladas sobre un eje que permiten regular cualquier ángulo.

Compás de trazado y compás de medición

Los compases de trazado están constituidos por dos brazos de acero acabados en una punta endurecida. Pueden ser sencillos o de muelle. En estos últimos la abertura se regula mediante el giro de un tornillo que ejerce presión sobre uno de los

brazos. Para el trazado de arcos o círculos de grandes radios se utiliza el compás de varas, el cual está formado por una regla graduada en centímetros y milímetros por la que se deslizan dos patillas provistas de puntas de trazar. Estas patillas se posicionan a la distancia que marque el radio del arco o circunferencia que se desea trazar.

Además del trazado de arcos de círculo, los compases de trazado también son instrumentos útiles para transportar distancias o para señalar marcas equidistantes.

Los compases de medición se utilizan para comparar y comprobar exteriores e interiores de piezas u objetos. Están provistos de brazos cóncavos, en el caso del compás de medición para gruesos o exteriores, y de brazos convexos, en el de medición de interiores.

◀ Granetes y puntas de trazar.

Granete y punta de trazar

El granete es un útil de acero de sección circular acabado en una punta templada. Se usa para señalar y marcar puntos que servirán de guía para trazar arcos o circunferencias. También se utiliza para marcar el punto que servirá de guía a la broca al perforar el metal.

La punta de trazar o señalar es una varilla de acero acabada en una punta templada y muy afilada. Se utiliza para trazar líneas rectas con ayuda de reglas metálicas y escuadras.

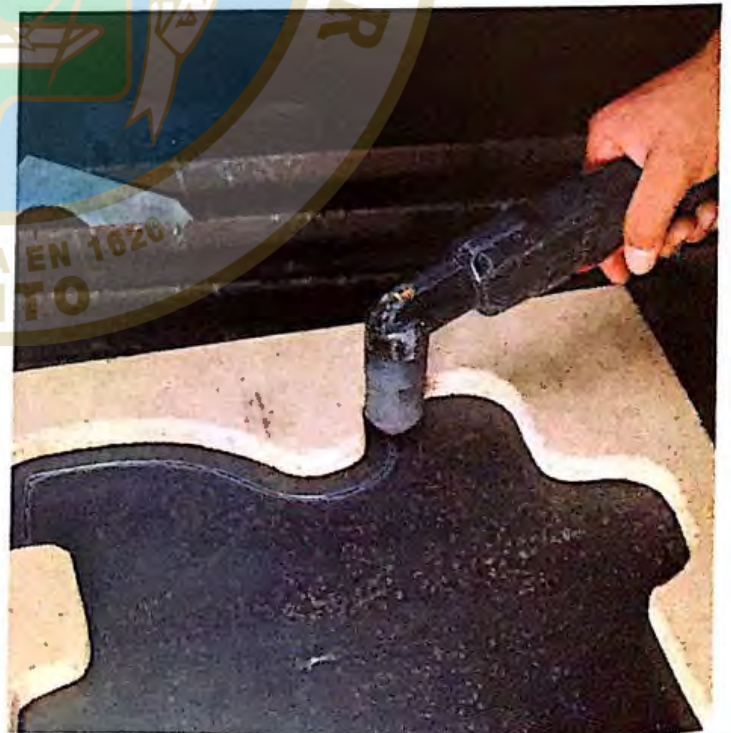
Plantillas

Cuando hablamos de plantillas o patrones nos referimos a elementos auxiliares hechos en exclusiva para cada obra y destinados a guiarnos en su construcción. Su utilización facilita procesos de repetición de piezas o de creación de otras más complejas. A veces, su uso se limita a traspasar una determinada forma al metal para conformarlo o recortarlo posteriormente. Otras sirven para ir comprobando y comparando sobre ellas las formas a medida que se van elaborando. Incluso algunas plantillas se utilizan de prototipo para el oxicrote con pantógrafo electrónico. La confección de plantillas, ya sea en cartulina, madera o metal, permite afrontar el proyecto desde la perspectiva de un diálogo abierto donde interactúan la idea del proyecto, el material y la técnica. En cualquier caso, los patrones o las plantillas nos ayudan en la realización del proyecto, pudiéndose modificar en función de criterios estéticos propios a medida que éste se construye.

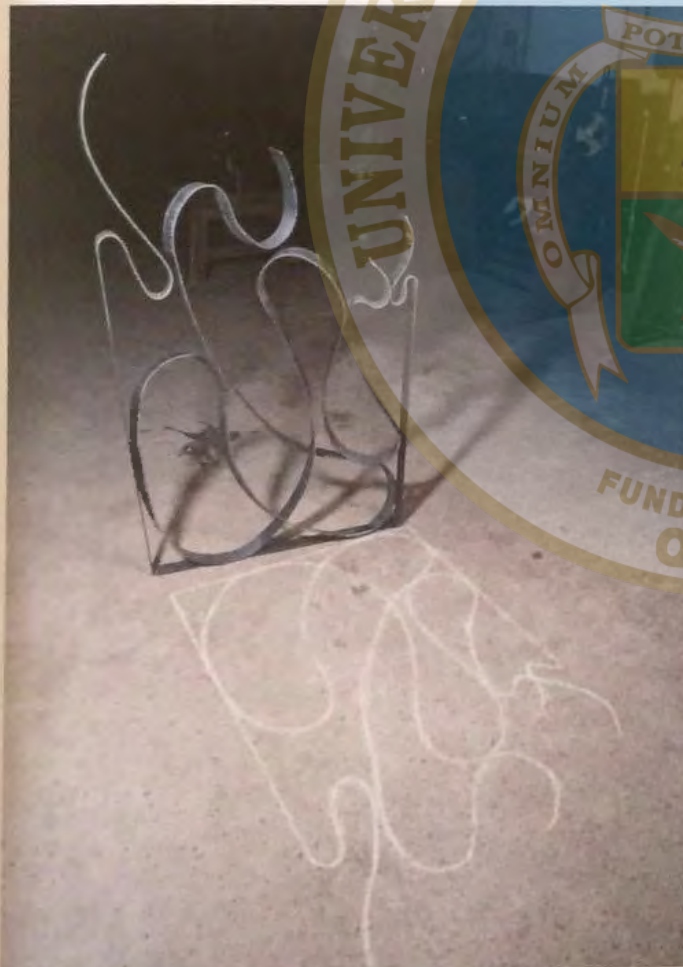
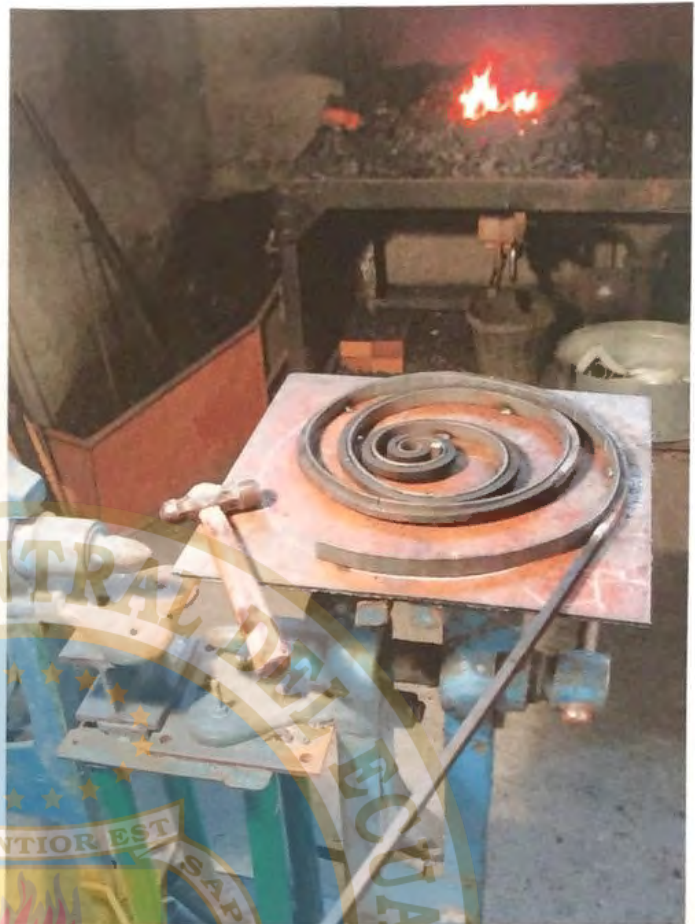
► Para realizar este trabajo se han comparado dos sistemas: un dibujo exacto, donde se han destacado en color las partes de que constará la pieza escultórica, y el patrón de cartulina que servirá para traspasar la forma a la chapa metálica. Este patrón también ayudará a concebir el volumen que deberá tener la forma. Obra de Marta Martínez.



▲► La plantilla de madera es otra manera de traspasar una forma dibujada, y luego recortada, al metal. En estas fotos vemos dos formas. En el primer caso, la plantilla en forma de estrella sirve de prototipo para oxicrotar el perfil con un pantógrafo electrónico, posteriormente Gemma López le dio forma en la fragua. En el segundo caso, el grueso permite reseguir su contorno fácilmente con el fin de calcarlo y recortarlo sobre el metal.



▼► Las plantillas metálicas se utilizan sobre todo en operaciones de forjado. Son muy útiles para reproducir varias veces la misma forma o para copiar fielmente una compleja. Se trata de una pletina con la forma deseada que va montada y unida sobre una chapa por medio de puntos de soldadura; de esta manera, se le confiere resistencia y se evita que se deforme durante el proceso de conformado de la pieza que se desea reproducir, que se efectúa sobre la pletina inicial.



◀▼ Un dibujo a tamaño natural sobre el suelo también ayuda a construir la obra. En el proceso de conformado de las diferentes partes de ésta es conveniente poder ir comparándolas con el dibujo, así se asegura la similitud del resultado final con la idea original.



Herramientas de sujeción

Las herramientas de sujeción sirven para la fijación e inmovilización de objetos. Están ideadas para que se adapten a piezas de gran diversidad de tamaños y formas. Se trata de herramientas que facilitan trabajos como el limado, el esmerilado, el corte o el taladrado. Con el uso de herramientas de sujeción nos aseguramos la correcta posición de las piezas al realizar una soldadura, ya que durante este proceso es muy importante que no se muevan los fragmentos que se desean unir. A veces precisamos estas herramientas simplemente para asir piezas que son difíciles de sujetar con las manos.

Por último, al fijar las piezas al banco de trabajo evitamos posibles accidentes personales.

Diferentes tipos

Tornillo de banco

Esta herramienta, también denominada tornillo paralelo, está fabricada en fundición o en acero forjado. Es una herramienta fundamental en el trabajo de taller. En ella sujetamos piezas firmemente para limarlas o cortarlas, por ejemplo. Sus mordazas son estriadas para atrapar mejor los objetos. Sin embargo, estas estrias pueden producir marcas en la superficie de las piezas que se trabajan; por lo que, para evitarlo, se colocan mordazas postizas sobre las dos mordazas del tornillo. Éstas suelen ser de metales más blandos que el acero, como el plomo o el aluminio, y tener forma de "L". Existen tornillos de bancos fijos y giratorios, estos últimos permiten orientar mejor las piezas al poderlos girar en redondo.

Entenallas

También llamadas tornillo de mano, son muy prácticas para inmovilizar con las manos elementos de difícil sujeción por ser pequeños, para mover piezas que tienden a calentarse con la acción que se ejerce sobre ellas, etc. Están provistas de dos mordazas pequeñas unidas en la base por un eje que permite su articulación y movidas por un tornillo de mariposa para facilitar el apriete de piezas.

Tornillo para ángulos de 90°

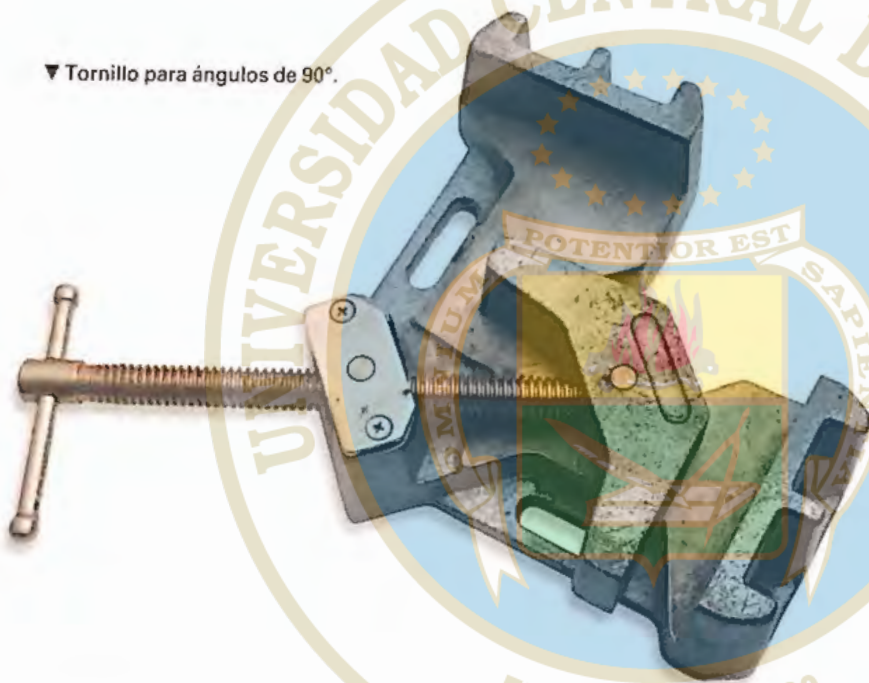
Se trata de una herramienta fabricada en fundición y que se utiliza para unir perfiles, asegurándonos de que formarán un ángulo de 90°. Consta de dos mordazas fijas separadas y perpendiculares entre sí y una mordaza móvil con dos lados paralelos a cada una de las mordazas fijas. La mordaza móvil está unida a un tornillo para facilitar el ajuste de las piezas. Además del movimiento de aproximación a las mordazas fijas, el tornillo ofrece la posibilidad de pivotar sobre un eje para proporcionar un mejor ajuste entre piezas desiguales.

Sargentos

Los sargentos son herramientas de uso general diseñadas para la sujeción. Permiten inmovilizar piezas de diferentes gruesos y su condición de herramientas portátiles las hace imprescindibles en el taller de metal.

Se fabrican en diversos tamaños y formas. Constan, por lo general, de una pletina de acero acabada en una mordaza fija. Por la pletina se desplaza una mordaza móvil provista de un tornillo para el apriete de las piezas.

▼ Tornillo para ángulos de 90°.



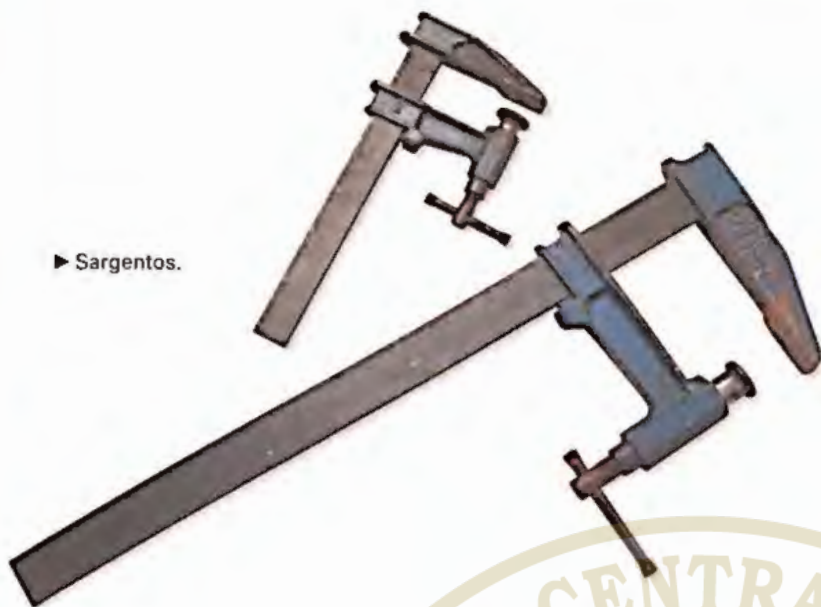
▼ Entenallas, también llamadas tornillo de mano.



▼ Tornillo de banco o paralelo.



► Sargentos.



Alicates de presión

Se trata de herramientas manuales que permiten la fijación de elementos de difícil sujeción a partir de un mecanismo que ejerce una fuerza sobre sus mandíbulas.

Podemos ejercer presión sobre piezas de diferentes tamaños adecuando la abertura entre las mandíbulas al grueso de las piezas. Esto es muy útil cuando hay que mecanizar elementos que por su pequeño tamaño son difíciles de sujetar. También sirven para fijar componentes provisionales a la pieza que estamos trabajando, por ejemplo, un angular que nos sirva de guía para realizar un corte con radial sobre una chapa de metal.

Alicates y tenazas *pico de loro*

Los alicates son pequeñas herramientas manuales de sujeción. Permiten atrapar objetos con el fin de realizar diversas actividades con ellos tales como el doblado de chapas, el corte de alambre, o bien manipular piezas calientes.

Las tenazas denominadas *pico de loro* admiten el agarre de piezas de diversos tamaños gracias a la facilidad de adaptación de su boca.

▼ Tenaza *pico de loro* y alicates.



▲ Alicates de presión de diversas formas y tamaños.



Para golpear, doblar y curvar

Martillos

El martillo es la herramienta más popular e imprescindible en cualquier taller dedicado al metal. Permite formar o deformar piezas por medio de la percusión, ya sea contra el yunque o contra otras de conformado, o bien directamente sobre el metal de la pieza. Están formados por una pieza de acero forjada y un mango de madera flexible y resistente. Sólo los extremos de la pieza metálica se hallan endurecidos por el temple; de este modo, se evitan posibles roturas por efecto de la percusión en su parte central, donde se aloja el mango.

Por lo general, los martillos son herramientas de fácil manejo. Su peso oscila entre los 250 y los 2000 g, lo que permite usarlo con una sola mano, dejando libre la otra para controlar la pieza. Existen martillos de diferentes formas dependiendo de la función a la que estén destinados.

Martillos de bola y peña

Son los más usuales en cualquier trabajo de taller. Los de bola tienen la peña acabada en semiesfera; los de peña, en cuña ligeramente redondeada.

Maza de aplanar

Sus bocas son planas para facilitar la operación de aplanado.

Martillo postillón

Tiene una boca cuadrada y otra redonda. Esta última suele ser ligeramente abombada para realizar operaciones de acabado.

Martillos de embutir

Los hay de una y de dos cabezas. Se utilizan para trabajos de conformado.

Martillo de vajilla

Más usado para trabajos de percusión sutil, tiene dos bocas redondas ligeramente aplanadas y es ligero de peso.

Martillos de bocas de nailon

Se usan, por lo general, para evitar las marcas en el material por efecto de la percusión.



▲ Martillos de peña y bola.

▼ Martillos de bocas de nailon.



► Maza de aplanar (A), martillos postillón (B), martillos de embutir (C), martillo de vajilla (D).

Tases

Los tases son herramientas de apoyo fabricadas normalmente en acero. Se utilizan para el conformado de piezas por martilleo en frío o en caliente. Presentan numerosas y muy variadas formas. Se las denomina por la forma de su parte útil (de herradura o de bola, por ejemplo). Por lo general, los tases se colocan sobre soportes de gran estabilidad para evitar vibraciones y movimientos provocados por el martilleo que perjudicarían la correcta evolución del trabajo. Estos soportes pueden ser bancos de madera o tornillos de banco. Algunos tases están pensados para alojarse en los agujeros del yunque.

Tas rectangular plano y tas de herradura recto

Los dos poseen una base para aplanar pequeñas porciones de superficie. El tas de herradura tiene dos cantos romos y un lado redondeado para facilitar la acción sobre piezas con alguna parte redondeada.

Tas abombado y tas oval

Este último tiene la base menos pronunciada que el abombado para ejercer una deformación más sutil sobre la pieza en cuestión.

Tas de bola recto y tas de bola acodado

Permiten conformar piezas de formas muy cerradas.

Tas de acero y tas de plomo

A menudo es necesario dar forma sin estirar demasiado el material de la pieza; esto se consigue martilleando sobre un tas de plomo, sensiblemente más blando que el acero.

Tases auxiliares

Diversos tases ideados para acoplarlos en el agujero del yunque.

Manguitos o coronas

Son muy utilizados para embutir en falso con objeto de conseguir formas cóncavas.

► Tas rectangular plano y tas de herradura recto.

► Tas abombado y tas oval.

► Tas de bola recto y tas de bola acodado.

◀ Tases auxiliares.

◀ Tas de acero y tas de plomo.

► Manguitos o coronas.

Para doblar y curvar

Para el doblado y curvado en frío de perfiles planos, redondos o cuadrados se usan habitualmente herramientas y máquinas de accionamiento manual. Éstas ejercen una fuerza de flexión sobre el material por medio de presión, a mano o con máquina, con las curvadoras, plegadoras y útiles de curvado, o por percusión con martillos y tases de curvado.

Horquillas

Son útiles en forma de "U" contruidos por el herrero en función del radio que se quiere dar a una curva, ya sea con el material en frío o en caliente. Pueden ser de barra redonda doblada para formar una "U", o simplemente dos trozos de la misma barra soldados a unas pletinas. También se usan dos trozos de tubo de paredes gruesas soldados a un perfil "UPN" que funciona como base.

Garras o grifas

Herramientas similares a las horquillas pero provistas de mango. Se utilizan para hacer palanca sobre los perfiles en frío o en caliente, y así conseguir curvarlos, doblarlos o torcerlos. También los fabrica el herrero en función del perfil que se va a trabajar.

Tas de curvado

Instrumento utilizado para curvar por percusión con martillo. La distancia entre los dos angulares determina el radio de la curva resultante. El martilleo se realiza sobre el perfil colocado sobre los dos angulares.

Curvadora de tubos

Herramienta hidráulica de accionamiento manual para curvar tubos redondos mediante presión. Cuenta con accesorios para aplicar a diferentes diámetros de tubo. Con ello se evitan posibles pliegues en la zona curvada por efecto de la presión.

◀ Horquillas.

▶ Garras o grifas.

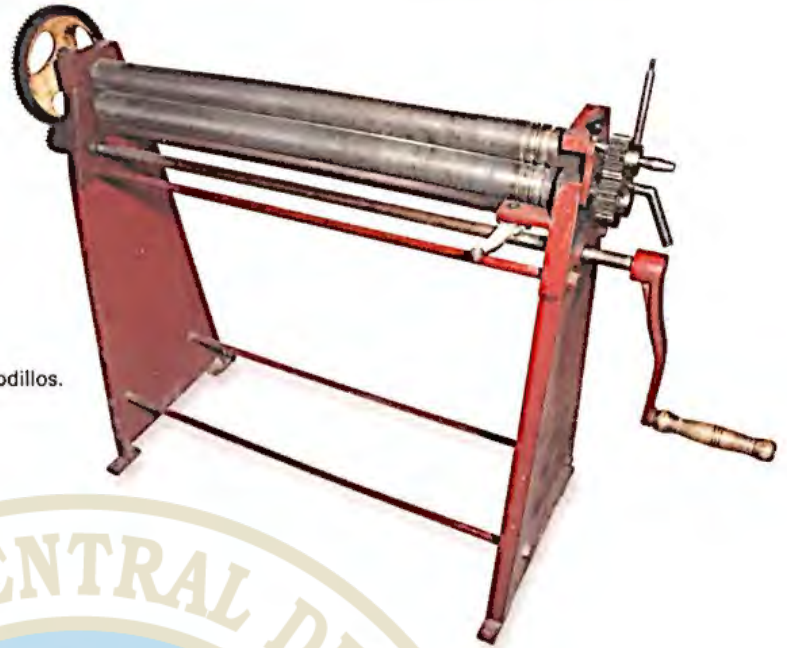
▶ Tas de curvado.

▶ Curvadora de tubos.

Curvadora de rodillos

Máquina que utiliza para curvar tres rodillos de acero muy resistentes a la flexión, accionados por una manivela que transmite un movimiento rotatorio a unos engranajes situados a los extremos de los rodillos.

Puede curvar chapa fina, hasta 1,5 mm de espesor, y varillas redondas de hasta 10 mm de espesor gracias a unas ranuras situadas a un extremo de los rodillos.



► Curvadora de rodillos.

Plegadora

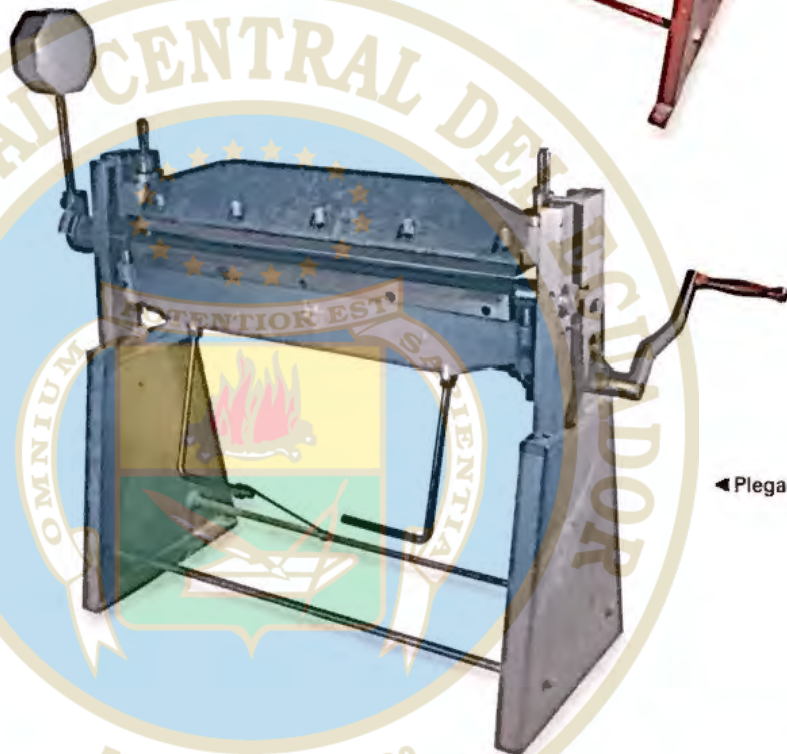
Recibe este nombre la máquina que se emplea para doblar en ángulo chapas de un espesor no superior a 1,5 mm. Para ello usa dos reglas a modo de mordazas montadas sobre una bancada que sujetan la plancha por medio de una manivela, y una tercera regla móvil que, accionada por unas palancas y ayudada por un contrapeso, presiona la chapa para conseguir doblarla con el ángulo deseado.

Dobladora de perfiles

Máquina que se utiliza para doblar en ángulo o curvar perfiles planos y redondos. Está constituida por un cuerpo robusto de acero donde se aloja el perfil para doblarlo o curvarlo, y un brazo móvil que realiza el ángulo o la curva en el perfil pivotando sobre un eje. Se acciona por medio de una palanca.

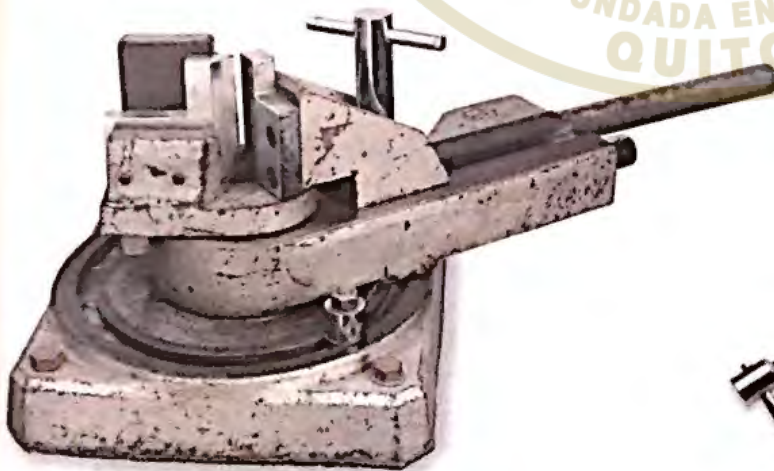
Piezas auxiliares

Se trata de elementos complementarios e intercambiables de la dobladora de perfiles que permiten realizar curvas y espirales.



◀ Plegadora.

▼ Dobladora de perfiles.



▼ Piezas auxiliares.



Para perforar y cortar

Para perforar

La acción que tiene por objeto perforar, es decir, practicar agujeros cilíndricos, se denomina taladrado. Las brocas se encargan de ello unido a la acción de la taladradora, que les transmite un movimiento giratorio continuo acompañado de un desplazamiento longitudinal de avance.

Es necesario usar gafas de protección durante la manipulación de esta maquinaria.

Las brocas

Son barras de acero templado de sección cilíndrica de diferentes diámetros. Están dotadas de un cuerpo con dos ranuras de forma helicoidal para facilitar la salida de las virutas producidas por el corte. Un extremo de la broca acaba en una punta cónica construida por dos filos de corte denominados labios. Éstos forman entre sí un ángulo determinado, normalmente de 118° , del cual depende el efecto cortante de la broca. Por lo general, cuanto más duro y tenaz es el material que se debe perforar mayor tiene que ser el ángulo formado por los labios de la broca.

Las coronas

Son accesorios de acero templado que se acoplan a la broca para realizar perforaciones de círculos con diámetros comprendidos entre 14 y 83 mm, los más usuales. Las coronas poseen una arista dentada que se encarga de realizar el corte del círculo. La broca a la que va acoplada la corona cumple la función de eje, guiando el corte siempre a la misma distancia del centro.

Taladradora portátil

Habitualmente llamada taladro, es una máquina-herramienta manual provista de un motor eléctrico que traslada un movimiento circular continuo al cabezal denominado portabrocas. El portabrocas está destinado a alojar e inmovilizar la broca o la corona. Debe mantenerlas centradas y fuertemente apretadas para que no patinen durante el taladrado.

► Taladradora portátil.



Taladradora de columna

Se trata de una máquina ideada para realizar perforaciones de precisión. Para ello, los movimientos de avance y de giro de la broca se producen de forma mecánica. Mediante una palanca se provoca un giro sobre un mecanismo que hace bajar el portabrocas en un movimiento rectilíneo de gran precisión. Posee una mesa móvil que se desplaza verticalmente sobre la columna mediante una manivela, un engranaje y una cremallera. También gira sobre el eje de la columna y se puede fijar en cualquier posición. Por último, un sistema de engranajes permite variar las revoluciones por minuto, es decir, la velocidad de giro de la broca.

Revoluciones por minuto (rpm).

Número de vueltas que una taladradora puede transmitir a una broca en un minuto. Hay que variar las rpm en función del diámetro de la broca y el material que se vaya a taladrar. En la siguiente página se reflejan algunas velocidades aproximadas para el taladrado de diferentes metales.

▲ Las coronas.



▲ Las brocas.



► Taladradora de columna.

CUADRO DE RPM APROXIMADAS
PARA LAS BROCAS SEGÚN EL METAL
QUE SE PERFORA

METALES	Ø en mm	rpm
Aceros blandos, aluminio, plomo, cinc	2	3000
	5	1600
	10	650
	15	425
	20	300
Aceros semiduros y bronce	50	125
	2	2300
	5	900
	10	450
	15	300
Acero dulce, acero inoxidable, hierro colado, latón	20	225
	50	90
	2	1600
	5	650
	10	325
	15	200
	20	150
	50	65

Corte sin desprendimiento de virutas

Se trata de un corte limpio efectuado por herramientas provistas de filos perfectamente afilados que producen un desgarramiento de las fibras del metal. Las herramientas que generan este corte son los cinceles y los buriles, que efectúan el corte por percusión, y las tijeras y las cizallas, que lo realizan utilizando un punto de apoyo entre dos filos. Conviene utilizar guantes de cuero durante la manipulación de los metales para evitar posibles cortes en las manos producidos por aristas y trozos de metal mal cortado.

Cinceles y buriles

Los cinceles, también llamados cortafíos, son útiles de corte fabricados en acero duro y templado en la punta. Tienen forma de cuña y se fabrican en distintos tamaños. Los buriles poseen una forma especial, con una arista cortante, el filo, dispuesta en sentido transversal al cuerpo. Al tener el filo sensiblemente más corto que el cincel se emplea sobre todo para abrir canales o ranuras.

Tijeras de hojalatero

Herramienta que permite efectuar cortes en chapas de grosores que no superen los 1,5 mm. Algunas poseen hojas rectas que permiten hacer, además de cortes rectos, cortes de curvas muy abiertas. Para el corte de curvas cerradas se usan unas tijeras de hojas curvadas.

Cizalla de palanca

También llamada tijeras de sobremesa, es una herramienta de gran robustez que permite el corte de chapas y pletinas gruesas, algunas consienten incluso el corte de determinados perfiles como el "T", el angular o las barras de sección redonda. Se acciona por medio de una palanca y un engranaje que multiplica la fuerza que ejercemos sobre ella, mayor cuanto más larga sea la palanca.

Cizalla eléctrica

Es una máquina portátil con un motor eléctrico que transmite un movimiento de vaivén a unas pequeñas cuchillas de acero templado. Permite el corte, recto y curvo, de chapas con un grueso no superior a 2,5 mm.

◀ Cinceles y buriles.

▼ Cizalla de palanca.

▲ Tijeras de hojalatero.

► Cizalla eléctrica.



▲ Sierras de mano.

Corte con desprendimiento de virutas

En este corte las máquinas y herramientas arrancan pequeños trozos de metal, las virutas. No provocan deformaciones en el metal y sí un corte limpio y perfecto. Algunas de las máquinas y herramientas que efectúan este corte son: las sierras de mano, la caladora, las sierras de cinta, las tronadoras y las amoladoras. Se deben utilizar gafas o pantallas transparentes para evitar que las proyecciones del material arrancado dañen los ojos, así como auriculares para proteger el oído del ruido intenso que se produce al cortar.

Sierras de mano

Se trata de herramientas accionadas manualmente. Un arco de acero sujeta y tensa una hoja de sierra, lámina de acero flexible dotada de dientes, por medio de dos dispositivos, uno a cada lado del arco, que regulan la tensión de la sierra.

Para realizar calados se usan las sierras de calar o bujir. Son sierras más estrechas y finas, algunas tanto que se las denomina sierras de pelo.

Caladora

Máquina portátil eléctrica que permite hacer cortes rápidos en línea recta o curva. Un motor eléctrico transmite un movimiento de vaivén en forma de elipse a una hoja de sierra fijada a un eje transmisor. Se puede variar la velocidad y la excentricidad del movimiento de la sierra para acelerarla en los cortes rectos y ralentizarla en los curvos. Conviene usar gafas de protección durante su manipulación.

Sierra de cinta

Máquina eléctrica de sobremesa que permite un corte continuo por medio de una hoja de sierra sin fin. Un motor eléctrico transmite el movimiento a uno de los dos volantes, situados en posición inclinada respecto del eje de corte, sobre los que va montada la hoja de sierra sin fin. Está dotada de un selector de velocidades para adecuarla a los diferentes metales. Puede efectuar cortes de 90 a 45°.

Tronzadora

En esta máquina el elemento cortante es un disco de acero dentado que va acoplado a un motor eléctrico. Motor y disco se hallan montados sobre una bancada en cuya base se sujetan las piezas para el corte. Tiene una bomba que impulsa un líquido refrigerante y lubricante hacia el disco para evitar su calentamiento y mejorar la calidad del corte. Las tronadoras permiten realizar cortes rectos o en ángulos.

Amoladoras

También llamadas radiales, son unas máquinas eléctricas portátiles que funcionan a altas revoluciones, de 6000 a 10.000 por minuto. Utilizan discos abrasivos que se van desgastando a medida que realizan el corte o el desbarbado. La acción de estas máquinas sobre los metales produce virutas en forma de chispas. Por eso es muy importante protegerse los ojos con pantallas transparentes.



▲ Caladora.



▼ Amoladoras.



◀ Sierra de cinta.



▶ Tronzadora.

Métodos especiales de corte

En este apartado se hace referencia a equipos de corte denominados especiales por que no recurren ni a la abrasión o ni al desgarrar del material para conseguir su cometido. El corte del metal se lleva a cabo a partir de cortes térmicos, mediante la tecnología de la combustión del acero en un caso, y la ionización de determinados gases mediante electricidad en otro. Se trata del **oxicorte** y del **corte por plasma**.

El equipo necesario para oxicortar el acero se compone de dos botellas (una portadora de gas acetileno o gas propano y otra de gas oxígeno) y un soplete cortador.

Para realizar el corte por plasma se necesita un generador de alta frecuencia y un equipo compresor para la aportación de aire.

En ambos casos es preciso proteger los ojos con pantallas especiales y utilizar delantales y guantes de cuero contra las proyecciones incandescentes que se producen por acción del corte.

Botellas

Recipientes cilíndricos de acero destinados a almacenar gases a altas presiones, 125 a 150 atmósferas aproximadamente. Están rematados en su parte superior por una válvula de apertura y cierre. A esta válvula se le acoplan los manurreductores encargados de adecuar la presión del gas de la botella a la presión idónea de trabajo.

Existe un código aceptado internacionalmente basado en colores que indica el gas contenido en las botellas. La botella que con-

tiene oxígeno presenta el cuerpo pintado de negro y el cuello blanco. La de acetileno, el cuerpo rojo y el cuello marrón. Todas las botellas que contengan gases a presión deben manipularse con sumo cuidado y mantenerse atadas con cadenas a la pared o a la carretilla de transporte.

Soplete cortador

Es una herramienta fabricada en latón que consta de un mango donde van alojadas tres válvulas: dos regulan el paso del oxígeno y del acetileno y la tercera regula el chorro de oxígeno extra necesario para efectuar el corte del acero. Entre las mangueras y el soplete se colocan una válvula antirretroceso, cuyo fin es impedir el paso de la llama hacia las mangueras.

Equipo de corte por plasma

Se trata de un generador de alta frecuencia que inicia un arco eléctrico entre la boquilla situada en el soplete y la pinza de masa.

En la parte frontal del equipo se aprecia un manómetro cuya función es medir la salida del aire necesario para formar el plasma. También está dotado de una perilla de control de salida de corriente ajustable de 10 a 60 amperios.

Compresor

Máquina que genera aire a presión, destinada a suministrar al equipo de corte el aire necesario para crear el chorro de plasma.



▲ Equipo de corte por plasma.

◀ Vista trasera del equipo de corte por plasma donde se aprecian el interruptor de corriente y el caudalímetro de entrada del aire.



► Aspecto de la torcha de corte por plasma y de la pinza de masa.



► Compresor de aire desplazable sobre ruedas.



▲ Botellas de oxígeno (izquierda) y de acetileno debidamente sujetadas.

► Soplete cortador colgado de su soporte.



Equipos de soldadura

Equipos para la soldadura blanda

Los equipos de soldadura blanda se utilizan para fundir metales de aportación a temperatura inferior a 425°C . Hay que tomar precauciones al realizar una soldadura blanda y, en general, cualquier soldadura a fin de evitar posibles quemaduras por contacto con las piezas soldadas o con algunos elementos del equipo.

Soplete de gas y soldador eléctrico

Estas herramientas se utilizan para calentar el metal base a la temperatura suficiente para que se funda el metal de aportación y se produzca la soldadura. La aportación de calor se produce por medio de una resistencia eléctrica en un caso y una llama en el otro.



▼ Equipo de soldadura oxiacetilénica.

▲ Soplete de gas y soldador eléctrico.



Equipo para la soldadura oxiacetilénica

El equipo de soldadura oxiacetilénica, también llamado equipo autógeno, se utiliza para fundir metales con un punto de fusión superior a 425°C . Este procedimiento utiliza como fuente de energía el calor producido por la combustión de una mezcla de gases, generalmente acetileno y oxígeno, pero también propano y oxígeno.

Como medida de seguridad se atan las botellas con cadenas a la pared, o a la carreta de transporte, para evitar caídas fortuitas. Asimismo, hay que emplear pantallas de protección ocular, guantes y mandil de cuero al soldar para evitar posibles lesiones.

Equipo de soldadura oxiacetilénica

Está formado por dos botellas que contienen gases a presión (acetileno y oxígeno), dos manureductores que indican la presión de gas y la disminuyen a presión idónea de trabajo, las mangueras transportadoras del gas desde las botellas al soplete y, por último, el soplete encargado de efectuar la mezcla de gases y realizar la combustión.

Válvulas de apertura y cierre y manureductores

Los manómetros indican la presión de gas. Uno muestra la del interior de la botella y el otro la de trabajo.

Soplete

Consta de un mango que se adapta a la mano y dos válvulas que regulan el paso de los gases hacia la lanza. Al final de la lanza se sitúa la boquilla.

Mesa de trabajo

Superficie de ladrillo refractario sobre la que se colocan los metales para soldar.

Gafas y pantallas

Elementos de protección ocular contra la luz intensa y las proyecciones producidas por la soldadura.



▲ Válvulas de apertura y cierre y manureductores.

▼ Mesa de trabajo.



◀ Soplete.



▲ Boquillas intercambiables.



▼ Gafas y pantallas.



Equipo de soldadura por resistencia

El equipo de soldadura por resistencia, también llamado soldador por puntos, se utiliza para soldar por presión piezas de metal solapadas. Las asas de algunos útiles de cocina como las ollas de acero inoxidable o las sartenes, por ejemplo, están soldadas mediante esta soldadura.

Soldador por puntos

Está constituido por un transformador que reduce la tensión de la red y un temporizador que regula la duración de la descarga eléctrica según el grueso del metal que se vaya a soldar. El transformador está acabado en dos brazos de cobre dotados cada uno de un electrodo, también de cobre, entre los que se colocan y quedan presionadas las piezas que se desea soldar. Por ellos pasa la descarga eléctrica controlada por un interruptor.

► Soldador por puntos.



Equipos para la soldadura con electrodo revestido

La soldadura eléctrica con electrodo revestido es la más utilizada en trabajos con metal. Se emplea para unir metales de igual o parecida naturaleza, recurriendo al calor producido por un arco eléctrico mantenido entre el electrodo y la pieza. A su vez, el electrodo aporta también el material extra necesario para unir. Esta soldadura conlleva unos riesgos relacionados con el uso de la corriente eléctrica y de las quemaduras. Es muy importante protegerse contra las radiaciones ultravioleta y las proyecciones con pantallas especiales para los ojos y la cara. También hay que usar guantes y mandil de cuero y botas de seguridad aislantes. En definitiva, debe cubrirse todo el cuerpo antes de soldar.

Soldador de clavijas y soldador inverter

Los equipos eléctricos de soldadura consisten en transformadores que modifican la corriente de la red de distribución en una corriente, alterna o continua, de tensión más baja, pudiendo regular la intensidad de la corriente de soldadura dependiendo del trabajo. El soldador de clavijas es un transformador de corriente alterna que permite regular la intensidad de trabajo por medio de una serie de clavijas situadas en su parte superior. El soldador inverter es un transformador convertidor de frecuencia.

Los dos equipos de soldar mencionados tienen acoplados los elementos que constituyen el circuito de soldeo: la pinza portaelectrodos y la pinza de masa.

Pinza portaelectrodos y pinza de masa

La pinza portaelectrodos consiste en un mango hueco de fibra y un gatillo aislado con fibra que acciona por presión las mandíbulas de la mordaza de cobre. Se utiliza para unir el electrodo al cable de conducción de la corriente para soldar. La pinza de masa sujeta el cable de masa a la pieza que se va a soldar asegurando un buen contacto entre ambos.

Piqueta y cepillo de púas de acero

Son herramientas adecuadas para la limpieza de las piezas soldadas. La piqueta es un martillo con las puntas endurecidas y afiladas. Se usa para picar la escoria producida por el electrodo revestido al soldar. El cepillo de púas de acero se utiliza para limpiar el cordón de soldadura de restos de escoria. Es conveniente usar gafas transparentes cuando se usen estas herramientas.

Pantallas de soldadura

Son accesorios de protección facial imprescindibles para soldar. Protegen los ojos y la cara de posibles lesiones y quemaduras producidas por las emanaciones luminosas, radiaciones ultravioleta y proyecciones de partículas debidas al propio arco eléctrico.

El elemento principal de las pantallas de soldadura es un vidrio inactínico que atenua el destello y filtra las irradiaciones del arco eléctrico. En algunas pantallas el vidrio es regulado electrónicamente, lo que facilita la tarea de soldeo.

Equipo para la soldadura semiautomática MIG y MAG

La soldadura semiautomática MIG/MAG es el procedimiento de soldadura al arco voltaico que ofrece más comodidades al soldar gracias a su fácil manejo. Se trata de una soldadura semiautomática. Este procedimiento se caracteriza porque el electrodo es un hilo de metal, suministrado en forma de bobinas, aportado automáticamente por el mismo equipo de soldadura en la operación de soldeo. La utilización de atmósfera protectora de argón (procedimiento MIG) o de anhídrido carbónico o mezcla de gases (procedimiento MAG) es otra de sus características. Se requiere utilizar un equipo de protección personal (pantallas especiales de protección facial, guantes y delantal de cuero) y soldar siempre con todo el cuerpo cubierto.

Equipo de soldadura MIG/MAG

Por lo general, se trata de un rectificador de potencial constante, o sea, un generador que suministra la corriente necesaria para la fusión del hilo de aportación sin que se produzcan grandes variaciones de longitud del arco voltaico. El gas protector se suministra en botellas a presión marcadas con un código de colores que indica el gas que contienen. Un manurructor regula el caudal de gas aportado en la soldadura. En la parte frontal del equipo hay una serie de conmutadores que ajustan la velocidad de aportación del hilo, la corriente y el tipo de soldadura (normal, puntear, intervalos y puntos).

Bobina de hilo y dispositivo de arrastre del hilo

La bobina de hilo metálico está situada dentro o junto a la caja del equipo sobre un eje que gira libremente. El hilo pasa a través de unos rodillos que constituyen el dispositivo de arrastre, el cual se pone en acción al pulsar el gatillo en la pistola de soldar.

▲ ► Soldador inverter y soldador de clavijas.

◀ Piqueta y cepillo de púas de acero.

▼ Pinza portaelectrodos y pinza de masa.

▼ Pantallas de soldadura.

Pistola de soldadura

Consta de un cuerpo aislante y resistente al calentamiento que recibe todas las canalizaciones (la del gas protector y la del hilo metálico) y las dirige hacia la boquilla. Ésta, a su vez, dirige el chorro de gas hacia la zona de la soldadura que hay que proteger. El hilo también es dirigido hacia la misma zona por el tubo de contacto, fabricado en cobre, el cual transmite la corriente eléctrica al hilo por contacto con el cable de pinza. Para soldar, la pistola de soldadura posee un gatillo que acciona el interruptor que da paso a la corriente, al hilo y al gas de protección.

Equipo de soldadura TIG

El sistema de soldadura TIG se usó en un principio para unir piezas de acero inoxidable sobre todo, y de otros metales de difícil soldadura. Con los años se ha ido introduciendo para realizar soldaduras en cualquier metal. Se caracteriza por la utilización de un electrodo de tungsteno prácticamente infusible, cuyo fin no es aportar material a la soldadura sino formar un arco voltaico muy estable bajo atmósfera de gas protector, normalmente argón puro. Con este procedimiento se pueden soldar casi todos los metales utilizados en la industria. Además, el proceso de soldado se desarrolla sin proyecciones, humos ni chispas.

Es muy importante usar las medidas de protección personal necesarias para evitar posibles lesiones en los ojos y la piel.

Equipo soldador inverter

El soldador inverter es un transformador convertidor de frecuencia. Convierte la corriente de la red en una corriente ideal de soldadura. Está dotado de un conmutador para regular la intensidad de corriente (amperios) en función del metal que se va a soldar. Al soldador va conectado el cable de masa y el cable de la torcha. Este equipo en particular no regula el suministro de gas protector, sino que éste va directamente de la botella a la torcha. En otros equipos de soldadura TIG, en cambio, el aporte de gas sí es regulado por la máquina.

Torcha

Es el cabezal donde va alojado el electrodo de tungsteno. En un extremo tiene una boquilla de cerámica refractaria que hace de difusor del gas protector. La torcha regula la aportación del gas protector en la zona de soldado y también conecta el electrodo con el cable suministrador de corriente eléctrica.

Botella de gas

El gas utilizado como atmósfera protectora del arco voltaico en el procedimiento TIG es el argón puro (99,9 %). La botella de argón puro se indica con color amarillo en la ojiva y negro en el cuerpo, según el código aceptado internacionalmente para la clasificación y el transporte de gases. Un manurréductor y un caudalímetro controlan la aportación de gas en la soldadura.

◀ Equipo de soldadura MIG/MAG.



▲ Bobina de hilo de acero bañado de cobre y dispositivo de arrastre.



▼ Equipo soldador inverter.



► Torcha de soldadura TIG.



◀ Pistola de soldadura del procedimiento MIG y MAG.

▼ Botella de gas protector utilizado en el procedimiento TIG, en este caso de argón.



Equipo y herramientas para la forja

Para realizar trabajos de forja se necesitan pocas herramientas: un hogar para el fuego donde calentar el metal para forjarlo, unas tenazas con las que sujetar la pieza caliente, un yunque y un martillo para darle forma una vez calentado y un tornillo de herrero como ayuda para realizar maniobras especiales que complementen el conformado de la pieza. Sobre estas herramientas básicas trata el presente apartado. Con el tiempo, todo aquel que le dedique esfuerzo a la forja se construirá, en función de la pieza que necesite realizar, sus propias herramientas. En cualquier caso, hay que trabajar siempre equipados con vestuario de seguridad (mandil, guantes de cuero y botas de protección) para evitar sufrir quemaduras producidas por el metal caliente.

Instalación fija

Equipo de fragua

Está formado por una base levantada del suelo, llamada hogar, recubierta de ladrillo refractario donde se quema el carbón y se caldean las piezas de metal. Un ventilador, habitualmente accionado por un motor eléctrico y situado debajo del hogar, suministra aire con regularidad al fogón del hogar para avivar el fuego. Y una campana extractora conectada a una chimenea aspira los humos y gases producidos por la combustión del carbón. Al lado de la fragua se sitúa la carbonera, aunque muchos talleres de forja depositan ésta en el exterior para aprovechar mejor el espacio de trabajo, pero esto no siempre es posible. El equipo de fragua lo complementan un atizador para reagrupar las brasas y un recipiente con agua para rociar el carbón o enfriar alguna parte de la pieza calentada.



▲ Equipo de fragua.

Los yunques se colocan sobre bases robustas y muy estables, normalmente de madera de roble, que absorben los golpes y reducen el efecto de rebote.

Herramientas

Yunque

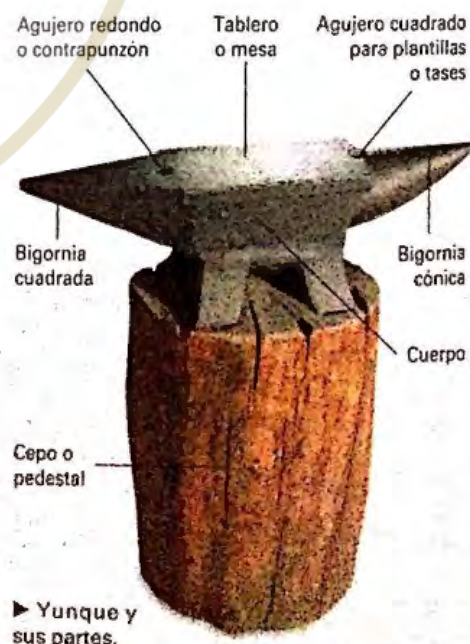
Es el elemento más popular del taller de metal en general, y del taller de forja en particular. Herramienta imprescindible que consta de un bloque de hierro macizo al que se le ha soldado un tablero de acero endurecido sobre el que se realizan las operaciones de conformado golpeando con martillos. Este tablero, base del yunque, presenta dos agujeros cuya función es alojar accesorios de conformado y servir para operaciones de punzonado. Posee dos puntas características llamadas **bigornias** una cónica y otra cuadrada o piramidal, sobre las que se realizan trabajos de estirado, curvado o doblados.

Martillos de bola y de peña

Herramientas muy utilizadas en labores de conformado en frío o en caliente. Ambos son habituales en la forja. Los martillos de bola poseen un extremo casi esférico y los de peña, un extremo en forma de arista redondeada. Su peso oscila entre 500 y 2000 g dependiendo del trabajo que se realice.

Tornillo de herrero

También llamado tornillo de fuego, es el elemento de sujeción más utilizado en labores de forja. Se trata de una herramienta robusta, que resiste trabajos realmente fuertes. Está construido en acero forjado y templado para que pueda soportar grandes esfuerzos.





▲ Tornillos de herrero.



▲ Martillos de bola y de Peña.

Consta de una mordaza móvil que se separa de otra fija por medio de un muelle laminado. La mordaza móvil realiza un movimiento circular pivotando sobre una articulación en la parte inferior del tornillo. Las superficies de sujeción de las mordazas no son paralelas entre sí, debido a lo cual en grandes aberturas no sujetan bien las piezas. Normalmente, los tornillos de herrero se instalan a las patas de un banco de trabajo por medio de tornillos y abrazaderas. Otras veces se crean dispositivos especiales para su instalación, de forma que exista espacio libre alrededor de los tornillos, facilitando así el trabajo con piezas de gran tamaño.

► Tenazas.



Tenazas

Herramientas esenciales en las labores de forja. Indispensables para manipular las piezas metálicas calentadas por el fuego, permitiendo introducirlas, girarlas o sacarlas de las brasas y manipularlas sobre el yunque cuando la temperatura o el tamaño lo impide con las manos. Sobre todo son necesarias cuando se trabajan piezas pequeñas. Las forman dos barras articuladas por un perno que las divide en dos partes: los brazos, por donde se sujetan las tenazas con las manos, y las pinzas, llamadas también garras, mordazas o quijadas. Las pinzas adoptan formas diversas para adaptarse mejor a los diferentes perfiles y sujetar con firmeza las piezas que se están forjando. Pueden ser planas, redondas, acanaladas, acodadas, de caja, etcétera.

Para acabados

Limas

Las limas se emplean para eliminar las rebabas producidas por el corte, crear piezas aprovechando su diversidad de formas o para igualar superficies. Son barras de acero templado acopladas a un mango de madera y dotadas de pequeños dientes que cortan el material. Las limas se distinguen y denominan según su forma y longitud y su picado o relieve. La operación de limado se produce al deslizar y ejercer presión con la lima sobre una superficie. Esta operación se divide en tres fases: una primera de desbastado, usando limas de picado basto que arranca grandes limaduras y produce rayas en la superficie limada, una segunda de afinado, utilizando limas de picado entrefino que elimina las rayas provocadas por el desbaste, y una tercera de pulido o acabado de la pieza, que se realiza con suavidad, procurando rellenar de tiza la superficie de la lima y no ejercer mucha presión sobre ella.



▲ Un buen surtido de limas es imprescindible en un taller de metal.

SECCIÓN TRANSVERSAL DE LAS LIMAS



Triangular (A), cuadrada (B), plana (C), de cuchillo (D), media caña (E) y redonda (F).

▼ Posición correcta de limado.

◀ Ejemplo de picado basto y picado fino en limas planas.

Posición correcta de limado

La parte redonda del mango de la lima se apoya contra la palina de una mano y con la otra se sujeta el extremo metálico de la lima. Así, se ejerce sobre ésta una presión uniforme. El corte y arranque de material se produce en el sentido de avance. La presión en el retroceso debe ser apenas perceptible para minimizar el rozamiento. El cuerpo debe intervenir en el movimiento de avance del limado a fin de disminuir el cansancio prematuro de los brazos.



Máquinas y accesorios para acabados

Los procesos de lijado y pulido posterior de las superficies metálicas pueden realizarse a mano o bien sirviéndose de máquinas. Éstas aceleran el proceso y alivian el esfuerzo del trabajo, sobre todo en superficies grandes. Por el contrario, el trabajo a mano facilita el acceso a los rincones donde no se puede llegar con máquinas. Los accesorios que se usan para ambos casos son de naturaleza similar, simplemente se ha adaptado su diseño en función de la manera de usarlos, a mano o para ir acoplados a las máquinas.

Algunos sirven para matizar y suavizar superficies pulidas y otros para lijar y pulir las superficies rayadas. Todos ayudan a embellecer las piezas, proporcionando excelentes acabados de muy diferente naturaleza.

Lijadora rotorbital

Se trata de una máquina portátil que se usa para lijar y matizar superficies lisas. Un motor eléctrico transmite un movimiento circular al plato, que puede ser de forma circular o rectangular, donde va acoplado el disco de lijar por medio de unos tejidos autoadherentes (velcro). Esta máquina realiza un trabajo sutil sobre el metal.

Lijadora de banda

Igual que la lijadora rotorbital, la lijadora de banda se utiliza para lijar superficies lisas. Su motor eléctrico transmite un movimiento continuo a la lija. Esta máquina puede realizar un trabajo de desbaste sobre el metal al ser más potente que la rotorbital.



◀ Telas de esmeril de diferente grano.



▲ Lana de acero y estropajo.



▶ Lijadora rotorbital rectangular.



▲ Lijadora rotorbital de forma circular.



▲ Esta lijadora es una variante formal, muy práctica, de las rotorbital de plato circular y rectangular.



▲ Lijadora de banda.



▶ Bandas y discos para lijadoras de banda y rotorbital.



◀ Plato de caucho, discos de pulir y discos mithojas de distinto grano para acoplar a la amoladora.



▲ Mithojas de distinto grano y cepillos de púas de acero y de latón para acoplar a la máquina de taladrar.

El taller: recomendaciones de seguridad

En el taller de metal se usan materiales, máquinas y herramientas que exponen a situaciones de riesgo a sus usuarios. El conocimiento de los peligros que comportan el uso de estos medios ayuda a evitar accidentes. Una persona informada está menos expuesta a sufrirlos pues pone más atención en su empleo y utiliza sistemas de prevención.

Orden y limpieza

Son dos aspectos esenciales para que el taller sea un espacio de creación eficiente donde resulte posible trabajar con comodidad, libre de situaciones de riesgo.

Las herramientas manuales de uso habitual como martillos, alicates, destornilladores,

escuadras, tijeras de hojalatero, etc., deben mantenerse ordenadas en soportes que faciliten su utilización, de forma que una vez usadas se vuelvan a depositar en el sitio destinado para ellas.

Los recipientes para almacenar temporalmente los recortes de origen metálico deben mantenerse ordenados y limpios, pues ello facilita su reutilización o reciclaje para futuros trabajos.

También debe existir una zona donde depositar y almacenar chapas metálicas o cualquier perfil susceptible de ser utilizado en algún proyecto de manera inmediata. Conviene evitar el almacenamiento compulsivo que sature estas zonas y almacenar sólo en función de proyectos a corto plazo.



▲ Los bidones son muy prácticos para almacenar perfiles largos y restos para reutilizar.

► Las herramientas de uso habitual deben ordenarse cerca del espacio de trabajo y en soportes que faciliten su utilización.

► Es importante destinar una zona del taller al almacenamiento de chapas y recortes.



El empleo de las máquinas

En el taller de metal son imprescindibles las máquinas eléctricas de uso manual, por ejemplo las amoladoras, taladradoras, lijadoras o sierras eléctricas. No obstante, su uso sin la debida precaución es causa con frecuencia de accidentes graves.

En general, al trabajar con máquinas eléctricas hay que observar algunas medidas de cautela por muy obvias que parezcan. Por ejemplo, nunca se debe usar una máquina que tenga el cable de alimentación eléctrica defectuoso. Tampoco desenchufar los aparatos eléctricos tirando del cable, siempre se tira directamente del enchufe, ya que podría provocar defectos en su interior o saltar a la cara del usuario.

De la misma forma, nunca hay que manipular máquinas eléctricas que se han mojado accidentalmente ni trabajar con ellas en exteriores en caso de lluvia o cuando alguna parte del cuerpo del usuario esté en contacto con agua. Debe trabajarse con el cuerpo aislado de tierra.

► Aparte de la inmovilización de las piezas, es importante que las máquinas tengan colocados correctamente los protectores de seguridad contra la proyección de partículas incandescentes.

Sujeción de las piezas

Cuando se realizan trabajos de corte, amolado, lijado o taladrado de piezas, éstas deben inmovilizarse por medio de elementos de sujeción. Así, se evitan accidentes debidos a movimientos bruscos o caídas provocados por la potencia y velocidad de rotación de algunos aparatos eléctricos.

► Las máquinas fijas como las tronadoras o las sierras de cinta incorporan una mordaza unida al aparato que inmoviliza las piezas objeto del corte.



◀ Es imprescindible fijar firmemente las piezas en el momento del corte o desbarbado con amoladoras, con un sargento o por medio de un tornillo de banco, por ejemplo, con el fin de evitar movimientos incontrolados de las mismas que podrían provocar accidentes.



Protección personal

Uno de los aspectos más importantes de la seguridad en el taller es la protección personal. El trabajo con máquinas que incorporan elementos de rotación o vaiven a gran velocidad provoca desprendimientos de las piezas metálicas. Éstos resultan proyectados a mucha velocidad en diversas direcciones, pudiendo causar accidentes de diferente índole.

Como medida de precaución, conviene protegerse de cualquier proyección derivada del uso de máquinas en trabajos de amolados, ya sea de cortes mecánicos o bien de los producidos por la fusión del metal.

En general, es conveniente usar un delantal o mandil de cuero que evite el contacto del cuerpo con posibles proyecciones, ya sean virutas derivadas de acciones de corte o pulido, o partículas incandescentes derivadas de operaciones de soldeo o de desbarbado.

También es necesario usar sistemáticamente guantes de cuero en acciones de soldeo, desbarbado, corte con radial y oxicorte para evitar quemaduras por contacto con las proyecciones o con las piezas recién tratadas.

Además, hay que resguardar la cara y los ojos de las proyecciones por medio de pantallas transparentes y gafas de protección.

Otro elemento de protección de uso individual imprescindible es el calzado de seguridad; éste evita golpes fortuitos gracias a su puntera de hierro.

Por último, se recomienda usar cascos o tapones de espuma contra el ruido que producen las máquinas y las herramientas sobre las piezas metálicas.

► Conviene actuar debidamente protegidos contra el ruido y las proyecciones derivadas del uso de máquinas eléctricas.

▼ Pantalla de protección facial y ocular y gafas de protección contra proyecciones.

◀ Pantallas de protección facial y ocular, mandil y guantes de cuero y calzado de seguridad.

▼ Auriculares y tapones de espuma para la protección personal contra el ruido intenso.



Protección ante operaciones de soldeo

El trabajo con equipos de soldeo implica riesgos de accidente derivados del uso de la corriente eléctrica, quemaduras, incendio y explosiones. También existen riesgos de carácter higiénico como la exposición a radiaciones ultravioleta o a humos y gases tóxicos.

Hay que prevenir los riesgos usando equipos que se encuentren en buen estado, con pinzas portaelectrodos que sujeten firmemente el electrodo y cables en perfectas condiciones de uso y que mantengan buen contacto.

También es necesario proteger los cables de soldeo contra las proyecciones incandescentes derivadas de los procesos de soldadura.

Asimismo, es recomendable eludir el soldeo de metales que hayan contenido productos inflamables para evitar riesgos de incendios.

Las radiaciones ultravioleta son producidas por el arco voltaico y pueden provocar lesiones en los ojos por una exposición prolongada. Es preciso emplear pantallas de protección facial y ocular con filtro de vidrio inactínico, cuyas características varían en función de la intensidad de corriente utilizada.

Las operaciones de soldeo se deben realizar con una óptima ventilación para evitar la inhalación de gases derivados del arco eléctrico.

La retirada de la escoria en el soldeo con electrodo revestido se lleva a cabo con gafas para impedir el contacto con la misma.

Nunca hay que sustituir los electrodos con la mano sin guante, ya que existe riesgo de contacto eléctrico.



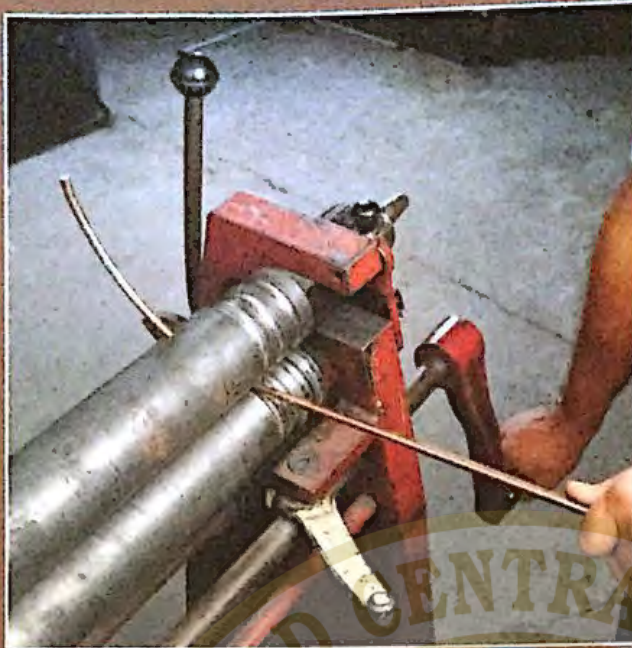
▲ Pantallas de protección facial y ocular con vidrios inactínicos que protegen los ojos y la piel de la cara de posibles quemaduras provocadas por radiaciones lumínicas y ultravioleta que produce el arco voltaico.



▲ Gafas y pantalla de protección para operaciones de oxígeno y soldeo oxígeno.



▲ En las operaciones de soldeo por arco voltaico es conveniente protegerse perfectamente contra las proyecciones incandescentes, así como de las radiaciones ultravioleta y lumínicas.



continuación se muestran algunas de las técnicas consideradas básicas en el trabajo con metales y aleaciones. Se ha considerado relevante explicar aquellas que no requieren excesivos alardes tecnológicos, aparte de los estrictamente necesarios como algunos procesos de corte o de soldeo. La intención es mostrar y enseñar técnicas que permitan crear objetos mediante la utilización de las herramientas explicadas con anterioridad.

Finalmente, debe recordarse que hay que emplear siempre todas las medidas de seguridad derivadas del trabajo con máquinas eléctricas y equipos de gases comprimidos, así como la protección personal necesaria en cada caso.

Técnicas *básicas*



Para cortar

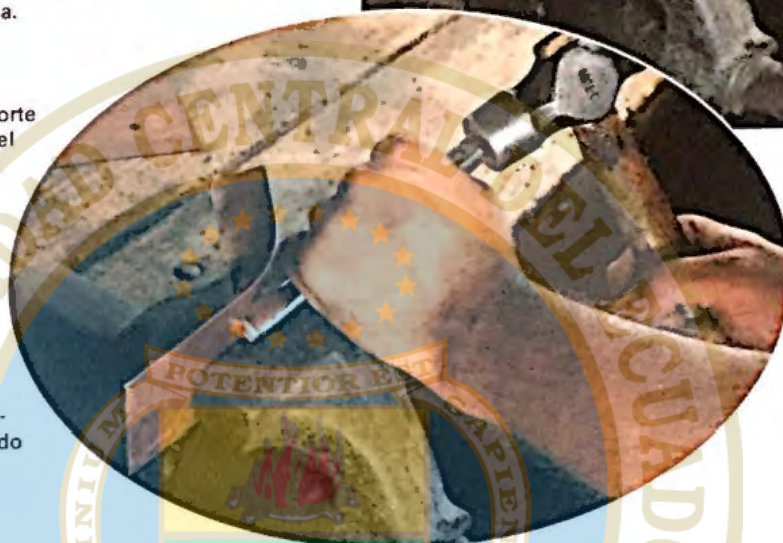
Corte con cincel

Una de las propiedades de los metales es la cizallabilidad, es decir, la posibilidad de ser divididos en partes mediante herramientas de corte y sin provocar desprendimiento de virutas. El cincelado, o sea, el corte con cincel, se emplea para trocear chapas o perfiles de pequeño espesor. El cincel actúa como la cuchilla móvil de una cizalla, ejerciendo presión contra el metal sobre las mordazas del tornillo. El corte con cincel se ejecuta por martilleo.

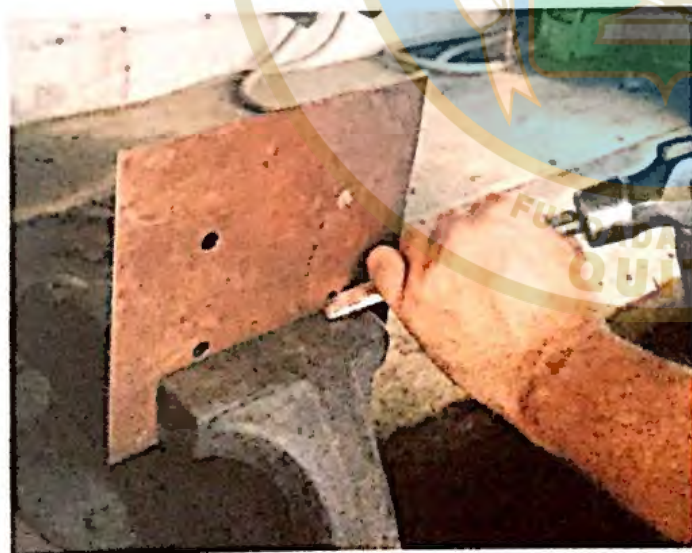
Troceado de una chapa con cincel

► 1. Tras situar la chapa objeto de corte entre las mordazas del tornillo de banco de manera que quede bien sujeta, se coloca el filo del cincel algo inclinado respecto a ella.

► 2. A continuación se efectúa el corte al avanzar el cincel por la acción del martilleo. Es importante realizar toda la operación de corte sobre la superficie de las mordazas del tornillo para asegurar un corte recto. Para chapas largas se puede ir desplazando la chapa a medida que el corte llega al final de la mordaza, o colocar dos angulares largos cara a cara entre las mordazas, de forma que atrapen la chapa y permitan realizar el corte en toda su longitud (como se explica en el apartado dedicado al doblado sobre tornillo).



Calado con cincel



▲ 1. Para realizar un calado con cincel primero se practican unos agujeros con taladro en la chapa; de esta manera, no se estropea el filo del cincel. Un agujero indica el inicio y otro el final del corte, es decir, dos es el número mínimo de agujeros para realizar un corte en un calado.



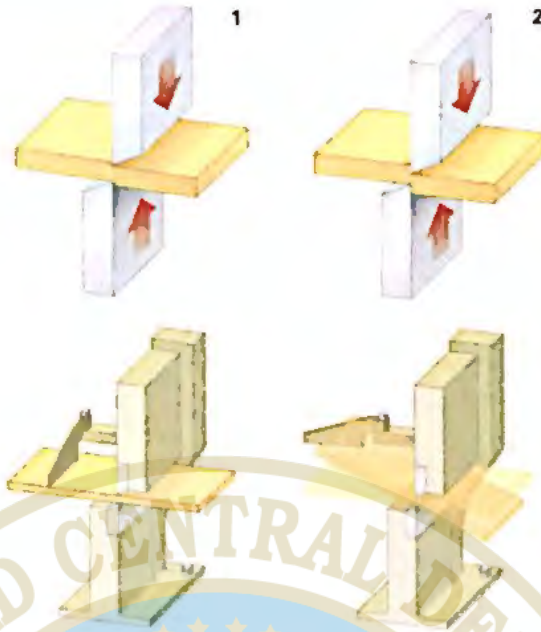
▲ 2. El martilleo se realiza desde un agujero hasta el siguiente, volteando la pieza a medida que se acaban los cortes. Al finalizar el calado se aplana la chapa sobre el yunque, o sobre un tas plano, y se repasan los bordes con una lima para eliminar las marcas producidas por el cincelado.

Cizallado

A la acción y efecto de seccionar un metal mediante dos cuchillas de aristas vivas que se deslizan una contra la otra lo llamamos cizallado. Las cuchillas ejercen presión sobre el metal comprimiéndolo y provocando la rotura de sus fibras por el esfuerzo de tracción. Las fibras se endurecen, pierden elasticidad y se rompen.

Las herramientas que se utilizan para cizallar los metales son: las tijeras de hojalatero y las cizallas, ya sean de sobremesa, manuales o industriales. Su uso depende del metal y del grosor del mismo. Por ejemplo, para cizallar una chapa de acero inoxidable de un grosor de 1,5 mm, metal muy duro, empleamos la cizalla de palanca a fin de multiplicar el esfuerzo que debemos realizar. Sin embargo, una chapa del mismo grosor pero de cinc la podemos cizallar sin esfuerzo con unas tijeras de hojalatero.

Las tijeras de hojalatero y la cizalla de palanca son muy comunes en los talleres donde se trabaja con metales. En general, la técnica operatoria es la misma para ambas herramientas. La cizalla de palanca permite cortar chapas y perfiles metálicos de manera cómoda y sin desprendimiento de viruta.



◀ 1. Los empujes que ejercen las cuchillas sobre la chapa metálica provocan una compresión de las fibras y un corte parcial.

◀ 2. Las fibras son sometidas a un esfuerzo de tracción; se endurecen por acritud y acaban rompiéndose.

◀ ▼ Debemos realizar los cortes en la cizalla con el tope colocado de manera que evite la inclinación de la chapa por acción de la cuchilla móvil. Si esto no fuera posible debido a que el tope dificulta la visión de la línea de corte, sujetaremos la chapa firmemente con la mano enguantada.

Si realizamos el corte sin colocar el tope o sujetar con la mano la chapa, ésta hace cuña entre las cuchillas y deforma el cuerpo de la cizalla.

Debido a esta deformación las cuchillas quedan separadas una de la otra, imposibilitando el corte.



◀ Para cortar círculos de chapa con la cizalla de palanca debemos realizar cortes tangentes a la curva. En las chapas largas, los cortes tienen que ser cortos y no sobrepasar la medida de las cuchillas, ya que si hiciéramos el corte con toda la cuchilla produciríamos marcas importantes en la chapa. Todas las cizallas de palanca poseen un orificio especial para el corte de perfiles de sección redonda y algunas pueden cortar perfil T y perfil L.



◀ Ares, *Un petit pas*, 1999 (11,5 x 9 x 9 cm). En esta obra de latón, los cortes en las alas se han practicado con una tijera de hojalatero.

Corte con sierras

Las sierras producen el corte con desprendimiento de virutas. Las hojas de sierra se colocan en el arco con los dientes apuntando hacia delante. Cada sierra tiene un paso o grado de corte, o lo que es lo mismo, un número de dientes por cada centímetro lineal. Es importante elegir la sierra en función del metal. Por ejemplo, para los metales duros como el acero inoxidable se usa una sierra con el paso pequeño, pero para cortar aluminio, material sensiblemente más blando que el acero, se emplea una sierra con el paso más grande. En estas operaciones es importante proteger los ojos de las proyecciones de virutas y los oídos del intenso ruido emitido al cortar.

► Al iniciar un corte manual, la sierra debe formar un pequeño ángulo con la superficie de la pieza. Si al inicio de un corte se apoya toda la hoja de sierra sobre la pieza, sólo se consigue que resbale, y además, se provocan con ello multitud de rayas. Las sierras únicamente cortan en la carrera de avance y en el retroceso no hay que ejercer presión sobre ellas, pues se desgastarían o se romperían los dientes. Conviene trabajar con el máximo recorrido de la sierra y utilizar toda la longitud posible de su hoja para evitar el desgaste de tan sólo la parte central.



▲ Durante el aserrado hay que procurar que se mantenga siempre la misma dirección y no torcer lateralmente la sierra, ya que podría romperse la hoja.

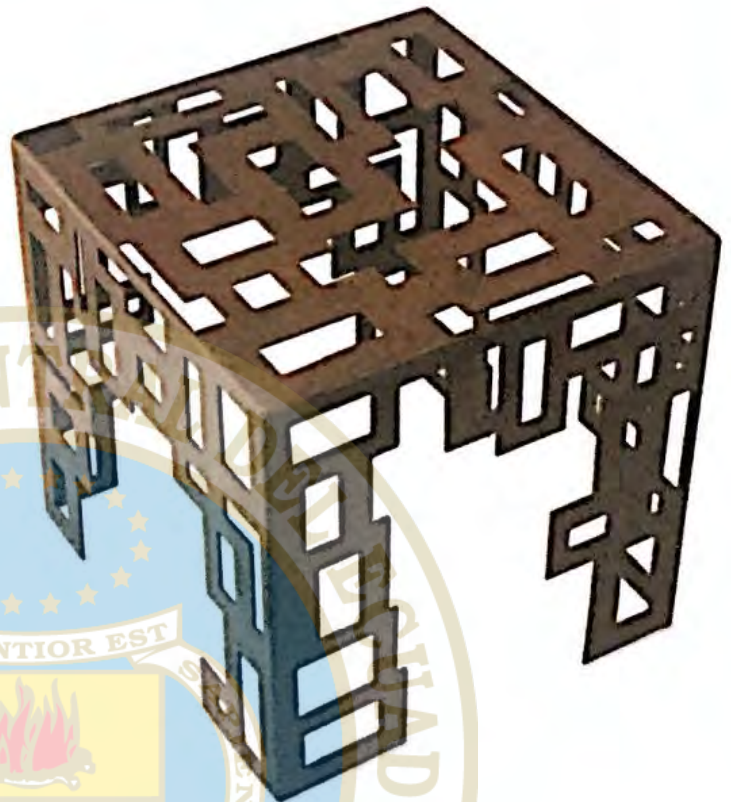
Los arcos de sierra tienen dos posiciones de trabajo: una es la más habitual, con los dientes paralelos al arco; la otra es menos usual pero muy práctica. Los dientes de sierra se colocan perpendiculares al arco, de manera que éste no molesta al practicar cortes largos. En ambos casos se sostiene el arco de sierra con las dos manos, por el mango y el otro extremo como en las limas, para mantener la dirección y evitar torceduras que podrían romper la hoja.

◀ Para iniciar un calado con la sierra de calar eléctrica es muy importante separar los dientes de la hoja de sierra del borde de la pieza. De lo contrario, se podrían producir sacudidas bruscas por el movimiento de vaivén de la sierra al encender la máquina, al estar en contacto la sierra y la pieza en el instante del encendido. Una vez arrancada la máquina se corta de forma lenta, suavemente, sujetando la máquina firmemente con las dos manos.



◀ Al realizar giros o cortes en redondo conviene no actuar con brusquedad, y liberar de material la zona con cortes rectos de manera que cada vez queden trozos más pequeños y más fáciles de eliminar con la sierra eléctrica. Como medida de seguridad se utilizarán gafas de protección y auriculares para el ruido estridente que se provoca al cortar.

▼ Escultura de hierro calado, Ares, *Des de l'interior*, 2000 (25 × 25 × 25 cm).



Corte con sierra de cinta y tronzoadora

Debemos cuidar la posición de los perfiles al cortarlos con sierras mecánicas como la sierra de cinta, o con discos de acero dentado como la tronzoadora. Una colocación incorrecta puede favorecer el deterioro de las máquinas y provocar desprendimientos y roturas de dientes y sierras.

Es muy importante que exista un buen ángulo de entrada entre el disco o la sierra y la arista del perfil laminado. También hay que aplicar la velocidad de corte correcta para cada material recomendada por el fabricante de la máquina. De esta manera, aseguramos un buen funcionamiento y una larga vida de las sierras de cinta y las tronzoadoras.

Posición correcta para el corte de perfiles laminados.

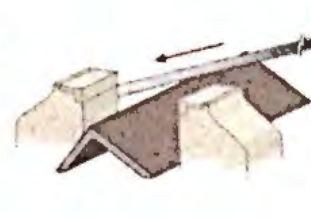
▼ Mostramos en este esquema, de manera orientativa, las diferentes posiciones de los perfiles con respecto al movimiento de avance de las sierras y los discos.

Incorrecto

Correcto

Incorrecto

Correcto



Oxicorte

El proceso de oxicorte se basa en la combustión de determinados metales en presencia de oxígeno. Es un procedimiento destinado al corte de metales férreos, ya que no todos reúnen las condiciones necesarias que permitan oxicortarlos. El acero a temperatura ambiente no es combustible, pero si elevamos su temperatura a la temperatura de ignición, por encima de los 900 °C, y le aplicamos un chorro de oxígeno puro, se produce una reacción, es la combustión del acero.

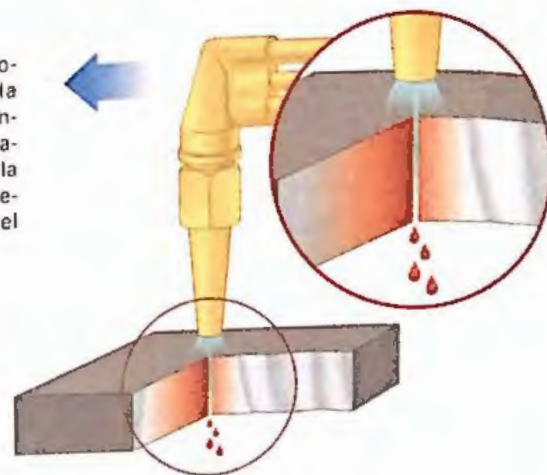
El aluminio, por contra, no se puede oxicortar. Al aplicarle la llama de precalentamiento de inmediato forma una capa de óxido cuya temperatura de fusión es superior a la del propio aluminio. Esta particularidad provoca la fusión del metal y no el corte. Igual ocurre con los aceros inoxidables.

Proceso de oxicorte

Para iniciar el proceso de oxicorte se necesita una llama de precalentamiento y un chorro de oxígeno puro. El calentamiento es producido por la combustión de una mezcla de gas combustible y oxígeno. Los gases combustibles pueden ser el gas natural, el hidrógeno, el propano o el acetileno. Este último es el más utilizado para el proceso de oxicorte.

La **llama de precalentamiento** tiene la función de elevar la pieza de acero a la temperatura de ignición y limpiar la superficie de escorias, óxidos o restos de pinturas. Debe ser lo suficientemente potente para calentar la pieza en un punto de radio comprendido entre los 3 y los 7 mm y en un tiempo de 5 a 10 segundos hasta la temperatura de ignición.

► El procedimiento de oxicorte comienza calentando el metal con la llama de precalentamiento hasta conseguir que se vuelva de color rojo claro, momento en el que debe abrirse la válvula de salida del chorro de oxígeno puro y se comienza a mover en el sentido del corte.



◀ Líneas de retardo características de la sangría producida por el oxicorte.

◀ En esta pieza las líneas de retardo curvadas en la parte inferior denotan una velocidad de corte excesiva y la escoria adherida a las estrías demuestran que la boquilla del soplete se ha ido ensuciando y provocando un corte irregular.

Además de poseer un poder calorífico muy elevado para mantener la temperatura durante todo el proceso de oxicorte. Esta particularidad provoca dilataciones que pueden deformar la chapa oxicortada.

El **chorro de oxígeno** quema el metal cuando éste ha llegado a la temperatura de ignición y retira la escoria que se forma produciendo una ranura estrecha denominada sangría.



◀ Ares, *Potser algún dia esquerdarem el nostre gruixut mur d'estupidesa*, 1999 (26 × 12 × 20 cm).



▲ Durante el proceso de oxicorte debemos protegernos convenientemente con guantes, mandil de cuero y gafas de protección contra proyecciones y para neutralizar la luz intensa producida por el metal incandescente.

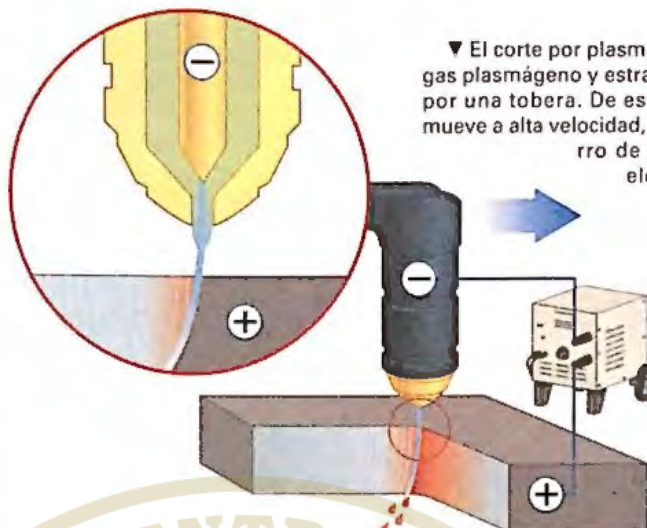
Corte por plasma

El corte por plasma se fundamenta en la idea de corte térmico, que secciona el metal por medio de la fusión y posterior retirada del material fundido. El corte lo realiza un chorro de plasma, resultado de la combinación de un arco eléctrico continuo estrangulado y un gas o mezcla de gases. El gas es ionizado al aportarle energía por medio de un arco eléctrico y estrangulado al hacerlo pasar por una tobera de pequeño diámetro, formando el chorro de plasma. Además de la acción térmica, que registra temperaturas de 20.000 °C, en el corte influye la acción mecánica del chorro de plasma que se mueve a alta velocidad, del orden de 1000 metros por segundo, liberando el material fundido de manera continua.

Los gases, denominados plasmágenos, utilizados para generar el plasma son el argón, el hidrógeno y el aire atmosférico (mezcla de nitrógeno y oxígeno). Este último es el más usado para estas operaciones.

El equipo necesario para el corte por plasma consta de un generador de corriente continua, un distribuidor de gas plasmágeno y un portaelectrodo o torcha para producir el plasma de manera continua y expulsarlo en dirección a la pieza que se desea cortar.

A diferencia del proceso de oxicorte, el corte por plasma permite seccionar cualquier metal que sea conductor de la electricidad.



▼ El corte por plasma se produce al ionizar un gas plasmágeno y estrangularlo al hacerlo pasar por una tobera. De esta manera, el plasma se mueve a alta velocidad, logrando con ello un chorro de plasma de temperatura elevada, 20.000 °C, idóneo para fundir el material y retirar los óxidos y escorias formados.



▲ En esta superficie de corte observamos la cascara característica fruto de la alta velocidad de corte y de la intensidad usada.

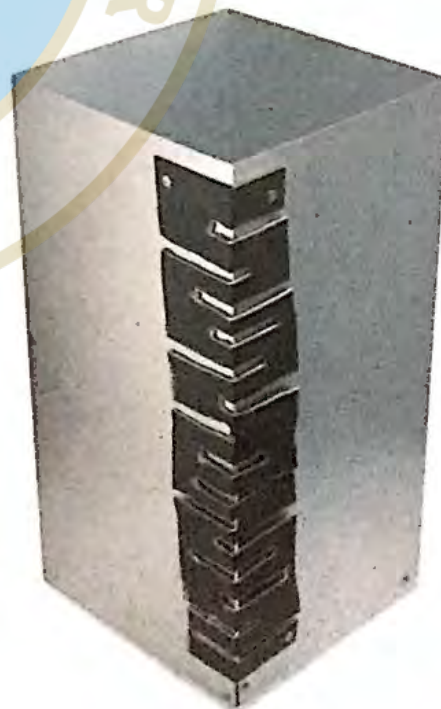
◀ Para conseguir un corte de calidad debemos mantener la torcha perpendicular a la superficie de la pieza y controlar que la distancia entre ésta y la boquilla de la torcha sea constante y adecuada.



◀ La mesa de trabajo para realizar cortes por plasma debe permitir la salida del material fundido. Se puede improvisar una colocando una reja metálica a manera de tablero de una mesa.

► Pieza de aluminio lacado recortado por el procedimiento del corte por plasma.

Obra realizada por Nerea Aixàs Olea, 2000 (25 × 25 × 50 cm).



Remachado

El remachado es una sencilla operación que permite unir entre sí diferentes piezas de chapa fina. También permite unir chapas finas a perfiles huecos de paredes estrechas. Se trata de un elemento de unión fija que actúa atrapando las piezas por presión.

El remache se compone de un cuerpo de aluminio, el remache propiamente dicho, y de un vástago o mandril alojado en el interior, destinado a ejercer presión sobre el cuerpo de aluminio. Para efectuar el remachado es necesario realizar en las piezas que se van a unir un agujero de igual diámetro que el remache. Una vez colocado el remache en el interior del orificio, con la remachadora se estira del mandril, generalmente en varias fases, hasta que la fuerza de cierre

lo rompe y éste salta hacia fuera, quedando unidas las piezas. La ventaja de este sistema es que el remache se introduce por el mismo lado que se cierra, facilitando así la operación de unión.

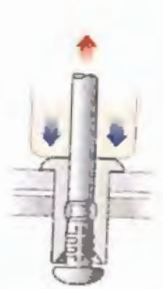
Remachadora manual

Es la herramienta que sirve para activar el remache. Está formada por dos mordazas estriadas accionadas por sus correspondientes mangos, cuya función es estirar del remache y provocar la sujeción de las piezas que se desea unir.

Remaches huecos

Existen de diferentes medidas, cuyo uso depende del grueso del material que deben unir.

▲ Remaches huecos.



▲ Fases del proceso de remachado.

▼ Remachadora manual.



► En esta obra los remaches desempeñan un importante papel en el conjunto estético, además de cumplir con creces su función de elemento de sujeción. Obra de Nerea Aixàs Olea, 2000 (10 × 10 × 65 cm).



Uniones con pernos

La unión con pernos se emplea para ensamblar de forma sólida y por presión dos piezas entre sí, de manera que se puedan desmontar. Para ello utilizamos como elemento de unión los pernos o **tornillos con tuerca**, y los tornillos autorroscantes o rosca chapa. En ambos casos es necesario practicar orificios en las piezas que se desea unir para poder alojarlos.

Los pernos ejercen presión sobre las piezas apretándolas una contra la otra con la ayuda de la tuerca. En este caso, el orificio donde se aloja el tornillo o perno y el propio tornillo deben ser del mismo diámetro. En ocasiones se emplean arandelas para repartir la presión y proteger al metal del giro de la tuerca.

En cambio, los tornillos rosca chapa necesitan que el diámetro del orificio donde se alojen sea ligeramente más pequeño que el del propio tornillo. Esto es debido a que los hilos de rosca de estos tornillos deben abrirse paso a través del metal de la pieza que se desea unir para formar así su propia rosca. Por esto también se les conoce con el nombre de **tornillos autorroscantes**.

También se comercializa la varilla roscada en diferentes métricas. Éstas permiten variar a voluntad la longitud de los pernos ampliando las posibilidades de creación.

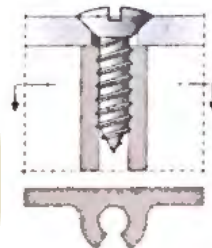
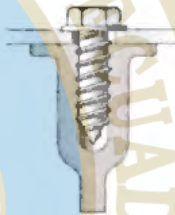


▲ Los pernos, también llamados tornillos, constan del conjunto formado por un vástago roscado con una cabeza en un extremo y una tuerca, que se puede montar y desmontar enroscándola por el otro extremo. En la ilustración se muestran distintos pernos.

▲ Los tornillos rosca chapa están fabricados en acero resistente y con un paso de rosca rápido.

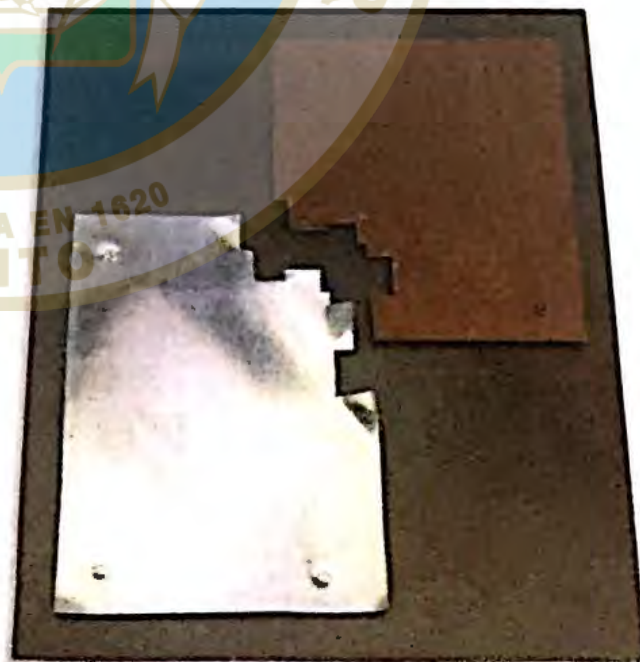
▼ Diferentes uniones con tornillos rosca chapa.

▼ Tornillos rosca chapa alojados en canales para tornillos en perfiles extrusionados de aluminio.



▲ Son muchas las posibilidades creativas y de utilización que poseen las roscas, ya sea en forma de tornillos o de varillas roscadas.

► Ares, *El Estrecho*, 2000 (32,5 x 25 cm). Una obra donde se emplean tornillos autorroscantes.



Roscado manual

Una buena solución para unir varias piezas metálicas es fabricar manualmente roscas en las mismas piezas, tanto para crear tornillos como para hacer tuercas. Atornillando las piezas de esta manera las unimos sin necesidad de recurrir a la técnica de la soldadura.

Las herramientas de roscado manual se denominan machos y cojinetes de roscar.

Los **machos** se utilizan para crear roscas en el interior de agujeros, constituyendo la tuerca. Tienen forma de tornillo y están fabricados en acero templado. Para efectuar el roscado en el interior de piezas se utiliza un juego de tres machos accionados por medio de un bandeador o giramachos.

Cada macho tiene un diámetro exterior y del núcleo ligeramente menor que el siguiente. De esta forma, se reparte proporcionalmente el trabajo que deben efectuar. El primer macho realiza el esbozado de la rosca, el segundo la dibuja y el tercero la acaba de perfilar.

Por el contrario, los **cojinetes** son las herramientas para crear tornillos. Su forma es parecida a una tuerca y también están fabri-

cados en acero templado. Para efectuar el roscado en el exterior de piezas se acciona un solo cojinete por medio de un porta cojinetes.

Es necesario saber que las roscas reciben una designación según una clasificación y un protocolo normalizado que atiende a su forma y aplicación. La rosca **métrica** es la más común. Se caracteriza por medir el diámetro exterior de las roscas en milímetros.



▲ Juego de tres machos y un cojinete de la misma métrica.



◀ Juego de machos, cojinetes, porta cojinetes y bandeador para realizar roscas de diferentes métricas.

Proceso de realización manual de un tornillo en una pieza metálica



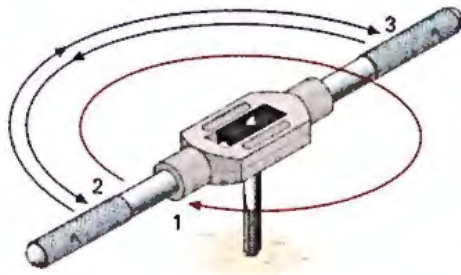
▲ 1. Se sujeta firmemente en el tornillo de banco la pieza sobre la que se realiza el roscado. Conviene achafanar los bordes del extremo por donde se empieza el roscado del tornillo para facilitar la entrada del cojinete antes de fabricar la rosca. También se depositan unas gotas de aceite lubricante sobre la parte que se desea roscar; de esta manera, se mejora el rozamiento producido por la acción del corte del cojinete sobre la pieza.



◀ 2. Se coloca el cojinete con el porta cojinetes sobre el extremo de la pieza que se desea roscar. Para ello, se hace coincidir su centro con el eje del futuro tornillo. Ejerciendo una ligera presión sobre el cojinete se hace girar varias vueltas hasta que se observa que sus dientes han entrado suficientemente en la varilla. Hay que asegurarse de que la rosca va saliendo recta colocando el cojinete perpendicular al tornillo. Así se evitan roturas en los dientes del cojinete y se conserva en buenas condiciones.

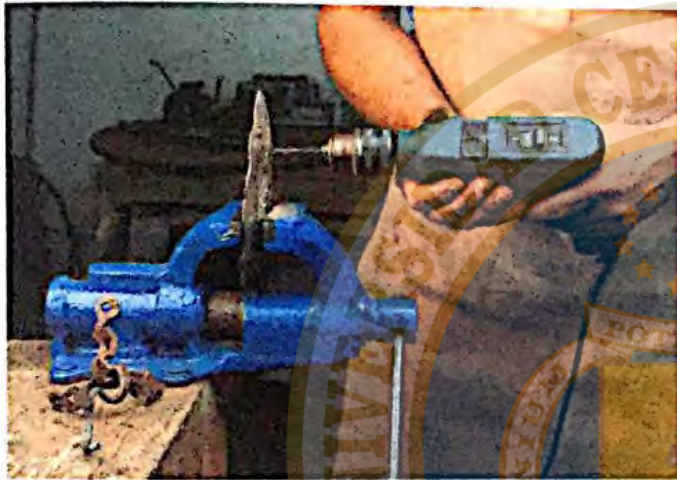


◀ 3. Una vez se ha iniciado la rosca, se vuelve a depositar unas gotas de aceite lubricante en ésta y se continúa con el proceso de roscado girando el porta cojinetes alternativamente en un sentido y otro en intervalos de media vuelta hasta conseguir el trozo de rosca deseado.



◀ Esquema del giro alternativo a intervalos de media vuelta. El objetivo de este procedimiento es labrar el metal en un sentido y hacer que se desprendan las virutas resultantes de la acción de corte en el otro. Es necesario realizar el giro alternativo en los dos procesos de creación de roscas, tanto para hacer tuercas como para hacer tornillos.

Proceso de creación manual de una tuerca en una pieza metálica



▲ 1. Para iniciar el roscado de la siguiente pieza, es preciso hacer un agujero en ella. El diámetro de este agujero ha de ser ligeramente menor que el valor de la métrica de la rosca del tornillo que irá alojado dentro. Es aconsejable realizar una prueba de roscado en algún retal del mismo metal a fin de verificar el diámetro del agujero que se necesita. En este caso, la métrica de la rosca que se desea realizar es 6 y el diámetro de la broca para realizar el agujero es de 5 mm.



▲ 2. Con la pieza bien fijada al tornillo de banco, se procede a crear la rosca. Tras lubricar previamente la zona de roscado con aceite, se coloca con el bandeador el primer macho sobre el agujero, asegurando que quede perfectamente perpendicular. Acto seguido, se hace girar sobre su eje hasta apreciar que se ha iniciado el corte de la rosca; después, se va volteando el macho alternativamente a un lado y al otro, igual que en el anterior proceso de creación del tornillo. Este proceso se realiza sucesivamente con el segundo y tercer machos del juego.



◀ 3. Aspecto final de la creación de la tuerca y el tornillo. Ahora ya se puede unir la pieza de hierro y la de bronce roscándolas entre sí.



▶ 4. Ares, Haikú planta III, 2003 (18 x 15 x 10 cm). Hierro forjado y bronce.

Para conformado

Doblado sobre tornillo de banco

Son muchos los trabajos que el tornillo de banco permite realizar entre sus mordazas. Uno de ellos es el doblado de pequeñas planchas metálicas, con espesor no superior a 2,5 mm, golpeándolas con el martillo. Se considera el doblado un curvado de radio muy corto, de manera que el pliegue resultante es una arista redondeada. Para conseguir una arista viva hay que recurrir primero a la soldadura de dos chapas en ángulo, y después al desbarbado con amoladora del cordón de soldadura para obtener dicha arista.

Al doblar un trozo de metal sobre las mordazas del tornillo, como precaución, se empieza a dar los golpes de forma escalonada, de manera que la parte que se va a doblar lo haga simultáneamente en toda su superficie. De este modo, se evitan alargamientos que provocan deformaciones en la parte golpeada.

Para doblar piezas largas se emplean dos angulares que prolongan las mordazas del tornillo y unos alicates de presión o un sargento que ejerza presión al otro extremo de los angulares, permitiendo la sujeción firme de la pieza.



▲ 1. Para iniciar el doblado, se golpea escalonadamente con el martillo a lo largo de la chapa.



▲ 2. Sin variar el ritmo, se sigue doblando con golpes escalonados hasta conseguir el ángulo deseado.



▲ 3. Cuando se golpea bruscamente sobre un extremo de la chapa se provoca un alargamiento entre la parte golpeada y la no golpeada que produce deformaciones en el doblado final.



▲ 4. Para doblar piezas largas, que no entran en el tornillo, se utilizan dos angulares y un sargento a fin de prolongar el efecto de sujeción de las mordazas del tornillo. Este procedimiento es válido también cuando se realizan cortes con cincel en chapas más largas que las mordazas del tornillo.

Doblado con plegadoras

Algunas herramientas de doblado poseen mecanismos que facilitan el plegado de chapas y perfiles planos de pequeño y mediano grosor. Generalmente, están divididas en dos partes: una inmoviliza la chapa o perfil que se va a doblar, y la otra ejerce presión sobre

una zona de la chapa provocando la flexión y el posterior plegado.

Las plegadoras comunes tienen un contrapeso que ayuda a la acción de doblado, sumándose su peso a la fuerza que ejerce la persona sobre la parte móvil.

Las plegadoras de perfiles, en cambio, carecen de contrapeso, por lo que deben montarse sobre mesas o caballetes robustos que contrarresten la fuerza desarrollada al doblar perfiles gruesos.



Doblado de perfiles

▲ 1. Se coloca el perfil plano entre las mordazas de sujeción de la parte fija de la plegadora de perfiles. El perfil debe quedar bien sujeto entre las bocas para que no se mueva mientras se ejerce presión sobre él.



▲ 2. Antes de doblar se ajustan e inmovilizan los elementos de la parte móvil de la plegadora, con el fin de ejercer una presión adecuada y homogénea en la mayor parte posible de la superficie del perfil. Seguidamente, se hace girar la palanca hasta conseguir el ángulo deseado. Esta herramienta posee un tope ajustable en la trayectoria del giro, que se fija en una determinada posición y permite repetir el mismo ángulo. Es muy útil cuando hay que hacer varias piezas iguales.



Doblado de chapas

◀ 1. Se coloca la chapa entre las reglas que hacen de mordazas y se gira la manivela para inmovilizarla. Es importante que la regla superior coincida con las marcas practicadas en la chapa que indican por dónde se debe plegar.

▶ 2. Una vez ajustada la chapa con las reglas, se procede al doblado. Para ello, se acciona la regla móvil por medio de dos palancas situadas a continuación de la regla, ejerciendo presión sobre la parte de la chapa que se va a doblar. Un contrapeso ayudará a realizar el esfuerzo.



Retorcido en frío

El retorcido es una operación consiste en efectuar una torsión helicoidal sobre barras o pletinas de metal. Se aprovecha una propiedad de los metales, la flexibilidad, para realizar formas decorativas sin necesidad de calentar al rojo la pieza. Generalmente, se trabaja sobre perfiles planos como las pletinas. Para realizar el retorcido en frío es preciso que el espesor de las piezas sea moderado.

Nos ayudamos de un tornillo de banco, donde se sujeta firmemente la pieza, y de una grifa para ejecutar la forma helicoidal.

► 1. Se fija la pletina de acero entre las mordazas del tornillo de banco. Seguidamente, se sitúan los dientes de una grifa en la pletina, a la altura donde se desea hacer la primera vuelta y se empieza a girar lentamente.



▲ 2. Con la mano libre se controla que la pletina no se desvíe de la vertical por acción del torsionado y se va corriendo la grifa a intervalos iguales efectuando la misma operación.

Curvado con horquilla

El curvado consiste en doblar en redondo piezas sobre sí mismas aprovechando la propiedad de flexibilidad de los metales. Igual que en el retorcido, en el curvado en frío las piezas metálicas deben tener un grosor moderado y el radio de curvatura no puede ser excesivamente pequeño.

► 1. Con la horquilla fijada en el tornillo, se coloca la barra entre sus lados y se presiona sobre ella, con todo el cuerpo, a medida que se va desplazando para ir formando el círculo. Se presiona sobre la horquilla con moderación para no dejar marcas de plegado en la barra curvada.



◀ 2. En algunos momentos, se puede recurrir a una grifa para acabar de ajustar el radio del círculo.



▲ 1. Sobre un tas para curvados, por ejemplo dos trozos de angular soldados sobre un bloque de acero, se coloca la pletina. Se golpea con el martillo en la parte que queda entre los dos angulares. De esta manera, se produce una reacción del metal a la acción de martillado y se produce el curvado.



Curvado sobre tas

El curvado sobre tas consiste en hacer círculos en pletinas o barras por medio del martillado. Los golpes se practican en falso sobre un útil cóncavo o dos angulares soldados en un bloque de acero, o sobre un perfil en forma de U, por ejemplo. Se empieza dando golpes firmes pero suaves, de manera que el metal se vaya colocando en su sitio de forma progresiva. Sorprende ver cómo se va formando el círculo a medida que se aplican golpes precisos y sin necesidad de tecnología sofisticada.

◀ 2. Después de varias pasadas por la totalidad de la pletina, y cuando ya se ve la forma del círculo bastante acabada, se propinan golpes de martillo más calculados. Es decir, se golpea únicamente allí donde es necesario y la forma no se ajusta al radio del círculo. Resulta muy útil tener a mano un dibujo del círculo deseado a tamaño natural para ir comprobando la curva por superposición a medida que se martillea.

Curvadora de rodillos

La curvadora de rodillos realiza curvados uniformes de chapas y de perfiles redondos. Esto lo consigue al hacer pasar el metal entre dos rodillos llamados de arrastre, que imprimen movimiento de avance a la chapa o perfil redondo por medio de unos engranajes y una manivela. Un tercer rodillo denominado curvador provoca una serie continua de flexiones al metal que generan un curvado uniforme.

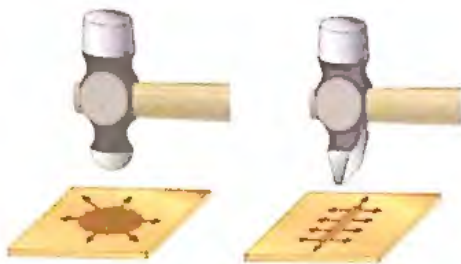
► Operación de curvado de una chapa en la curvadora de rodillos. Mediante una manivela se transmite el movimiento de traslación a la chapa. Los rodillos ejercen una flexión ininterrumpida sobre ésta.



Curvado de un perfil redondo

◀ 1. Las curvadoras de rodillos poseen unas estrias de diferente ancho en un extremo para el curvado de perfiles redondos, barras y algunos tubos de diámetro reducido.

◀ 2. El rodillo superior de la curvadora dispone de un sistema de desenclavado que permite sacarlo de la máquina y así extraer la pieza curvada cuando se realiza un círculo, en este caso de un perfil redondo de cobre.



▲ Si la superficie de contacto de la boca del martillo con la chapa es circular, la estructura cristalina se desplaza siguiendo los radios del círculo, lo que provoca el mismo alargamiento en todos los sentidos.

En cambio, si la superficie de contacto del martillo es larga y estrecha, la estructura se mueve perpendicularmente. Ello provoca un alargamiento grande en sentido transversal y uno pequeño en sentido longitudinal.



▲ En los golpes soportados el metal se comprime entre el soporte y el martillo, provocando un adelgazamiento primero, seguido de un alargamiento.

Sin embargo, en el martilleo en falso el metal flexiona, provocando un alargamiento primero, seguido del adelgazamiento.

Conformado manual

Se entiende por conformado manual todas las técnicas dedicadas a deformar el metal, donde intervenga directamente el martilleo. Se trata de provocar desplazamientos en la masa del metal para crear volúmenes, alargándola o acortándola según convenga, por medio del martilleo.

Los metales están constituidos por multitud de cristales poliédricos, es decir, con muchas caras que forman planos de deslizamiento. Esta particularidad hace posible un conjunto de desplazamientos que permite la deformación de las estructuras de estos cristales, produciendo el conformado del metal.

La **conformación por alargamiento** consigue por martilleo el aumento de la zona de la superficie del material. Es la más común en operaciones de creación de volúmenes de forma manual.

La deformación en la conformación por alargamiento depende de:

- la forma del martillo que se use;
- de la manera de golpear, con golpes soportados o en falso;
- y de la posición del martillo, vertical o inclinada, en el momento del choque.

En un capítulo anterior se mostró que los martillos tienen formas diversas dependiendo de la función a la que están destinados.

Tales formas desplazan el metal por choque de diferente manera. Por ejemplo, un martillo con la base redondeada, como el de embutir, desplaza el metal de forma radial, de la misma manera en todos los sentidos. Y un martillo con la peña en forma de arista roma, lo hace en sentido transversal.

La manera de aplicar los golpes también es importante. Por ejemplo, el mismo martillo de embutir cuando trabaja dando golpes soportados provoca un mayor endurecimiento del metal por acritud que cuando lo hace en falso.

Acritud

El metal es sometido a fuerzas de compresión en el caso del estirado, y de flexión en el caso de la embutición en falso. La estructura cristalina se desplaza por acción de estas fuerzas, provocando una disminución del espesor del metal.

Con el martilleo también se varían sus características mecánicas a causa de la acritud. Ésta aumenta la dureza, la resistencia y el límite elástico, reduciendo a la vez su maleabilidad, su ductilidad y su plasticidad. Igualmente, disminuye la resiliencia volviendo el metal frágil. Estos efectos se eliminan practicando un recocado al metal martilleado, consistente en llevarlo a una determinada temperatura, dependiendo del metal, y dejándolo enfriar lentamente.

► Ares, Bola, 1998. 16 cm Ø.

Obra conformada por embutición en falso de dos hemisferios en chapa de acero.



◀ Candelero conformado en chapa de acero por medio de golpes soportados, realizado por Ares, 2000 (20 × 13 × 7 cm).



Realización de un casquete esférico

En este ejercicio se va a realizar un casquete esférico con una chapa fina de cinc mediante la combinación de varias técnicas de conformado manual: el embutido en falso y el aplanado.

▼ 2. Es importante dar los golpes con la parte redonda del martillo, y con un poco de inclinación, para empujar el metal hacia las partes del casquete que sufrirán mayores deformaciones.



► 3. Para finalizar el proceso de embutido en falso, hay que repasar toda la superficie cóncava con golpes medidos allí donde sea necesario para conseguir la forma esférica.

► 4. Después de recortar con ayuda de unas tijeras de hojalatero la forma embutida, se aplanan el casquete colocándolo sobre un tas de bola y golpeando con la parte plana del martillo de embutir. Así se consigue igualar el espesor de toda la pieza, a la vez que se le da textura.

◀ 1. Se inicia el proceso de conformado con la técnica del embutido en falso. Para ello se coloca la chapa de cinc encima de una corona o tubo de acero, cuyo diámetro interior se corresponda con el deseado para el casquete esférico. Luego se empieza a golpear la chapa con un martillo de embutir, delimitando de este modo la zona del casquete.



◀ 5. Casquete esférico de cinc y las herramientas necesarias para su realización.



Forja: conceptos básicos

La experiencia en la forja se obtiene jugando con el hierro al rojo, doblándolo y golpeándolo sobre el yunque. De este modo, se adquiere conocimiento y se intenta entender el comportamiento del metal al aplicarle calor. Para formarse en la práctica de la forja es necesario observar cuatro pautas básicas. En los siguientes apartados se explica cómo encender la fragua, cómo reconocer la temperatura del metal con sólo ver los colores de la calda, los tratamientos térmicos que se producen y algunos procesos básicos de forjado que sirven para iniciarse en la forja.

Encendido de la fragua

No existe una única manera de encender la fragua, cada herrero tiene la suya propia. Aquí se expone una de ellas.



◀ Un ambiente oscuro permite ver los matices de color que produce el calentamiento.

▼ 1. Se coloca carbón de hulla sobre el hogar de la fragua. Con ayuda de un atizador se forma un cráter alrededor de la tobera que hay debajo, por donde saldrá el aire impulsado por el ventilador. El conducto de acceso del aire del ventilador debe mantenerse limpio de restos de carbón y cenizas, operación que hay que llevar a cabo antes de encender la fragua.



▲ 2. En el centro del cráter se depositan unos trozos de papel mezclados con alguna viruta de madera y con ellos se prende el fuego.



▲ 3. Acto seguido se va desplazando el carbón sobre el fuego y se abre el ventilador para proporcionar aire al fuego desde la tobera que hay debajo.



▲ 4. Una columna de humo intenso indica que el carbón ha prendido. Para introducir el hierro en las brasas hay que esperar a que este humo rico en componentes sulfúricos se quem; de lo contrario se podría dañar el metal.



▲ 5. Una vez ha desaparecido el denso humo se empiezan a caldear los hierros para forjarlos. Se debe evitar colocarlos directamente sobre la salida del aire del ventilador para impedir la formación de óxido sobre sus superficies, ya que debilitarían el metal.

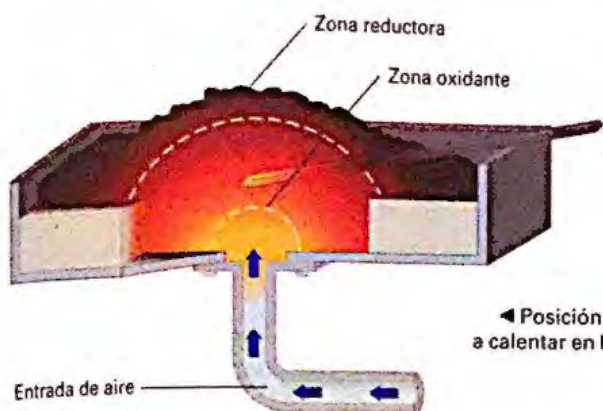
Temperatura y color

Generalidades

Calentar el metal es necesario para darle forma y evitar que se produzcan en él las grietas y fisuras que lo harían frágil. El calentamiento debe aplicarse teniendo en cuenta la naturaleza del metal y su masa. Un mal calentamiento del metal debilita y merma sus características y, sobre todo, algunas de sus propiedades esenciales, como su capacidad de resistencia a la corrosión. Por ejemplo, en el caso del acero, las temperaturas por debajo de los 700 °C aumentan su fragilidad y disminuyen su tenacidad.

En cualquier caso la rapidez del calentamiento del metal depende:

- de la naturaleza física y química del metal; un metal que sea más conductor que otro absorberá con mayor rapidez el calor necesario para su forjado;
- de su masa y la relación entre sus dimensiones; entre dos piezas de la misma composición y del mismo peso, la que tenga mayor superficie absorberá más calorías y se caldeará más rápidamente;
- de la temperatura de la brasas de la fragua.



◀ Posición idónea de la pieza a calentar en las brasas.

▶ Coloraciones y temperaturas.

La conclusión es que el calentamiento o caldeo de las piezas debe aplicarse con prudencia. Es necesario conseguir una dilatación libre de toda la sección de la pieza, a fin de evitar tensiones interiores que podrían debilitar el metal y provocar grietas en su interior.

La pieza y las brasas

El caldeo de las piezas debe ser moderado, volteándolas de forma intermitente en las brasas para permitir el calentamiento homogéneo de todas sus superficies y conseguir calentar el núcleo, sobre todo en secciones muy gruesas. De la misma forma, la pieza debe introducirse en las brasas entre la zona oxidante y la zona reductora, es decir, lejos de la salida directa del aire por la tobera para evitar acumulación de óxido en la superficie de la pieza (zona oxidante), pero suficientemente introducida para que no quede en la zona superior de las brasas, donde la pieza se calentaría en exceso (zona reductora).

Coloración y temperatura

El calentamiento produce cambios de color en los metales y el color varía dependiendo de la temperatura. El acero dulce, con un contenido de carbono entre el 0,1 y el 0,3 %, es el metal por excelencia utilizado para trabajos de forja.

Los matices que presenta al calentarlo nos ayudan a conocer la temperatura. Por ejemplo, se sabe que el color rojo cereza oscuro nos indica que la temperatura alcanza aproximadamente 740 °C y que el naranja indica unos 1000 °C. Las apreciaciones del color varían según la composición del acero y la luz a la que se exponga para visualizarlo. Para ver con claridad los colores de la calda conviene observarlos en un ambiente oscuro.

Cuando se trabaja con el aluminio y sus aleaciones hay que tener en cuenta que sus temperaturas de forja están comprendidas entre los 300 y los 500 °C y que los matices de color no son apreciables. En estos casos se hace necesario usar pirómetros que indiquen la temperatura. Una forma muy práctica, aunque no exacta, es hacer trazos con un arillo de madera sobre la superficie calentada; en función de la tonalidad de marrón que deje se sabrá aproximadamente su temperatura.

El cobre y sus aleaciones, los latones, cambian de color al aplicarles calor, pero sus matices son prácticamente inapreciables. Al caldear piezas de cobre o latón conviene estar muy atento para no perder parte de las mismas dentro del fuego. A menudo, se utiliza el soplete oxiacetilénico para controlar con más eficacia la aplicación de calor sobre estas piezas. Las aleaciones con más de un 60 % de cobre ofrecen muy buenas condiciones de forjado.

1400°	blanco pálido límite máximo para el hierro forjado
1300°	amarillo blanco
1200°	amarillo claro
1100°	amarillo
1000°	naranja
950°	rojo amarillento
900°	rojo claro
850°	rojo
810°	rojo cereza claro
800°	
760°	rojo cereza
740°	rojo cereza oscuro
700°	Tª mínima de forja
680°	rojo oscuro
620°	rojo pardo
600°	
550°	pardo oscuro
500°	
400°	
360°	gris
340°	gris azulado
320°	azul claro
300°	azul
290°	azul oscuro
280°	violeta
270°	rojo púrpura
260°	bronceado
250°	café
240°	paja oscuro
230°	amarillo claro
220°	paja
200°	amarillo claro

Algunos procesos básicos de forja

Es conveniente conocer algunos de los procesos básicos de la forja. Muchos de los objetos forjados que vemos habitualmente son el resultado de la combinación de sencillas operaciones de forja. Se trata de prácticas de fácil elaboración que se realizan entre el yunque y el tornillo de herrero trabajando el metal al rojo vivo.

◀ Afilado.

◀ Estirado.

◀ Laminado.

◀ Recalcado.

◀ Retorcido.

◀ Enrollado.

- **Afilado.** En este proceso se varía la sección del metal aplanándola hacia un punto.

- **Estirado.** Consiste en modificar la sección del perfil original provocando un alargamiento de la pieza y una reducción en su sección.

- **Laminado.** En el laminado se varía la sección reduciéndola y aumentando su anchura.

- **Recalcado.** Con esta operación se aumenta la sección inicial del perfil y se reduce su longitud.

- **Retorcido.** Consiste en crear formas helicoidales en los perfiles por medio de la torsión.

- **Enrollado.** Se trata de curvar hasta envolver un perfil sobre sí mismo.



▲ Proceso de enrollado de una espiral por forjado.

Tratamientos térmicos

El tratamiento térmico tiene por objeto cambiar las propiedades mecánicas de los metales. Es el proceso por el cual se calienta un metal hasta que alcanza una determinada temperatura, la cual se mantiene un tiempo y luego se enfría a una velocidad concreta. De esta manera, calentando y enfriando se varía la estructura del metal. Los resultados que se obtienen con estas variaciones dependen de la temperatura alcanzada y de la velocidad de enfriamiento a que se someta el metal.

Los tratamientos térmicos se dividen en dos grupos:

- tratamientos sin cambio de composición, o sea, sin que exista variación de componentes;

- tratamientos con cambio de la composición, es decir, que se añaden más componentes o se modifica la proporción de los existentes. También se les conoce con el nombre de tratamientos termoquímicos.

Aquí vamos a ocuparnos de los tratamientos térmicos sin cambio en la composición de sus componentes. Estos son: el temple, el revenido y el recocido.

El temple

Se trata de un tratamiento térmico por el que el metal aumenta su resistencia y su dureza, pero, por contra, también aumenta su fragilidad. El temple consiste en calentar la pieza metálica de manera uniforme hasta una temperatura determinada y, seguidamente, enfriarla de manera brusca en un baño, generalmente de agua a temperatura ambiente. La manera de introducir la pieza en el agua para realizar el enfriamiento es importante. El recipiente del líquido debe ser suficientemente amplio para que permita introducir la pieza entera y removerla. Conviene

▲ Ares, *Rosa rosae*, 1997 (27 × 10 × 18 cm). Esta rosa de metal es un ejemplo de las posibilidades plásticas que pueden lograrse con las diversas técnicas de forja.

ne hacerlo siguiendo su eje vertical. Su forma determinará la manera de agitarla en el líquido siguiendo una u otra dirección o sentido. Este tratamiento es muy utilizado para crear herramientas de acero cuyo contenido en carbono sea inferior al 0,9 %.

El revenido

Es una operación que permite suprimir las tensiones producidas por las dilataciones y contracciones bruscas al aplicar el temple a las piezas de metal. Consiste en volver a calentar la pieza templada a una temperatura relativamente baja, de 100 a 320 °C, y enfriarla después. Con el revenido la pieza templada pierde dureza pero gana tenacidad.

El recocido

El recocido es un tratamiento con el que se devuelve al metal las cualidades que ha perdido por causa de operaciones mecánicas como el martilleado en frío o el laminado, o simplemente cuando se debe modificar una pieza templada.

Consiste en calentar la pieza metálica hasta una determinada temperatura, entre 200 y 700 °C, mantenerla un tiempo y enfriarla lentamente al aire. Se consigue así que los metales adquieran de nuevo propiedades como la ductilidad. También se utiliza el recocido para ablandar y conseguir durezas menores que permitan trabajar el metal con más facilidad.

Templado de una hoja para corte

El templado de herramientas es un proceso que requiere mucha observación y práctica. El conocimiento de la técnica se basa en la experimentación continua. Aquí se presentan los pasos para el templado de un objeto de corte y se anima al lector a iniciarse en este proceso e ir adquiriendo experiencia.

► 5. Cuando la pieza presente un color rojo cereza indicará que se ha llegado a la temperatura de temple, entre 710 y 850 °C. El momento de enfriarla bruscamente en el baño de temple es cuando el color desciende del rojo cereza vivo al rojo cereza oscuro.

Se introduce en el agua siguiendo un movimiento en el sentido de la curva de la hoja y se observa como van subiendo por el hierro los colores del temple.



▲ 1. Se traspasa la forma que se desea a una chapa de acero de 2 mm de espesor mediante una plantilla de papel y una tiza blanca. Es interesante aprovechar los lados rectos de la pieza coincidiendo con los de la plancha para evitar trabajo y aprovechar mejor el material.



▲ 2. Se corta por el contorno con ayuda de una cizalla de palanca. El círculo interior se ha cortado con una corona en la taladradora de columna. Para hacer las líneas cóncavas se utiliza la amoladora, provista de un disco de desbarbar.

A continuación, se practican dos agujeros con una taladradora manual en la parte estrecha del objeto, con el fin de facilitar la posterior colocación de un mango de madera.



▲ 3. Una vez calentada la pieza en el fuego de la fragua se afila, golpeando con un martillo sobre el tablero del yunque el extremo del objeto que luego se templará.



▲ 4. Tras realizar el estirado se fija la pieza en un tornillo y se perfila su contorno con ayuda de una lima. Se calienta la pieza sólo por la parte que se va a templar. Hay que conseguir que el hierro se caldee lenta y uniformemente, de modo que se irá volteando en la fragua.



► 6. Aspecto final de la hoja para corte templada y afilada.

Ceras, barnices y pinturas

Con el fin de preservar a los metales de su proceso natural de oxidación es necesario impregnarlos con sustancias adherentes que eviten el contacto de sus superficies con el aire o la humedad del ambiente.

Estas sustancias se aplican de forma manual por medio de trapos, pinceles y brochas.

Los **barnices** son preparados transparentes que secan con rapidez formando una película fina y dura sobre los objetos metálicos. Dan un acabado lustroso y brillante a la vez que unifican los tonos de las superficies.

Las **ceras** pueden ser de origen vegetal, como la carnauba; de origen animal, como la de abejas; o de origen mineral, como la parafina.

Las ceras lustran y unifican las superficies de los objetos igual que los barnices, con la ventaja, a diferencia de éstos, de que se puede decidir qué brillo se desea. En efecto, al aplicar la cera con un pincel o brocha se consigue una película con brillo mate sobre el objeto; y una vez bien seca, a esta película se le puede dar más brillo frotándola con un trapo de algodón.

Las **pinturas** son pigmentos y colorantes mezclados con aglutinantes sintéticos. Son opacos y de secado rápido. Brillantes o mates y muy adherentes.

► Brochas y pinceles muy útiles para aplicar toda clase de ceras, barnices y pinturas.

▼ Otro barniz natural se consigue disolviendo resina de colofonia en alcohol metílico hasta que éste se sature y, posteriormente, se añade pigmento negro a voluntad. Se consigue así un barniz fuerte que confiere a las piezas metálicas un tono oscuro, según la cantidad de pigmento añadida, que respeta la textura de los objetos.

▼ Cera y barniz para metales preparados, en presentación comercial.



◀ La goma laca es una resina de origen animal que se comercializa en forma de escamas. Para preparar el barniz se disuelven 150 g de goma laca en un litro de alcohol metílico. Se completa la disolución agitando el recipiente de vez en cuando.

Preparación de una mixtura tipo barniz para preservar los metales en general

A continuación, se realiza una mixtura para aplicar a cualquier metal con el fin de protegerlo de la oxidación. Se trata de un ungüento a base de cera y resina que se aplica a pincel y tarda unas horas en secar, muy eficaz como método de preservación de los metales. Además, unifica los tonos y da un brillo satinado de aspecto agradable.

▼ 2. La cera de abejas se suele comercializar en forma de placas. Para que se disuelva más rápidamente se corta en virutas.



◀ 1. Para realizar la mixtura se necesitan tres ingredientes: esencia de trementina, cera de abejas y resina de colofonia.



▶ 3. La resina de colofonia es un residuo de la obtención de la esencia de trementina a partir de resinas naturales; se comercializa en forma de piedras cristalinas. Para acelerar su disolución, se envuelve en un trapo y se pulveriza martilleándola.



▶ 4. A continuación, se mezclan en un recipiente de vidrio un volumen en peso de cera de abejas y uno de resina de colofonia. Acto seguido, se añaden tres volúmenes de esencia de trementina. La mezcla se disuelve al baño María, es decir, colocando el recipiente de vidrio que contiene la mezcla dentro de otro recipiente con agua al que se le aplica calor moderado por medio de un fogón.



◀ 5. La mezcla se va homogeneizando hasta que la cera y la colofonia se disuelven en la esencia de trementina, quedando una solución totalmente líquida. Esta solución va tomando consistencia a medida que se enfría, resultando al final del proceso una mixtura semilíquida.

Pátinas

Las pátinas son películas de óxidos que se depositan en las superficies de los objetos metálicos. Estas películas suelen poseer colores que lustran y embellecen los objetos, confiriendo un acabado de aspecto antiguo.

Para aplicar las pátinas las superficies de los objetos deben estar limpias de grasa y restos de herrumbre que pudieran provocar su deterioro haciendo que se desprendieran con el tiempo.

Una de las pátinas más sencillas se consigue al acelerar la creación de la capa de óxido de protección en los objetos de hierro (acero al carbono). Para ello se embadurna la pieza, por medio de una brocha, con una solución de agua destilada y sal común. Con el paso del tiempo se irá creando una fina capa de óxido de hierro de tonos anaranjados y rojizos muy característicos. Cuando la combinación de colores coincide con nuestro gusto se fija y protege la capa de óxido con dos capas de barniz transparente para metales. El barniz potenciará el tono de los colores y separará de manera sutil los tonos oscuros de los más claros.

Pavonado negro para piezas forjadas

Se trata de una pátina de ennegrecido para piezas realizadas en forja que respeta la textura conseguida al trabajarlas sobre el yunque. También se puede emplear en piezas no forjadas.

Se aplica aceite de linaza con un pincel sobre la pieza forjada y, acto seguido, se calienta con la llama de un soplete de gas para carburizar el aceite, de forma que aparezca el pavonado negro sobre la pieza. La operación se repite cuantas veces sea necesario hasta conseguir el ennegrecido adecuado.

Al final, se frota la pieza en frío con un trapo de algodón y cera para acabar de tapar los poros de la superficie y darle lustre.



▲ Ares, Resonancia, 1999. Pieza de hierro (acero al carbono) patinada al óxido natural acelerando el proceso mediante la aplicación de una mezcla de agua destilada y sal común y barnizada posteriormente.

Pátina de plomalgina

De tonos grisáceos, es ideal para piezas muy texturadas, ya que preserva todo el carácter del objeto.

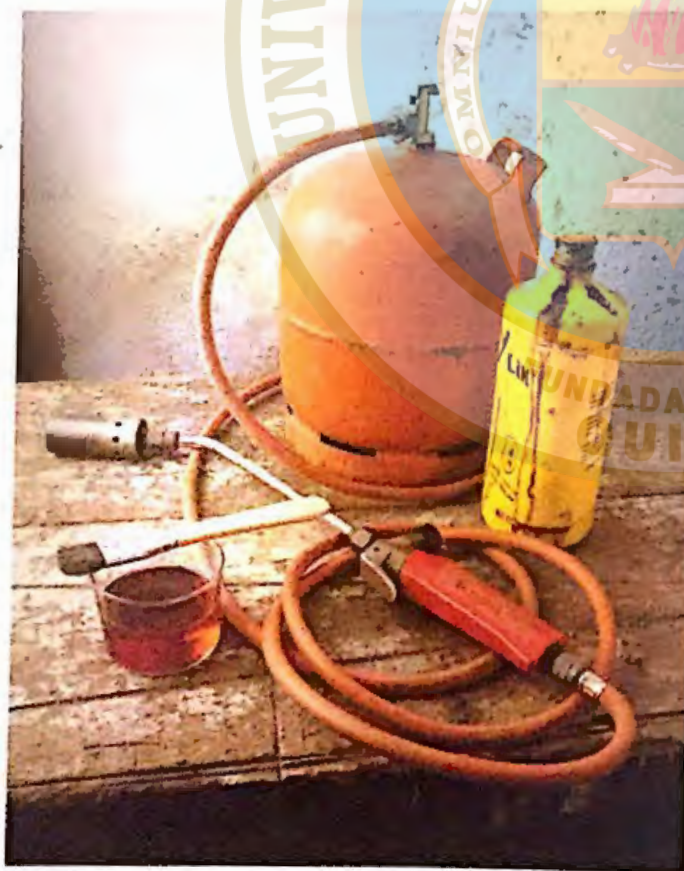
En una pequeña cantidad de aceite de linaza en crudo se diluyen unos 100 g de plomalgina (grafito en polvo) hasta que la mezcla se convierta en una pasta homogénea. Se continúa añadiendo más aceite de linaza hasta conseguir medio litro, y se va removiendo la mezcla hasta la total disolución de la plomalgina. Se añade medio litro de disolvente universal para completar un litro de preparado.

En este punto se tiene una pátina de preservación de color gris; para obtener un tono más oscuro se añaden unos 10 g de pigmento negro. También se pueden añadir otros colores, como el rojo óxido, las tierras o algún verde para obtener tonos más cálidos.

Baños para objetos de cobre y latón

Son disoluciones químicas que provocan oxidaciones de diferentes tonalidades reaccionando sobre piezas de latón y cobre.

El producto de color azulado que muestra la fotografía de la página siguiente es una disolución de nitrato de selenio, sulfato de cobre y agua que se aplica sumergiendo las piezas de latón en la misma durante unos 30 segundos, luego se enjuagan en agua corriente y se dejan secar al aire. Se consigue un tono marrón medalla en piezas de latón.



◀ Útiles y productos para hacer el pavonado negro para piezas forjadas



◀ Productos necesarios para aplicar la pátina de plomalgina.



▲ Ares, *Cargol i cargols*, 1998. Tornillos de acero y cobre. En este caso, se ha sumergido únicamente la pieza de cobre en la disolución de tonos verdes antes citada para proporcionarle una oxidación verdosa.

El producto de color verdoso es también una disolución química cuya fórmula es celosamente guardada por cada fabricante. Reacciona por inmersión en la misma de las piezas de cobre y sus aleaciones creando una pátina de tonos verdosos muy característica.

En ambos casos se trata de productos tóxicos altamente contaminantes, cuya manipulación se debe realizar con gafas de protección y guantes para productos químicos, también es necesario usar una mascarilla especial que proteja de los vapores que emanan.

► Ares, *Enigma*, 1999. Latón cincelado. Esta pieza ha sido tratada con el baño de pavón marrón citado anteriormente. Los brillos se han sacado frotándola suavemente con un cepillo de púas de latón.



◀ Baños para objetos de cobre y latón.



Procesos *de soldeo*

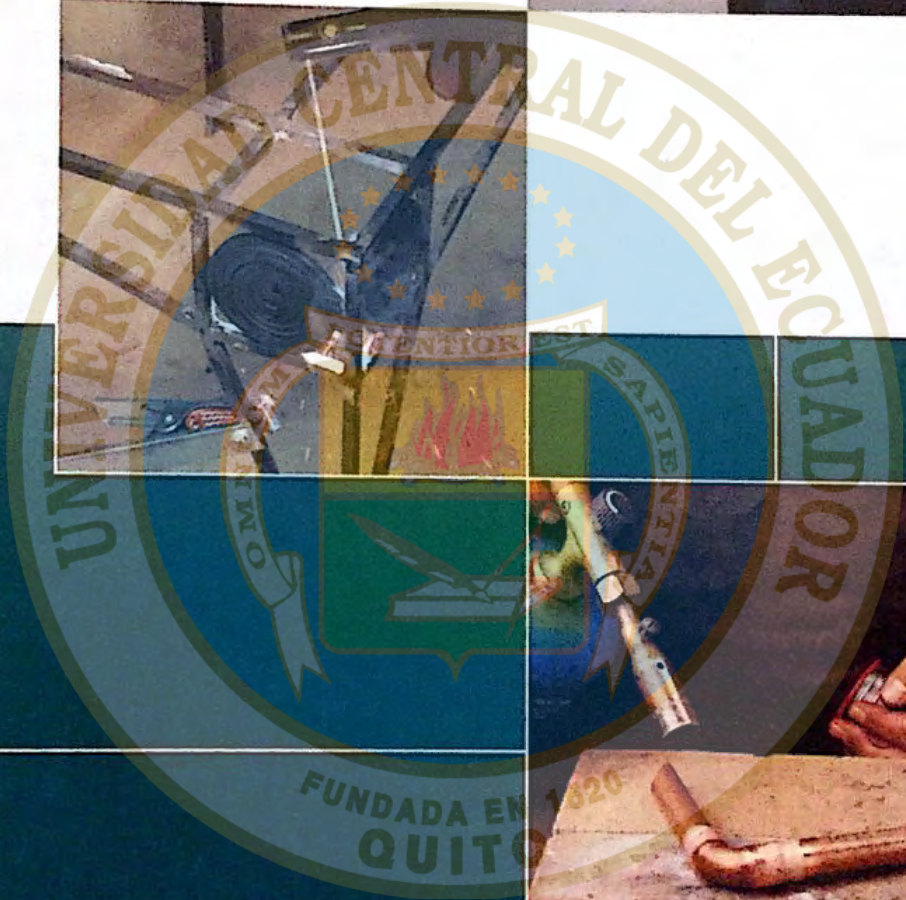
E

El conocimiento de los procesos para la unión por medio de soldadura de cualquier pieza u objeto metálico es esencial, y merece todo un capítulo de este volumen.

Aquí se presentan los procesos de soldadura de uso más común y se dejan de lado otros más complejos. Se trata de mostrar las técnicas de unión por soldeo más prácticas, aquellas que pueden aplicarse en cualquier taller, y enseñar las pautas que hay que considerar en distintos casos y sobre diferentes metales. La experiencia de la soldadura sólo se tiene desde la práctica intensa, errando mil veces hasta conseguir la habilidad necesaria.

Por otro lado, es importante observar las normas de seguridad que marcan los fabricantes de los elementos que componen los equipos de soldeo.





Generalidades

Para hablar con propiedad de los procesos de unión por soldadura, es preciso conocer el significado de los términos más empleados. Por ejemplo, **soldar** es unir sólidamente dos piezas con alguna sustancia de igual o semejante naturaleza que ellas. Por lo tanto, la unión obtenida como consecuencia de la acción de soldar es la **soldadura**. Y las acciones para obtener uniones soldadas se llaman de **soldeo**.

Aplicado a los metales, cabe distinguir entre **metal base** y **metal de aportación**. El primero se refiere a las dos o más partes objeto de una operación de soldeo, mientras que el segundo es el que sirve para unir las partes del metal base.

Otro concepto básico es el **soldeo autógeno**, más conocido como **soldadura autógena**. Hace referencia a las soldaduras obtenidas por fusión de los bordes que se desea unir sin que exista aporte extra de material, es decir, es el metal base el que cede material para que se produzca la unión. Este término suele usarse incorrectamente para designar el soldeo oxiacetilénico en general.



◀ Ejemplo de unión de piezas por soldadura heterogénea. Ares, *Anubis*, 1999 (36 × 36 × 25 cm). Hierro y latón.



▼ Ejemplo de unión de piezas por soldadura homogénea. Ares, *La gran cursa*, 1998 (63 × 59 × 10 cm). Hierro.

Soldadura homogénea y soldadura heterogénea

En metal, la unión soldada se obtiene de varias maneras, según el metal base y el de aportación que se aplique. Se habla de **soldadura homogénea** cuando los metales base que hay que soldar y el de aportación son de igual o semejante naturaleza. Y de **soldadura heterogénea** cuando son de distinta naturaleza, o siendo iguales, se usa un metal de aportación de diferente naturaleza que el de base. Técnicamente, en la soldadura homogénea existe continuidad metálica con muy buenas condiciones de resistencia mecánica entre todos los metales, pero en la soldadura heterogénea no.

En estos dos grandes apartados se encuadran las distintas soldaduras que se reseñan en el esquema de la presente página, las particularidades de las cuales se indican en el apartado correspondiente.

CUADRO SINÓPTICO DE LAS TÉCNICAS DE SOLDADURA					
Heterogénea		Homogénea			
Soldadura fuerte	Soldadura blanda	Por fusión		Por presión	
Latones Bronces	Estaño Plomo y metales de baja fusión	Al arco voltaico	A la llama de soplete	Por resistencia	A la forja
		Electrodo revestido, MIG, MAG y TIG	Oxigás		

▼ En la soldadura heterogénea se observa la separación clara de superficies; en la soldadura homogénea, en cambio, la continuidad metálica.



Soldabilidad de los metales

La **soldabilidad** es la propiedad que tienen los metales para unirse de forma permanente por fusión. Esta característica permite construir objetos mediante diferentes técnicas de soldadura; sin embargo, no todos los metales tienen las mismas condiciones de soldabilidad. Éstas dependen de factores como el coeficiente de dilatación, la fluidez en estado fundido, la conductividad térmica, el grado de pureza o el punto de fusión, tanto del metal de aportación como del o de los metales base. Tales factores determinan el procedimiento de soldeo más conveniente para unir metales de diferente naturaleza. Por ejemplo, para el soldeo del cobre, que tiene una conductividad térmica diez veces mayor que el acero al carbono, hay que utilizar fuentes de calor muy potentes y a menudo calentar las piezas antes. La alta conductividad térmica del cobre dificulta la localización del calor necesario para que se fundan los bordes y pueda unirse.

El punto de fusión también está relacionado con la soldabilidad. Los metales puros funden a una temperatura fija, en cambio, las aleaciones no tienen una temperatura con-

creta, ya que al estar compuestas de varios metales se dice que tienen un **intervalo de fusión**. Es decir, una aleación que tiene un intervalo entre 850 y 950 °C, al calentarlo empieza a fundir a 850 °C y sólo lo está totalmente a los 950 °C. El caso más claro es el del latón, una aleación de cobre y cinc. El cinc funde a 420 °C y llega a la ebullición a los 900 °C. El latón funde en un intervalo de 850 a 1000 °C, según su composición, y provoca que a estas temperaturas parte del cinc entre en ebullición y se volatilice. A consecuencia de esto, el cordón de soldadura queda empobrecido de cinc y se modifican las propiedades originales.

Otro factor que repercute en la soldabilidad de los metales es el grado de desoxidación. El contacto de los metales con el oxígeno del aire crea una capa de óxido que dificulta los procesos de soldeo. Un ejemplo de esto se muestra al soldar el aluminio o sus aleaciones. En contacto con el aire, el aluminio genera una capa fina de óxido llamada **alúmina**. Este óxido funde entre 1200 y 2000 °C, muy por encima al propio metal lo hace a 660 °C, y esto impide la unión entre el metal base y el de aportación.

Para evitar los problemas de soldeo debidos al óxido, se emplean decapantes químicos o se hacen amolados mecánicos superficiales que mantengan limpias las zonas donde se debe aplicar la soldadura.

También es recomendable usar fundentes como el bórax. Este producto actúa como desoxidante y evita que se formen óxidos durante el soldeo, a la vez que permite controlar el baño de fusión reduciendo su fluidez.



▲ Los fundentes y decapantes ayudan a evitar y eliminar la formación de óxidos durante las operaciones de soldeo.

Apuntes de electricidad

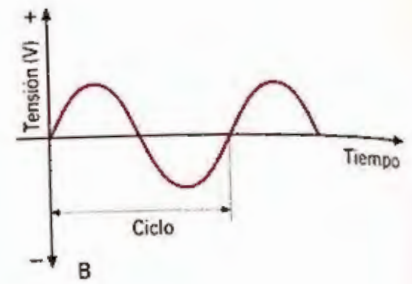
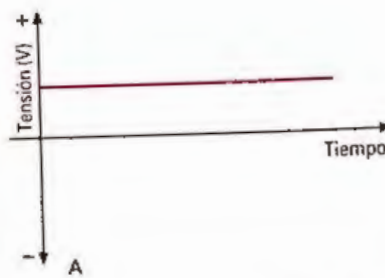
La electricidad es una de las fuentes de energía más utilizada en los procesos de soldado. En la soldadura por fusión produce el arco voltaico y en la soldadura por resistencia origina calor por efecto Joule. También se emplea en el soldeo blando con los soldadores eléctricos. Por lo tanto, es preciso conocer algunos términos del campo de la electricidad, muy usados en esta tecnología de soldadura.

La corriente eléctrica, a grandes rasgos, es el movimiento de electrones entre los polos de un circuito. Cuando circula siempre en el mismo sentido, del polo negativo al positivo, hablamos de **corriente continua (c.c.)**. Los equipos de soldar que la emplean poseen un terminal positivo y otro negativo y la corriente procede de un rectificador que cambia la de la red de suministro. En cambio, en la **corriente alterna (a.c.)** los electrones circulan del polo negativo al positivo y viceversa, cambiando de sentido 50 o 60 veces por segundo, según los países. Ésta es la forma en que la suministran las compañías eléctricas. Los equipos para soldar que la emplean tienen transformadores y en ellos pierde el sentido hablar de polaridad, pues cambia continuamente.

La corriente alterna monofásica tiene forma de onda sinusoidal, tanto de tensión como de intensidad, que varía con el tiempo. Cada onda completa se llama ciclo y el número de ciclos por segundo es la frecuencia, que se mide en hertzios (Hz). En los talleres normalmente se emplea la corriente alterna industrial **trifásica**. Se trata de una corriente compuesta por tres alternas monofásicas.

La **intensidad (I)** de una corriente eléctrica es la cantidad de electrones que pasan por una sección de conductor por unidad de tiempo. La unidad de corriente en el Sistema Internacional de Unidades es el **amperio (A)**.

Otro concepto esencial es la tensión o diferencia de potencial entre los polos, que se mide en **voltios (V)**. Las compañías suministradoras la distribuyen a 125, 220 y 380 V en corriente alterna monofásica de 50 o 60 Hz, las dos primeras y en trifásica la tercera. Pero para otros usos puede suministrarla hasta 25.000 V, y transportarla con voltajes que llegan a 400.000 V a largas distancias.



▲ A) En la corriente continua el sentido y el valor de la intensidad de corriente permanecen constantes en el tiempo. B) En la corriente alterna el sentido de la intensidad varía periódicamente.

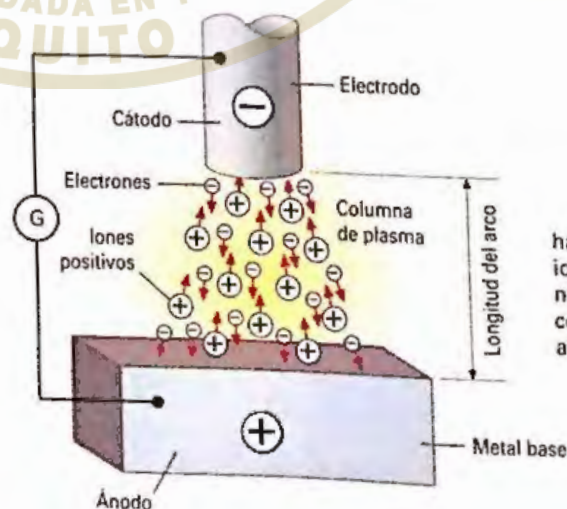


◀ La corriente alterna trifásica se compone de tres corrientes alternas monofásicas.

Arco voltaico

En estos procesos de soldeo, la fuente de calor que funde el metal de aportación y el de base es el arco voltaico. Consiste en paso de la electricidad a través de un gas entre dos conductores algo separados. Uno de ellos es el **electrodo**, constituido, por lo general, por el metal de aportación en diversos tipos de soldeo por arco (excepto en el proceso TIG), y el otro la **masa**, que lo forma el metal base de las piezas que hay que unir. La zona gaseosa atravesada por la corriente

eléctrica, llamada **columna de plasma**, pueden ser el aire que se ioniza al saltar la chispa y que rodea la zona que se debe soldar, los vapores desprendidos por el revestimiento de los electrodos o un gas de protección aportado en algunos procesos de soldeo. En esta zona se genera una temperatura muy elevada que funde los metales en aquel punto. El arco voltaico es la consecuencia de la transformación de la energía eléctrica en calor y luz, y alcanza temperaturas de 6000 °C.



◀ Los electrones se dirigen hacia el terminal positivo y los iones positivos hacia el terminal negativo, generando una columna de plasma que puede alcanzar los 6000 °C.

Fuentes de energía para el soldeo por arco

Las compañías suministran corriente alterna de intensidad baja y voltaje alto. Sin embargo, para soldar se precisa corriente de alta intensidad y bajo voltaje, con valores comprendidos entre 50 y 1500 A y de 20 a 80 V, adecuada para que se forme un arco voltaico estable. Mediante las fuentes de energía se modifica la corriente de la red en una alterna o continua con las características antes indicadas. Las fuentes más usuales son los transformadores, los rectificadores y los inversores. Los transformadores modifican los valores de voltaje y la intensidad de la red, es decir, de la corriente alterna. Y los rectificadores convierten la corriente alterna en continua. Los inversores transforman la corriente continua en alterna.

En general, el uso de una u otra fuente de energía lo condiciona la sofisticación de los procesos de soldadura. Así, la fuente para el soldeo de los procedimientos MIG y MAG suministra corriente continua mediante un rectificador. En cambio, para la soldadura con electrodo revestido se usan indistintamente rectificadores, transformadores o inversores, en función, en un nivel muy profesional, del electrodo empleado o de la tensión de vacío que se requiera.

El cordón de soldadura

El cordón de soldadura es el resultado de la aportación de metal durante el proceso de soldeo. En él se distinguen dos partes: **la cara o lomo y la raíz**. Con sólo observarlo se distingue una buena soldadura de una mala. Así, la presencia de la raíz en un cordón es una evidencia de que la soldadura ha penetrado suficientemente entre las piezas,

formando una buena unión. En cambio, un cordón con excesivo sobreespesor en el lomo, en relación con el grueso de las piezas unidas, suele indicar falta de penetración y, por lo tanto, una unión débil.

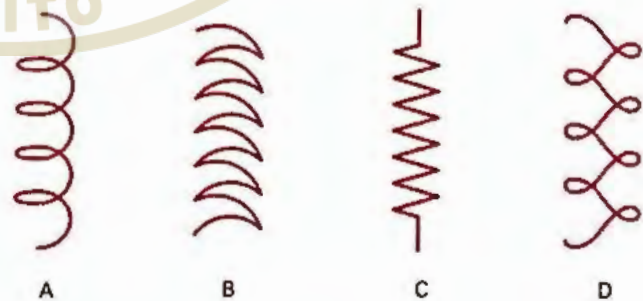
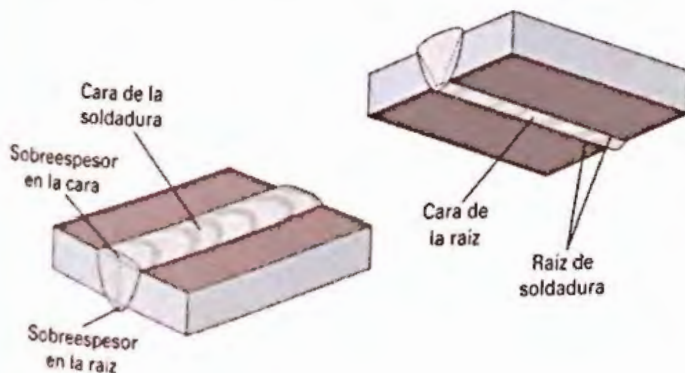
Además, en la construcción del cordón influye también el movimiento que se aplica al electrodo, a la varilla de aportación o a la torcha en los diferentes procesos de soldeo, a medida que se avanza en la soldadura. De esta forma, el cordón puede ser recto o con balanceo. En el primer caso, se trata del cordón hecho sin oscilación. Está indicado para piezas de poco espesor y permite depositar la soldadura con rapidez reduciendo el aporte

de calor y las deformaciones. En el segundo caso, se aplica un movimiento de oscilación lateral a los distintos formatos de metal de aportación a fin de asegurar su penetración en bordes de espesor mediano y grueso. Se distinguen cuatro movimientos de balanceo: circulares, destinados a cordones que no requieren gran aporte de metal ni elevada penetración; semicirculares, que describen un arco o media luna y aseguran muy buena fusión de los bordes; en zigzag, para cordones anchos y para relleno rápido de uniones; y entrelazados o de peinado, para cordones de acabado que cubran los de relleno y dejar una soldadura con buena apariencia.

◀ Dibujos realizados con cordones de soldadura de acero inoxidable sobre chapa de acero al carbono. El cordón de soldadura también puede ser un elemento con una función gráfica y estética independiente, aparte de su función de unir.



▼ Cara o lomo y raíz de un cordón de soldadura.

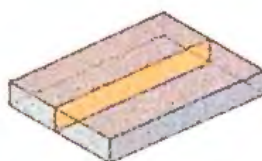


▲ Diagrama de los movimientos de balanceo en la realización de un cordón de soldadura: circulares (A), semicirculares (B), en zigzag (C), entrelazados o de peinado (D).

Tipología de la unión soldada

Hay varias formas de unir piezas por medio del cordón de soldadura. Estas dependen de variantes como el tipo de soldadura, el metal base que hay que soldar, las características de la soldadura o de los elementos de trabajo de que se dispone. La forma y las dimensiones de las piezas también condicionan la unión. Por ejemplo, la unión recomendada para el soldeo heterogéneo blando requiere el máximo de superficie posible de contacto entre las piezas para facilitar el relleno por capilaridad del espacio entre ellas y conseguir así mayor resistencia. Sin embargo, para hacer un cordón de soldadura sin metal de aportación, las juntas que se desean unir han de estar en contacto permanente para que cada pieza ceda parte de material que posibilite la unión.

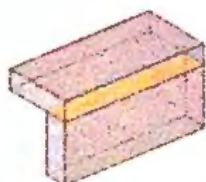
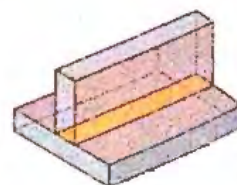
Las diferentes uniones son: a tope, en esquina, en T y a solape. Estos nombres describen la posición entre sí de las piezas que hay que soldar. Las uniones a tope y en esquina son las más comunes en los casos en que no se necesita metal extra, como en el soldeo autógeno oxiacetilénico o el procedimiento TIG. La unión a solape es muy usada en los procesos de soldeo blando, fuerte y por resistencia.



► La soldadura realizada en una unión a tope recibe el nombre de soldadura a tope.



◄ Soldadura en ángulo sobre unión T.



► Soldaduras en esquina o ángulo.



▲ Soldadura en ángulo sobre unión a solape.

Preparación de los bordes

Para que una soldadura ofrezca una resistencia óptima deben prepararse adecuadamente los bordes y las superficies de las piezas. De esta forma, además del resultado se facilita el proceso de soldeo. Se distinguen tres preparaciones según el borde o superficie donde se alojen las soldaduras; éstas son: en bordes rectos, en bordes achaflanados y en bordes levantados.

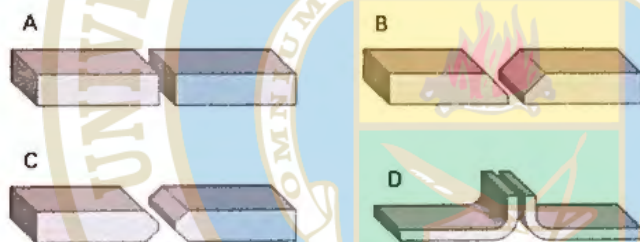
En los bordes rectos se trata de situar los bordes a escuadra con la superficie de la pieza. Por lo general, se deja una separación entre las piezas, aproximadamente una distancia igual a la mitad del espesor de los bordes para facilitar la entrada de la soldadura, salvo donde no se utilice metal de aportación, en que deben estar en contacto. Esta preparación se utiliza en piezas cuyos bordes no superen los 3 mm de espesor; a las que tengan un grueso superior, se les practican chaflanes en los bordes. Dichos bordes achaflanados deben formar entre sí un ángulo cuya abertura varía en función de su grosor, lo cual facilita una buena penetración de la soldadura y hace más resistente la unión. En

espesores de 5 a 10 mm se aplica el chaflán en forma de V, es decir, cada parte es rebajada mecánicamente con una amoladora provista de un disco de desbarbar, hasta formar un ángulo de 45° . Entre los dos bordes rebajados se forma un ángulo de 90° en forma de V. La parte afilada de los bordes se suele dejar recta para evitar que se queme durante el soldeo. Esta parte se denomina **talón**.

Cuando se trata de bordes con espesores superiores a los 10 mm se practica un chaflán en forma de X. Este bisel es en realidad un chaflán en forma de V practicado por las dos caras de los bordes, respetando el talón correspondiente.

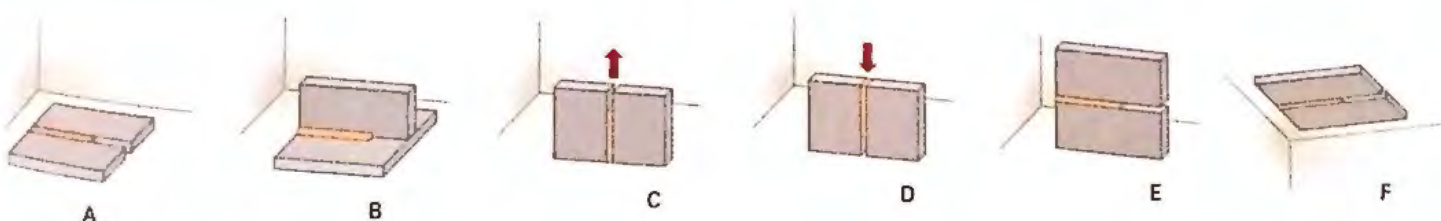
Otra preparación posible es la de bordes levantados. Consiste en levantar ligeramente los bordes de las piezas que deben unirse para que al fundir proporcionen el metal necesario para la soldadura, sin que haya aportación extra. Se utiliza en bordes de 1 mm de espesor y es muy eficaz en el soldeo del cobre y los latones. Como se ha apuntado, está indicada para los procesos de soldeo oxiacetilénico sin metal de aporte y el soldeo TIG.

► Diferentes geometrías en la preparación de los bordes que alojarán las soldaduras: rectos (A), achaflanados en V (B), achaflanados en X (C) y levantados (D).



► En espesores superiores a los 3 mm es necesario realizar chaflanes para asegurar la perfecta unión de las piezas.

▼ Diferentes posiciones en los procesos de soldeo: horizontal o plana (A), en ángulo (B), vertical ascendente (C), vertical descendente (D), en cornisa (E) y bajo techo (F).



Posiciones de soldeo

Los cordones de soldadura se pueden realizar en distintas posiciones: en horizontal o plana, en ángulo, en vertical ascendente o descendente, en cornisa y bajo techo. Siempre que sea posible, es mejor poner las piezas que hay que unir en posición horizontal, ya que es la mejor para realizar un buen cordón de soldadura. Como norma general, en los procesos de soldeo bajo techo es preciso disminuir la intensidad un 10 % respecto a la posición horizontal, para contrarrestar la fuerza de la gravedad sobre el metal de aportación cuando funde. En cuanto al soldeo en **vertical**, se usa la variedad de **descendente** en piezas de espesor fino, pues el escaso poder de penetración de la soldadura en esta posición evita que se perforen las piezas. Sin embargo, el soldeo vertical **ascendente** es adecuado para espesores superiores a 6 mm debido a su gran poder de penetración.



Deformaciones de las piezas

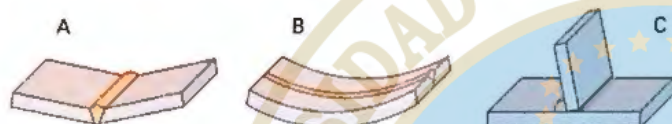
En todos los procesos de soldeo por fusión se producen dilataciones de los metales por efecto del calor. Al dilatarse, las piezas aumentan de volumen y luego, cuando se enfrían, vuelven a su estado original. Esto ocurre siempre que el calentamiento y el enfriamiento se realiza de manera uniforme en todas las piezas; pero cuando esto no es así se producen deformaciones de las mismas o en parte de ellas.

En general, se producen calentamientos localizados en las zonas donde se depositan los cordones de soldadura. Estas zonas calentadas están rodeadas de otras frías que impiden una dilatación libre, lo que provoca deformaciones y tensiones internas en las piezas.

Prevención de las deformaciones

Existen varias maneras de contrarrestar las deformaciones producidas por las acciones de soldeo. En primer lugar, para reducir las al máximo no hay que depositar en la unión más metal de aportación del necesario, pues de este modo se evita un exceso de calor de las piezas. Después, el diseño de los bordes, donde se busca la mayor simetría y el menor ángulo posible al realizar chaflanes en los bordes; luego, la forma de montar las piezas, por ejemplo, sujetando las piezas con sargentos o con algún objeto pesado que evite el movimiento que provocan las tensiones internas por efecto de las dilataciones, o deformando previamente las piezas en sentido

contrario a la que se prevee. También se debe cuidar el procedimiento de soldeo, por ejemplo realizando las soldaduras de forma rápida para reducir el aporte de calor, o precalentando las piezas antes de soldar para que no se enfrien rápidamente y permitir que se adapten a los cambios de volumen, sobre todo en las muy gruesas, o realizando cordones de manera simétrica, es decir, que cada cordón contrarreste las deformaciones provocadas por el anterior. Por último, el orden de los cordones, es decir, la secuencia que se utiliza para depositar los cordones. Así, en uniones largas se puede usar el método conocido como paso del peregrino, que consiste en compensar la deformación depositando pequeños cordones de soldadura en sentido contrario al de avance del soldeo. También el



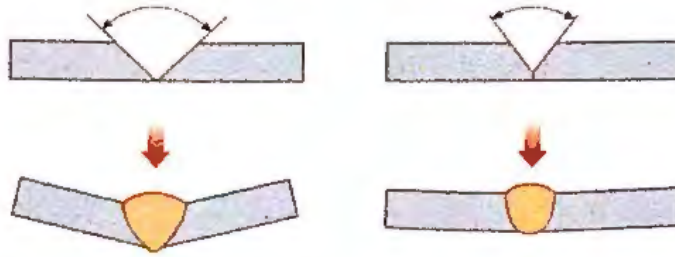
◀ Diferentes deformaciones: angular en una unión a tope (A), por contracción longitudinal (B) y angular en una unión en T (C).



◀ La colocación de objetos pesados sobre las piezas evita su deformación al realizar la soldadura.

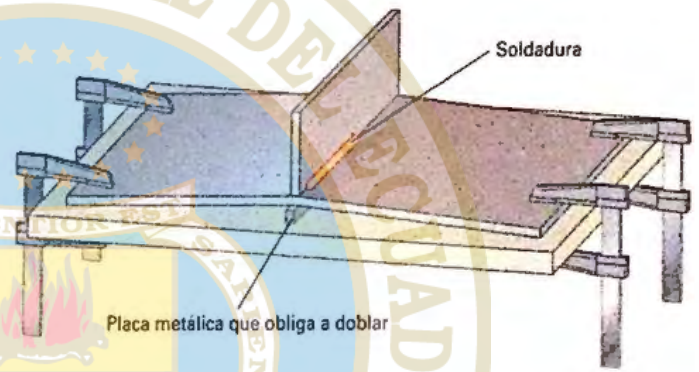
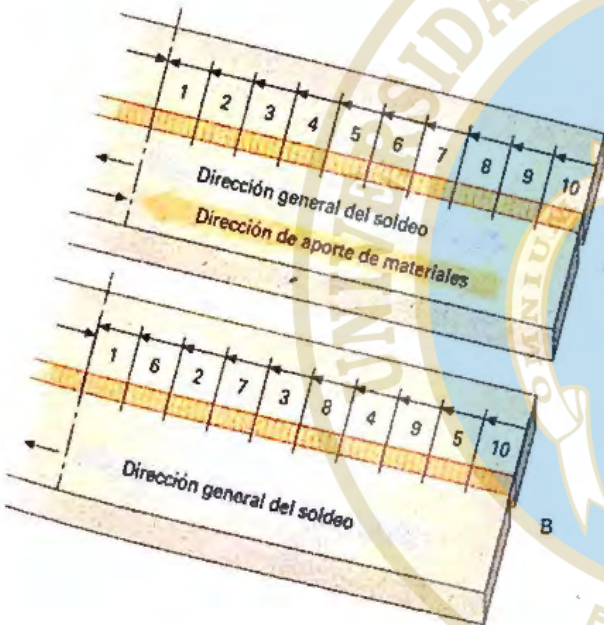
llamado al tresbolillo ayuda a reducir las deformaciones; consiste en ir alternado los cordones regularmente y de manera espaciada, realizando la soldadura en sentido contrario al avance del soldado.

Aun tomando todas las precauciones para evitar las tensiones y las deformaciones no siempre se impiden. Otros procedimientos para subsanar estas deformaciones se basan en tratamientos térmicos posteriores al soldado. Se trata de calentar uniforme o localizadamente las piezas y hacer que se enfrien de manera lenta.



▲ Un cordón de soldadura hecho en un ángulo de chaflán abierto produce una deformación más acusada que el efectuado en ángulos de chaflán más cerrados.

▼ Secuencia de soldado denominada paso del peregrino (A) y secuencia de soldado denominada al tresbolillo (B).



▲ Una forma de contrarrestar las deformaciones es hacerlas previamente en las piezas en sentido contrario a la prevista.

► Pieza deformada por la dilatación que provocan los cordones de soldadura.



Soldeo con electrodo revestido

En la soldadura con electrodo revestido la fusión del metal, tanto el de aportación como el base, se produce por el calor que genera un arco voltaico que se establece entre el extremo del electrodo revestido y el metal base de las piezas a soldar.

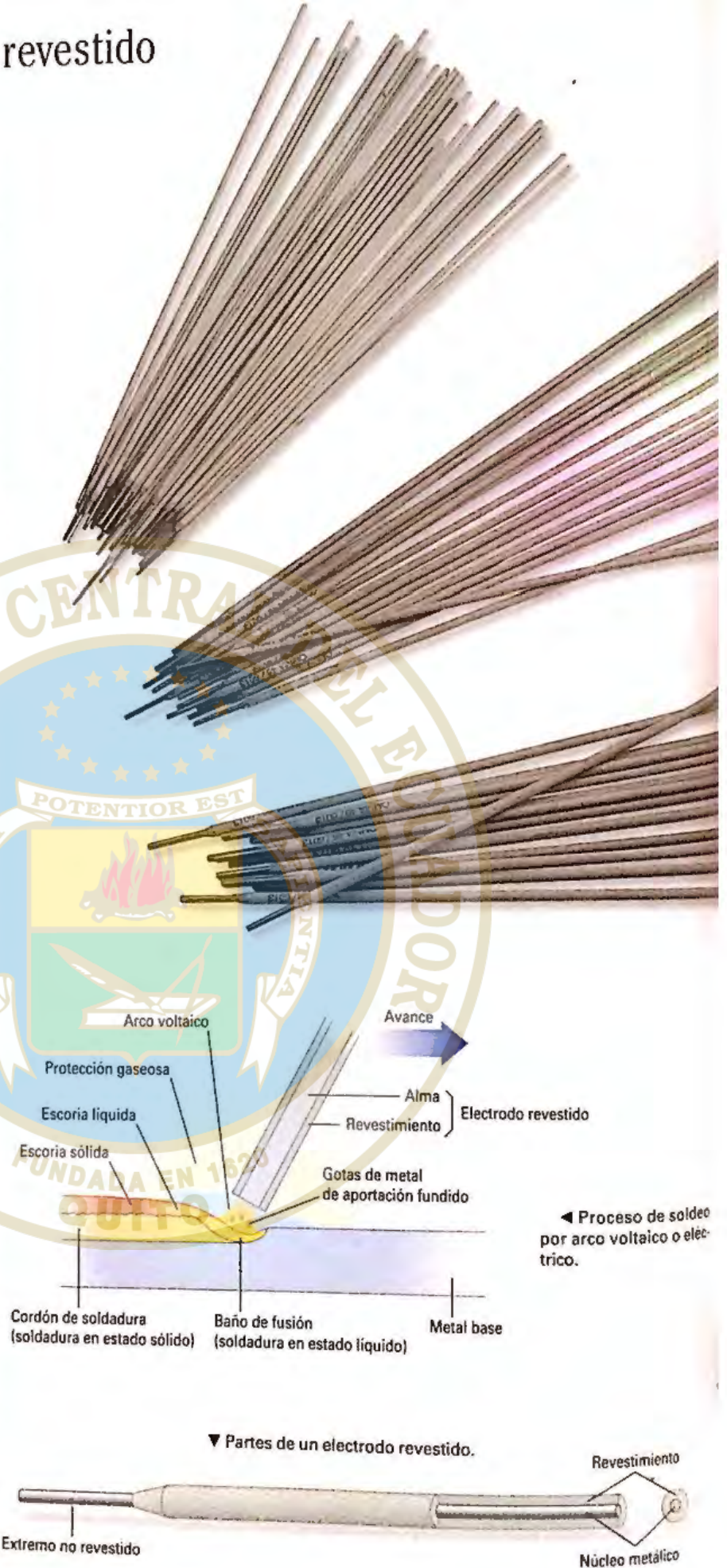
El soldeo con electrodo revestido requiere mucha práctica, pues es necesario controlar a la vez una serie de parámetros de soldeo. Por contra, el equipo necesario es bastante fácil y asequible de adquirir, y además es portátil. Con él se pueden soldar gran variedad de metales de grosor superior a 1,5 mm. Los metales con un punto de fusión bajo como el plomo, el estaño o el cinc y las aleaciones derivadas no se pueden soldar con este método debido a las altas temperaturas que se alcanzan. Pero sí es aplicable a los metales féreos (aceros al carbono, aleados, inoxidable y fundiciones) y a algunos no féreos (aluminio, cobre, níquel y sus aleaciones).

El electrodo revestido

Es la parte que establece el arco voltaico, protege el baño de fusión y realiza la aportación de material. Consta de una varilla metálica, llamada **alma**, recubierta de un compuesto de distintas sustancias químicas. El metal de la varilla está formado por diferentes materiales ferrosos y no ferrosos, dependiendo del metal base que se deba soldar. El **revestimiento** tiene la función de estabilizar el arco y formar gases que protejan el baño de fusión para que no accedan a éste el oxígeno y el nitrógeno del aire. También forma una escoria que cubre el cordón de soldadura para impedir un enfriamiento brusco que podría provocar grietas, y de nuevo evitar la oxidación del cordón y la creación de poros en su interior, volviéndolo débil.

Dependiendo del revestimiento, existen cinco tipos básicos de electrodos de acero al carbono: de rutilo, básico, celuloso, ácido y oxidantes. El más común es el electrodo de rutilo, cuyo revestimiento está compuesto por bióxido de titanio y se puede usar con corriente alterna o continua, colocándolo en este último caso en el polo negativo. Además, el rutilo suelda en todas las posiciones (plana, vertical, cornisa y bajo techo) y produce un arco estable y suave de fácil manejo. También crea una escoria densa que se distribuye uniformemente a lo largo del cordón de soldadura.

Los demás electrodos poseen unas características especiales que complican su manejo y su uso está recomendado para trabajos de soldadura especial realizada por profesionales.



Características del electrodo

◀ Diferentes longitudes en electrodos de distinto diámetro.

Los electrodos tienen longitudes normalizadas de 150, 200, 250, 300, 350 y 450 mm, según sea el diámetro del alma. También este diámetro está normalizado, los más comunes son 1,6, 2, 2,5, 3,25 y 4 mm.

El diámetro del electrodo se elige en función del espesor de las piezas que hay que unir. Uno excesivo aportaría demasiado calor y provocaría el desfondamiento del metal en el punto de soldadura; en cambio, uno muy pequeño implicaría gastar más electrodos y aportar más calor durante más tiempo a la pieza, lo cual provocaría deformaciones.

Numeración del electrodo

Para asegurar la uniformidad de los electrodos de distintos fabricantes, la AWS (American Welding Society) y la ASTM (American Society for Testing of Materials) establecieron una serie de requerimientos y normas para su clasificación y designaron con un código de

cifras y letras los electrodos con las mismas características de soldadura. Este código indica la corriente (alterna o continua) que puede utilizar, la posición de soldado que permite, la naturaleza del metal y el grado de resistencia que debe poseer. Está compuesto por una letra, llamada prefijo, seguida de cuatro dígitos. Por ejemplo, un prefijo E indica que se trata de un electrodo para la soldadura eléctrica por arco voltaico. Los dos primeros dígitos indican la resistencia a la tracción en miles de libras por pulgada cuadrada (psi). Así, un número 60 indica que el material depositado resiste una tracción de al menos 60.000 psi, y 100.000 psi equivalen a 70 kg/cm². El tercer dígito marca las posiciones de soldado para las que es indicado el electrodo. Un 1 indica que suelda en todas las posiciones, un 2 que debe limitarse a soldaduras en posición horizontal y en cornisa, y un 3 que sólo debe usarse en posición horizontal. Finalmente, el cuarto dígito determina características específicas del electrodo, como el revestimiento, las exigencias eléctricas o el poder de penetración; sus valores van del 0 al 8.

▼ La parte del electrodo que no está recubierta por el revestimiento de protección es la que se debe colocar entre las mandíbulas de la pinza portaelectrodos.

▲ En la práctica, algunos electrodos sólo tienen grabados los cuatro dígitos que explican sus características. En este caso, el código tras la marca y la barra inclinada indica que es un material resistente a la tracción de 60.000 (psi, o 43 kg/cm²), que es apto para el soldado en todas las posiciones y, por último, el 3 indica que el revestimiento es a base de rutilo con sales de potasio, que se puede usar con corriente continua en cualquier polaridad y en alterna, y que el depósito es de mediana calidad con poco poder de penetración.



Parámetros de soldeo

En la soldadura con electrodo revestido deben observarse varios parámetros esenciales que influyen en la calidad de la misma.

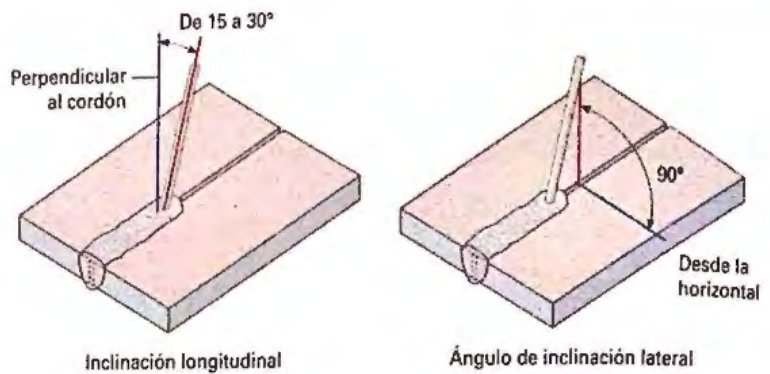
El **diámetro** del electrodo debe elegirse en función del espesor del material, de la unión y de la posición de soldeo. Así, en las posiciones bajo techo, de cornisa o vertical deben evitarse electrodos gruesos para que el metal de aportación fundido no caiga por efecto de la gravedad. En general, deben emplearse electrodos de poco diámetro en piezas de espesores finos, en el punteado inicial de las juntas y siempre que se quiera evitar el calentamiento de las piezas.

La **intensidad** de corriente en el soldeo interviene en el grado de introducción de la soldadura en el metal base y depende del diámetro del electrodo y de la posición. A más intensidad mayor es la penetración, pero un exceso produce mordeduras en los bordes y aumenta la proyección de partículas incandescentes. La posición de soldeo también influye en la intensidad y en la calidad de la soldadura; así, en horizontal y en la posición de cornisa debe haber una intensidad superior que en la bajo techo para contrarrestar el efecto de la gravedad sobre el baño de fusión. Sin embargo, en la posición de soldeo en ángulo la intensidad debe ser muy superior a de las otras posiciones para asegurar que el baño de fusión entre suficientemente en el ángulo.

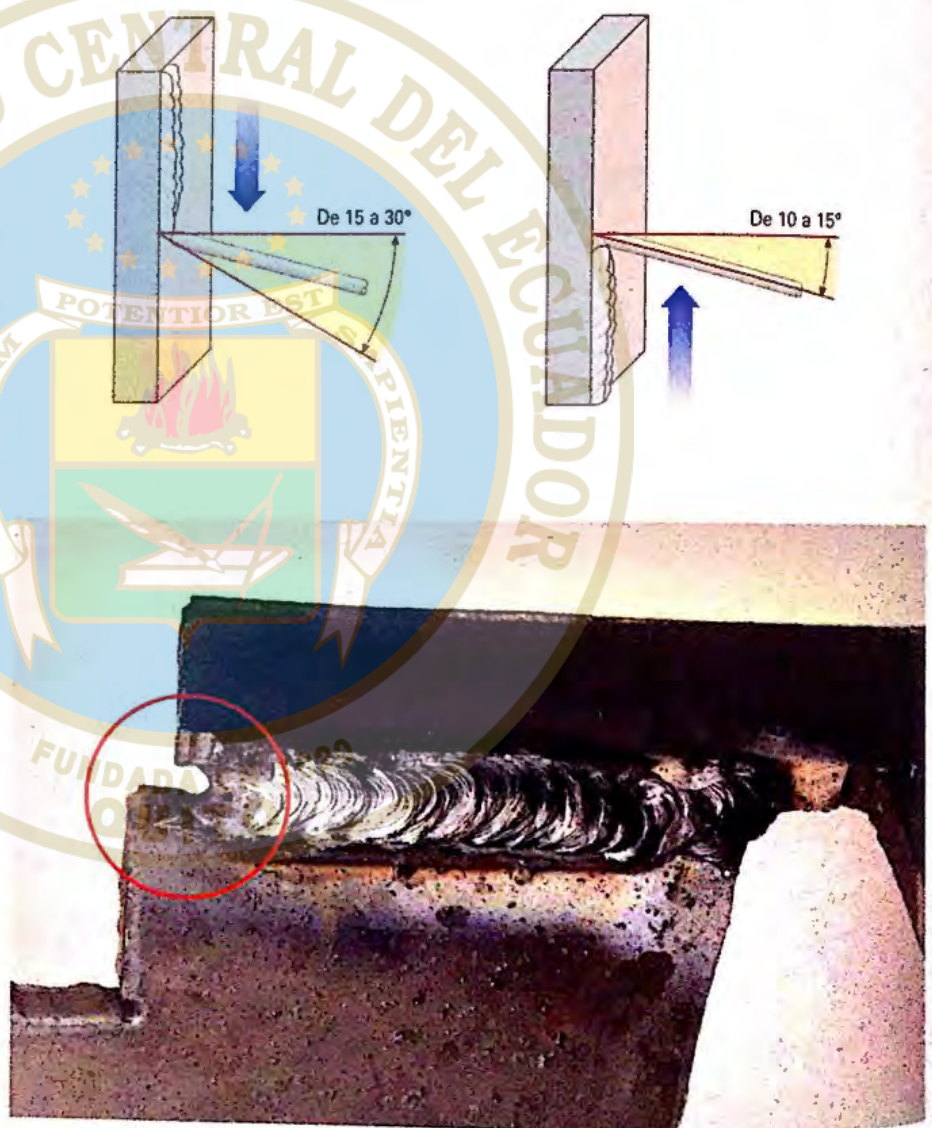
La **longitud del arco** también influye en la calidad de la soldadura y está relacionada con la intensidad, el diámetro y tipo del electrodo y la posición de soldeo. En general, la longitud del arco debe ser igual al diámetro del electrodo, y es esencial mantener una distancia constante durante todo el proceso para evitar penetraciones desiguales.

La **velocidad de avance** debe lograr que el arco vaya algo por delante del baño de fusión. Una velocidad rápida evita sobrecalentamientos del metal base y produce cordones de soldadura finos que se enfrían pronto. Sin embargo, si es excesiva dificulta la retirada de la escoria y provoca la aparición de poros en el cordón.

La **inclinación** del electrodo con respecto a las piezas influye sobre la forma y la calidad del cordón de soldadura. Una inclinación inadecuada puede favorecer la inclusión de escoria dentro del cordón. Esta inclinación la definen dos ángulos: uno longitudinal, entre el electrodo y el cordón de soldadura, y otro lateral, entre el electrodo y las piezas que se deben soldar. Estos ángulos varían en función de la posición de soldeo.



▲ ▼ Ángulos aproximados del electrodo en relación con la pieza y el cordón de soldadura para distintas posiciones de soldeo.



▲ Para saber si la intensidad de soldeo es la correcta se observa si existe un huevo con forma de ojo de cerradura en el extremo del cordón de soldadura. Éste no debe ser demasiado grande, pues indicaría exceso de intensidad. En la imagen se aprecia al final del cordón el tamaño del huevo que evidencia que se suelda con la intensidad correcta.

Cebado del arco

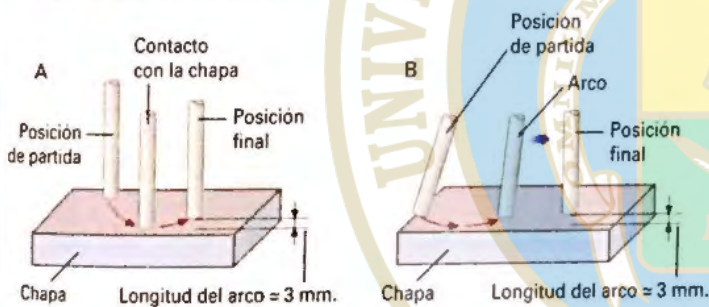
Cebado del arco es encender el electrodo provocando un cortocircuito entre éste y la pieza que tiene conectada la masa, estableciendo así el arco voltaico para iniciar la soldadura.

El cebado consiste en golpear ligeramente la punta del electrodo sobre el extremo de la pieza donde debe comenzar el soldeo y separarlo de inmediato hasta una distancia igual al diámetro del electrodo, iniciando el arco voltaico. Otro modo de cebado del arco consiste en hacer un movimiento con el extremo del electrodo sobre la pieza similar al que se realiza al encender un fósforo.

Independientemente de la técnica usada para el cebado, es importante levantar en seguida el electrodo a la altura adecuada para establecer el arco; de lo contrario, se pega a la pieza y se pone rápidamente al rojo vivo a causa del paso de la corriente eléctrica a través de él. En este caso se procede con rapidez y se despegue estirando de la pinza portaelectrodos o, si no resulta, se desengancha de la pinza portaelectrodos. Ambas operaciones se realizan sin retirar la pantalla de protección de delante de los ojos para evitar que la luz intensa los dañe.

Una vez establecido el arco voltaico se procede con una velocidad de avance, una intensidad, una inclinación del electrodo y una longitud de arco adecuadas. Cuando todo esto es correcto se produce un ruido característico del proceso de soldadura similar al chisporroteo del aceite caliente en una sartén.

▼ Dos formas de cebado del arco: golpeando ligeramente el extremo del electrodo sobre la pieza (A), y realizando un movimiento con el extremo similar al encendido de un fósforo (B).



▲ La pinza de masa se sujeta a la pieza que se debe soldar, de modo que se cierre el circuito al poner el electrodo en contacto con la pieza.



◀ Aspecto de la escoria después de la operación de soldeo y una vez se ha solidificado. Cuando no se controla bien la escoria en el baño de fusión se produce su inclusión en el cordón de soldadura. Para evitarlo se procura que la escoria no se adelante al baño de fusión.

Soldeo por resistencia

El soldeo por resistencia se fundamenta en el **efecto Joule**, que afirma que todo conductor recorrido por una corriente eléctrica sufre un calentamiento. Este calor crece cuando aumentan, indistintamente, la resistencia del conductor, la intensidad o el tiempo de paso de la corriente.

En el soldeo por resistencia, el calor necesario para fundir el metal se produce con una corriente eléctrica de alta intensidad que se hace transitar a través de la unión durante un tiempo corto, usando para ello dos electrodos de cobre. Como consecuencia del paso de la corriente a través de las piezas que se sueldan se produce calor, sobre todo en las caras que están en contacto. Además del calor generado por la intensidad, es necesario aplicar presión sobre la zona de unión durante el paso de la corriente eléctrica.

En general, los equipos de soldeo por resistencia trabajan con corriente alterna, monofásica y trifásica, generada por un transformador y aplicada por dos brazos de cobre llamados **electrodos de contacto**. Un temporizador externo controla el tiempo de paso de la corriente, y un sistema mecánico, una palanca, ejerce la presión de los electrodos en el punto que hay que soldar. El proceso de soldeo por resistencia más común es el **soldo por puntos**, aunque existen otros, por ejemplo, el soldeo por roldanas, por resaltes o a tope; con ellos se pueden unir piezas de acero al carbono, acero inoxidable, aluminio o cobre.

Proceso de soldeo

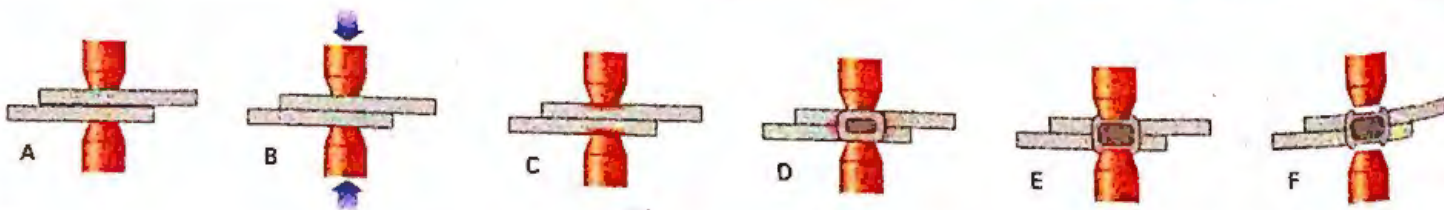
Para hacer una soldadura por puntos, es imprescindible que la unión sea a solape. Las piezas se colocan solapadas entre los dos electrodos de cobre que presionan cuando pasa la corriente a su través. En ese momento se forma una lenteja característica de estas soldaduras. Éste es el punto donde se funden y unen las dos piezas metálicas por acción de la presión y el calor de la electricidad. El punto de soldadura se localiza bajo los electrodos y es aquí donde la resistencia al paso de la corriente es mayor y, por consiguiente, donde se produce más calor.

► Este proceso de soldeo efectúa la soldadura sobre piezas unidas a solape.

▼ Marcas características en la soldadura por puntos.



▼ Secuencia de la realización de un punto de soldadura por resistencia. Al principio del contacto de los electrodos con las piezas, y antes de hacer toda la presión sobre ellas, sólo hace contacto entre un 10 y un 30 % de la sección (A). Cuando se ejerce toda la presión mejora el contacto (B). Al principio del paso de la corriente eléctrica el calor se centra en la zona de contacto (C). En este momento se forma la lenteja y cada vez hay más de calor (D). Al terminar el paso de la corriente se dejan en contacto los electrodos para disipar el calor (E). Al levantar los electrodos queda una marca en la superficie de las piezas (F).



Soldeo por arco voltaico con gas protector

En algunos procesos de soldeo por arco la protección del baño de fusión se logra envolviéndolo en una atmósfera de gas mientras dura el proceso. La principal función de este gas es impedir que el baño de fusión y el electrodo se contaminen o se oxiden. El aire se compone sobre todo de nitrógeno y oxígeno, y también de vapor de agua. Cuando el oxígeno entra en contacto con el baño de fusión, reacciona con el mismo formando óxidos. Por otra parte, el nitrógeno causa poros, pequeñas burbujas en los cordones al igual que la humedad, que además puede ocasionar grietas internas. Todo ello produce soldaduras débiles y poco fiables.

Además de la función protectora, el gas también ayuda a estabilizar el arco y facilita la soldadura.

Los gases utilizados en estos procesos se clasifican en dos grupos: activos e inertes. Se consideran **gases activos** aquellos que reaccionan químicamente a la temperatura del arco. En cambio, los **gases inertes** son los que siempre permanecen inalterables. Pertenecen al primer grupo el oxígeno, el dióxido de carbono, el nitrógeno y el hidrógeno; y al

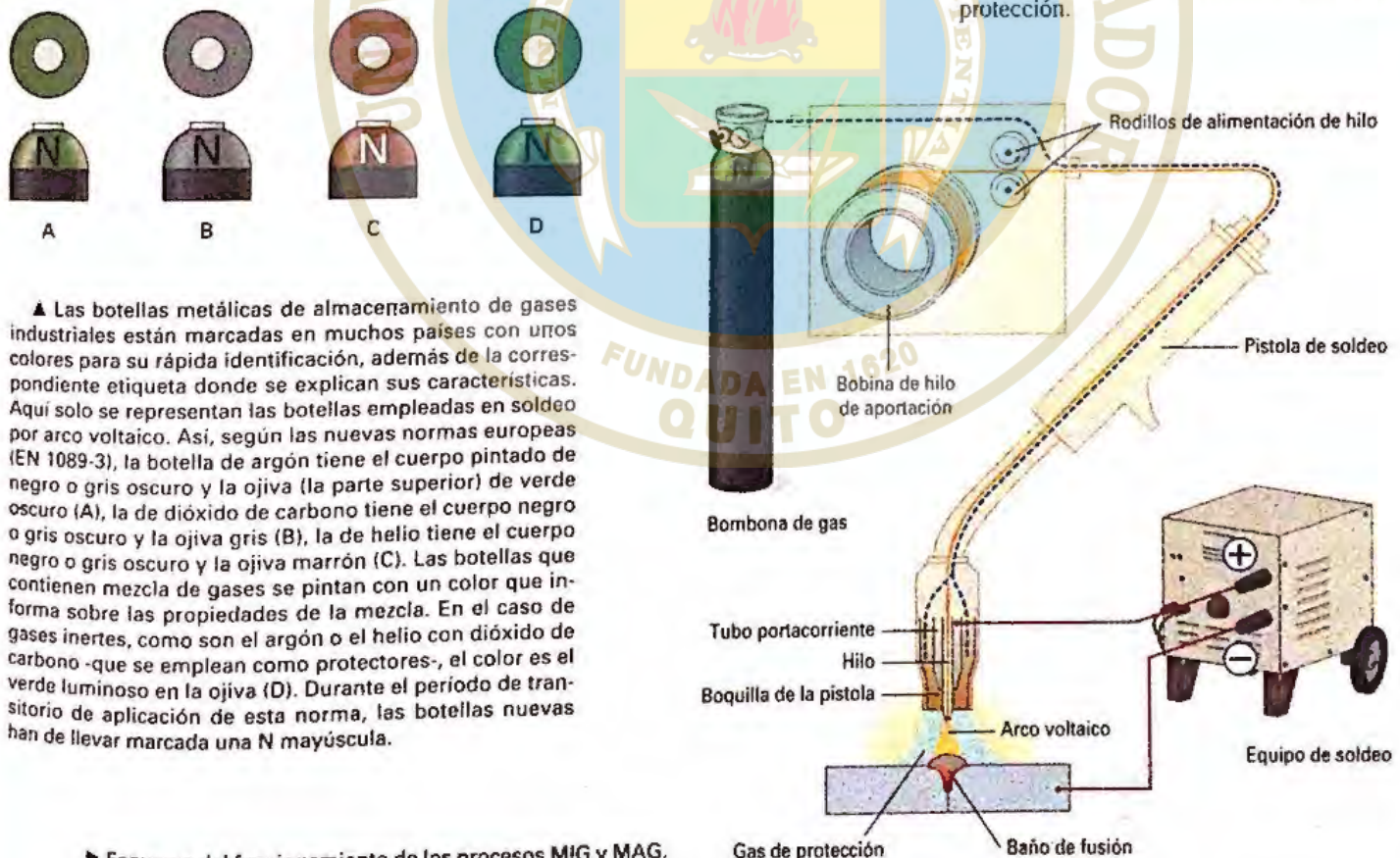
segundo, el argón y el helio. También se usan mezclados; en este caso, la mezcla es inerte cuando los gases que la componen lo son, y activa cuando uno de los gases lo es, indistintamente de la proporción del gas activo que haya en ella. Un ejemplo de mezcla de gases activos es la de argón y dióxido de carbono, y uno de gases inertes la mezcla de argón y helio.

Los tres procesos de soldeo por arco con gas protector se conocen como MIG, MAG y TIG. Las siglas MIG y MAG hacen referencia al mismo proceso de soldeo donde el electrodo es consumible, un hilo metálico macizo y sin revestimiento, que es el metal de aportación y lo suministra automáticamente el equipo soldador. La diferencia entre ambos procesos radica en el gas utilizado. Las siglas MIG significan Metal Inerte Gas (*Metal Inert Gas*) y utilizan gases inertes. En cambio, las siglas MAG significan Metal Activo Gas (*Metal Active Gas*) y utilizan gases activos. Las siglas TIG significan Tungsteno Inerte Gas (*Tungsten Inert Gas*) por usar un electrodo no consumible de tungsteno y generar el arco bajo una atmósfera de gas inerte, generalmente argón puro.

Los procesos de soldeo MIG y MAG

Los procesos de soldeo denominados genéricamente MIG y MAG establecen el arco eléctrico entre el electrodo y el metal base envuelto por una atmósfera de gas protector, uno inerte y otro activo. Por otra parte, ambos procesos utilizan como electrodo un hilo continuo de pequeño diámetro, suministrado en bobinas de varios kilos, y que se alimenta automáticamente mediante un sistema de arrastre incorporado en el equipo. El hilo continuo no tiene revestimiento que le proteja de la fusión y, por lo tanto, no produce escoria.

La protección se consigue insuflando un gas a través de una boquilla que rodea el extremo del hilo electrodo. El gas se aplica con una presión ligeramente superior a la atmosférica para que desplace el aire circundante de la zona donde se debe producir el arco. Así se crea un ambiente donde se establece el arco, se transfiere el metal de aportación y se funden los bordes de las piezas. En ambos casos, se trata de **procesos semiautomáticos**, pues la persona que hace la soldadura sostiene y guía de forma manual la pistola o torcha a través de la cual pasa la corriente eléctrica, el metal de aportación y el gas de protección.



Características del soldeo

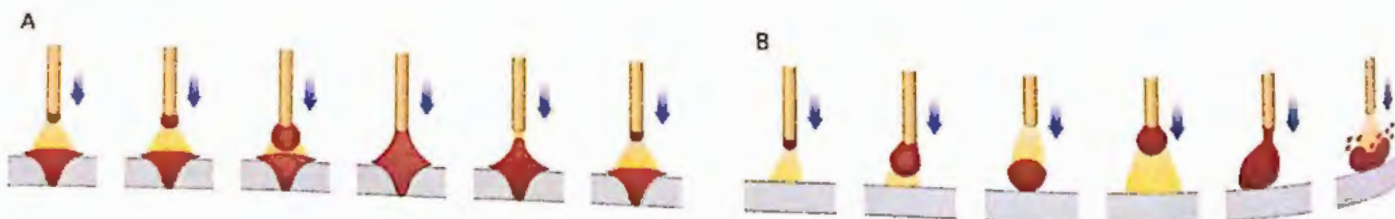
En la soldadura con hilo continuo no hay interrupciones al no tener que cambiar constantemente el electrodo. Esto reduce las posibilidades de que haya defectos al empalmar cordones. Tampoco se genera escoria, lo que facilita la visión del baño de fusión y su control, eliminando los defectos por inclusión de escoria en la soldadura.

Por otra parte, reduce el calentamiento de las piezas, disminuyendo la zona afectada por el calor y creando menos tensiones y deformaciones en las piezas por causa de las dilataciones. Por contra, la protección gaseosa limita el campo de acción a lugares donde no existan corrientes de aire importantes, las cuales podrían desplazar el gas protector y dejar que el baño de fusión contacte con el aire y se produzcan alteraciones.



▲ Cordón de soldadura con ausencia de escoria característico del soldeo semiautomático.

▼ Transferencias del metal de aportación fundido hacia el baño de fusión: por cortocircuito (A), globular (B).



Autorregulación

En estos procesos de soldeo, el metal de aportación se suministra automáticamente a una velocidad adecuada. Para que el arco voltaico sea constante es necesario que el hilo de aportación se funda a la misma velocidad que llega. Para ello, antes de soldar deben ajustarse la velocidad de alimentación del hilo y la intensidad de corriente. En los equipos de soldeo MIG y MAG la intensidad varía automáticamente hasta que se consigue una velocidad de fusión que corresponda a la de alimentación del hilo y sin que se produzcan variaciones en la longitud del arco. Esta longitud se varía disminuyendo o aumentando el voltaje.

El operario selecciona la velocidad de salida del hilo y mantiene la pistola a una distancia determinada de la pieza durante el proceso de soldeo. El equipo suministra la corriente precisa para fundir el hilo, independientemente de que quien realiza la soldadura separe más o menos la pistola de la pieza, lo que haría asomar un trozo mayor de hilo de aportación.

Transferencia del metal de aporte

El arco voltaico calienta el extremo del hilo metálico de aportación hasta fundirlo. En este momento una gota de metal pasa al baño de fusión. La forma en que ésta se desprende del hilo, el tamaño que tiene y la manera de transferirse hacia el baño de fusión influyen en el desarrollo y en el resultado de la operación de soldeo. Existen varias modalidades de transporte del metal fundido hacia el baño de fusión: el **transporte por cortocircuito**, la **transferencia globular** y la **transferencia por spray**.

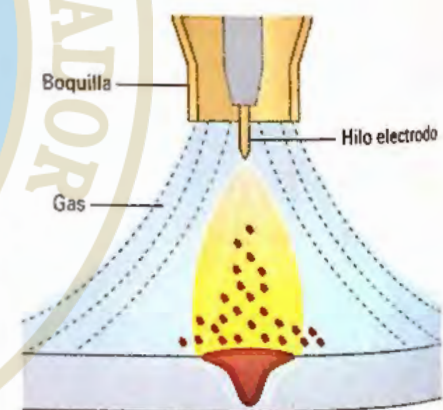
En el primer modo, la gota en el extremo del hilo no se incorpora al baño de fusión hasta que no entra en contacto con el mismo, momento en que se produce un cortocircuito entre el hilo y el baño. El extremo del hilo alimentado a velocidad constante se

aproxima al baño de fusión a la vez que el arco voltaico se va acortando hasta que desaparece cuando la gota entra en contacto con el baño. Al desprenderse la gota se restablece el arco.

El arco voltaico se está apagando y encendiendo continuamente reduciendo así el aporte de calor a la pieza. Esta transferencia es adecuada para espesores finos y posiciones de soldeo difíciles.

En la transferencia globular se aumenta el aporte de energía en el arco voltaico para que las gotas de metal fundido se desprendan antes de que entren en contacto con el baño de fusión, pero se forman gotas grandes que no siempre se proyectan hacia el arco, lo que dificulta su control.

En la transferencia por *spray* se consigue que se formen infinidad de minúsculas gotas de metal fundido que atraviesan el arco y se depositan en el baño de fusión. El arco es muy estable, pero el baño de fusión resulta bastante caliente y dificulta su uso en el soldeo bajo techo o en cornisa. Es adecuado para posición horizontal y espesores grandes.



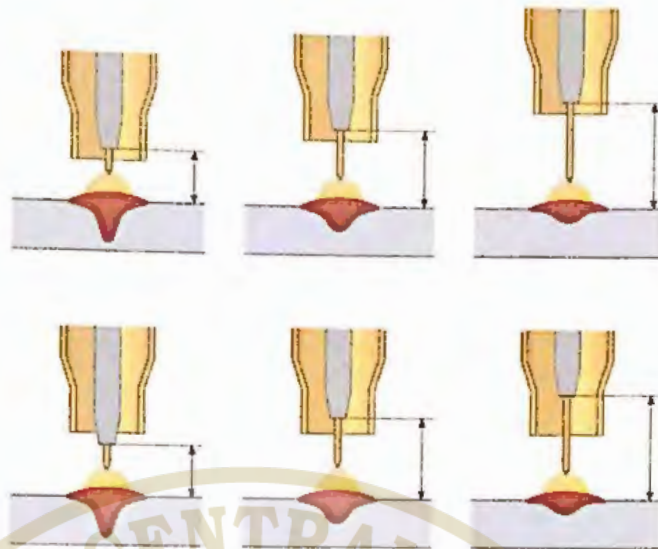
▲ Transferencia del metal de aportación fundido hacia el baño de fusión por *spray*.

Parámetros de soldeo

En el procedimiento de soldeo semiautomático se deben tener en cuenta las cuatro variables que condicionan el soldeo. Éstas son: la tensión de arco, la intensidad de corriente, la longitud terminal del hilo y la velocidad de avance.

La tensión de arco influye en su longitud; cuanto mayor sea la tensión mayor resulta la longitud de arco. También influye en la penetración y en la forma del cordón de soldadura. Una longitud de arco pequeña produce cordones estrechos y buena penetración de la soldadura. También da lugar a transferencia por cortocircuito combinado con dióxido de carbono como gas de protección.

La intensidad de corriente se aumenta o disminuye al mismo tiempo que la velocidad de salida del hilo de aportación. El equipo de soldeo suministra de forma automática la intensidad necesaria para fundir el hilo. Si se aumenta la velocidad de salida del hilo se aplica mayor calor a la soldadura y, por consiguiente, se pueden producir deformaciones.



◀ Efecto de la longitud terminal del hilo sobre la soldadura al mantener constantes la tensión y la velocidad de salida del hilo de aportación.



▲ Influencia de la longitud del arco en función de la tensión en la forma y penetración del cordón de soldadura.

La longitud terminal del hilo hace referencia al extremo de este que queda entre el tubo de contacto y la pieza. Cuando esta distancia es excesiva aumenta la cantidad de proyecciones y disminuye la penetración de la soldadura. Además, la protección gaseosa es insuficiente. En cambio, si es demasiado corta se corre el riesgo de que alguna proyección se adhiera al tubo de contacto y dificulte el avance del hilo.

La velocidad de avance del soldeo a lo largo de la junta influye sobre la forma y las dimensiones del cordón de soldadura y sobre el volumen del baño o sobre el calor aportado a las piezas objeto del soldeo. Cuanto menor es la velocidad de desplazamiento mayor penetración se logra.

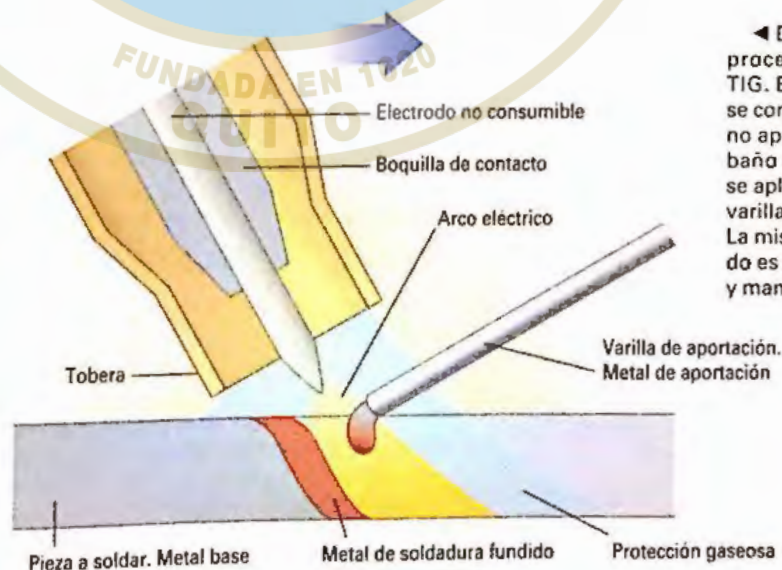
Proceso de soldeo TIG

El procedimiento de soldeo denominado genéricamente TIG (*Tungsten Inert Gas*) se basa en el arco voltaico, suministrador de calor entre el metal base y un electrodo no consumible y que se genera en una atmósfera protectora de gas inerte.

En este proceso de soldeo el material de aportación se aplica de forma manual con varillas. En ocasiones, si las juntas de las piezas están en contacto se puede realizar la soldadura sin material de aportación, pues éste lo ceden las piezas objeto de soldeo.

El proceso de soldeo TIG es adecuado para unir gran variedad de metales. Produce cordones de soldadura uniformes sin escoria y no proyecta metal incandescente. Es apropiado para el soldeo de espesores finos y desaconsejado para la unión de gruesos superiores a 6 mm, ya que no resultaría económico.

En general, este soldeo origina soldaduras de mucha calidad, siempre que se evite soldar en lugares con grandes corrientes de aire, que podrían desplazar el gas y dificultar la protección necesaria en la zona del cordón de soldadura.

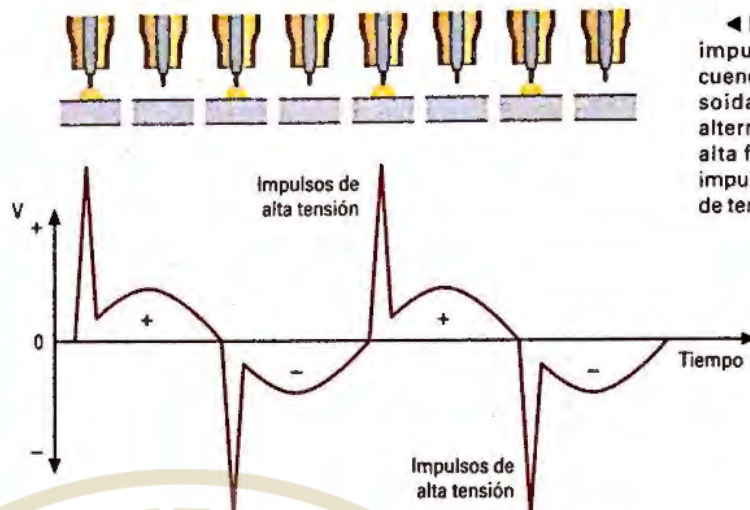


◀ Descripción del proceso de soldeo TIG. El electrodo no se consume, es decir, no aporta material al baño de fusión. Éste se aplica en forma de varilla manualmente. La misión del electrodo es sólo establecer y mantener el arco.

Corriente

Las corrientes usadas en el soldeo TIG son la continua y la alterna, por igual. Cuando se usa corriente continua se recomienda soldar con polaridad directa, es decir, el electrodo en el polo negativo y la masa en el positivo. De esta manera, se evita sobrecalentar el electrodo. Con alterna se incorpora a los equipos de soldeo un generador de alta frecuencia que ayuda al cebado y a la estabilización del arco. La fuente de alta frecuencia añade la tensión necesaria en el momento que el arco "se apaga", es decir, dos veces por ciclo, instante en que el voltaje es nulo.

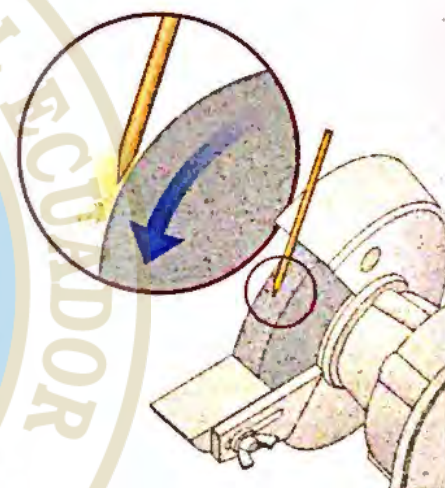
▼ Varillas de aportación para el soldeo de aceros al carbono. Se aplican de forma manual introduciendo el extremo de la varilla cerca del baño de fusión dentro de la atmósfera protectora del gas inerte.



◀ Representación de impulsos de alta frecuencia en la onda sinusoidal de la corriente alterna. El generador de alta frecuencia crea los impulsos en el momento de tensión cero.

Acabado del extremo

Los electrodos del proceso TIG han de tener un acabado del extremo especial para cada corriente a fin de evitar un arco inestable. En general, se deben utilizar electrodos finos siempre que sea posible y en relación con el espesor del material que haya que soldar. El objetivo es centrar el arco para obtener un baño de fusión limitado que provoque pocas dilataciones y buena penetración de la soldadura. Por ejemplo, un electrodo correctamente afilado, con una longitud de la punta dos veces superior a su diámetro, produce un arco muy estable concentrando el calor en un punto y crea una buena introducción del cordón de soldadura. Sin embargo, uno mal afilado crea un arco errático, poco controlable, con un baño de fusión ancho de poca penetración. Asimismo, en el momento de afilarlo hay que seguir la dirección de las fibras para favorecer la creación del arco estable y la concentración del calor en un punto.



▲ Forma de colocar el electrodo en relación con el giro de la muela para realizar su afilado.

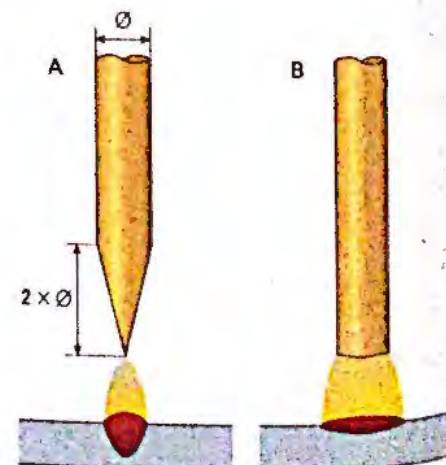
Electrodos no consumibles

Los electrodos no consumibles del proceso TIG están hechos de un metal cuya temperatura de fusión es muy alta para evitar el desgaste del electrodo. El material utilizado para estos electrodos es el **tungsteno**, o **wolframio**, cuyo símbolo químico en la tabla periódica de los elementos es **W**.

Al tungsteno se le han añadido óxidos de torio o de circonio para favorecer el cebado del arco y su estabilidad, además de hacer al electrodo más resistente a las fuertes intensidades de corriente. Por ejemplo, los electrodos de tungsteno aleados con óxidos de torio tienen un punto de fusión del orden de 4000 °C aproximadamente. Es muy usado en la unión de aceros al carbono, aceros inoxidables y cobre.

El torio es radiactivo, pero existen aleaciones de tungsteno con cerio o con lantano que no son radiactivas y que aportan las mismas características de cebado y estabilidad del arco que con los compuestos de torio.

► Influencia del acabado de la punta de un electrodo de tungsteno: la longitud correcta forma un arco voltaico estable que localiza el calor y produce una buena penetración del cordón de soldadura (A); el extremo mal afilado provoca un arco voltaico errático que ocasiona un cordón ancho de poca penetración (B).





◀ Las operaciones de soldado deben hacerse siempre correctamente protegidos con guantes de cuero y la pantalla facial.

▶ Electrodo no consumible propio del soldado TIG.



Técnica operatoria

Para conseguir buenos cordones de soldadura con el soldado TIG hay que preparar las uniones de manera adecuada. Por ejemplo, si las soldaduras son sin metal de aportación, sólo en grosores de menos de 3 mm, es recomendable usar la preparación de bordes levantados. En cualquier caso, tanto el metal base como el de aportación deben estar exentos de restos de pinturas, grasas o cualquier residuo para evitar contaminaciones que ocasionasen un cordón de soldadura incorrecto y un proceso de soldado incómodo.

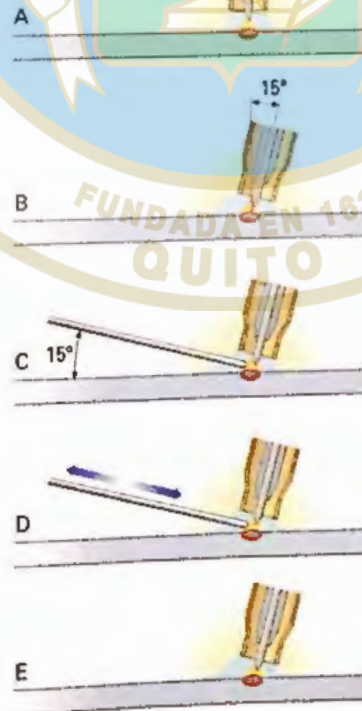
Cebado del arco

Existen dos métodos de cebado del arco en el proceso TIG: uno se limita a raspar ligeramente el electrodo sobre el metal base, en el cual se tiene conectada la pinza de masa. Su inconveniente es que tiende a dañar el extremo del electrodo causando problemas en el control del arco voltaico. Hay que retirar de inmediato el electrodo después del cebado hasta dejarlo a una distancia de 3 mm del metal base.

El otro método consiste en usar la corriente de alta frecuencia para generar el arco. En este caso, no es necesario poner en contacto el electrodo y el metal base, pues con una aproximación de 2 a 3 mm del electrodo a la pieza la corriente de alta frecuencia vence la resistencia eléctrica del aire y establece el arco voltaico. Para generar el cordón de soldadura sólo se debe mantener la distancia de 2 a 3 mm del metal base mientras se avanza a lo largo de las juntas que se desea unir.

▶ Esquema del método de cebado del arco por raspado.

▶ Esquema del método de cebado del arco mediante el uso de impulsos de alta frecuencia.



◀ Fases de la formación de un cordón de soldadura con metal de aportación. Una vez cebado el arco se crea el baño de fusión haciendo un movimiento circular y sutil del extremo del electrodo sobre el metal base (A). En seguida se desliza la punta del electrodo hacia un lado del baño de fusión, con un ángulo de 15° aproximadamente sobre la vertical del eje del electrodo (B). Luego se introduce la varilla de aportación en el interior de la atmósfera protectora cerca del baño de fusión, con una inclinación aproximada de 15° sobre la horizontal y en el sentido del avance de la soldadura (C). Se aplica un movimiento de vaivén a la varilla, sin que salga en ningún momento de la atmósfera del gas protector, con el fin de ir depositando material fundido en el baño y crear el cordón de soldadura (D). Al acabar el cordón conviene seguir protegiéndolo con el gas hasta su completa solidificación (E).

Soldeo oxigás

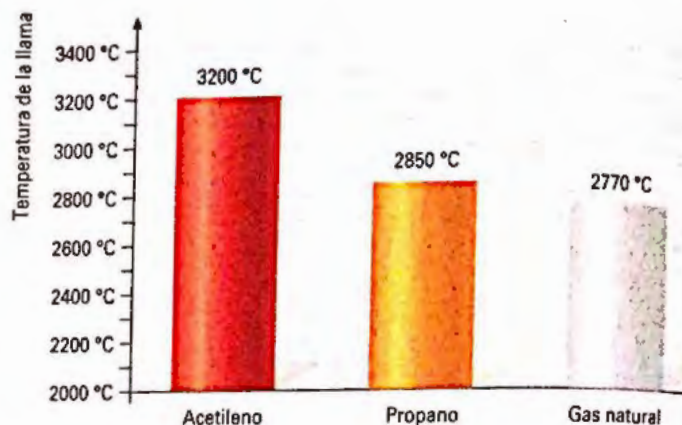
Este procedimiento utiliza como fuente de energía para la fusión del metal el calor de una llama obtenida por la combustión de un gas con oxígeno. Técnicamente, se necesita un **gas comburente** (el oxígeno) que facilite la combustión del **gas combustible** (el acetileno o el propano). Cuando el gas combustible utilizado es el acetileno el proceso se denomina **soldeo oxiacetilénico** y cuando se usa propano **soldeo oxipropano**. Este soldeo calienta las piezas que se deben unir hasta que se funden las zonas de contacto produciéndose un cordón de soldadura.

Se puede realizar con o sin metal de aportación. Cuando hay aportación, ésta se aplica en forma de varillas de metal, generalmente de la misma naturaleza que el metal base.

Por contra, el soldeo oxigás produce grandes aportaciones de calor a las piezas provocando deformaciones y tensiones internas. Además, al usar oxígeno se provoca la oxidación del metal, por lo que hay que emplear desoxidantes al soldar algunos metales como el aluminio y aleaciones como los latones. El soldeo oxigás es apropiado para unir grosores finos y para las técnicas de soldeo fuerte del cobre o del latón.

Gases

Los gases más utilizados son el oxígeno y el acetileno. Combinados generan temperaturas de hasta 3200 °C, mientras que el oxígeno con el propano producen temperaturas inferiores, de 2850 °C. En ocasiones, se puede usar gas natural con oxígeno, pero su rendimiento es menor.



▲ Tabla de comparación de las temperaturas obtenidas en las mezclas de oxígeno con diferentes gases combustibles.

Aspectos de seguridad

Las botellas que contienen los gases deben estar siempre en posición vertical y fijas a la pared, o al carro de transporte si fuera necesario. Nunca hay que aplicar aceite ni engrasar ninguno de los elementos que componen el equipo. Asimismo, las manos deben estar limpias de grasa en el momento de manejarlas. Tampoco hay que golpear ni exponer las botellas al calor. Ante cualquier defecto o anomalía se consulta con el proveedor y no se manipulan.



◀ El acetileno, al arder, produce un intenso y característico humo negro que deja en el aire innumerables partículas de hollín.

La llama

Se distinguen dos partes bien diferenciadas en la llama del soldado oxigás. Una es el **dardo**, de color blanco intenso, deslumbrante, donde se produce la combustión del acetileno con el oxígeno; la otra es el **penacho** que envuelve al dardo y protege el baño de fusión. Existe una tercera zona, no apreciable a simple vista, llamada **zona de trabajo**, situada inmediatamente después del dardo y que registra la máxima temperatura. Entre el dardo y el baño de fusión debe dejarse una separación de 2 a 5 mm, según el tamaño de la llama.

Tipos de llamas

Con oxígeno y acetileno pueden diferenciarse tres llamas distintas. Se logra una **llama neutra**, de unos 3200 °C, con igual cantidad de oxígeno que de acetileno. Es la más usada en el soldado oxigás de casi todos los metales, ya que no altera las propiedades de éstos. Con mayor proporción de oxígeno que de acetileno se produce una **llama oxidante**, muy utilizada en el soldado de los latones para evitar que se volatilice el cinc de la aleación. Y se produce una **llama carburante** o **reductora** cuando hay más proporción de acetileno que de oxígeno. Se usa para el soldado del aluminio, pues aporta menos calor que las demás llamas.

Montaje del equipo

Antes de conectar los manurredutores a las botellas del gas conviene abrir y cerrar ligeramente la válvula de la botella. De esta forma, se purga la boca de la botella eliminando posibles impurezas. No se deben intercambiar los manurredutores entre botellas de distinto gas.

Los manurredutores deben regularse en función del diámetro de la boquilla. En general, el oxígeno debe ir a una presión de trabajo de entre 2 y 3 kg/cm², mientras que la del acetileno se sitúa entre 50 y 100 g/cm². En cualquier caso, el acetileno no debe superar la presión de 1 kg/cm².

Encendido

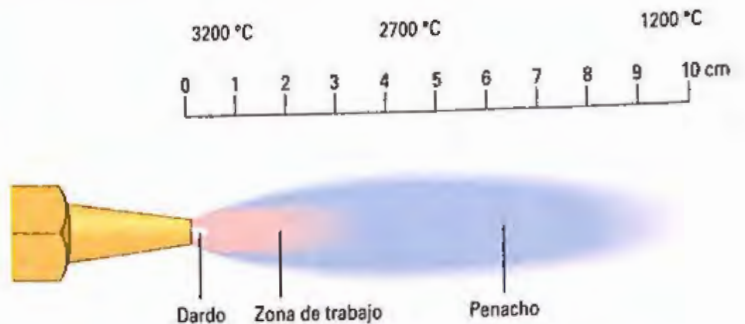
Tras abrir las válvulas de paso del gas de las botellas, al encender el soplete se abre primero la válvula del acetileno. Se enciende éste con un chispero o un fósforo. Seguidamente se abre la válvula del oxígeno, despacio, hasta conseguir una llama neutra. Todos estos pasos se realizan con las gafas de protección contra la luz intensa. Para apagarlo se cierra la válvula del acetileno y después la del oxígeno.

Técnica operatoria

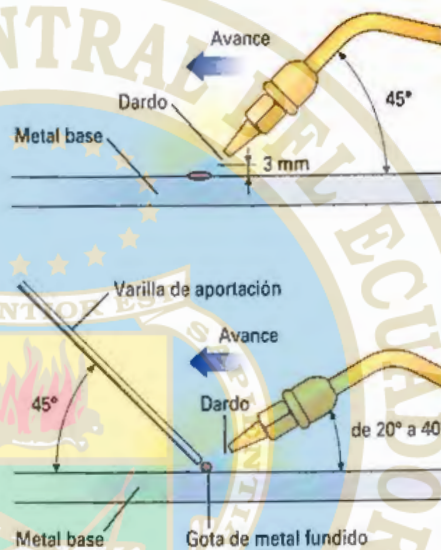
Para provocar la fusión de los bordes que se desea unir es preciso acercar el dardo de la llama a unos 2 a 3 mm del metal base. En el momento que se observa una fluidez de los bordes se da un giro sutil al dardo para fusionarlos.

Para realizar la soldadura sin metal de aporte se empuja la gota resultante con la presión del dardo y una inclinación de 45° con respecto al cordón de soldadura.

Cuando se realiza la soldadura con metal de aportación se debe proceder de la manera descrita anteriormente, variando el ángulo de ejecución. En este caso, el dardo debe tener un ángulo de inclinación de entre 20° y 40°, y la varilla de metal de aportación de 45° respecto del cordón de soldadura.

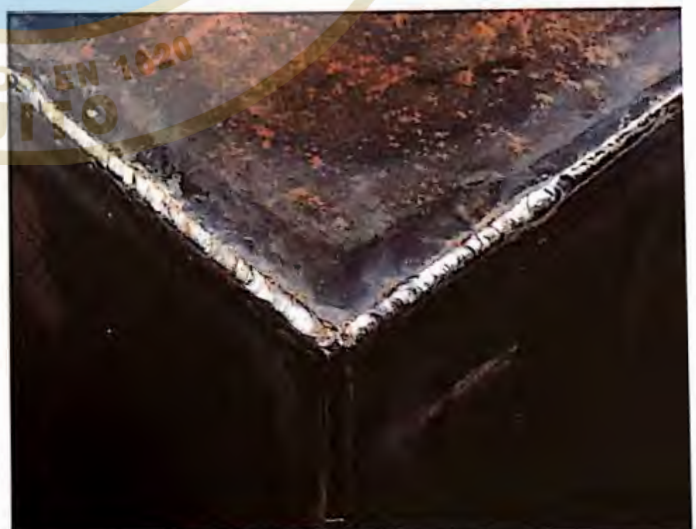


▲ Partes de la llama oxiacetilénica y relación entre la temperatura y la distancia al dardo.



◀ Relación de inclinación entre el metal base y el dardo en el proceso de soldado oxigás: sin metal de aportación (A), con metal de aportación (B).

▼ Aspecto característico de un cordón de soldadura producido por soldado oxigás.



Soldeo blando y soldeo fuerte



▲ Lana de acero, metal de aportación y decapante para aplicar en la técnica del soldeo blando.

Los procesos de soldeo blando y soldeo fuerte son unas técnicas de soldadura donde el metal base y el de aportación tienen distinto punto de fusión. En general, en la técnica de soldeo blando se usan materiales de aportación con una temperatura de fusión inferior a 425 °C. En la técnica de soldeo fuerte los materiales de aportación funden a más de estos 425 °C.

En estas uniones la soldadura se realiza fundiendo únicamente el metal de aportación, el cual se distribuye por capilaridad entre las superficies de los bordes que se deben unir. Para que ocurra este efecto de capilaridad, las juntas han de estar muy próximas entre sí.

Metales de aportación

Los metales de aportación, tanto en el soldeo blando como en el fuerte, deben tener un punto de fusión inferior al del metal base y gran fluidez en estado líquido para introducirse bien entre las juntas por capilaridad. También deben poseer una buena capacidad de mojado del metal base.

Los materiales de aportación más utilizados en el soldeo blando son aleaciones donde el metal más abundante es el estaño, cuya temperatura de fusión es de 231 °C. La más común es la aleación del 50 % de estaño y 50 % de plomo, pero también se utilizan aleaciones de estaño-plata o estaño-cinc.

El metal de aportación más empleado en el soldeo fuerte es el latón, aunque también se usan aleaciones de cobre-fósforo y cobre-plata. Todos ellos son aptos para la unión de metales y aleaciones férricas y no férricas, excepto las de aluminio, para las que se usan metales de aporte compuestos por aleaciones de aluminio y silicio.

◀ Aleaciones de cobre-fósforo (arriba) y cobre-plata con revestimiento de decapante y sin él (abajo) usadas en el soldeo fuerte del cobre. El recubrimiento de algunos productos constituye el desoxidante.

▼ Concepto de mojado expresado en la forma de extenderse que tiene el material de aporte en función de la temperatura del metal base: Metal base demasiado frío, la gota del de aportación no fluye bien, provocando una unión defectuosa (A). Metal base demasiado

caliente, el de aporte fluye en exceso, generando una unión defectuosa (B). Temperatura adecuada del metal base, el de aportación tiene un mojado correcto, de modo que crea una buena unión entre las piezas (C).



▼ El latón es la aleación más usada en el soldeo fuerte. Se debe utilizar siempre con desoxidante, ya sea incorporado en la varilla como recubrimiento o aparte.



Desoxidantes

En los soldeos blando y fuerte es primordial usar desoxidantes y fundentes. Su función principal es prevenir la oxidación de los metales en el momento del soldeo. También mejora la fluidez del metal de aportación por las superficies del metal base y ayuda a controlar la temperatura de trabajo. Al fundirse indican el momento de aplicación del metal de aportación.

Entre los desoxidantes más importantes destaca el bórax, por ser de aplicación universal en el soldeo fuerte, salvo con el aluminio y sus aleaciones. Es un compuesto llamado tetraborato sódico hidratado y funde a 760°C .

Procedimiento de soldeo

En el soldeo blando y fuerte, el calentamiento de las piezas que se han de unir se consigue con la ayuda de la llama de un soplete. Para el soldeo fuerte se usa la llama oxiacetilénica neutra. La técnica puede ser por capilaridad o la convencional usada en otros procedimientos. Cuando es por capilaridad se deben preparar las juntas de unión a solape.

Tanto si se utiliza un sistema como otro se calientan las piezas metálicas sin aproximar el dardo demasiado, trabajando con el penacho. Cuando el desoxidante se ha fundido indica que ya se puede aplicar el metal de aportación, pero si se observa que éste se deposita en forma de gotas que corren por la superficie querrá decir que el metal base no está bastante caliente. Una vez depositado el metal de aporte correctamente hay que dirigir el dardo sobre el metal depositado y no sobre los bordes.

En cuanto al soldeo blando, la forma más usual de aplicación es por capilaridad. El diseño de las juntas debe ser a solape para asegurar una unión resistente. En este caso, se calientan las piezas, limpias y con el desoxidante adecuado, con la llama de un soplete de gas hasta que el fundente indica la temperatura adecuada y se aplica el metal de aportación. Éste funde inmediatamente en contacto con las juntas calentadas, las llena y provoca la unión. También se puede aplicar el calor mediante un soldador eléctrico, aunque se desaconseja su uso en piezas grandes o en metales con gran poder de disipación del calor.

► Pieza obtenida por soldeo fuerte del cobre con el acero usando como metal de aportación una varilla de latón. Ares, Cargo i familia, 1997.

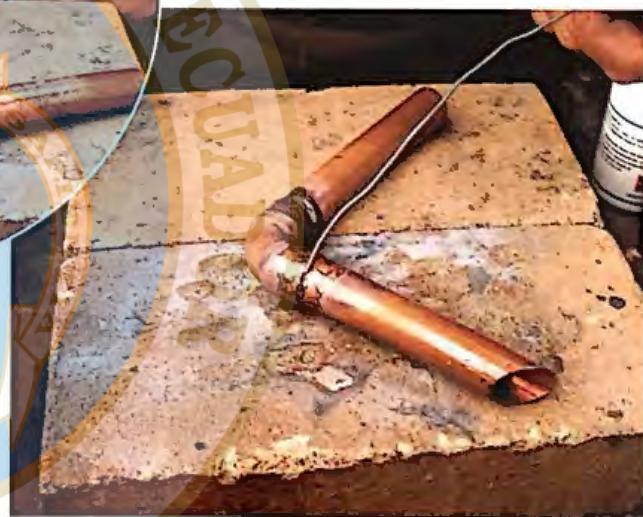


◀ 1. Las partes que forman las juntas de unión han de limpiarse con lana de acero antes de aplicar el desoxidante.



◀ 2. Acto seguido se calientan las juntas con la llama de un soplete de gas. El desoxidante indica la temperatura adecuada para aplicar la soldadura con un cambio de color.

► 3. Por último, se aplica el hilo de estaño aleado con plata sobre las juntas calentadas. Al fundir, el estaño se introduce entre las juntas por efecto de capilaridad y efectúa la soldadura.



Galería



▲ Antoni Gaudí, *Dragón alado*, 1885. Detalle de la puerta de hierro forjado ($500 \times 350 \times 30$ cm) construida por el taller Vallet i Piquer, diseñada para las caballerizas de la finca Güell, en el barrio de Pedralbes de Barcelona, por el genial arquitecto.



◀ Pablo Gargallo, *Veleta*, 1930. Chapa de cobre batida (70×42 cm), Museu Cau Ferrat (Sitges, España). Foto Rocco Ricci.

► Julio González, *Madame Cactus (Homme cactus II)*, 1939.
Hierro forjado y soldado (65,5 × 27,5 × 15,5 cm).

▼ Ares, *Trenca el silenci la claror inesperada d'un raig de lluna*, 2003.
Chapa de hierro, corte con plasma (220 × 25 × 25 cm).



◀ Artesanía popular,
Brasero, 1890. Hierro
forjado y cobre batido
(110 × 30 × 20 cm).





► Ares, *L'home del vent*, 1996. Chapa de hierro forjada, soldadura con electrodo revestido (72 × 70 × 53 cm).



▲ Beth Fornas, *L'ou*, 2003. Chapa de hierro, soldadura oxiacetilénica (40 × 40 × 29 cm).



▼ Gemma López, *Constel·lació stella*, 2003. Hierro forjado y esmalte sobre cobre, soldadura con electrodo revestido, (170 × 85 cm).



► Ares, *El salt de l'àngel*, 1997. Chapa de hierro, soldadura oxiacetilénica (350 × 110 × 150 cm).



▲ Matilde Grau, *Paisatge teixit*, 2000. Hierro (50 × 150 × 50 cm).

► Marta Martínez, *Paso*, 2003. Chapa de hierro calada, soldadura oxiacetilénica (81 × 37 × 10 cm).





► Josep Cerdà,
Salammbô, 1993.
Hierro patinado
(220 × 60 × 45 cm).

► ► Otra vista
de la escultura de
Josep Cerdà con
las puertas abiertas.



▲ Ares, *Al crit lliure del vent*, 2000.
Hierro forjado y madera (110 × 30 × 15 cm).



▲ Matilde Grau, *Branca teixida I*, 2003.
Latón tejido (medidas variables).



► Ares, *Noli me tangere*, 1996. Chapa de hierro y
soldadura oxiacetilénica (90 x 30 x 50 cm).

► Eduardo Chillida,
Ikaraundi, 1957,
Chillida-Leku,
(Hernani, España).
Hierro forjado
(32 x 68 x 150 cm).



T

ras profundizar en el conocimiento y el uso de máquinas y herramientas y de repasar las distintas técnicas de trabajo con metales, es el momento de exponer de forma gráfica algunos procesos de fabricación de objetos, desde los más funcionales a los más escultóricos. Se muestra a continuación y de manera progresiva cómo elaborar estos objetos basándose en las diferentes técnicas explicadas con anterioridad.

El objetivo del presente apartado es exponer de forma clara cómo se construyen las piezas mediante la combinación de diferentes técnicas y, en algún caso, de metales. Existen muchas maneras de abordar el proyecto, éstas son sólo una pequeña muestra de ellas. Estas propuestas constituyen un ejemplo de las amplias posibilidades creativas y funcionales de los metales y de algunas de las técnicas básicas para su transformación. No se pretende dar modelos que imitar sino una serie de pautas que desarrollen procesos personales de creación en cada lector.



Paso a *paso*

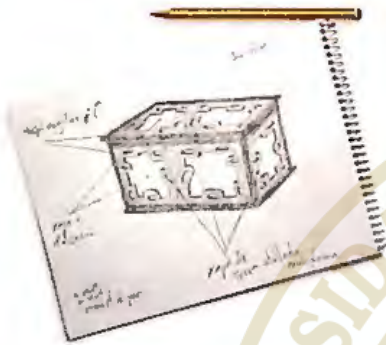


Construcción de un baúl



Para construir el siguiente baúl se combinan dos materiales: hierro y aluminio. Se utilizan las técnicas de calado del metal con plasma y de la unión con remaches, mediante las cuales, al final del proceso, se obtiene un creativo y práctico baúl.

La construcción del baúl consiste en 4 fases: en la primera, se realiza su estructura con perfil angular de hierro, en la segunda se construyen las bisagras que articularán la tapa, en la tercera se calan las cenefas para adornar el baúl y, por último, en la cuarta se unen las chapas de hierro y aluminio a la estructura, con lo que concluye el ensamblaje del baúl.



▲ 1. Un dibujo sobre papel ayuda a concretar la idea y a valorar los materiales que se precisan.



Realización de la estructura del baúl

▲ 2. De acuerdo con el croquis previo, se cortan en la tronzoadora los perfiles angulares a la medida necesaria y con un ángulo de 45° en los extremos.



▲ 3. Seguidamente, se practican unos agujeros en los perfiles angulares con la taladradora de columna. Estos agujeros, previamente calculados, equidistantes e iguales en todos los perfiles se utilizarán después para poner los remaches. Tal operación se realiza antes de formar la estructura, pues es más fácil manipular el perfil angular por separado que con la estructura completada.

▼ 4. Se achaflanar los cantos de los perfiles angulares con la amoladora de desbarbar allí donde se practicará la soldadura. La zona achaflanada sirve para depositar en ella el cordón de soldadura y asegurar una unión completa de los angulares. Estos se unen con un punto de soldadura mientras se mantienen sujetos con el tornillo para ángulos de 90° a fin de asegurar que los perfiles estén en perfecto ángulo recto.



▲ 5. Una vez sujetos por un punto de soldadura todos los perfiles, se sueldan todas las juntas con la máquina de soldar de hilo continuo, también llamado sistema MIG. Al efectuar esta operación conviene emplear la máxima protección.



▲ 6. Para concluir la construcción de la estructura, se desbarban las soldaduras con la amoladora a fin de igualar las superficies de los perfiles.





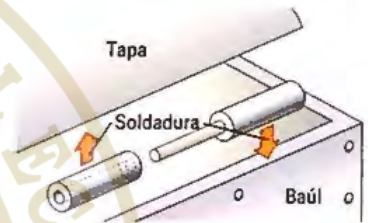
Construcción de las bisagras

► 7. Tomando un perfil tubular de aproximadamente 1 cm de diámetro y cuyo interior ajuste con un perno sin rosca de diámetro algo menor, se cortan con la sierra de cinta cuatro trozos de tubo de unos 5 cm de largo que servirán para construir las bisagras. Para que los trozos de tubo tengan la misma medida se utiliza el tope de la máquina. Del mismo modo, con el perno se cortan dos trozos del doble de largo que los tubos, es decir, 10 cm.

► 8. Para componer cada bisagra se utilizan dos tubos y un perno. Se realiza un agujero en uno de los tubos donde, una vez pasado el perno y enrasado por un extremo, se sueldan ambas piezas y se pule la soldadura con la amoladora.



► 9. Un trozo de la misma, la que tiene el perno, se suelda a la base de la estructura y el otro a la tapa del baúl, perfectamente alineadas con la estructura. La parte con perno de las bisagras debe ir dirigida en el mismo sentido para permitir la posterior colocación de la tapa.

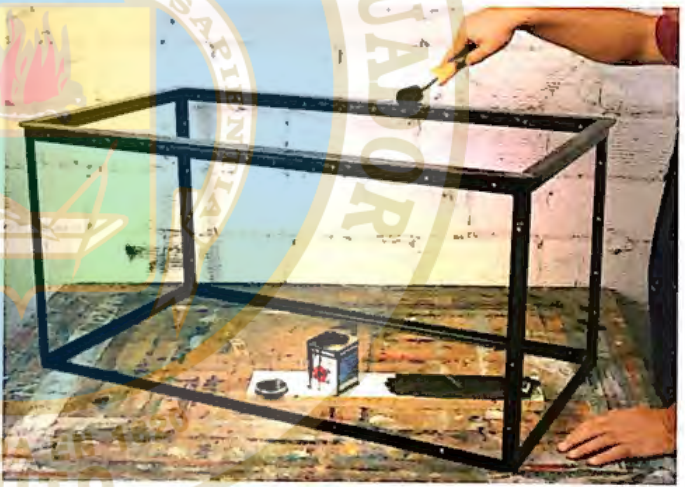


► 10. Para soldar las bisagras a la estructura las dos partes que forman el baúl, base y tapa, deben estar juntas y fijadas en la posición correcta mediante unos sargentos. Se colocan las bisagras en la línea de separación entre la tapa y la base y se suelda la bisagra a la estructura. Una vez soldada la primera, de forma equidistante con los extremos de la estructura, se suelda la otra.

► 11. Se pinta con crema de poliuretano de color negro la estructura del baúl, pues en esta fase es posible acceder a toda su superficie interior. Al tratarse de un objeto construido para permanecer en espacios interiores no es necesario aplicarle la capa de imprimación previa a la de pintura.

Creación de las cenefas caladas

► 12. Para crear las cenefas, se traspasa un dibujo con una forma creada a una plancha de aglomerado de madera de la medida interior de la estructura del baúl, y se resigue con un lápiz la plantilla de cartón.



► 13. Se realiza el calado de la plantilla. En primer lugar, se practica un agujero en cada esquina del dibujo. Éstos permitirán introducir la hoja de la sierra eléctrica para hacer el calado con mayor comodidad.



◀ 14. A continuación, se repasa el contorno del calado con una lima para madera. Es importante que la superficie que contactará con la torcha del plasma quede lo más lisa posible.

▼ 15. Se coloca la plantilla sobre una chapa, en este caso de la medida de uno de los laterales extremos del baúl, y se fija con un alicate de presión. Después, se corta la silueta de la cenefa con la máquina de plasma resiguiendo cuidadosamente la plantilla. Es conveniente usar gafas de protección y delantal para esta operación.



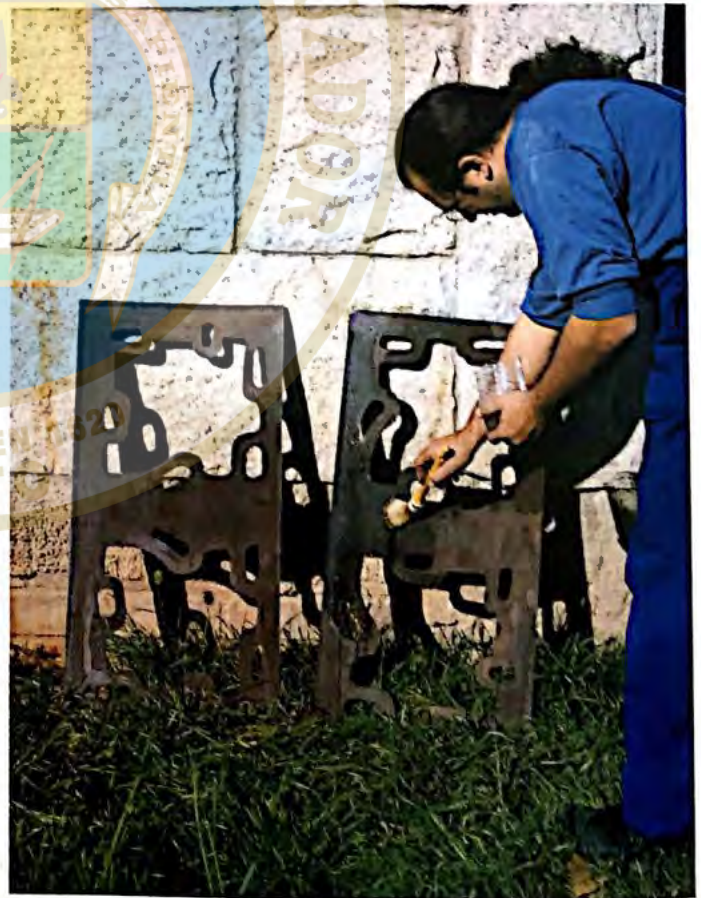
◀ 16. Aspecto final del calado hecho con plasma comparado con la plantilla.

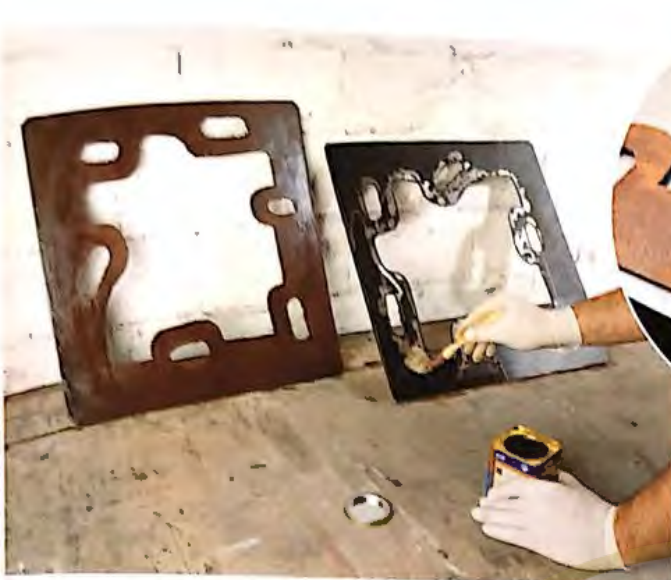


▼ 17. Una vez comprobado que el calado es correcto, se eliminan las rebabas de la cenefa producidas por el corte del plasma con una amoladora provista de un disco de desbarbar. Es conveniente protegerse la cara con una pantalla transparente.



► 18. Tras repetir el mismo procedimiento para las demás caras del baúl, otra pequeña y tres dobles, se oxidan las cenefas con una solución de agua salada. Para ello, en un recipiente con agua se diluye una cucharada sopera, bien colmada, de sal común. Esta solución se aplica con brocha, pero también se puede rociar con un pulverizador. Si se realiza esta operación en el exterior, se acelera el proceso de oxidación.





▲ 19. Antes de unir las chapas de hierro caladas a la estructura por medio de los remaches, se aplica sobre ellas un barniz protector para asegurar que toda la superficie resulta tratada.



◀ 20. A continuación, se cortan seis chapas de aluminio de la misma medida que las caladas. Con unas tijeras de hojalatero se eliminan las esquinas de las planchas caladas de hierro y las de aluminio. Así se evita que los restos de soldadura existentes en las esquinas interiores de la estructura, difíciles de eliminar, impidan ajustar correctamente las dos chapas.

► 21. Para fijar las chapas con la estructura se sujetan ambos elementos con sargentos y se realizan los agujeros en la chapa con una taladradora portátil; tales agujeros deben coincidir con los de los perfiles de la estructura. Se repite esta operación con las chapas de aluminio, actuando con sumo cuidado, pues se rayan con facilidad.



▲ 22. Se remachan las cenefas de hierro junto con las chapas de aluminio a la estructura del baúl y a su tapa mediante una remachadora manual. Finalmente, se monta la tapa.



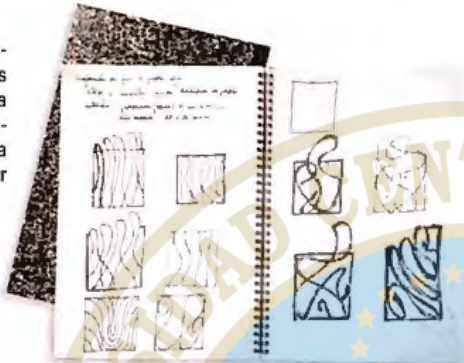
► 23. Aspecto final del baúl. Los remaches le confieren el aspecto de una manufactura industrial.

Construcción de una cancela enrejada



Seguidamente, se realiza una cancela en perfil plano de hierro. Lo esencial de este ejercicio es mostrar la posibilidad de torcer, curvar o doblar algunos perfiles de metal sin necesidad de someterlos a altas temperaturas. También se recurre al dibujo de tamaño natural como elemento guía para realizar la cancela. Por medio de palancas en forma de gárfas y ayudados de horquillas sobre las que efectuar la palanca, se crean formas muy sugerentes. Para evitar manipular perfiles excesivamente largos se trabaja la cancela por partes que después se soldarán con el proceso de electrodo revestido. El diseño de esta cancela está inspirada en la tradición modernista catalana.

► 1. Conviene realizar varios bocetos de la cancela hasta conseguir el que mejor se ajuste a la idea original y al lugar donde debe ir.



◀ 2. Se traslada la idea de la cancela al papel por medio de un dibujo, en este caso a lápiz.



◀ 3. En el suelo y con una tiza, se realiza un dibujo a tamaño real de las formas de la cancela. También se puede dibujar sobre una chapa de madera o de metal si no se dispone del espacio necesario.



▼ 4. El dibujo a tamaño natural permite ir comprobando las formas a medida que se van realizando.





▲ 5. Se toma una pletina de hierro y se dobla con la plegadora de perfiles planos en un ángulo de 90° , consiguiendo de este modo delimitar la base y un lado de la cancela.



▲ 6. Sobre el dibujo del suelo se presenta la pletina doblada, se marcan los límites y se comprueba que el ángulo es correcto.



▲ 7. Con la ayuda de una cuerda que se sitúa sobre la línea dibujada se determina la longitud de pletina necesaria para realizar la forma de la cancela.



▲ 8. Se estira la cuerda y se marca con tiza la distancia sobre la pletina, en el punto por donde se iniciará el conformado de las curvas.

► 9. Llegados a este punto, se inicia el conformado en frío sobre una horquilla construida con dos trozos de tubo y sujeta en el tornillo de herrero. Con ayuda de una grifa o garra y la horquilla se ejerce palanca sobre la pletina por el punto que se había marcado con tiza, efectuando su curvatura.

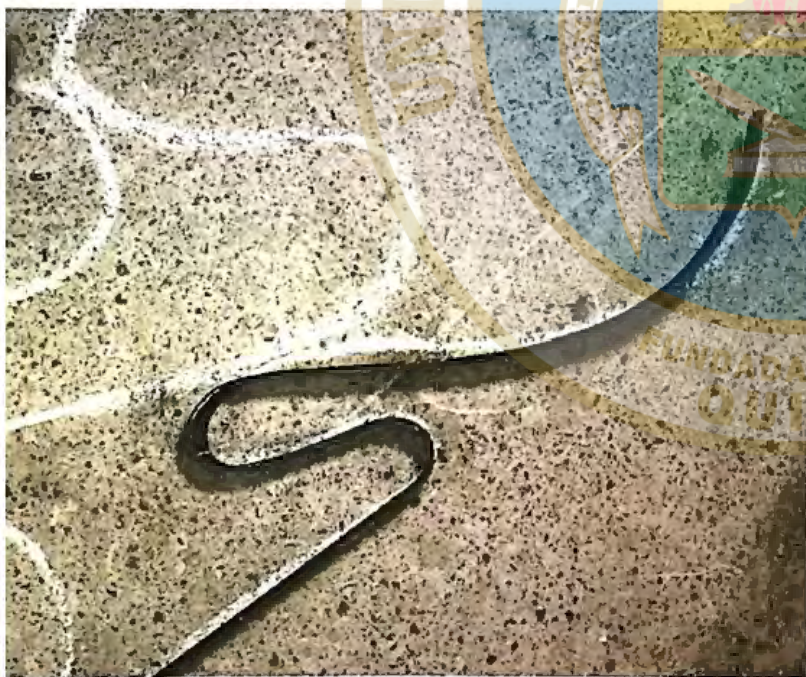




◀ 10. Una vez se intuye que se ha alcanzado la curvatura correcta, se compara la curva de la pletina con la del dibujo, superponiéndolas. Si no se ha logrado, se corrige por tanteo tantas veces como se precise.



▲ 11. Se prosigue la realización de las formas curvadas de la pletina sobre la horquilla con ayuda de la grifa. Las marcas con tiza en la pletina indican inicios de curvas o zonas conformadas que hay que rectificar.



◀ 12. A menudo, durante el proceso de conformado surgen diferencias entre la pieza y el dibujo. Es el momento de decidir si se rectifica la pieza para ser fieles al dibujo o, por el contrario, se conserva la forma. Este proceso es la base de un diálogo con la forma y el material.



► 13. Para lograr curvaturas muy cerradas y precisas se efectúa el doblado con la plegadora de perfiles, que resulta útil para estos casos concretos.



▲ ▼ 14. En esta secuencia de fotos se observa cómo, poco a poco, con los mismos procedimientos descritos las diferentes partes van formando la cancela.



◀ 15. Una vez conformadas todas las partes se unen mediante soldaduras. En este caso se ha utilizado la técnica de electrodo revestido, pero también se podría haber soldado con el procedimiento MIG. Aquí se aprecia el resultado de unir dos piezas de la cancela.

▶ 16. Con la amoladora se van desbarbando los cordones de soldadura que unen los trozos de la cancela antes de ensamblarlos todos entre sí. Así es más fácil manipularlos y acceder a los rincones con las máquinas. Las piezas deben estar bien sujetas con el tornillo de banco o con un sargento a la mesa de trabajo para evitar posibles accidentes provocados por el movimiento de las mismas.



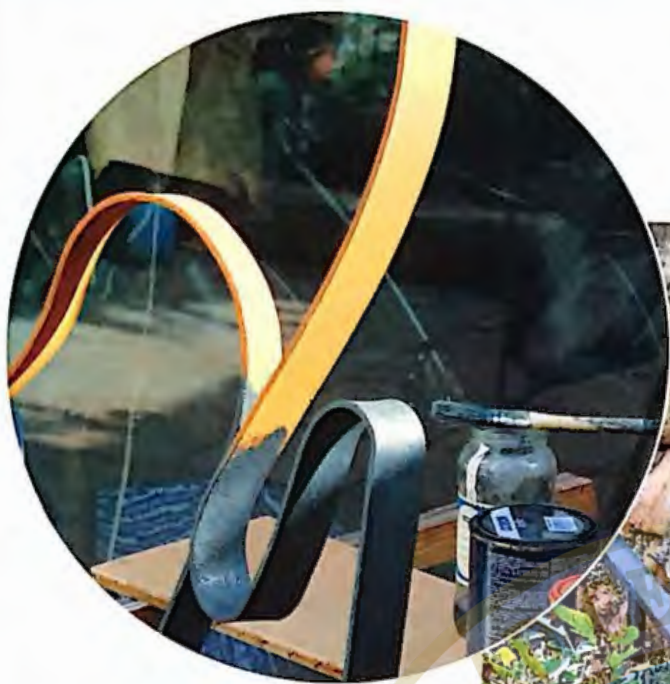
▶ 17. Para completar el ensamble de las partes de la cancela se colocan éstas sobre el dibujo de referencia, entrelazándolas entre sí. Si es necesario se utiliza una grifa para hacer coincidir los extremos. El entrelazado de las diferentes partes confiere volumen y sensación de movimiento a la cancela.



▲ 18. Una vez ajustadas las partes, se unen por medio de la soldadura con electrodo revestido. En este caso, un trozo de acero de gran peso ayuda a inmovilizar las partes de la cancela en el momento de soldar.

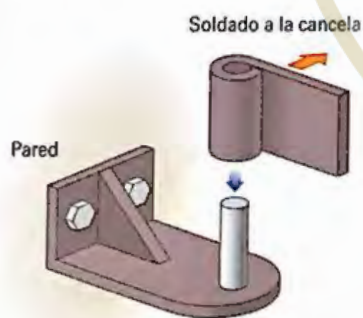
▶ 19. Una vez realizadas todas las soldaduras necesarias para fijar cada parte en su sitio y dar la forma que le corresponde, se repasan con la amoladora y un disco de desbarbar para igualar todas las superficies y eliminar aristas y cantos que podrían ocasionar heridas al manejar la cancela una vez colocada.





▲ 20. El acabado de esta puerta enrejada se completa aplicando con brocha dos capas finas de pintura de imprimación, de minio en este caso, que asegurará una buena adherencia y durabilidad del acabado final, y una capa de pintura de un color sintético que imita el negro de forja.

▼ 21. Detalle de la bisagra que puede confeccionarse para colocar la cancela en una pared.



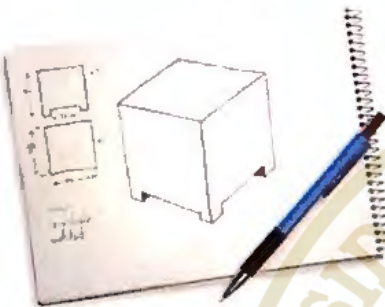
► 22. Aspecto de la cancela montada en la masía Ca la Maria (Llagostera, España).



Mesa de centro en acero inoxidable



La siguiente propuesta es la construcción de una mesa de centro de acero inoxidable en forma de cubo y acabado en brillo mate. Lo importante de este ejercicio, aparte de trabajar con acero inoxidable, es entender la técnica de doblado ayudada por una amoladora con disco de corte y ver una aplicación de la soldadura TIG. Se consigue así optimizar el esfuerzo necesario para construir un cubo y también se reduce el número de cordones de soldadura para unir las aristas. Otra técnica que se muestra aquí es la soldadura al tresbolillo, que minimiza el riesgo de posibles deformaciones de las chapas derivadas del calor que aportan los cordones. Las diferentes fases del trabajo se llevan a cabo utilizando la indumentaria de protección personal necesaria para evitar lesiones en los ojos, las manos y otras partes del cuerpo.



▲ 1. Un sencillo croquis acotado basta para plasmar la idea inicial.

► 2. En una chapa de acero inoxidable de 200×50 cm y 2 mm de grosor se dibujan las divisiones previstas para cada lado del cubo con ayuda de una regla metálica y un rotulador permanente.



▼ 3. Para el doblado de la chapa de 2 mm de grosor y de este material especialmente duro, se utiliza la amoladora con un disco de corte, a fin de rebajar dicho grosor en el punto por donde se va a realizar el doblado. Para que la arista del cubo quede perfectamente recta se guía el disco de corte a lo largo de un perfil recto de hierro. Se empieza por el trozo grande que formará cuatro de las caras laterales del cubo.



◀ 4. Con la amoladora y un disco de corte se desgasta la arista por donde se va a doblar luego la chapa, haciendo para ello varias pasadas con la amoladora y apoyados con el disco sobre el perfil.

▼ 5. El rebaje se consigue después de muchas pasadas de disco y sin ejercer mucha presión sobre la chapa, pues de lo contrario se podría cortar. La misma operación se repite en todos los lugares de doblado de la chapa.



▼ 8. A medida que se dobla la chapa, se comprueba con una escuadra que los ángulos obtenidos sean rectos, de 90°.



►► 9. De este modo se doblan todos los lados del cubo hasta juntar los extremos de la chapa. Para sacar el cubo de la máquina hay que separar las reglas entre sí y forzarlo ligeramente.



◀ 6. Seguidamente, se realizan los pliegues del cubo. Para ello, se coloca la chapa entre las reglas de la dobladora manual y se fija por medio de la manivela situada a un extremo de la máquina.



◀ 7. Se hace girar la regla móvil de la máquina, ejerciendo presión sobre la chapa para provocar el pliegue.



▼ 10. De entrada, se puntean con soldaduras los lados del cubo. Con unos sargentos se mantienen unidas y sujetas todas las chapas de acero inoxidable, incluida la que formará el lado superior, mientras se realizan estos puntos de soldadura. Para trabajar se retira el plástico que protege la chapa de las zonas donde se precise para evitar que se queme.



◀ 11. Estos puntos de soldadura, que como se ha dicho se hacen con el proceso TIG, se realizan de unos dos centímetros de largo y a intervalos de ocho a diez centímetros de distancia entre ellos.



▲ 12. Una vez punteado todo el cubo, se cortan las patas. Para ello se practican dos agujeros donde estarán las esquinas interiores del espacio que queda entre las patas. Debido a la dureza del material, primero se efectúa un agujero de un diámetro pequeño y luego se hace sobre éste otro de diámetro mayor; de este modo se evita forzar la máquina.

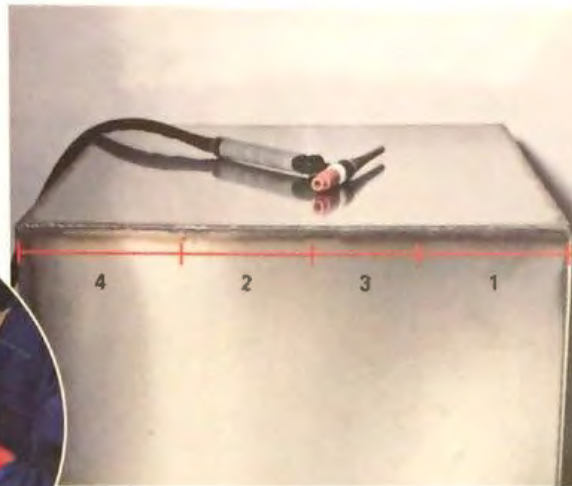


◀ 13. Con ayuda de un perfil que sirve de guía, se hace un corte entre los dos agujeros practicados en la chapa. La guía debe estar bien sujeta a la chapa con sargentos para asegurar un corte recto.

▼ 14. Se aprecia cómo los agujeros permiten acotar los cortes de la amoladora. Después, hay que eliminar las rebabas producidas por la acción del disco de corte y ajustar los cortes desviados. El trozo de chapa resultante sirve para completar la forma de las patas.



▼ 15. Con este trozo de chapa se completan las patas del cubo después de haberlos doblado a medida. Luego se unen a la chapa de los lados con unos puntos de soldadura. Se precisa la ayuda de un pequeño sargento para fijar la chapa al soldar.



▲ 16. Las dilataciones producidas por el calor de las soldaduras sobre las superficies del cubo provocan tensiones y deformaciones. Para evitarlas se utiliza la técnica de la soldadura al tresbolillo, consistente en ir alternando, como indican los números, el orden de los cordones de soldadura para repartir y contrarrestar las tensiones.

▼ 17. Con la amoladora provista de un disco milhojas de grano medio, entre un número 60 y un 80, se desbarban los cordones de soldadura hasta igualar toda la superficie.



▲ 18. Retirado el plástico protector, se pulen todas las superficies del cubo con la máquina rotorbital utilizando discos abrasivos de distinto grano. Para matizar el cubo se pasa un estropajo por su superficie con ayuda de la misma máquina rotorbital.

► 19. Las huellas dejadas por las máquinas y matizadas con el estropajo confieren personalidad a esta mesa de centro en forma de cubo (50 x 50 x 50 cm).



Aldaba de hierro



En el presente ejercicio se realiza una aldaba de hierro forjado con forma de culebra. Consta de distintas fases que permiten combinar algunos procesos básicos de la forja.

En primer lugar, se realiza la cola de la culebra, practicando el estirado, aplanado, afilado y enrollado de una barra de metal. A continuación, se elabora el cuerpo con el retorcido de la barra, y luego se fabrica la cabeza donde se ejecuta la técnica del recalcado y afilado. Para terminar, se aborda el cuello y la boca de la culebra mediante un corte en la cabeza y el doblado de la barra.

Finalmente, se forjan los clavos y la chapa de sujeción de la aldaba a la puerta. El proceso concluye con la aplicación de una pátina de ennegrecido al aceite.

Este paso a paso quiere ser un sincero homenaje a los artesanos forjadores que han contribuido anónimamente durante siglos, con su trabajo y con su obra, al enriquecimiento de la imaginaria popular.

◀ 1. Este tipo de bocetos está destinado a mostrar la combinación de formas forjadas que puede tener la aldaba.



▶ 2. Se inicia el proceso de forjado calentando una barra de sección cuadrada hasta que adquiera un tono color cereza claro en las brasas de la forja.



▼ 4. Se iguala en sección la barra estirada mediante el proceso de afilado. Para ello se golpea la barra caldeada en el tablero del yunque modelando en punta el extremo de la misma.

▲ 3. Para realizar la cola del llamador se aplica la técnica de estirado del metal. Consiste en golpear con una maza la barra caldeada sobre la bigornia cónica o redonda del yunque. Para estirar el metal será necesario realizar esta operación varias veces, y alternarla con el calentamiento de la barra en las brasas cuando ésta se enfríe.

▼ 5. Golpeando la barra con la peña en forma de bola del martillo se aplanan la parte correspondiente al cuerpo de la culebra y se distribuye así la masa de hierro hacia los lados.





▲ 6. Se va cambiando la sección de la barra cuadrada, que se va convirtiendo en rectangular a fuerza de golpearla con la base plana del martillo. Esta sección permitirá posteriormente aplicar el retorcido del cuerpo.

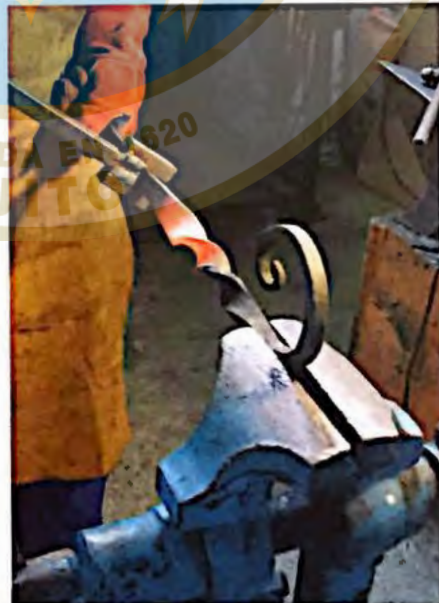


▲ 7. Ahora se inicia el enrollado de la cola doblando el extremo afilado de la barra, previamente caldeado, golpeándolo en la punta de la bigornia redonda del yunque.

► ► 8. Se sigue golpeando alternativamente la punta doblada sobre el tablero y la bigornia del yunque hasta que la cola de la culebra adquiere la curva deseada.



► 9. Para ajustar finalmente la curva, los golpes deben darse con suavidad.



◀ 10. Se retuerce el cuerpo de la culebra a partir de la sección rectangular aplanada anteriormente. Para ello se sujeta la cola en el tornillo de herrero y se gira la parte caldeada con una grifa.

▼ 11. Se inicia la confección de la cabeza de la culebra realizando el recalcado de la barra. Para conseguirlo se calienta el extremo no afilado en las brasas de la forja hasta que adquiera una tonalidad naranja claro y se golpea este extremo en el tablero del yunque.



◀ 12. Se estira el cuello de la culebra para que sea más estrecho que el cuerpo y la cabeza. Para lograr esto se golpean los cuatro lados de la barra a partir de los que realizaremos el estirado, sobre la tajadera con el canto romo.



◀ 13. Ahora se estira el cuello colocando la parte recalcada fuera del tablero del yunque para no dañarla.

▼ 14. Para realizar la cabeza de la culebra se golpea el extremo recalcado de la barra dándole forma de rombo.



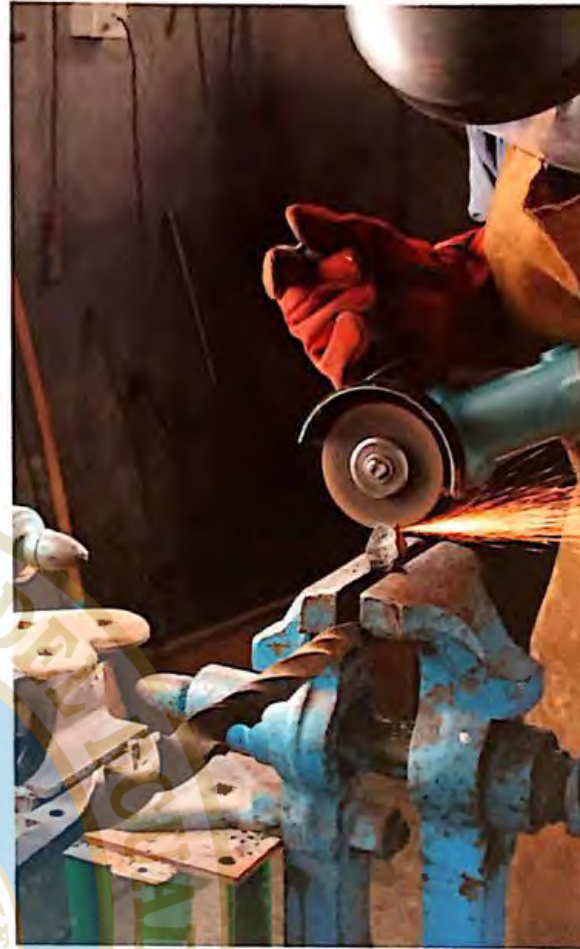
▼ 15. Y, a continuación, se dobla el cuello con ayuda de una pieza en forma de U sujeta con el tornillo de herrero.



▼ 16. De este modo, se ha realizado la culebra por medio del afilado y enrollado de la cola, el aplanado y retorcido del cuerpo, el estirado y doblado del cuello, y, finalmente, el recalco y afilado de la cabeza.



► 17. Con la amoladora se abre un corte en la cabeza de la culebra para hacer la boca.



► 18. Se caldea la cabeza en la forja por la zona del corte, se coloca sobre una tajadera con filo y se golpea para abrir la boca. Se debe poner especial atención al caldear esta zona, pues al introducir toda la cabeza en las brasas existe el riesgo de fundir la parte más estrecha de las dos que resultan del corte. Es necesario ir moviendo y observando constantemente la pieza durante el proceso de caldeo.



▼ 19. Ahora se inicia el forjado de los clavos, marcando sobre la tajadera una barra redonda previamente calentada.



▼ 20. Se estira y afila el cuerpo de cada clavo a partir de las marcas realizadas anteriormente.



▼ 21. Se marca el sitio por donde se corta el clavo mediante una tajadera con filo.





▲ 22. Se introduce la parte del clavo en una clavera y se dobla la barra hasta que se desprenda de ella por la marca de corte.



▲ 23. Para realizar la cabeza del clavo, se golpea la barra con el hierro al rojo.



▲ 24. Se retocan los bordes de la cabeza del clavo hasta conseguir la forma deseada. De este modo se realizan cuantos clavos se precisen.

► 25. Aspecto de la clavera y unos clavos terminados.



◀ 26. Para hacer la pieza que fijará el conjunto del llamador en la puerta, se corta por plasma un trozo de chapa sobre la que se montará la culebra de forja.



◀ 27. Se caldea la chapa y se le da textura golpeándola sobre el yunque con la peña del martillo.

► 28. Sobre la bigornia cuadrada del yunque se doblan las pestañas de la pieza, necesarias para la sujeción de la aldaba a la chapa.





◀ 29. Se retoca la chapa, aplanando las desviaciones que tuviera.



◀ 30. Y se sujeta la aldaba a la chapa de soporte con un pasador redondo forjado. Previamente, donde el doblado del cuerpo de la culebra lo permite, se ha practicado un agujero por donde se insertará el pasador. También se practican agujeros en la chapa por donde se clavará en la puerta.



▲ 31. Para el acabado, se calienta ligeramente la pieza con un soplete y, seguidamente, se aplica aceite de linaza con un pincel, de manera que se ennegrezca la pieza al quemarse el aceite. Conviene ir retirando entre aplicación y aplicación los restos de aceite con papel de periódico para evitar manchas o cambios de color en la pieza. Cuanto más oscura se desee la pátina más veces será necesario repetir esta operación.

Al final del proceso y con la pieza totalmente fría, se iguala la pátina frotando el llamador con un trapo manchado de aceite o aplicándole una capa de cera.

► 32. Aldaba forjada con forma de culebra. La pieza sobre la que golpea la aldaba está realizada siguiendo los procesos anteriores. A partir de un trozo de pletina gruesa se recorta por plasma una forma romboidal acabada en una larga punta. Posteriormente, se dobla dicha punta en un ángulo de 90° y se caldea en la fragua. Esta punta sirve para clavar la pieza romboidal a la puerta.



Realización de una bandeja calada en chapa de latón

Para la confección de esta bandeja vamos a aprovechar una chapa de latón de 1,5 mm de espesor, seleccionada de entre el material sobrante de un taller de calderería. De esta manera, encontramos utilidad a metales que antes habían sido previstos para otras funciones. Los objetivos de este ejercicio son utilizar una plantilla para traspasar la forma a la chapa de latón, y organizar las técnicas de conformado con el fin de realizar pocas soldaduras en la pieza, las imprescindibles, y evitar así que se produzcan deformaciones en una chapa tan fina por efecto del calor.



▲ 1. Unos esbozos ayudan a concretar la imagen de la bandeja y a configurar las medidas y la forma que debe tener la plantilla.



◀ 2. Se corta la chapa de latón a la medida que hemos previsto en el boceto con una cizalla de palanca, para trabajar sólo con el metal estrictamente necesario.



◀ 3. Se lija la chapa con la máquina rotorbital provista de un disco de grano fino. Se trata de dejarla lo más limpia posible antes de comenzar el proceso de creación.



◀ 4. Con la máquina rotorbital pasa un estropajo sobre la superficie lijada anteriormente para matizar y eliminar las marcas dejadas.



▲ 5. Una vez matizada la superficie, se dibuja sobre ella el contorno de lo que será la forma general de la bandeja con una plantilla de cartulina. Al tratarse de una forma simétrica sólo se crea la mitad de la plantilla.



▲ 6. Se marcan los centros de los agujeros con un martillo y un granete, por donde se practicará el calado de la bandeja. A continuación, con una broca de un diámetro algo superior a una sierra de calar se perforan los agujeros en el lugar deseado.



► 8. Se corta el exterior de la forma de la bandeja con una cizalla eléctrica, ideal para cortar formas curvas en chapa fina. Se puede aprovechar el agujero producido por la corona para calar con este instrumento.



▲ 7. Los agujeros practicados en la chapa permiten introducir la hoja de sierra de la caladora y liberar de metal el espacio señalado. Algunos se han hecho con una corona con el fin de perfilar mejor alguna parte curva.



◀ 9. Se recortan con la sierra caladora los espacios interiores. La técnica es la descrita en el apartado dedicado al corte con sierras. Recuerdese ir liberando de material el espacio al realizar cortes curvos.



► 10. Se perfila el contorno de la bandeja con una lima de media caña. Se procura limar lo más cerca posible de las mordazas del tornillo a fin de evitar el cimbreo de la chapa por efecto del limado. Para ello se utilizan dos perfiles angulares que prolonguen el efecto de presión del tornillo sobre la chapa.



▲ 11. Con una tela de esmeril se eliminan de las aristas las marcas y rebabas producidas por la lima. De esta forma, se proporciona un tacto agradable al material.



◀ 12. Para evitar el plegado que produce la máquina curvadora al inicio del curvado, se curva ligeramente el extremo de las asas con un martillo con cabeza de nailon sobre uno de los rodillos.



◀ 13. Se coloca el extremo curvado del asa entre los dos rodillos paralelos y se acciona la manivela de la curvadora hasta curvar toda la superficie del asa. Se repite esta acción con la otra asa.

FUNDADA EN 1620

◀ 14. Después de curvar las asas se doblan los laterales con la plegadora. Una vez fijado el lateral de la bandeja entre las reglas de la plegadora se acciona la regla que efectuará el plegado.

► 15. Para doblar los laterales donde se ubican las asas se utiliza un perfil cuadrado a modo de calzo, que situado entre las reglas de la plegadora salva la altura de los laterales ya plegados, a la vez que ejerce presión sobre la base de la bandeja.



► 16. Una vez están todos los laterales de la bandeja plegados, se unen mediante la soldadura oxiacetilénica con aportación de latón. Este procedimiento requiere emplear una llama oxidante, con exceso de oxígeno, para evitar en lo posible la volatilización del cinc que compone la aleación de latón.



▲ 17. Seguidamente, se repasan las soldaduras con una amoladora y un disco milhojas de grano fino. Se trata de igualar las superficies actuando solo sobre el cordón de soldadura. Se opta por sujetar la bandeja en posición vertical colocando un peso sobre uno de sus laterales. Esto evita provocar rayas o deformaciones al colocarlo sobre un tornillo de banco.



◀ 18. Para realizar el acabado pulido mate se usa una lijadora rotorbital especial que permita llegar a todos los rincones. Primero se aplica un papel de lija de grano medio, luego otro de grano más fino y se finaliza con lana de acero y un estropajo que proporcione el acabado mate.

▼ 19. Aspecto final de la bandeja de latón donde se aprecia el suave matizado del acabado.



Mesa de hierro para jardín



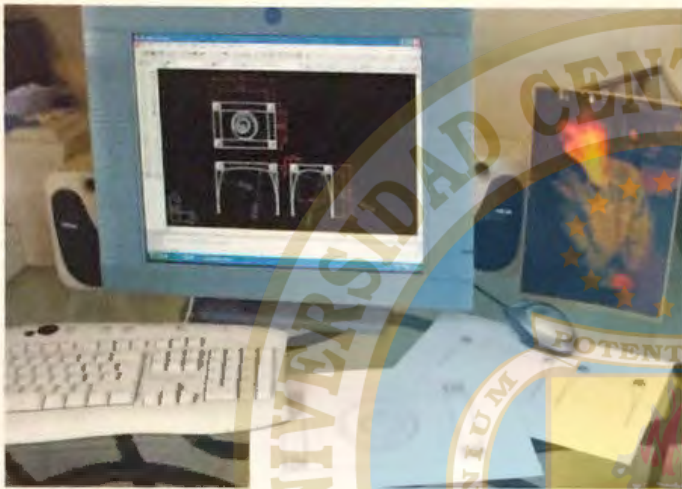
En este ejercicio se realiza una mesa forjada a partir de la combinación de técnicas de forja y de conformado en frío.

El material inicial de trabajo serán barras de hierro que se obtienen del reciclaje de una reja vieja, a partir de las cuales se realiza el esqueleto de la mesa.

El elemento decorativo principal que contendrá la mesa será una espiral de centros desplazados que se situará en la superficie de la mesa. También irá acompañada por 12 espirales enrolladas sobre sí mismas que se colocarán en la confluencia de las patas con el tablero de la mesa.

La parte superior de la mesa será una base de vidrio incoloro y transparente que permita ver todo el trabajo de forjado y construcción efectuado. El acabado será en óxido natural barnizado.

La realización de la mesa servirá para profundizar en las técnicas del metal obteniendo al final del ejercicio un objeto con aire artístico de gran utilidad.



▲ 1. Se inicia la realización de la mesa con ayuda de un diseño. En este caso se ha pasado de la idea pensada al proyecto acotado con el programa informático de dibujo Autocad, aunque se podría haber utilizado cualquier otro como el Freehand o el Archicad, por ejemplo.



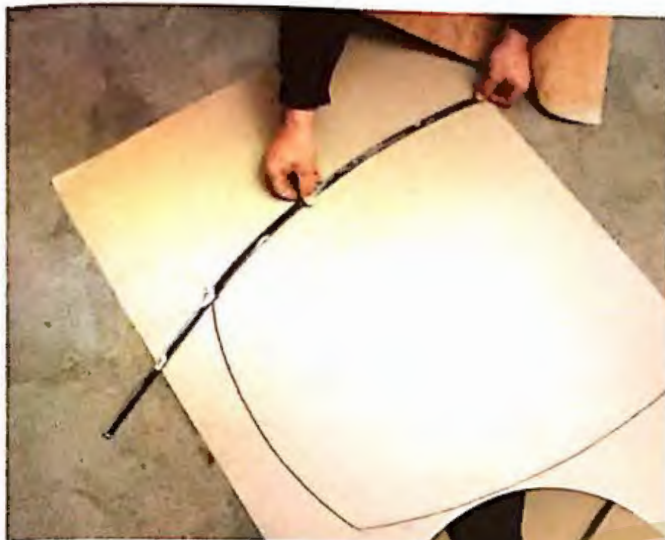
▲ 2. Luego se traspassa el dibujo del perfil de la mesa a un cartón a tamaño natural. Para ello se emplean un compas de varas y un rotulador.

▼ 3. Se separan las varillas de una vieja reja cortando por los puntos de soldadura que las unen con una amoladora provista de un disco de corte.



▼ 4. Tomando una varilla cuadrada, se la golpea sobre un perfil en forma de U, para conseguir la curva de las varillas que componen el esqueleto de la mesa. Estos golpes deben ser ejecutados con suavidad, de manera que permita acercarse poco a poco a la forma deseada sin pasarse.

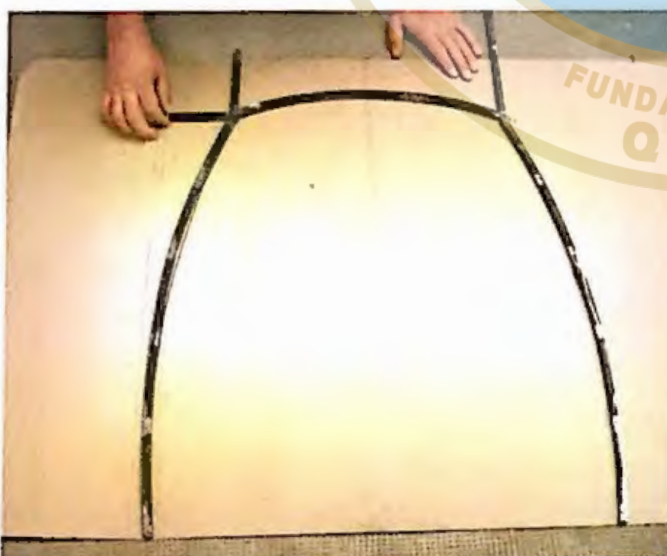




▲ 5. Se comprueban las curvas de la varillas obtenidas comparándolas con el dibujo del patrón.

► 7. Se vuelven a revisar las curvas y el doblado de la varilla, comparándola con el dibujo del patrón, para corregir las desviaciones si fuera necesario. Con estos procedimientos se realizan el resto de varillas.

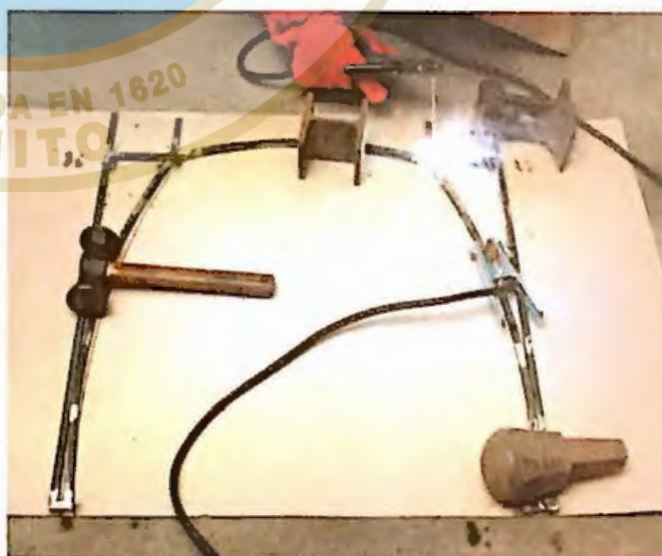
▼ 8. Ahora se colocan las piezas del esqueleto que conformarán las patas de la mesa sobre el patrón para comprobar su encaje antes de proceder a unirlos por medio de la soldadura.

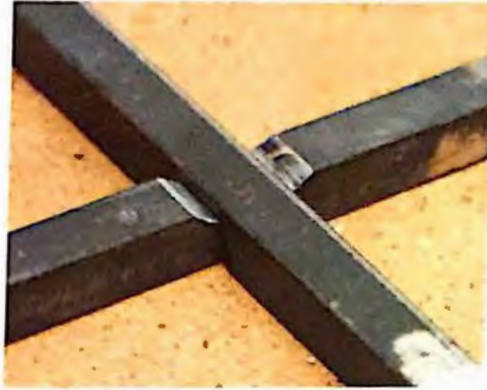
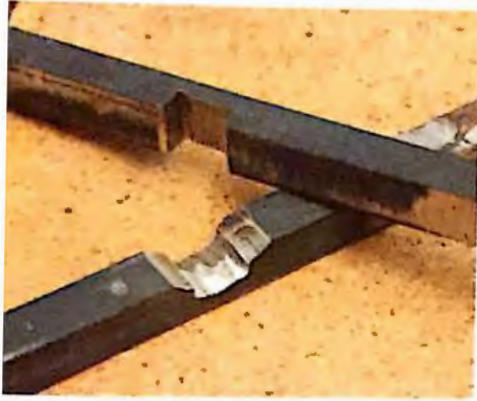


▼ 6. A través de un calentamiento localizado con la llama del soplete oxiacetilénico se dobla el extremo de la varilla. Así se consigue doblarla en un punto concreto, ejerciendo palanca con el tornillo de banco, que sujeta un extremo.



▼ 9. Y se procede a soldar las varillas utilizando la técnica de la soldadura con electrodo revestido. Los pesos colocados encima las varillas evitan que se levanten por acción de las dilataciones y tensiones que producen las operaciones de soldeo.





▲ ▲ ▲ 10. En la estructura superior que sustentará el tablero de vidrio de la mesa, algunas de las varillas irán encajadas entre sí. Los encajes se practican realizando cortes consecutivos, con una amoladora por ejemplo, sin llegar a seccionar completamente la varilla.

Seguidamente se biselan dos de los cantos interiores de las varillas para crear un lecho donde depositar el cordón de soldadura y asegurar una buena unión. Esta operación se hace en todos los encajes.

▼ 11. Una vez armada la estructura superior según el diseño previo, se hacen las soldaduras y se igualan las superficies soldadas con la amoladora y un disco de desbarbar. En esta operación hay que protegerse debidamente contra las proyecciones de metal que provoca el amolado.



◀ 12. Detalle de los biselés para alojar los cordones de soldadura que unirán las patas al esqueleto del tablero de la mesa.



◀ 13. Se voltea el conjunto y se colocan las patas de la mesa sobre la estructura del tablero. Una cuadra con imanes (rojo) ayudará a mantener el ángulo de las patas entre ellas mientras se unen con un punto de soldadura.



◀ 14. Una vez comprobados los ángulos se procede a realizar los cordones de soldadura.

▼ 15. Ahora se va a construir la espiral de centros desplazados que se colocará en el centro de la mesa. Para iniciar este proceso hay que fabricar una plantilla de metal que tenga la forma de la espiral deseada, la cual se dibuja en una plancha metálica.



▼ 16. Se curva una pletina de acero con ayuda de una garra y un útil de curvado, construyendo por partes la espiral.

▼ 17. Se van comprobando las curvas de la pletina obtenidas y se comparan con el dibujo de la espiral realizado en la plancha.



► 18. Pletinas cortadas y curvadas comprobadas en el dibujo. Todavía no se han soldado ya que se fijarán a la plancha a medida que se forja la varilla que conformará la espiral de la mesa.





▲ 19. Ahora se empieza a fijar con puntos de soldadura el inicio de la espiral que conformará la plantilla a la plancha metálica. Se suelda también en este punto de inicio un tope cuadrado que permitirá trabar la varilla en el momento del forjado.



◀ 20. Una vez caldeado el extremo de la varilla, se sujeta en la plantilla y se inicia el forjado en espiral.

◀ 21. Terminada de dar la forma a la varilla, se añade el siguiente fragmento de la plantilla a la chapa uniéndola igualmente con puntos de soldadura a la plancha.

▼ 22. Se caldea solo el fragmento de la varilla a curvar, posteriormente se sujeta en la plantilla y se continúa el curvado en espiral.

▼ 23. Se repite de nuevo y cuando se enfría el metal, se vuelve a lentar en la fragua.





◀ ▼ 24. El proceso de realización de esta espiral de centros desplazados requiere ir uniendo los trozos de la plantilla a medida que se va creando, lo cual entorpece el tiempo de ejecución.



◀ ▼ 25. Fijando a la chapa cada trozo de la plantilla con puntos de soldadura y caldeando sucesivamente las fracciones de varilla que se curvan en cada momento se obtiene finalmente la varilla con la forma de espiral deseada.





◀ 26. Y ahora se procede a realizar las 12 espirales que se colocarán en la confluencia de las patas con el tablero de la mesa. Se inicia el proceso doblando sobre el tornillo de herrero el extremo de una varilla cuadrada caldeada. Esto permitirá sujetar la espiral a medida que se va realizando.



▶ 27. Una vez sujeta la varilla en el tornillo se comienza el enrollado con ayuda del martillo para obtener la primera curvatura.



▲ ▲ ▲ 28. Después se procede a calentar el hierro en la forja y a doblarlo en el tornillo de manera consecutiva hasta adquirir el tamaño deseado.

Se hace palanca para obtener la curvatura y se emplea el martillo para ajustar la forma de la espiral.



◀ 29. En el final del enrollado se utilizan unas tenazas de forja para sujetar la espiral por el extremo doblado del principio. Del mismo modo se hacen las 11 espirales restantes.



▶ 30. Ahora se sujeta con unos alicates de presión la espiral de centros desplazados en el centro de la estructura del tablero, el punto diseñado, y se procede a soldarla con electrodo.

▶ 31. Se colocan ahora, las 12 espirales pequeñas, que encajan perfectamente en el espacio cuadrado reservado para ellas, lo que facilita el proceso de soldeo. Los puntos de soldadura se realizan siempre por el interior del esqueleto de la mesa para que las uniones no entorpezcan visualmente la geometría de las formas que la componen.

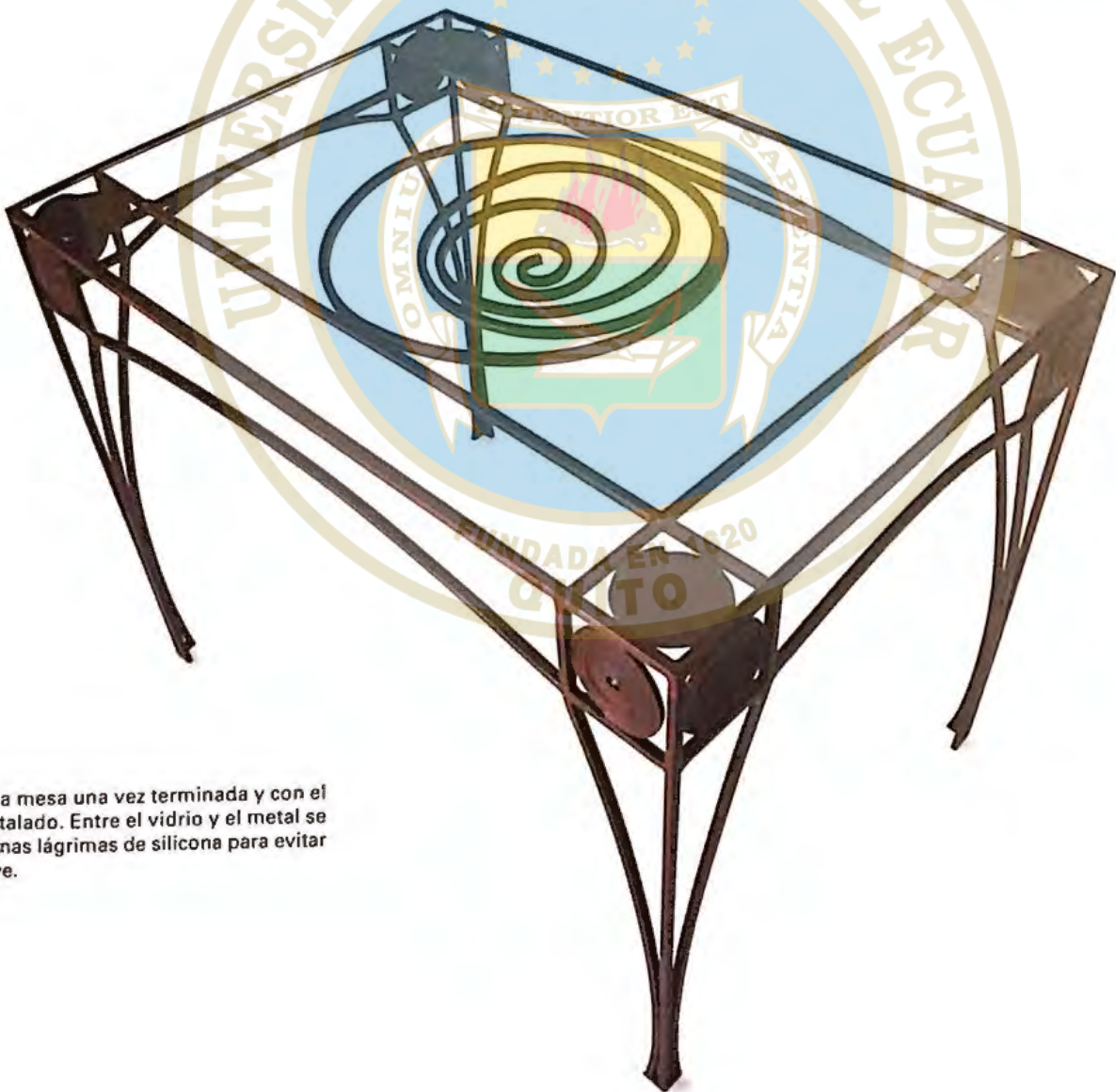




▲ 32. Para el acabado de la mesa se opta por la uniformidad que confiere el oxidado natural del hierro. Para ello se empapa la mesa con agua durante varias noches, evitando así la rápida evaporación del agua por acción del sol, hasta conseguir el tono o la combinación de tonos que más guste.



▲ 33. Antes de aplicar el barniz de protección a la mesa, se debe retirar el óxido que no está adherido al metal con tela esmeril. En este caso la tela esmeril está fijada a una espuma, lo que hace muy cómodo su manejo. Finalizada la operación, se le aplica un par de capas de barniz transparente incoloro para metales y después una capa de cera incolora. Esta operación de barnizado y encerado deberá realizarse cada cierto tiempo si se tiene la mesa en el exterior, expuesta a los agentes atmosféricos.



► 34. La mesa una vez terminada y con el vidrio instalado. Entre el vidrio y el metal se colocan unas lágrimas de silicona para evitar que se raye.

Realización de un joyero en chapa de cobre



A continuación, se realiza un joyero en chapa de cobre y acero inoxidable combinando las técnicas de embutido en falso, soldadura fuerte con aportación cobre-fosforosa y soldadura por resistencia.

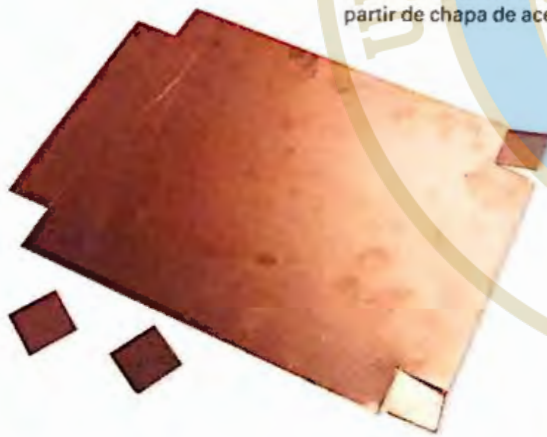
Lo esencial de este ejercicio, aparte de trabajar con chapa de cobre, es realizar el embutido de diferentes formas geométricas en este material. Para el embutido será necesario construir previamente algunos perfiles huecos que nos permitan realizar la técnica a posteriori. La unión de los laterales de la caja de cobre se realiza una vez embutidas las formas, para evitar el recocido del cobre que produce el calentamiento por la acción de soldeo.

El joyero que se propone es un ejercicio conceptual, proyecta la idea de caja en la plancha de cobre y se complementa con una tapa que se realiza a partir de una reja de acero inoxidable, que deja ver los objetos pero no tocarlos.



► 1. Se plasma la idea de joyero que se quiere construir mediante esbozos y plantillas.

► 2. Para realizar las formas embutidas en la chapa de cobre se utilizan perfiles industriales. En caso de que no exista la forma en perfil industrial, como el triángulo, se construye a partir de chapa de acero y soldadura.



► 3. Se toma una chapa de cobre de 1 mm de grueso y de las medidas previstas en el diseño elegido y se eliminan sus esquinas con una cizalla. Estos recortes deben ser iguales. A partir de esta plancha recortada se obtiene la base de la caja.

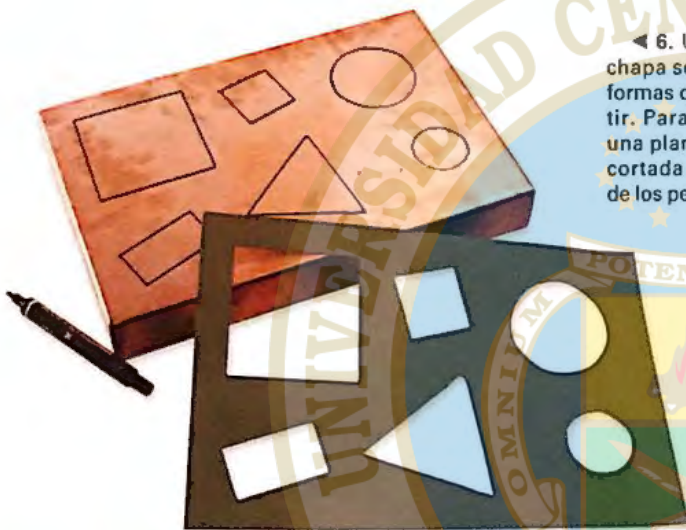
► 4. Se coloca la chapa en la plegadora y se doblan dos laterales opuestos.



► 5. Seguidamente y con la ayuda de un listón de madera de medida igual al lateral doblado de la chapa, se doblan en la plegadora los dos laterales restantes.



◀ 6. Una vez doblada la chapa se marcan en ésta las formas que se quieran embutir. Para el dibujo se utiliza una plantilla de cartulina recortada con la forma exacta de los perfiles elegidos.



▲ 7. Se eliminan con la lima los cantos vivos de los perfiles para evitar que marquen excesivamente el reverso de la chapa cuando se embuta.



▲ 8. Se fija el perfil en el tornillo de banco y se coloca la plancha de cobre sobre el perfil encajando el dibujo señalado. A continuación, se golpea la plancha con la peña redonda de un martillo de bola, y se va perfilando la forma.



▲ 9. Para eliminar las deformaciones que se produzcan, periódicamente se golpea la chapa por el reverso con la parte plana de un martillo postillón, y se coloca sobre un tas plano.

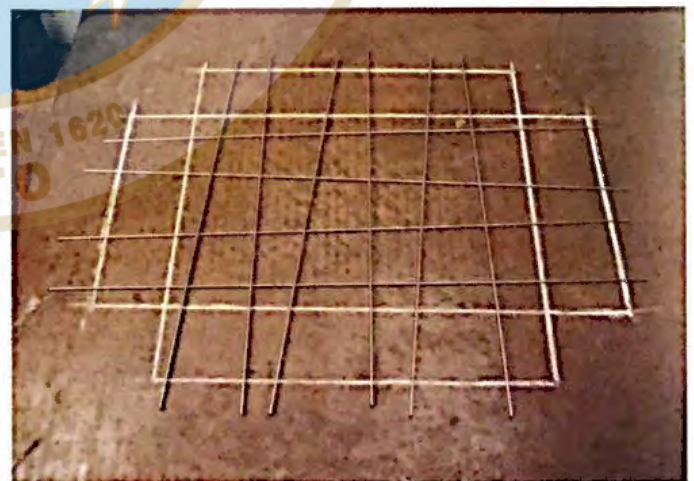


▲ 10. Una vez realizadas todas las formas embutidas previstas, se acaban de perfilar con la boca redondeada de un martillo de embutir.

► 11. Finalmente, se unen los laterales de la caja mediante el soldeo fuerte con aportación de varilla de aleación cobre-fosforosa. Mediante un sargento se evita que se separen las partes en el momento de aplicar el calor.



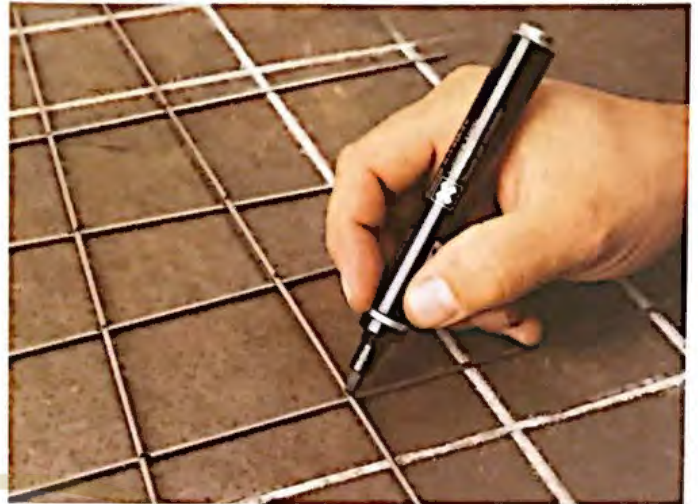
◀ 12. Una vez enfriadas las soldaduras se igualan con las superficies por medio de una amoladora y un disco milhojas de grano fino. Para no deformar la plancha al sujetarla con el tornillo de banco se coloca un listón de madera.



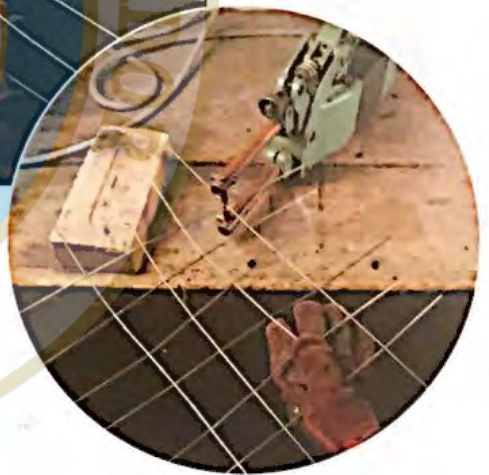
▲ 13. Para iniciar la tapa enrejada del joyero, se dibuja con una tiza su forma desplegada sobre una superficie plana. A continuación, se colocan las varillas de acero inoxidable encima y se distribuyen de la manera más conveniente.

► 14. Se marcan sobre las varillas los puntos de cruce donde se realizará la soldadura por resistencia.

▼ 15. Se aplana en la varilla la zona donde se soldará. Para ello se golpea, dispuesta sobre la bigornia cónica del yunque.



◀▼ 16. Para realizar la tapa enrejada del joyero, se unen las varillas de acero inoxidable mediante soldadura por resistencia. Se aconseja probar los tiempos de soldadura en restos de varilla antes del soldeo definitivo.

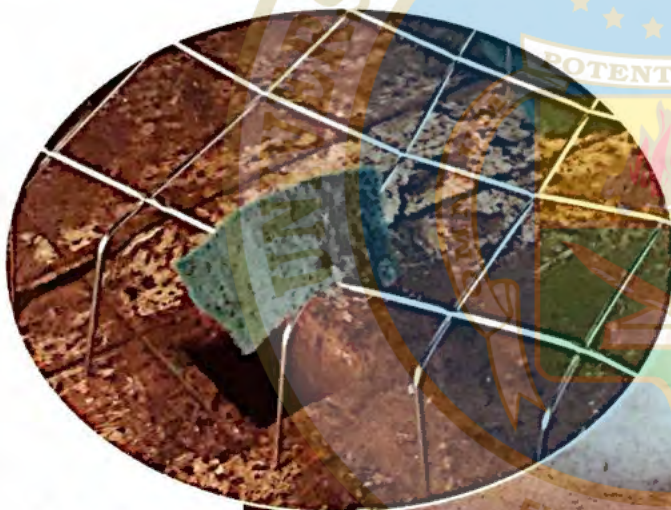


◀ 17. Una vez soldada toda la varilla, se sitúa la reja sobre la base del joyero, y se marcan los puntos donde las varillas deben doblarse, para configurar la tapa.



▲ 18. Con unos alicates de punta redonda se doblan los extremos de las varillas que forman la tapa enrejada.

► 19. Con las varillas bien fijadas, se cortan e igualan con una amoladora y un disco de corte los extremos de las mismas, de manera que ninguno sobresalga.



▲ 20. Para obtener un brillo luminoso de la tapa enrejada se frotan las varillas que la configuran con un estropajo tipo Scotch-Brite.

► 21. El acabado de la base del joyero se realiza por oxidación de su superficie mediante el calentamiento de un soplete oxigás, lo que proporciona unos colores irisados.





▲ 22. Para preservar los colores obtenidos al calentar la base del joyero se aplica sobre ésta un barniz a base de cera y resina de colofonia.



▲ ▼ 23. Joyero enrejado una vez finalizado.



Creación de un dragón de latón



Este ejercicio se basa en una técnica relativamente sencilla: traspasar la forma de una cabeza de dragón modelada en plastilina a su forma en chapa de latón.

En primer lugar, se modela en plastilina la cabeza del dragón a partir de unos esbozos y, posteriormente, se obtienen plantillas de cada parte de la cabeza para traspasarlas al metal. Éstas se van batiendo con un martillo especial sobre un tas de plomo hasta conseguir la forma adecuada.

No se pretende copiar exactamente la figura modelada, ésta se usa como punto de partida para crear la de metal, ya que la plastilina y el latón laminado se expresan con lenguajes diferentes.

La creación de este dragón constituye un ejercicio puramente escultórico.



▲ 1. Se dibujan varios esbozos de la cabeza de dragón en latón para tener un primer modelo.

▲ 2. Para modelarla en plastilina se construye una estructura metálica que la soporte. Tal estructura se realiza en varilla de acero conformada siguiendo el perfil de la forma deseada.

▲ 3. Para conseguir grosor, se recubre la estructura con papel de periódico, y sobre éste se aplica la plastilina y se modela la figura. A continuación, se realizan las plantillas necesarias para traspasar cada parte de la cabeza del dragón al metal. A fin de mostrar el proceso de realización de las plantillas se ha tomado como ejemplo la creación de la plantilla de una oreja del dragón. El procedimiento es idéntico para las demás partes.



▲ 4. Se coloca un papel sobre la oreja. Con un lápiz se marca sobre éste el contorno que dibujan la oreja y la cabeza donde se juntan.



▲ 5. Una vez recortado el papel se encaja en el modelo y se continúa con el marcado y posterior recortado.

► 6. Después, se rodea la oreja del dragón con el papel, evitando producir arrugas, y se continúa con el marcado de los diversos contornos, que se recortan y marcan sucesivamente.



▼ 8. Fases del resultado de las sucesivas operaciones de recorte y ajuste del papel para conseguir la forma final de la plantilla.



◀ 7. Al final del proceso se consigue la plantilla desplegada y aproximada del volumen de la oreja del dragón.

▼ 9. Se traspasa dos veces el contorno de la plantilla obtenida a una chapa de latón, una por oreja.





► 12. Se eliminan las rebabas y se remata la forma deseada con una lima de media caña.

▼ ▼ 13. y 14. Ahora se inicia el conformado de la oreja del dragón, golpeando con la peña de un martillo de bola la chapa de latón sobre un tas de plomo. Se estira el material al golpear a medida que se va girando el martillo sobre todos los rincones de la chapa.

◀ 10. Después, se recorta la oreja del dragón. De entrada, se elimina el material sobrante con una cizalla de palanca, ajustando al máximo el corte al contorno.



▲ 11. Se sitúa la chapa recortada sobre un tornillo de banco y se finaliza el corte exacto de la pieza por medio de un cincel.





▲ 15. El conformado se realiza con diferentes martillos según las formas que se desee obtener.



▲ 16. Uno de éstos es un martillo obtenido a partir de la reutilización de una piqueta de soldadura.



◀ 17. La piqueta reconvertida en martillo para efectuar el batido permite realizar estiramientos diversos dependiendo del lado que se use (véase el apartado del conformado).

▶ 18. Tras la primera fase del proceso de conformado se obtiene la plancha de latón modelada según la plantilla; sin embargo, debido al estiramiento del material por la acción del batido, queda más curvada en sentido longitudinal de lo que se desea.



▲ 19. Para deshacer la curvatura excesiva se golpea por el reverso la pieza modelada sobre un tas de plomo.



▲ 20. Para obtener la forma final se golpean los laterales y se cierran sobre ellos mismos. Del mismo modo, pero en sentido inverso, se realiza la otra oreja, con la otra chapa cortada.



▼ 24. Se comprueban periódicamente las formas obtenidas en latón con el modelo de plastilina.



◀ 21. A continuación, se realiza la plantilla de la ceja siguiendo el procedimiento antes descrito.



▲ ▼ 22 y 23. Se dobla y curva la parte de la ceja que debe encajar con la oreja, golpeando siempre sobre el tas de plomo.



◀ 25. Totalidad de plantillas usadas para la realización del dragón.

► 26. A partir de la correspondiente plantilla, se conforma el morro del dragón.



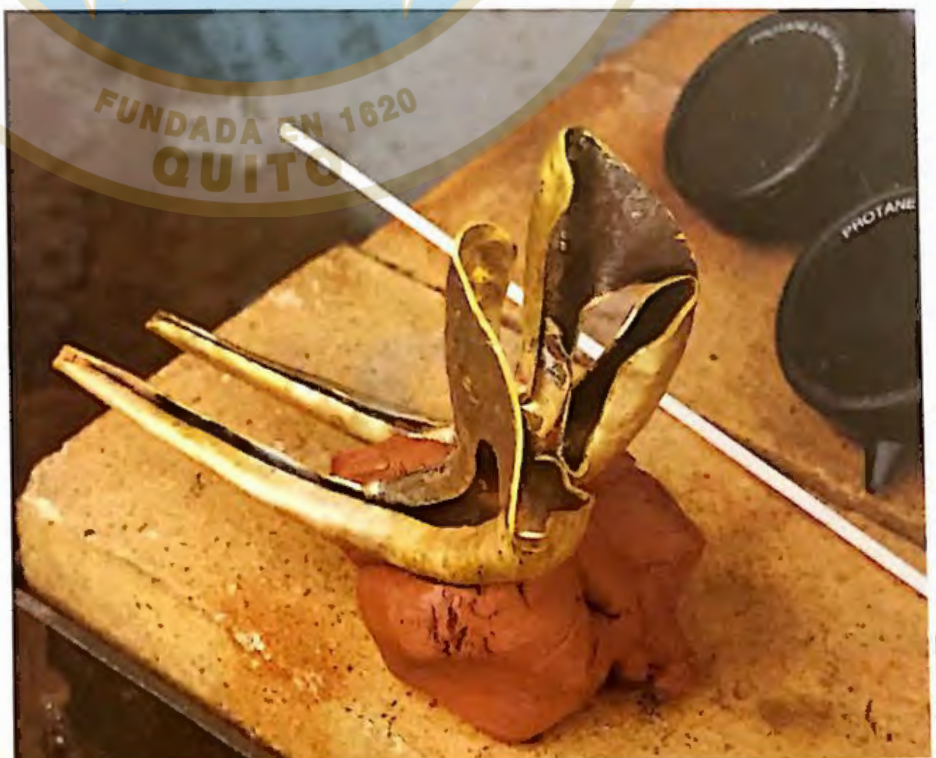
▼ 27. Plantilla y morro del dragón. La chapa de latón se estira desde la forma que se le da por medio de la plantilla hasta conseguir un volumen similar al del morro del dragón modelado en plastilina.



▲ 29. Se dobla la chapa con unos alicates para abrir los orificios nasales.

▲ 28. Para realizar los orificios de la nariz se corta el extremo del morro con una sierra de arco. Se coloca un listón de madera en el interior del morro para evitar su deformación a causa del apriete de las mordazas.

► 30. Ahora se unen las partes conformadas mediante la técnica del soldeo fuerte con aportación de latón. Como base para inmovilizar las piezas que se desea soldar se utiliza barro de modelar, ya que permite colocarlas en posición correcta sin deformarlas.



►► 31. Luego se confecciona la mandíbula inferior de forma muy parecida a la superior. A continuación para diseñar la posición más interesante del rostro del dragón se colocan las piezas según las diferentes posibilidades que existan y se escoge la que más agrade.



▲ 32. La siguiente fase para obtener la cabeza se realiza a partir de la unión de la mandíbula inferior al morro por medio de soldadura fuerte en la posición escogida. Se procede igual con los apéndices que salen de la base de la cabeza, obtenidos de las correspondientes plantillas.



▲ 33. Aprovechando el recocido que provoca la acción de soldeo, se golpea sobre las mismas en el tas de plomo para ajustar la unión de las piezas.

► 34. Se construye el cuello del dragón a partir del soldeo de las piezas conformadas. Un sargento lo inmoviliza y permite soldar con comodidad.



▲ 35. Para sujetar las piezas en el momento de realizar la soldadura entre partes grandes es necesario buscar soluciones prácticas.



▲ 36. Para terminar, se pulen las soldaduras y se limpia con un estropajo humedecido con amoníaco rebajado con agua. Se emplean guantes de goma para ácidos, mascarilla y gafas para protegerse de posibles salpicaduras.

► 37. Dragón de latón finalizado. Para la base se ha utilizado una chapa cuadrada gruesa de acero al carbono que le confiere estabilidad. La cabeza se une a la chapa por medio de un trozo de varilla cuadrada soldada con aportación de latón por el método del soldeo oxiacetilénico.



Glosario

a

Acero rápido. Se denomina así al que puede trabajar hasta la temperatura de 600 °C sin perder su dureza.

Acritud. Aumento de la resistencia y de la dureza que experimentan los metales por martilleo en frío y disminución, a su vez, de la plasticidad y la tenacidad volviéndose más frágiles.

Alúmina. Óxido que se forma sobre las superficies del aluminio en contacto con oxígeno, tanto del aire como aportado, sobre todo a altas temperaturas.

Atmósfera. Medida de presión equivalente a 1 kg/cm².

Arrabio. Primer producto, también llamado fundición o hierro colado, obtenido en los altos hornos al reducir el mineral de hierro. Este tipo de hierro tiene un gran contenido en carbono y es frágil.

b

Baño de fusión. Espacio donde se funden a la vez por la acción del calor el metal de aportación y el base, formando un volumen de materia que al enfriarse será el cordón de soldadura.

Bórax. Tetraborato sódico hidratado, muy usado como fundente en procesos de soldeo.

C

Caldear. Acción de calentar un metal en el fuego de la fragua.

Chañán. Rebaje de unos 45° practicado a las dos piezas que deben unirse por soldadura para facilitar la deposición del cordón de soldadura.

Cordón. Deposición de metal que une íntimamente dos piezas metálicas.

d

Desbarbado. Acción y efecto de eliminar pequeñas porciones de metal en forma de virutas o limaduras de los bordes del metal por medio de limas y aparatos eléctricos.

e

Embutición. Operación que consiste en transformar mediante presión una chapa plana en un volumen cuya superficie no es desarrollable, es decir, que no puede crearse a partir del traspaso de su forma a la chapa por medio de una plantilla.

Escoria. Material resultante de la descomposición del recubrimiento del electrodo revestido. Tiene como misión proteger el baño de fusión y la soldadura de la oxidación. También se aplica a la masa de impurezas obtenidas al fundir el mineral de hierro.

f

Fluidez. Capacidad de movimiento de una sustancia en estado líquido.

Fundente. Sustancia que se aplica en algunos procesos de soldeo para facilitar la fusión de los óxidos que se producen al aplicar calor sobre algunos metales.
Fusión. Paso de un cuerpo en estado sólido a líquido por acción del calor.

g

Galvanizado. Película de cinc que recubre el acero para protegerlo de la corrosión atmosférica.

h

Helicoidal. Que tiene forma de hélice. Término aplicado a las brocas.

Hojalata. Lámina fina de acero al carbono recubierta de una fina capa de estaño que actúa de protector.

l

Laminación. Proceso por el cual se somete un material a una gran presión al pasarlo entre dos rodillos que giran a la misma velocidad y en sentido contrario con el fin de reducir su sección transversal.

m

Manurreductor. Válvula encargada de reducir la excesiva presión de un gas comprimido de una botella o procedente

de un compresor hasta regularlo a una presión óptima de trabajo.

Mena. Parte de un mineral con la mayor riqueza de contenido del metal que contiene.

Métrica. Sistema de designación de las roscas que mide su diámetro exterior en el Sistema Métrico Decimal, normalmente en milímetros.

n

Nonio. Pieza que, aplicada sobre una regla de un instrumento de precisión, permite apreciar fracciones pequeñas de divisiones menores.

o

Oxicorte. Proceso de corte practicado sobre los aceros mediante una llama producida por la combustión de una mezcla de oxígeno con otro gas, normalmente acetileno.

p

Pantógrafo. Aparato que permite realizar múltiples reproducciones exactas, o de distinto tamaño pero proporcionales, a partir de un modelo original.

Perfil comercial. Presentación para su venta de los distintos tipos de barras, de sección y forma diversas, obtenidas por la industria por laminación en caliente

de lingotes de acero o conformación en frío a partir de planchas laminadas.

Pirómetro. Aparato o testigos fusibles destinados a medir las temperaturas altas.

Puntear. Acción de unir dos piezas mediante puntos de soldadura.

r

Revenido. Operación que consiste en mejorar mediante calor la tenacidad de los aceros templados a costa de disminuir su dureza, su resistencia mecánica y su límite elástico.

t

Tensión en vacío. Es el voltaje existente en la pinza de masa y en la pinza portaelectrodos cuando no se está soldando.

Tracción. Acción de arrastrar un objeto.

Triscado. Operación por la cual se doblan los dientes de una sierra alternativamente a derecha y a izquierda para optimizar su acción de corte.

v

Volatilización. Fenómeno por el cual algunas sustancias pasan de sólido o líquido a gas o vapor a temperatura ambiente.

Bibliografía y agradecimientos

ANDRIEUX, Jean-Yves, *Les travailleurs du fer*, Découvertes Gallimard, Evreux, 1991.

HERNÁNDEZ RIESCO, Germán, *Manual del soldador*, Asociación Española de Soldadura y Tecnologías de Unión, Madrid, 2000.

HUGHES, Richard y Michel Rowe, *The Colouring, Bronzing and Patination of Metals*, Thames and Hudson, Londres, 1991.

LOBJOIS, Ch., *Tecnología de la calderería*, Vols. I, II, III y IV, Ediciones CEAC, Barcelona, 1984.

LOYEN, Frances, *Manual de platería*, Hermann Blume, Madrid, 1989.

MOHEN, Jean-Pierre, *Metalurgia prehistórica. Introducción a la paleometalurgia*, Masson, S.A., Barcelona, 1992.

PEDROLA I FONT, Antoni, *Materials, procediments i tècniques pictòriques*, Publicacions de la Universitat de Barcelona, Barcelona, 1988.

SCHMIRLER, Otto, *Outils et réalisations en fer forgé*, Office du Livre du Fribourg, Fribourg (Suiza), 1981.

SERRA SUBIRÀ, Eduard, *Materials i eines de l'escultor*, Publicacions de la Universitat de Barcelona, Barcelona, 1992.

SLOBODKIN, Louis, *Sculpture, principes and practice*, Dover Publications, Nueva York, 1973.

UNTRACHT, Oppi, *Metal techniques for craftsmen*, Ed. Doubleday, Nueva York, 1975.

V.V.A.A., *Guía práctica de la forja artística*, Editorial de los Oficios, León (España), 1997.

V.V.A.A., *Tecnología del metal 1.1*, Bruño - Edebé, Barcelona, 1976.

VITIELLO, Luigi, *Orfebrería moderna (técnica-práctica)*, Ediciones Omega, Barcelona, 1989.

A Parramón Ediciones, S.A. por haber ideado una colección de libros, tan necesaria, dedicada al arte y a los oficios. Quiero dar mi más sincero agradecimiento a los editores Maria Fernanda Canal y Tomás Ubach por haber puesto tanta confianza en mi trabajo y a todo el equipo de profesionales colaboradores de Parramón Ediciones por su buen hacer.

A la escultora Matilde Grau por creer en mí e incitarme a la creación de este libro, y por no perder nunca la sonrisa de su cara; y a Carles Codina por ponerme en contacto con Parramón Ediciones.

A Joan Soto, ¡como no!, por la picardía que pone en su profesión, por su experiencia profesional y la confianza que transmite, por su complicidad, ¡por tantas cosas!

A Antonio Rodríguez, de Soldabarna, S.A., por toda su ayuda, aportación de material y por sus idas y venidas.

A Justo Lebrero Estadella, de la fábrica de artículos para pulimento Justo Estadella, por la predisposición, la documentación y la experiencia aportada al libro en el apartado dedicado a las pátinas. Y a Philippa Beveridge por su ayuda en el ejercicio de la mesa de hierro.

A Enric Rosàs y a Industrial Llobera, S.A. por contribuir a esta publicación con su experiencia profesional en forma de sabios consejos técnicos, decapantes, lanas de acero, varillas de aportación, botellas de gas industrial y ¡yo que sé cuántas cosas más!

A Josep Cerdà y a Josep Roy, Decano y Vicedecano de la Facultat de Belles Arts de la Universitat de Barcelona, por permitir el uso de los espacios de la facultad para la realización de las fotografías de algún paso a paso.

A Martí Rosàs y a Mari Hernández, del Restaurante Ca la Maria de Llagostera (Girona), por dejarme modificar alguno de los rincones de su masía para el paso a paso de la cancela, y por el parmentier de trompetas de la muerte o los buñuelos rellenos de crema de limón con salsa de chocolate.

A Ester Rosàs y a Javier Ares por estar siempre que se les necesita.

A Jordi Sánchez, maestro de taller de grabado de la Universitat de Barcelona, por su disposición y talante luchador.

A Rafael Cuartielles, maestro del taller de metal y artista, por su sabiduría sutil, sus enseñanzas de las técnicas del metal y su gran capacidad para introducirte en la poesía de los objetos, ¡cuántos momentos!

A los escultores Jordi Torras, Gemma López, Marta Martínez, Beth Fornas, Nerea Aixàs, Josep Cerdà y Matilde Grau por permitirme, sin pensárselo dos veces, dignificar todo el libro con imágenes de su obra escultórica.

A Clavelina Rio y a José Ares, mis padres, por apoyar siempre mis decisiones y por tener cuidado de mi niña tantos ratos.

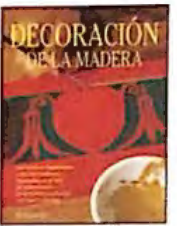
A Marta Rosàs, mi norte, y a la, nuestra hija, por todos los días y todas las noches y toda la paciencia y todo el apoyo, ¡ojalá seáis siempre tan felices como lo sois ahora!

A todos mi humilde agradecimiento.

Ares

Parramón Ediciones, S.A., por su parte, desea agradecer al Museu Cau Ferrat, de Sitges, la cesión de la fotografía de Pablo Gargallo, que aparece en la Galería.

• Otros títulos
de la colección



artes y oficios

EL METAL

Este libro trata acerca de las técnicas de trabajo artesanal con los metales más comunes: hierro, cobre, latón, etc. El lector hallará capítulos dedicados a las herramientas y máquinas de uso más corriente en metalistería, y otros que explican técnicas básicas de trabajo como el conformado por embutición, el corte con diversos procedimientos, el clásico forjado, los procesos de soldadura o los tratamientos superficiales acabado y preservación. Finalmente se explican paso a paso la construcción de varios objetos funcionales y artísticos con las diversas técnicas explicadas y con distintos metales, que muestran el universo de posibilidades prácticas, plásticas y creativas de este oficio.



www.parramon.com

