

Introducción a la soldadura

Habrás observado que los elementos que conforman las estructuras de acero no siempre están unidos entre sí mediante tornillos, sino que se recurre en ocasiones a la soldadura. Puedes observar también cómo se unen entre sí los tubos de cobre; comprobarás que unas veces se recurre a elementos roscados, pero muy a menudo se utiliza también la soldadura. Parece, pues, que la soldadura presenta en ciertos casos ventajas sobre otros sistemas de unión. Si tu observación es más detallada, podrás comprobar que el aspecto de la soldadura no es igual en el acero que en los tubos de cobre. ¿Son todas las soldaduras iguales o dependen de los materiales a unir?

Conceptos básicos

Soldar es reunir las partes integrantes de una construcción asegurando la continuidad de la materia entre ellas. Para obtener esta continuidad se recurre generalmente a intercalar un material fundido que rellene el espacio existente entre las piezas a unir (figura 1-A).

Se denomina **material base** al que constituye las piezas a unir, y **material de aportación** al que se intercala fundido entre las piezas para obtener dicha continuidad. En ocasiones se puede soldar sin la aportación adicional de material, como en el caso de la figura 1-B en el que es el propio material base el que una vez fundido rellena el intersticio.

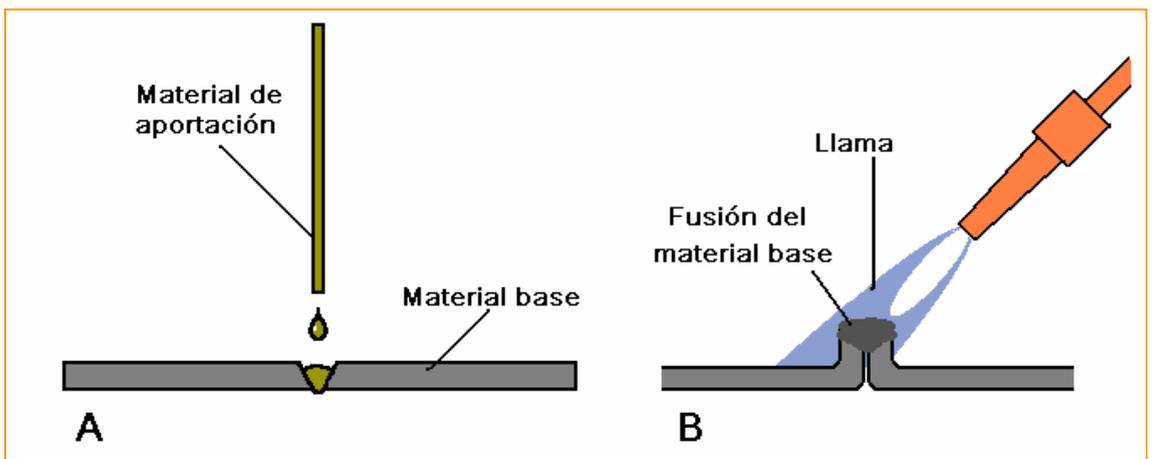


Fig. 1A: Soldadura con material de aportación.

Fig. 1B: Soldadura sin material de aportación.

Al material que se funde entre las piezas se le denomina **cordón de soldadura**. Como veremos más adelante, dependiendo del procedimiento empleado, el cordón podrá estar formado íntegramente por el material de aportación, por el material base o por ambos simultáneamente, dependiendo cuál de ellos participe en la fusión durante el soldeo.

Puesto que la soldadura se lleva a cabo con aportación de calor, será necesario **proteger** la zona de la acción del oxígeno del aire: a altas temperaturas se produce una rápida oxidación de los materiales metálicos, lo que origina defectos en las soldaduras. Por otra parte, es necesaria la **limpieza** de las piezas a unir para que no existan cuerpos extraños que se interpongan en la unión.

Clasificación de las soldaduras

Atendiendo a la naturaleza de los materiales que intervienen en la unión, se pueden clasificar las soldaduras en dos grandes grupos: heterogéneas y homogéneas.

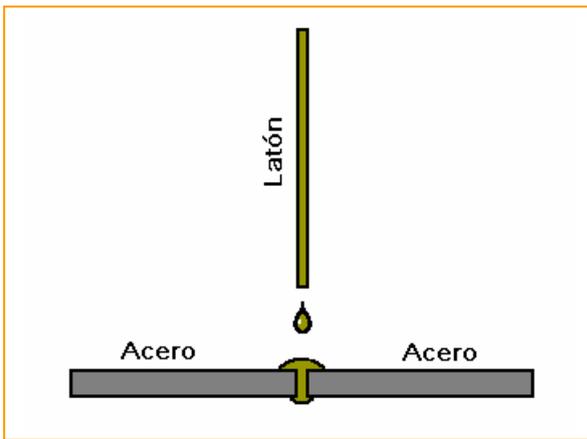


Fig. 2: Ejemplo de soldadura heterogénea.

■ **Soldadura heterogénea.** En la soldadura heterogénea el material base y el de aportación son de **distinta naturaleza**, pudiendo serlo también las dos piezas a unir. Básicamente consiste en fundir el material de aportación con una fuente de calor, generalmente una llama, y depositarlo entre las dos piezas, permaneciendo éstas en todo momento en estado sólido.

Un ejemplo de este tipo de soldadura lo constituye la unión de piezas de acero mediante aportación de latón. Otro ejemplo lo encontramos en las instalaciones de fontanería, donde los tubos de cobre se sueldan utilizando estaño como material de aportación.

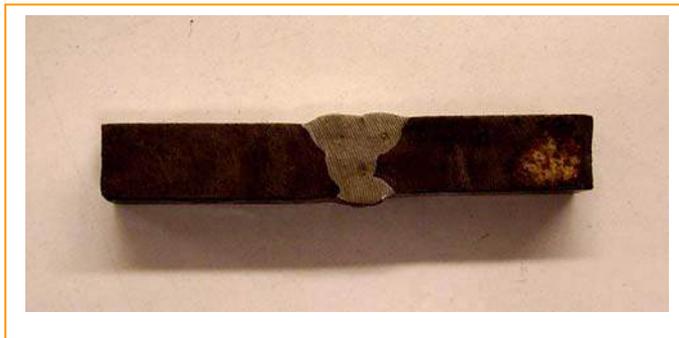


Fig. 3: Dos piezas unidas mediante soldadura heterogénea.

■ **Soldadura homogénea.** En este tipo de soldadura el material base y el de aportación, si se utiliza, son de **igual naturaleza**. El proceso se lleva a cabo fundiendo los bordes de las piezas a unir y añadiendo el material de aportación, también fundido, que evite la carencia de material en la zona de unión. Durante la fusión se mezclan el material base y el de aportación; esta mezcla en estado líquido recibe el nombre de **baño de fusión**. Una vez solidificado el **baño de fusión**, constituirá el cordón de soldadura.

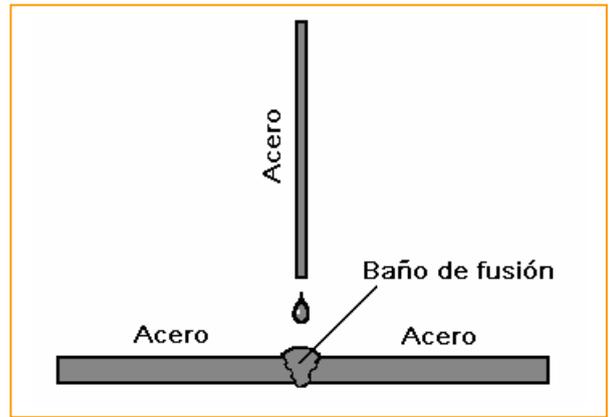


Fig. 4: Soldadura homogénea.

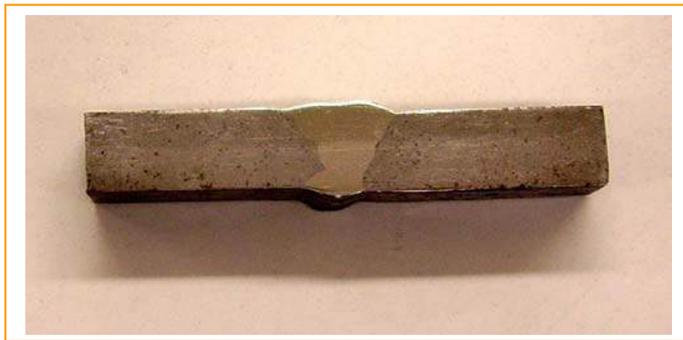


Fig. 5: Dos piezas unidas mediante soldadura homogénea.

A modo de ejemplo, puedes encontrar soldaduras homogéneas en la unión de las distintas partes de la estructura de una bicicleta.

Procesos de soldeo

Recordemos que para llevar a cabo una soldadura se necesita:

- **Aportar energía** para calentar, fundir o deformar el material.
- **Aportar material.** Aunque esto no siempre es necesario.
- **Limpiar y proteger la zona de unión**, eliminando los contaminantes existentes e impidiendo su formación durante el soldeo.

Las diferentes formas de conseguir estas funciones son las que dan lugar a los distintos **procesos de soldeo**, pudiendo establecerse una subdivisión de las soldaduras heterogéneas y homogéneas como la que enumeramos a continuación. En ella hemos incluido

algunas características de estos procesos que serán desarrolladas con mayor profundidad a lo largo de esta unidad y de la siguiente. No hemos pretendido abarcar todos los procesos que existen actualmente, pues supera la intención de este texto; tan solo hemos incluido aquellos que serán de uso habitual para el futuro instalador, o que, sin llegar a serlo, los encontrará en las máquinas, equipos o instalaciones que maneje a lo largo de su profesión.

■ Soldadura heterogénea

- **Soldadura blanda.** Es aquÉlla en la que el material de aportación funde a una temperatura inferior a 450° C. Podemos citar como ejemplo la soldadura de cobre con aportación de **estaño-plata**.
- **Soldadura fuerte.** Es aquÉlla en la que el material de aportación funde a una temperatura superior a 450° C. Las soldaduras que utilizan como aportación aleaciones de **cobre-fósforo**, **cobre-plata** o **latón** son ejemplos de este tipo. A la soldadura fuerte se la suele llamar también “brazing” (*braze* es una palabra inglesa que significa soldar) y es habitual ver este término en muchos manuales técnicos.

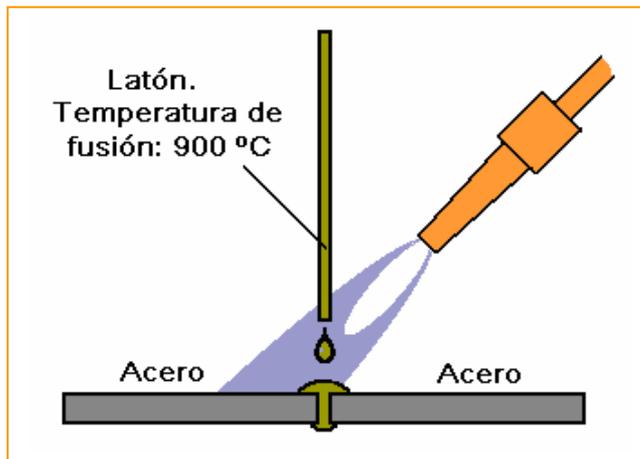


Fig. 6: Soldadura fuerte.

En ambos casos, blanda o fuerte, la energía es aportada por una llama de butano, propano o acetileno. La protección se efectúa con desoxidantes o decapantes (llamados también flux o bórax), que son sustancias en forma de líquido, pasta o polvo, que se extienden por la zona de unión y que además cumplen la función de aumentar la fluidez del material de aportación.

■ Soldadura homogénea

- **Soldadura con llama.** En la soldadura homogénea también se utiliza la llama como fuente de calor. Un ejemplo lo constituye la soldadura oxiacetilénica, en la que la llama se obtiene de la combustión de acetileno con ayuda de oxígeno. La protección de la fusión se lleva a cabo con la propia llama, ya que existe en ella una zona carente de oxígeno que evita que se produzca oxidación.

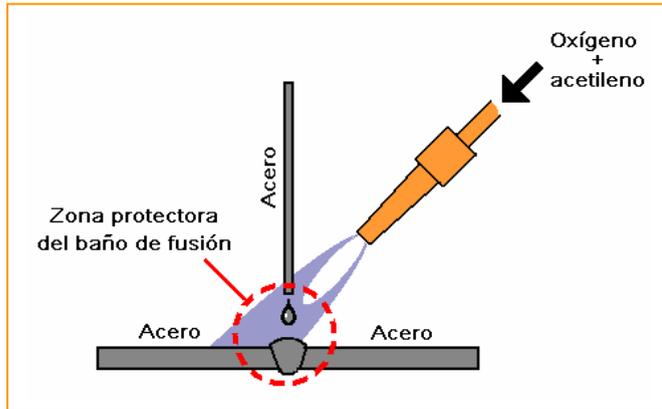


Fig. 7: Soldadura oxiacetilénica.

- **Soldadura por arco:** La energía es obtenida al establecerse un arco eléctrico entre un electrodo y la pieza. Como ejemplo de este proceso podemos citar la **soldadura manual con electrodo revestido**, en la que el electrodo hace las veces de material de aportación al fundirse por efecto del calor generado en el arco eléctrico. La protección se consigue mediante una capa de escoria que procede del revestimiento y se forma sobre el baño de fusión, siendo eliminada una vez solidificado éste. Las **soldaduras TIG** (Tungsten Inert Gas) y **MIG-MAG** (Metal Inert Gas y Metal Active Gas, respectivamente) también utilizan un arco eléctrico como fuente de calor, pero en ellas la protección se realiza mediante un gas lanzado hacia el baño de fusión. En las soldaduras TIG y MIG el gas utilizado normalmente es el Argón; en la soldadura MAG se utiliza CO_2 o mezclas de éste con otros gases.

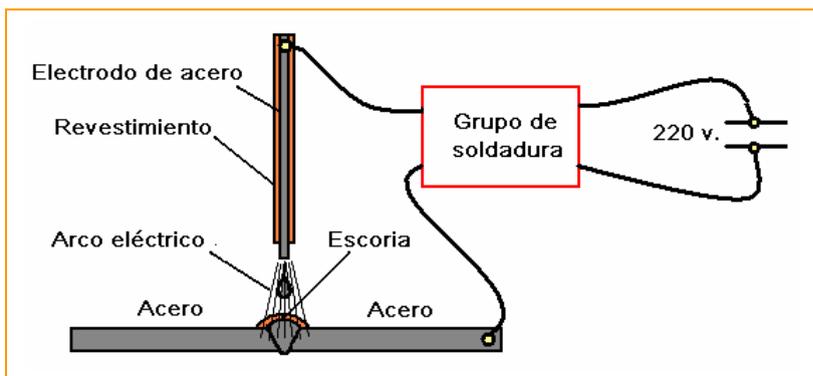


Fig. 8: Soldadura por arco manual en electrodos revestidos.

- Soldadura en fase sólida.** En este proceso las piezas a soldar se calientan para facilitar su unión, pero no llegan a fundirse. Un ejemplo lo constituye la **soldadura a la forja**. Se efectúa ejerciendo presión sobre las piezas a unir hasta eliminar las distancias que imponen las rugosidades superficiales. Las piezas se calientan para aumentar su plasticidad, pero permanecen en todo momento en estado sólido. Para proteger la zona de unión se utiliza bórax como desoxidante.

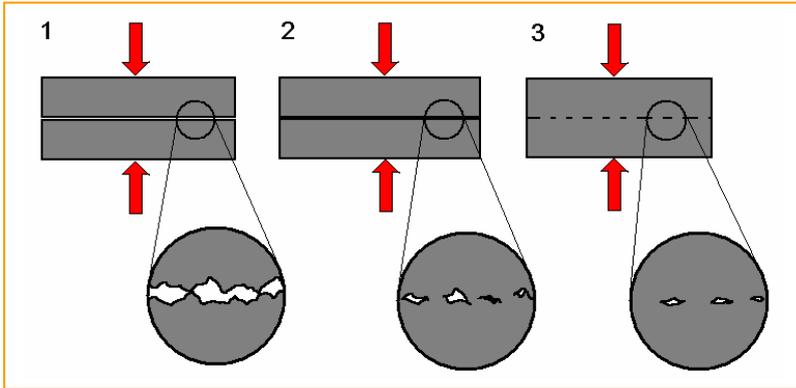


Fig. 9: Soldadura a la forja.

- Soldadura por resistencia.** Consiste en hacer pasar una corriente eléctrica de pequeño voltaje y elevada intensidad a través de las piezas a unir. Debido a la resistencia eléctrica que ofrecen las piezas, éstas se calientan hasta alcanzar en la zona de unión un estado pastoso; si en ese momento se ejerce una presión, manual o automáticamente, las piezas quedarán unidas. La **soldadura por puntos** es un ejemplo de este proceso, y es muy utilizada en la industria del automóvil para unir las chapas que conforman la carrocería.

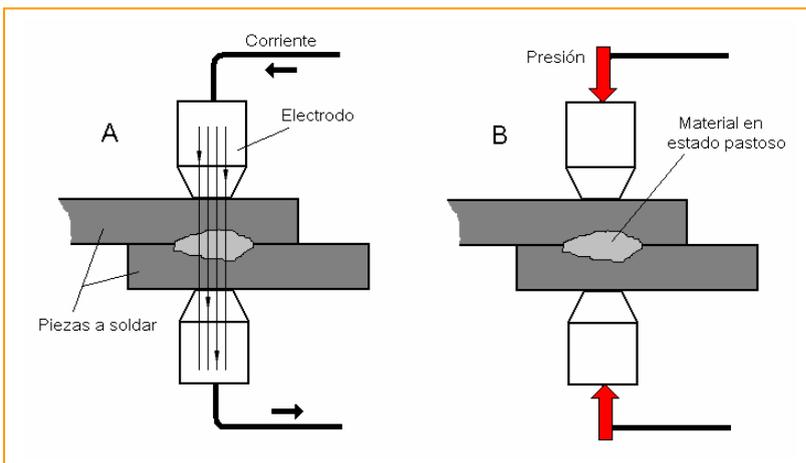


Fig. 10: Soldadura por puntos.

o Aplicaciones de los distintos procesos de soldeo

A modo de resumen incluimos en la siguiente tabla los procedimientos de soldeo vistos en este capítulo, así como los materiales que se pueden soldar con cada uno de ellos.

PROCESOS DE SOLDEO		MATERIALES A SOLDAR	
Soldadura heterogénea	Blanda	Con estaño-plata	Cobre con cobre o cobre con latón.
	Fuerte	Con cobre-fósforo	Cobre con cobre.
		Con cobre-plata	Cobre con cobre, cobre con latón o cobre con acero
		Con latón	Aceros al carbono, aceros inoxidables y fundiciones.
Soldadura homogénea	Con llama	Oxiacetilénica	Chapa fina (1-6 mm) o tubos de acero al carbono.
	Por arco	Manual con electrodo revestido	Chapa de espesores medios y gruesos (mayor de 3 mm).
		TIG	Chapa fina o tubo de cualquier material metálico excepto zinc y berilio.
		MIG	Aceros al carbono e inoxidables de espesores medios y gruesos.
		MAG	Aceros y aluminio.
	En fase sólida	Forja	Piezas de poco espesor de acero al carbono.
Por resistencia	Por puntos	Chapa fina de todos los metales excepto zinc, plomo y estaño.	

Tabla 1: Aplicaciones de los distintos procesos de soldeo.

1

Actividad

Completa la siguiente tabla:

TIPO DE SOLDADURA	FUENTE DE CALOR	PROTECCIÓN DEL BAÑO DE FUSIÓN
Arco manual con electrodo revestido		
Blanda		
Fuerte		
MIG		
MAG		
Oxiacetilénica		
TIG		

Soldadura blanda

En el capítulo anterior hemos mencionado algunas características de la soldadura blanda, destacando aquellas que la diferencian de los otros procesos de soldeo.

Profundizaremos ahora en su estudio analizando los equipos y los materiales que se utilizan para llevarla a cabo, así como los procedimientos que hay que seguir para hacerlo correctamente.

Ya hemos dicho que la soldadura blanda es la soldadura heterogénea cuyo material de aportación funde a una **temperatura inferior a 450° C**.

Este tipo de soldadura se utiliza en las instalaciones de fontanería, de calefacción y de gas a baja presión para **unir tubos de cobre** entre sí o a otros accesorios de cobre, latón o bronce.

El procedimiento consiste en fundir el material de aportación sobre las piezas a unir para rellenar los huecos existentes entre ellas. El material, una vez fundido, se reparte por el intersticio por capilaridad.

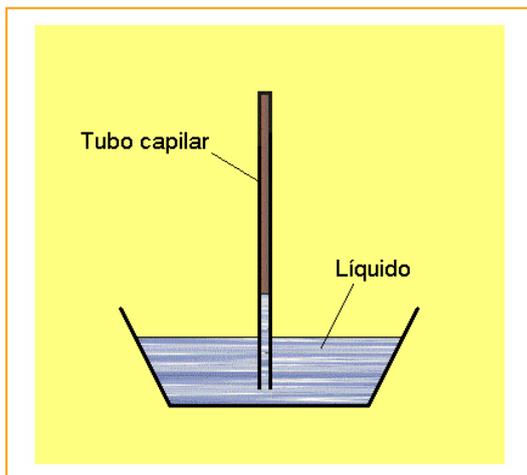


Fig. 11: Fenómeno de capilaridad.

Capilaridad

El fenómeno de la **capilaridad** tiene lugar cuando un líquido en contacto con el extremo de un tubo muy estrecho —tubo capilar—, asciende por su interior, quedando el líquido a mayor altura que el nivel exterior (figura 11).

Pero el fenómeno no sólo tiene lugar en tubos capilares, sino también entre dos superficies cualesquiera entre las que exista una mínima separación. Así, por ejemplo, puedes observar

este fenómeno cuando mojas un terrón de azúcar en agua. Comprobarás que bastará con mojar uno de sus extremos para que el agua ascienda por él hasta empaparlo completamente. Este fenómeno tiene lugar también en las plantas, pues la savia asciende de la raíz a las hojas por el interior de unos conductos estrechos llamados vasos capilares.

Los tubos de cobre se unen entre sí introduciendo uno dentro del otro (figura 12-A); entre sus paredes queda un pequeño intersticio que es rellenado con estaño fundido, el cual se difunde por capilaridad (figura 12-B). La capacidad de difusión del metal fundido será mayor cuanto menor sea el intersticio existente entre los tubos.

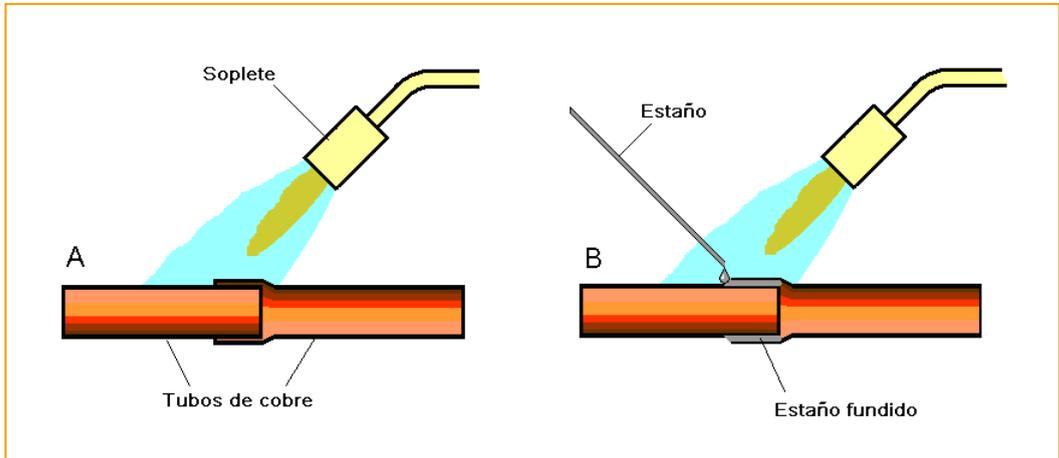


Fig. 12: Difusión del material de aportación por capilaridad.

El gas

El **calor** necesario para la fusión del material de aportación se obtiene de la combustión de gas butano o propano con la ayuda del oxígeno del aire como comburente.

El **gas** se suministra líquido en botellas de distintas capacidades, a las cuales se acopla una manguera que lo conduce hasta el soplete.

El **aire** se introduce en el soplete a través de unos orificios que se encuentran en la lanza del mismo (en la figura 20 se muestra su situación). La salida del gas provoca la succión del aire exterior. Este sistema de absorción es el mismo que el utilizado en los mecheros Bunsen de los laboratorios químicos.

El butano y el propano tienen un poder calorífico similar, y su precio también lo es, por lo que estos aspectos no determinan la elección de uno u otro combustible. Sin embargo, su tensión de vapor es sensiblemente diferente, y es esta característica la que deberemos tener en cuenta en la elección.

La **tensión de vapor** es la que ejerce un gas que se encuentra en el interior de un recipiente coexistiendo con el estado líquido. El gráfico proporciona las presiones que toman el butano y el propano, ambos comerciales, en función de la temperatura ambiente. Así, por ejemplo, a 20° C la presión del butano es de 1,25 bares mientras que la del propano es de 6,5 bares.

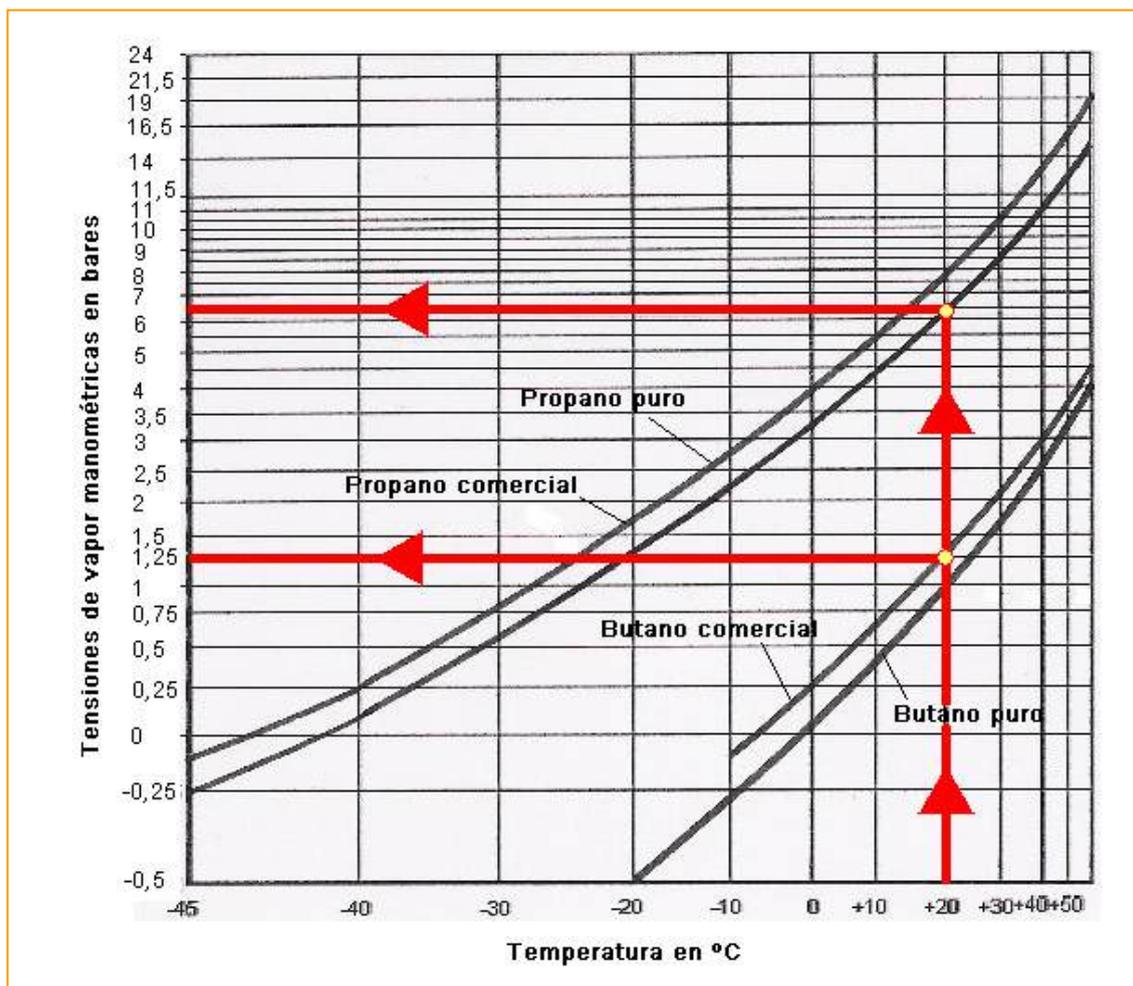


Fig. 13: Gráfico Temperatura-Tensión del vapor del butano y el propano.

Para obtener una llama adecuada es necesario que la presión en el soplete esté en torno a 1 ó 2 bares; si la presión es mucho más baja, la llama será poco potente, presentándose problemas en la fusión del material de aportación; y si es mucho más alta originará problemas en la regulación de la llama.

A tenor de lo dicho anteriormente, podemos comprobar que la presión del butano es aceptable a temperaturas ambientales normales, mientras que la del propano es excesiva.

vamente alta. Por esa razón, si se utiliza propano, será necesario colocar un **regulador de presión** a la salida de la botella, de forma que podamos reducir su valor y trabajar más cómodamente con el soplete.

Otra circunstancia que afecta a la presión en el interior de la botella de gas es la rapidez con la que se produce la **vaporización**. Cuando extraemos gas de la botella de forma continua, la presión en su interior desciende ligeramente, pero no lo hace indefinidamente, ya que al mismo tiempo se vaporiza parte del líquido tratando de recuperar la presión inicial. Existe, pues, un equilibrio entre la cantidad de gas extraído y la cantidad de gas que se vaporiza. Pero si extraemos más gas del que se puede vaporizar, la presión disminuirá hasta valores que harán imposible el mantenimiento de la llama.

Esta situación puede darse si la llama es muy grande o muy potente, o también si se conectan varios sopletes a una misma botella. La cantidad de gas extraído en la unidad de tiempo se llama caudal. El caudal de gas consumido suele expresarse en litros/hora, litros/min, kg/h, etc.

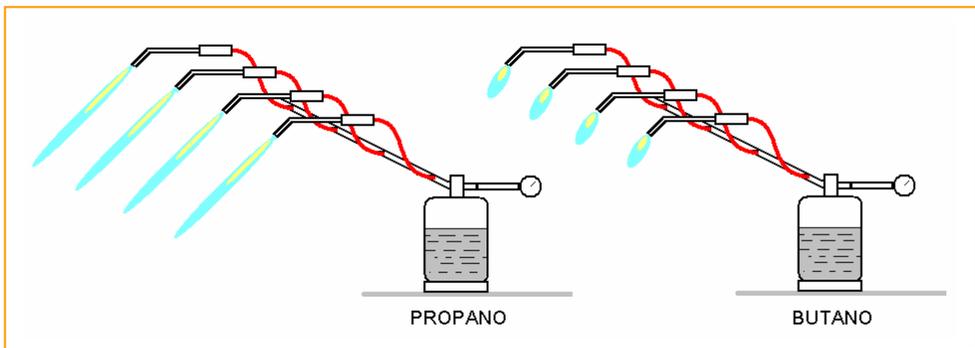


Fig. 14: El propano mantiene mejor la presión para caudales grandes.

Material de aportación

Como **material de aportación** se emplea una **aleación de estaño y plata**, cuya temperatura de fusión ronda los 250° C. El porcentaje de ambos componentes suele estar en torno al 95% de estaño y 5% de plata. La función de la plata es aumentar la fluidez del material de aportación al mismo tiempo que se disminuye su temperatura de fusión. Este material de aportación se presenta en forma de hilos de 1,5 ó 2 mm de diámetro enrollados en carretes.

Puesto que los materiales base —cobre o latón— tienen una temperatura de fusión alta en comparación con el de aportación (el cobre funde a 1.088° C y el latón a 900° C), el riesgo de que lleguen a la fusión durante el soldeo es bastante bajo, ya que mucho antes de que esto ocurra ya se habrá producido la fusión del estaño-plata.

Decapante o desoxidante

Para proteger la zona a soldar se utilizan sustancias llamadas **decapantes** o **desoxidantes**, las cuales tienen las siguientes funciones:

- Evitar la formación de óxidos durante el calentamiento.
- Disolver y facilitar la expulsión de los óxidos e impurezas que pueda haber en la zona a soldar.
- Disminuir la tensión superficial del material de aportación una vez fundido para aumentar su capacidad de mojar al material base.

El **mojado** hace referencia a la capacidad que tienen los líquidos de extenderse por la superficie de los materiales con los que se ponen en contacto. Un mismo líquido no moja a todas las superficies por igual; así, por ejemplo, el agua se extiende relativamente bien sobre el vidrio, pero sobre las hojas de ciertas plantas forma gotas esféricas que ruedan sobre su superficie sin llegar a mojarlas. Un caso extremo de ausencia de mojado lo constituye el mercurio, que forma bolas sobre el vidrio (figura 15-A); en el extremo opuesto se encuentra el alcohol, que se extiende casi por completo sobre su superficie (figura 15-B).



Fig. 15: Capacidad de mojado de algunos materiales.

La falta de limpieza de las superficies a soldar y la ausencia de desoxidante provocan que el estaño forme bolas que resbalan sobre el cobre sin llegar a mojarlo, impidiendo por completo la soldadura. Este fenómeno puede producirse también si se deja el decapante preparado para soldar de un día para otro, ya que el efecto del desoxidante, una vez extendido, no dura más allá de 2 ó 3 horas, perdiendo su eficacia una vez transcurrido ese tiempo. Otra causa de la pérdida de eficacia del decapante es su calentamiento excesivo; en ese caso tomará un color marrón oscuro y el estaño formará bolas que resbalarán sobre la superficie del tubo sin mojarlo.

Estos desoxidantes se presentan en forma de geles, pastas o líquidos y están compuestos de cloruro de cinc o cloruro amónico añadido a vaselina, glicerina, lanolina o sebo para darle consistencia.

Equipo de soldadura

El equipo de soldadura blanda consta de los siguientes elementos (figura 16):

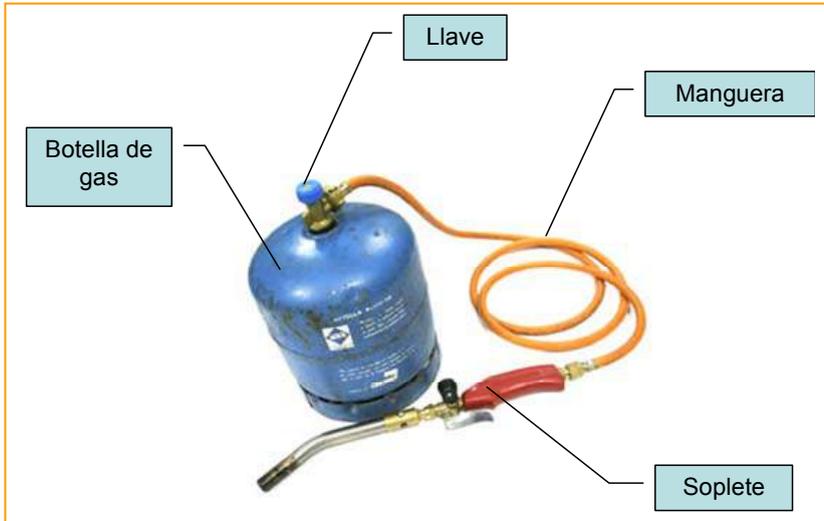


Fig. 16: Equipo de soldadura blanda.

- **Botella de butano o propano.** Generalmente se utilizan botellas tipo camping, ya que pueden ser transportadas sin dificultad y permiten una gran autonomía, pero puede utilizarse cualquier tamaño de botella de las disponibles en el mercado. Los modelos más pequeños utilizan cartuchos de gas a los que se acopla directamente el soplete (figura 17).



Fig. 17: Sopletes con acoplamiento directo al cartucho de gas.

- **Llave de apertura y cierre de botella.** La llave de apertura y cierre va roscada a la botella de gas, y tiene un mando manual que abre o cierra el paso de gas hacia la manguera. La conexión para la manguera se realiza por medio de un racor con rosca a izquierdas (aprieta en sentido antihorario).

■ **Regulador de presión.** Los equipos de propano necesitan reducir la presión de salida del gas. Para ello se necesita instalar un regulador de presión a la salida de la botella. Existen dos tipos de reguladores de gas: los de presión de salida fija y los de presión de salida regulable. Los primeros se comercializan con una presión de salida de 1,5 bares; los segundos tienen un campo de regulación entre 0 y 4 bares. Las botellas de butano no necesitan regulador debido a que su presión no es nunca excesivamente alta a temperaturas ambientales normales.

■ **Manguera.** La manguera tiene como función llevar el gas hasta el soplete para su combustión. Es de material flexible y tiene un racor en cada extremo para poder roscarla a la botella y al soplete.

No hay que olvidar que el racor que va a la botella es de rosca a izquierdas, por lo que, en caso de sustitución, deberemos aflojarlo girándolo en el sentido de las agujas del reloj.

■ **Soplete:** El soplete (figura 18) es el aparato encargado de mezclar el gas con el oxígeno del aire, extrayendo la mezcla por la boquilla para que se produzca la llama con la forma y la intensidad deseadas.

Para dar forma a la llama se utilizan distintos tipos de boquillas, entre las que podemos citar:

- *Boquilla de antorcha.* Produce una llama tosca y ruidosa; es ideal para quemar pintura y colocar tela asfáltica.
- *Boquilla de dardo.* Llama larga y guiada, ideal para soldar con estaño-plata.
- *Boquilla circular.* Tiene forma de "U" para rodear al tubo y calentarlo uniformemente.

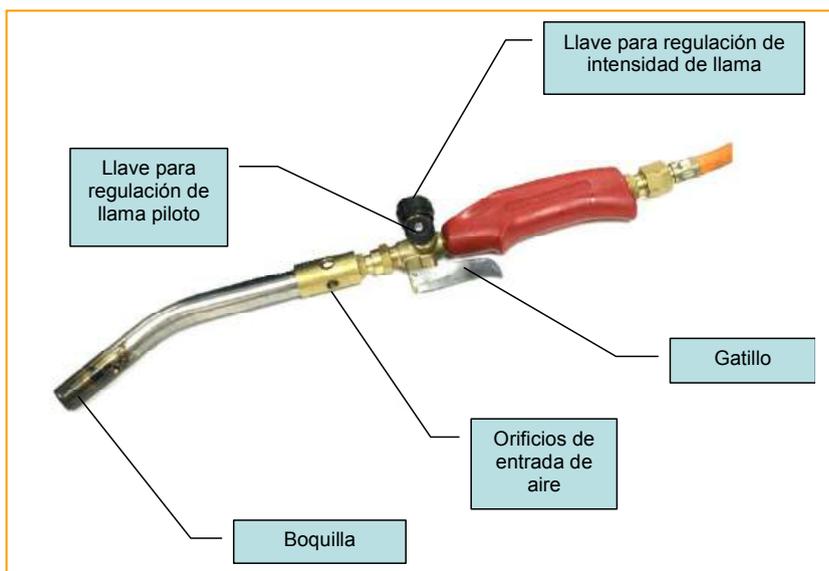


Fig. 18: Soplete con gatillo y llama piloto.

La regulación de la potencia de la llama se hace con la llave de paso de gas. Cuanto mayor sea la apertura de esta llave mayor será la potencia de la llama.

Algunos sopletes tienen un sistema de ahorro de gas, que consiste en un gatillo (figura 18) que ha de ser pulsado para que el gas salga a la presión deseada. Cuando se deja de pulsar el gatillo la potencia de la llama baja considerablemente, quedando tan solo una pequeña llama piloto de bajo consumo (algunos sopletes incluyen una segunda llave para regular esta última llama). Este dispositivo es útil cuando realizamos varias soldaduras consecutivas, ya que evita continuos encendidos del soplete manteniéndolo encendido con bajo consumo.

Otros sopletes incorporan un casquillo o muelle arrollado a la lanza que permite tapar parcial o totalmente los orificios de entrada de aire (figura 19). De esta manera se obtiene una llama anaranjada de menor potencia calorífica al tener menor aporte de oxígeno. Esta llama suele utilizarse para trabajos que requieran poco calor, como por ejemplo el doblado de tubos de plástico.

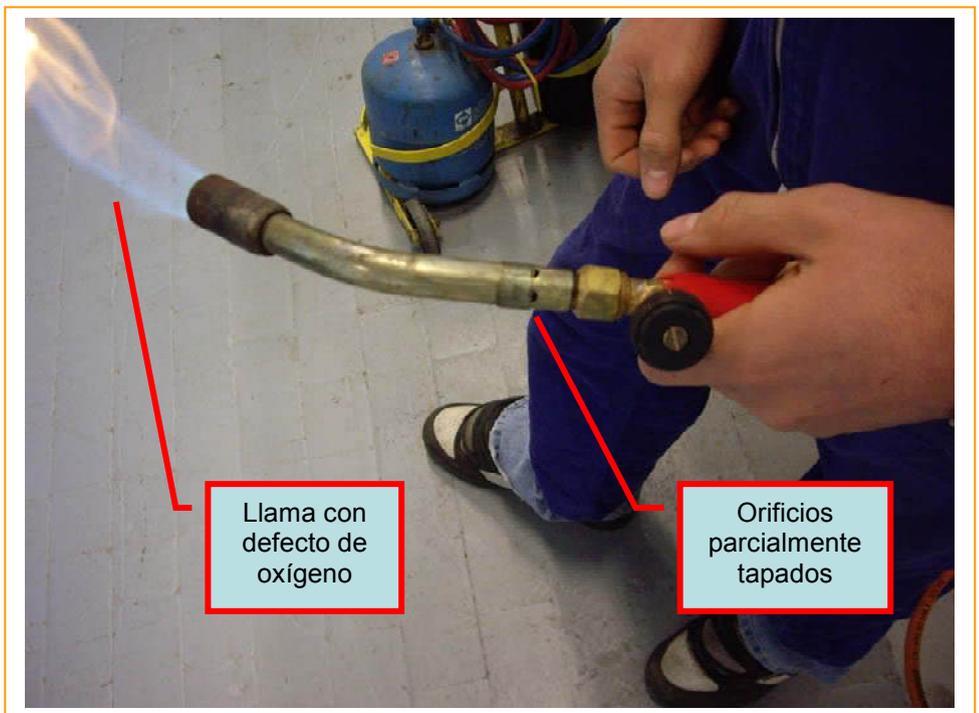


Fig. 19: Taponamiento parcial de los orificios de entrada de aire.

Técnica operatoria

Para efectuar soldaduras entre tubos y accesorios de cobre o latón, operaremos del modo siguiente:

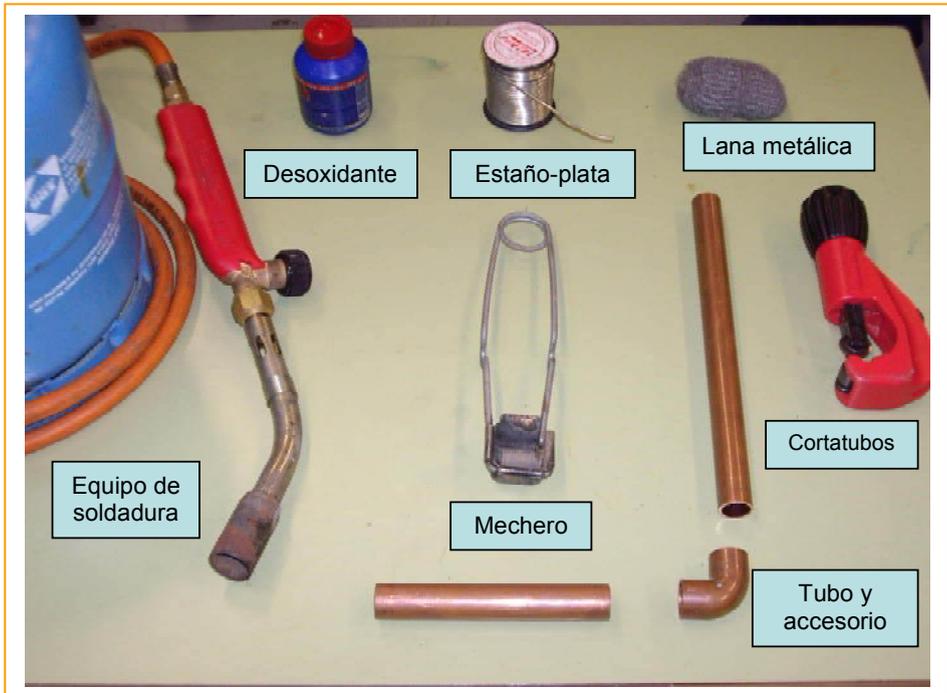


Fig. 20: Materiales que intervienen en la soldadura blanda.

- Primero realizaremos un **corte** en el tubo a la longitud deseada (figura 21), utilizando preferentemente un cortatubos. El corte produce rebabas que reducen el diámetro del tubo; estas rebabas deben ser eliminadas mediante un escariador; los cortatubos incluyen este accesorio en la parte posterior (figura 22).



Fig. 21



Fig. 22

- A continuación efectuaremos la **limpieza** de la zona que se verá afectada por la soldadura. Esta limpieza se hace frotando el exterior del tubo y el interior del accesorio con un estropajo de lana metálica o una lija de grano muy fino (figura 23). De esa forma eliminaremos la capa de óxido hasta que la superficie aparezca brillante (figura 24). Hay que limpiar también el interior del accesorio, aunque su aspecto sea brillante y no parezca estar oxidado.

*Fig. 23**Fig. 24*

- Una vez eliminada la capa de óxido, extenderemos el **desoxidante** por la superficie del tubo utilizando un pincel para ello (figura 25). Seguidamente introduciremos el tubo en el accesorio hasta el tope, y efectuaremos un pequeño giro para que el desoxidante se reparta por el intersticio (figura 26). Limpiaremos el exceso de decapante con un trapo limpio o un papel. El efecto del desoxidante no dura más allá de 2 ó 3 horas, por lo que deberemos realizar la soldadura dentro de ese tiempo.

*Fig. 25**Fig. 26*

- A continuación encenderemos el **soplete** regulando la llama a la potencia adecuada. Su color debe ser azul, mostrando una zona más intensa en las proximidades de la boquilla (figura 27). Si la llama tiene color anaranjado (figura 28) significará que la combustión tiene lugar sin la participación del oxígeno del aire, probablemente debido a que los orificios estén parcial o totalmente tapados por el dispositivo de regulación de aire; en ese caso retiraremos dicho dispositivo.



Fig. 27



Fig. 28

- Arrimaremos la llama dirigiéndola al accesorio con movimientos de vaivén para obtener un buen reparto del calor y evitar así recalentamientos localizados (figura 29). Una vez el decapante comience a hervir estaremos próximos a la temperatura idónea para la aportación. Hay que tener cuidado de no calentar excesivamente el tubo, ya que puede quemarse el decapante (adquiere un color marrón oscuro) y no será posible la soldadura. En ese caso habría que separar de nuevo la unión y comenzar de nuevo toda la operación de limpieza.



Fig. 29



Fig. 30

- Es importante destacar que el material de aportación debe fundir al ponerse en contacto con la superficie caliente del tubo, y no por el calor directo de la llama. Así pues, una vez calentada suficientemente la superficie del tubo, retiraremos la llama ligeramente al tiempo que tocamos con el estaño en la superficie del tubo: es en ese momento cuando debe producirse la fusión (figura 31). El tiempo que permanece la llama retirada ha de ser muy breve, justo el necesario para efectuar el contacto entre estaño y tubo; si prolongamos excesivamente este tiempo, el tubo enfriará y no se producirá la fusión.



Fig. 31



Fig. 32

- La soldadura se reparte uniformemente por el intersticio gracias al fenómeno de capilaridad; ha de llenarlo y formarse un pequeño cordón en la embocadura del accesorio. Hay que evitar que el estaño rebose y arroye por el exterior. Como orientación diremos que la cantidad de estaño a aportar será aproximadamente igual al diámetro del tubo.
- Una vez efectuada la soldadura enfriaremos la unión con un trapo frío. De esta forma evitaremos que pueda moverse antes de que solidifique, pues se formaría grietas que darían lugar a fugas. Procuraremos un enfriamiento suave para que no se agriete el cobre (o en su caso el latón). Para eliminar los restos de decapante y mejorar el aspecto de la instalación limpiaremos las soldaduras con un trapo de algodón (cotón).

Cuando hayamos terminado de soldar no hemos de olvidar cerrar las llaves del soplete y de la botella de gas.

2 actividad

Lee los siguientes casos proponiendo a continuación una posible respuesta a los fenómenos que se plantean.

- a.** Caso 1: Una instaladora prepara una instalación con tubos y accesorios de cobre que soldará con estaño-plata. Como la instalación tiene muchas uniones soldadas, decide prepararlas para poder soldarlas todas juntas al día siguiente. El proceso seguido en la preparación es el que se detalla a continuación. Primero mide cuidadosamente los tubos y los corta con un cortatubos; a continuación pasa el escariador por su interior para eliminar las rebabas; después limpia con lana metálica el exterior de los tubos y el interior de los accesorios; extiende acto seguido el desoxidante con un pincel, el cual, según indica la etiqueta, es un compuesto de cloruro de cinc y glicerina; finalmente introduce los tubos en los accesorios. Sin embargo, a pesar de esta cuidadosa preparación, al día siguiente no podrá efectuar las soldaduras. ¿Podrías decirnos por qué?
- b.** Caso 2: Un fontanero acaba de soldar con estaño-plata las tuberías de una instalación de agua. Para comprobar su estanquidad abre la llave de paso del agua. Decepcionado, comprueba que el agua gotea ligeramente por un pequeño poro existente en una de las soldaduras. Como la fuga es pequeña, decide que lo mejor será añadir algo más de estaño-plata sobre el poro. Cierra la llave de paso y espera a que cese el goteo. Seguidamente limpia bien la zona con lana metálica y añade desoxidante. Enciende el soplete de butano y acerca la llama a la soldadura defectuosa. Tras varios minutos observa que el tubo no se calienta. ¿A qué puede deberse esta aparente falta de potencia en la llama del soplete?



Soldadura fuerte

Hemos estudiado en el capítulo 1 de esta unidad, que las soldaduras blanda y fuerte se caracterizan por la diferencia de temperaturas de fusión de sus materiales de aportación. Es evidente, pues, que ambos procedimientos no utilizan los mismos materiales de aportación. Por otra parte, si esa temperatura es superior, deberá exigir de la llama más potencia calorífica que en la soldadura blanda. ¿Se utilizan los mismos equipos en ambas soldaduras? ¿Cuáles son los materiales que se emplean en la aportación y qué ventajas e inconvenientes presentan respecto a los usados en la soldadura blanda?

Como ya sabes, recibe el nombre de soldadura fuerte aquélla cuyo material de aportación funde a temperaturas iguales o superiores a **450° C**.

Esta soldadura se utiliza en las instalaciones de gas, refrigeración y climatización, para la unión de tubos de cobre a accesorios también de cobre, o bien de latón o acero, proporcionando mayor resistencia mecánica y térmica que la soldadura blanda. Se aplica por capilaridad, igual que aquélla.

El **calor** es aportado por una llama de **butano, propano o acetileno**. Para aumentar la potencia calorífica de la llama se utiliza el **oxígeno** como comburente, el cual no se toma del aire como en el soplete de butano, sino que se suministra puro en botellas a presión.

Material de aportación

Como **material de aportación** se emplean distintas aleaciones de cobre, entre las que cabe destacar:

- **Cobre-fósforo.** El fósforo actúa como desoxidante, por lo que este material de aportación puede ser utilizado sin decapante cuando se suelda cobre con cobre. Por el contrario, no puede utilizarse para soldar cobre con acero ni tampoco para soldar níquel o aleaciones que lo contengan.

- **Cobre-plata.** La plata aumenta la fluidez y disminuye el punto de fusión. El porcentaje de plata puede ir desde el 2% hasta el 50%. Esta aleación es apta para soldar todo tipo de metales excepto el aluminio y sus aleaciones.

A estas aleaciones básicas se les añaden otros metales (cadmio, estaño, silicio, zinc,...) con la finalidad de reducir la temperatura de fusión y aumentar la fluidez. Cuando se utilicen varillas con cadmio, dada su toxicidad, se recomienda soldar con buena ventilación.

La temperatura de fusión de estas aleaciones varía en función de su composición, por lo que no es posible precisarla de una forma general; podemos decir, sin embargo, que mayoritariamente está comprendida entre los 600 y los 800° C. Los fabricantes incluyen en sus catálogos el intervalo de temperatura de fusión para cada tipo de aleación que comercializan.

El material de aportación se presenta en forma de varillas de distintos diámetros y longitudes, siendo las más habituales para trabajos corrientes las de 1,5, 2 y 3 milímetros de diámetro y 500 milímetros de longitud (figura 33).



Fig. 33: Materiales que intervienen en la soldadura fuerte.

Decapante o desoxidante

El **decapante** o **desoxidante** se presenta en forma de polvo, que puede venir en botes para su aplicación a mano (figura 33), o bien en forma de una fina capa adherida a la varilla (figura 34).

El desoxidante en polvo se aplica humedeciéndolo con agua —preferiblemente destilada para que no deje residuos sólidos—, formando una pasta que luego se extenderá por la zona a soldar. Otra forma de aplicarlo consiste en calentar ligeramente el extremo de la varilla e introducirla en el bote; debido al calor, los polvos quedan adheridos a ella. De esta forma la aportación de material irá acompañada de la cantidad necesaria de desoxidante.



Fig. 34: Varilla de cobre-plata recubierta de desoxidante.

Las varillas fabricadas con el decapante ya adherido permiten aportar el material y el decapante al mismo tiempo, dando rapidez y comodidad a la operación y aportando la cantidad justa de desoxidante.

Equipo de soldadura

El equipo de soldadura fuerte (figura 35) está constituido por los siguientes componentes:



Fig. 35: Equipo de soldadura con oxigás.

- **Botella de combustible (butano, propano o acetileno).** El combustible empleado en la soldadura fuerte puede ser butano, propano o acetileno. Los tres gases tienen un poder calorífico similar, por lo que la elección ha de hacerse atendiendo a otros criterios.

Las ventajas e inconvenientes del butano y el propano han sido comentadas en el capítulo anterior; añadiremos aquí que el acetileno tiene un precio sensiblemente más elevado que los otros dos gases, por lo que, de no existir otros condicionantes, se optará por el butano o propano para este tipo de soldadura.

El acetileno será estudiado con más detalle en la siguiente unidad como parte del equipo de soldadura oxiacetilénica.

- **Botella de comburente (oxígeno).** El oxígeno (O₂) se introduce en la botella a una presión de 200 bares, de esa forma se tiene una gran cantidad de ese gas en un volumen relativamente pequeño. En la tabla siguiente se muestran los tamaños y características de estos recipientes:

CAPACIDAD (EN LITROS)	DIÁMETRO (mm)	ALTURA CON TULIPA (mm)	PESO TOTAL LLENAS (kg)	PRESIÓN DE LLENADO (BAR)	CONTENIDO (m ³)
2,5	115	450	5	200	0,5
5	140	610	12	200	1
20	204	940	37	200	4,2
50	229	1.640	84	200	10,6

Pueden calcularse los litros de oxígeno disponibles en la botella mediante la expresión:

$$Q = C \times P$$

DONDE

Q: Litros disponibles

C: Capacidad de la botella (en litros)

P: Presión leída en el manómetro (bar)

Ejemplo

¿Cuál es el contenido de oxígeno de una botella de 5 litros de capacidad cuya presión, leída en el manómetro, es de 200 bares?

$$Q = 5 \times 200 = 1.000 \text{ litros}$$

¿Cuál es el contenido de la botella anterior cuando el manómetro marque 100 bares de presión?

$$Q = 5 \times 100 = 500 \text{ litros}$$

Las botellas de oxígeno se identifican por sus colores: cuerpo negro y ojiva blanca.

Al ser altamente oxidante debe evitarse todo contacto con sustancias fácilmente combustibles, ya que puede provocar su inflamación. Todos los accesorios y elementos que puedan entrar en contacto con el oxígeno deben estar exentos de grasa, aceites y lubricantes.

■ **Manorreductor.** La función del manorreductor (figuras 36 y 37) es reducir la presión de la botella a valores que permitan trabajar cómodamente con el soplete, evitando a su vez una presión elevada en las mangueras que podría ocasionar su rotura. Consta de:

- Un **cuerpo**, que aloja en su interior los dispositivos para reducir la presión y al que están conectados todos los demás componentes del manorreductor.
- Un racor para su **conexión a la botella**.
- Una **salida hacia el soplete**, a la cual se conecta la manguera azul del mismo.
- Un **manómetro de alta presión**, en el que se lee la presión existente en la botella. Su amplitud ha de ser suficiente para medir los 200 bar de carga de la botella.
- Un **manómetro de baja presión**, en el que se lee la presión en el soplete. Normalmente ésta no supera los 10 bar, por lo que será suficiente este campo de lectura.
- Un **mando manual** para la regulación de la baja presión. Al girarlo en el sentido de las agujas del reloj, la presión de baja aumenta. Inversamente, al girarlo en sentido antihorario descenderá la presión de baja, aunque para esto último habrá que permitir la salida del oxígeno a través del soplete.

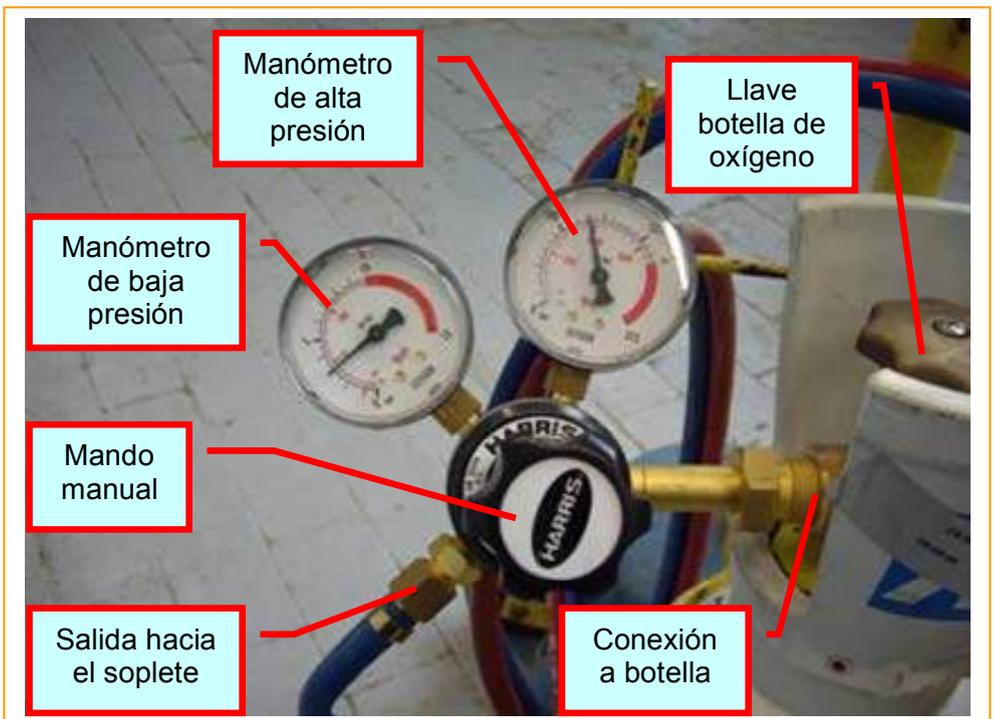


Fig. 36: Componentes del manorreductor de presión.

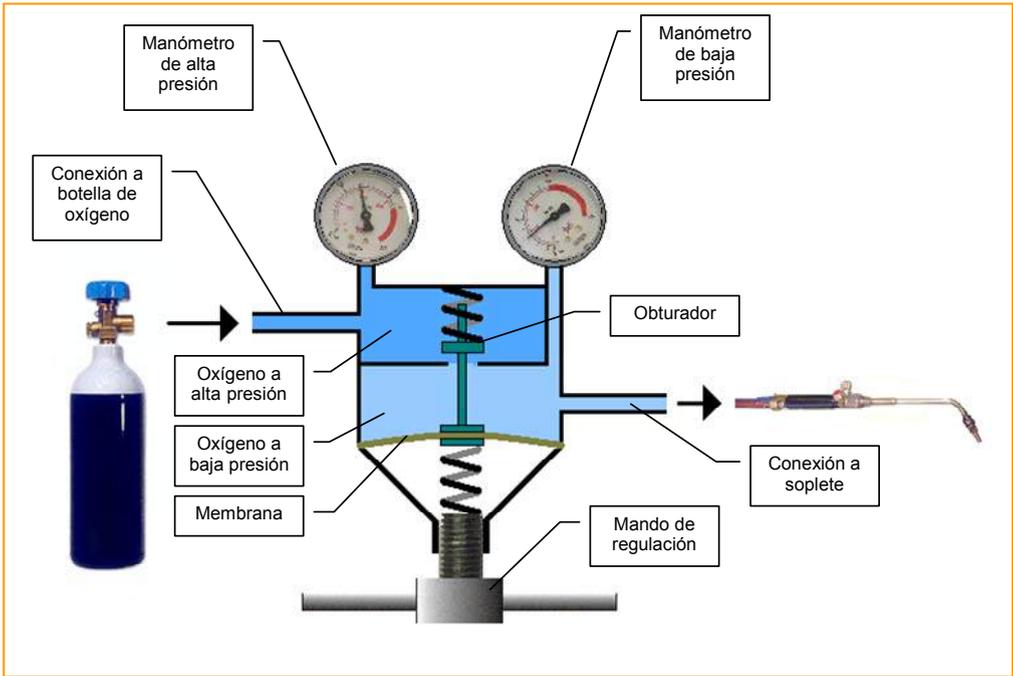


Fig. 37: Esquema del interior de un manorreductor.

- **Mangueras.** Su función es la de conducir los gases desde las botellas hasta el soplete. Son de material flexible y sus extremos terminan en racores que permiten su conexión roscada. La del combustible (en este caso el butano) es de color rojo, y la del comburente (oxígeno) de color azul o verde.
- **Soplete:** La función del soplete (figuras 38 y 39) es mezclar los gases en la proporción adecuada y con la presión requerida para su combustión en forma de llama.

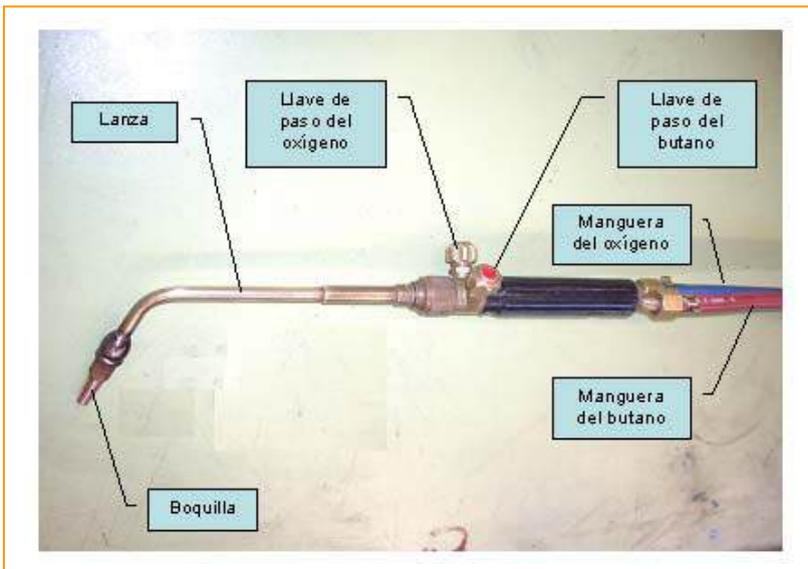


Fig. 38: Soplete de oxígeno.

En el soplete destacaremos las siguientes partes:

- Llaves de paso de los gases: regulan la entrada en el soplete de los gases procedentes de las botellas.
- Inyector: es un orificio situado en el interior del soplete, y que permite que el oxígeno salga a gran velocidad y arrastre consigo al gas combustible, produciéndose así la mezcla.
- Lanza: transporta los gases ya mezclados hacia la boquilla.
- Boquilla: la boquilla determina la potencia de la llama, la cual depende del diámetro de su orificio: a mayor diámetro mayor potencia.

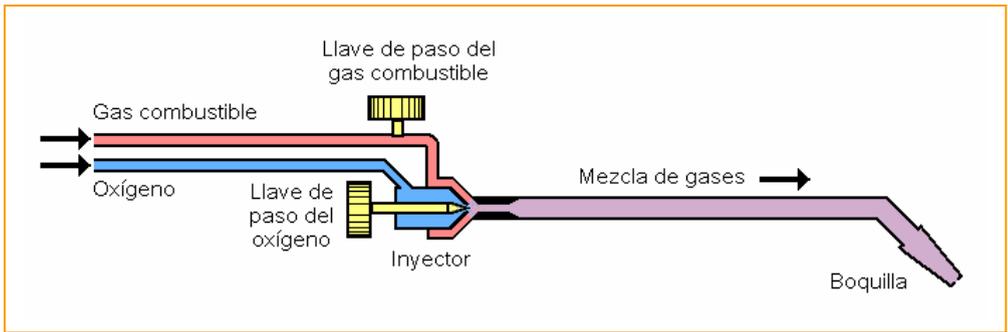


Fig. 39: Esquema interno del soplete de oxigás.

- **Válvulas antirretorno.** El retorno de gas se produce cuando la boquilla se tapona por salpicaduras de metal fundido o por cualquier otro motivo. En ese caso el oxígeno no sale hacia el exterior, sino que retorna por el conducto del combustible, que tiene menor presión. La combustión no se interrumpe, sino que continúa por el conducto del gas pudiendo llegar a la botella.

Para evitar esto se incorporan las válvulas antirretorno, cuya función es impedir el retorno de los gases hacia las botellas. Estas válvulas pueden estar situadas a la entrada del soplete o bien a la entrada de las botellas. Las primeras impiden que la combustión del retorno vaya más allá del propio soplete; las segundas evitan que, ante la rotura de una manguera, la llama se propague hasta las botellas.

Manejo del equipo de soldadura

Antes de iniciar la operación de soldadura es preciso preparar el equipo y regular convenientemente la llama. Para ello, te recomendamos que realices algunos ejercicios que te ayuden a adquirir soltura en el correcto manejo del equipo. Incluimos aquí algunas recomendaciones que te servirán de ayuda.

■ Preparación del equipo



Fig. 40: Detalle de los manómetros de alta y baja presión.

- En primer lugar abriremos la botella de oxígeno, observando que la aguja del manómetro de alta presión sube hasta indicar el valor de la presión en el interior de la botella. En la figura 40 esta presión es de algo más de 130 bares, lo que nos indica que la botella de oxígeno tiene algo más de la mitad de la carga (recuerda que se cargan a 200 bares).
- A continuación giraremos el mando de regulación del manorreductor en el sentido de las agujas del reloj y observaremos que comienza a subir la presión indicada por el manómetro de baja. A veces la presión no comienza a subir inmediatamente, sino al cabo de una o dos vueltas; ello es debido a que el tornillo del mando aún no ha hecho contacto con la membrana y no se ha abierto el obturador.
- Seguiremos girando el mando hasta que la presión alcance los 2 ó 3 bares y, una vez alcanzada, dejaremos el mando en esa posición (en la figura 40 señala 3 bares). Si superamos involuntariamente la presión indicada, deberemos aflojar el mando (sentido antihorario) y abrir la llave del oxígeno del soplete; de esa forma descenderá la presión a cero y podremos iniciar de nuevo la regulación.
- Abriremos ahora la llave de la botella de butano permitiendo que el gas llegue hasta el soplete.

■ Regulación de la llama

- Abriremos ligeramente la llave del butano en el soplete hasta percibir que éste sale por la boquilla. En ese momento acercaremos el mechero y encenderemos la llama; no hay que dejar que salga el gas sin quemar durante mucho tiempo, pues puede acumularse en el ambiente y producirse una inflamación violenta al arrimar el mechero. Regularemos la llama de forma que su base toque la boquilla, con un aspecto similar al que se ve en la figura 41.



Fig. 41: Encendido de la llama sin la intervención del oxígeno.

- A continuación abriremos poco a poco el grifo del oxígeno en el soplete y observaremos el aspecto que va tomando la llama (figura 42). Inicialmente se estira, manteniendo un color azulado (llamado penacho) en el exterior pero anaranjado en la parte central (llamado dardo) y en toda su longitud, ello es indicativo de un exceso de butano en la mezcla de gases (42-A). Si continuamos abriendo el oxígeno el dardo reducirá su longitud hasta quedar en uno o dos centímetros; habremos obtenido así una **llama normal** (42-B), que es la que se utiliza para soldar. Si continuáramos abriendo el oxígeno, el dardo se acortaría y el penacho perdería longitud e intensidad de color (42-C). Al seguir abriendo el oxígeno la llama se apagaría por defecto de combustible en la mezcla de gases.

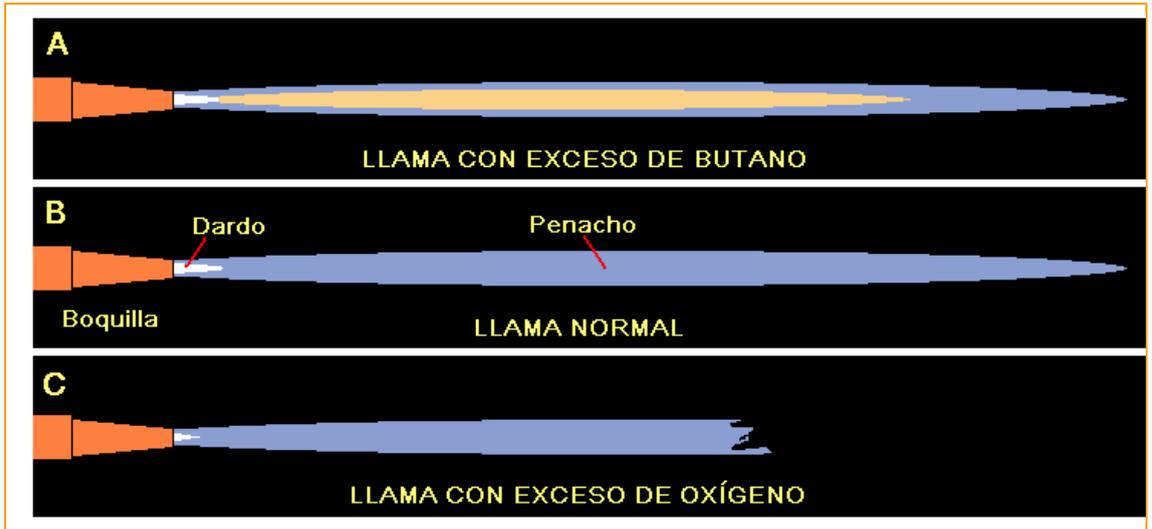


Fig. 42: Aspecto de llama en función de la proporción de los gases en la mezcla.

Es frecuente que, tras una primera regulación de la llama, notemos que ésta es demasiado débil o demasiado fuerte. En ese caso, ajustaremos su potencia abriendo o cerrando ligeramente los grifos del soplete. Para aumentar la potencia te recomendamos que abras primero el grifo del butano, pues el dardo se alargará y tendrás un control visual de la apertura; a continuación abre el grifo del oxígeno hasta obtener de nuevo el dardo de 1 ó 2 centímetros. Para disminuir la potencia debes operar al revés: cierra primero el grifo del oxígeno (el dardo se alargará por exceso de butano en la mezcla) y a continuación el del butano hasta obtener la llama normal.

■ Recogida del equipo

- Una vez acabado el trabajo, apagaremos el soplete cerrando primero el grifo del butano y después el del oxígeno. Es recomendable hacerlo en este orden para que el oxígeno apague cualquier resto de llama que haya podido quedar encen-

cida por defecto en el cierre del grifo de butano: a veces esta llama es tan pequeña que podemos no advertir su presencia.

- A continuación cerramos las botellas de oxígeno y de butano. Abrimos los grifos del soplete para que salga el gas de las mangueras y aflojamos el mando del manorreductor.

3 actividad

Haz un comentario respecto a la regulación de la mezcla de gases (butano y oxígeno) en las llamas de las figuras.



Técnica de la operación

Para efectuar la soldadura de tubos y accesorios al cobre operaremos del modo siguiente:

- En primer lugar se efectúa la limpieza del tubo y del accesorio en la zona que se verá afectada por la soldadura. Esta limpieza se realiza con lana metálica o lija muy fina (figura 43).
- A continuación se unen tubo y accesorio (figura 44).



Fig. 43



Fig. 44

- Se enciende el soplete y se regula la llama de forma que sea firme y que su dardo tenga una longitud entre 1 y 2 centímetros. Recuerda que la apertura del grifo de butano produce el alargamiento del dardo, mientras que la del grifo de oxígeno produce su acortamiento (figuras 45 y 46).



Fig. 45



Fig. 46

- Se calienta ligeramente la varilla para que se adhiera a ella el decapante al introducirla en el bote (figuras 47 y 48).



Fig. 47



Fig. 48

- Se calienta ahora la zona a soldar. Orientaremos la llama hacia la zona de unión (figura 49) imprimiendo al soplete un movimiento de vaivén que evite el calentamiento excesivo en un solo punto, pues podría fundirse el cobre y abrirse un agujero.
- Una vez que el tubo y el accesorio adquieran un tono rojo cereza, retiraremos ligeramente la llama y haremos contacto con la varilla en la zona de unión de ambos (figura 50). La varilla ha de fundir por el simple contacto con la superficie caliente del tubo, y no por estar bajo el calor de la llama.



Fig. 49



Fig. 50

Aunque se puede apreciar que “cuanto más al rojo, mejor funde”, hay que evitar calentar excesivamente el cobre, pues queda frágil y poroso.

El tiempo que transcurre desde que retiramos la llama hasta que hacemos contacto con la varilla tiene que ser muy breve, pues de lo contrario se enfriará el tubo y no será posible la fusión del material de aportación.

- Una vez efectuada la soldadura, se pueden enfriar bruscamente las partes soldadas en agua fría, pues se producirá de esta manera la eliminación del decapante y mejorará el aspecto de la unión.



Fig. 51



Fig. 52

Soldadura con latón

El latón puede utilizarse como material de aportación en la unión de piezas de acero. Su temperatura de fusión está en torno a los 900° C y se aplica fundido sobre el espacio entre las piezas sin que éstas lleguen a la fusión. Pero el latón no sólo es útil en este caso, sino que también lo es en la unión de piezas de fundición, hierro forjado, cobre o aceros especiales en los que no pueden ser aplicados otros procedimientos de soldeo. Presenta, sin embargo, el inconveniente de no ser muy fluido, por lo que no es apto para efectuar soldaduras por capilaridad.

Para fundir el latón es necesario aplicar una **llama de butano, propano o acetileno** que, con la ayuda del **oxígeno**, tenga la suficiente potencia para llevar al latón al estado líquido sin dificultad. Utilizaremos la zona de la llama que está inmediatamente después del dardo, ya que es la de mayor temperatura.

La necesidad de mantener la atención en la llama nos obliga a utilizar una **protección ocular** —gafas o pantalla— que disminuya los efectos adversos del deslumbramiento (figura 53).



Fig. 53: Pantalla de protección ocular.

Previamente a la fusión del latón es necesario **calentar el material base**, pues facilitará su difusión por el intersticio. La ausencia de precalentamiento hace que el latón se deposite en forma de bolas sobre el material base, sin que siquiera llegue a mojarlo.

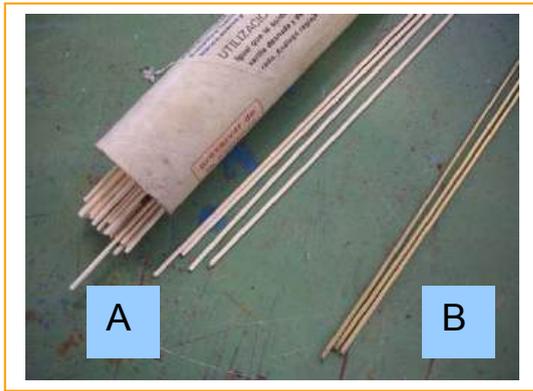


Fig. 54: Varillas de latón.
 A. Recubiertas con decapante.
 B. Sin recubrimiento.

Al igual que en la soldadura con aleaciones de cobre, para proteger la zona afectada se utilizan **decapantes o desoxidantes**. Al seleccionar el decapante hemos de tener en cuenta su intervalo de acción; los utilizados para aleaciones de cobre tienen un intervalo de acción entre 600° C y 800° C, por lo que no pueden ser emplearse con el latón, pues, como hemos dicho, funde en torno a los 900° C. El decapante se presenta normalmente en forma de polvos, que, como ya sabes, pueden ser transformados en pasta para su aplicación en trabajos puntuales (por ejemplo la fijación de una cuchilla de torno al portaherramientas) o bien ser adheridos a la varilla al introducir ésta caliente en el polvo desoxidante. Para la unión de chapas o perfiles recomendamos la utilización de varillas recubiertas de decapante (figura 54).

o Técnica de la operación

Utilizaremos como ejemplo de aplicación de esta soldadura la unión de dos chapas rectangulares de acero mediante un cordón de latón. Las operaciones que has de efectuar son las siguientes:

- Limpia cuidadosamente los bordes de las chapas, eliminando cualquier resto de óxido o de grasa. Puedes emplear para ello lija de grano fino, cepillo metálico, muelas o discos abrasivos (figura 55).



Fig. 55



Fig. 56

- Coloca las chapas dejando entre ellas una separación que permita que la introducción del latón fundido. Procura que ningún elemento de sujeción (tornillo de banco, mesa, etc.) absorba el calor de la llama. En nuestro caso hemos colocado las chapas sobre dos perfiles angulares para evitar que el calor sea absorbido por la superficie de la mesa (figura 56).
- Utilizando la llama del soplete, precalienta las chapas para permitir la fusión del latón sobre ellas. El material base estará a la temperatura adecuada cuando veas que el latón fundido fluye por su superficie; en caso contrario se depositará en forma de bolas sin llegar a mojarlo. Coge el soplete con la mano derecha, sosteniendo la varilla con la izquierda (al revés si eres zurdo) (figura 57). La llama y la varilla deben formar con el material base un ángulo de 45° , y entre sí 90° (figura 58).

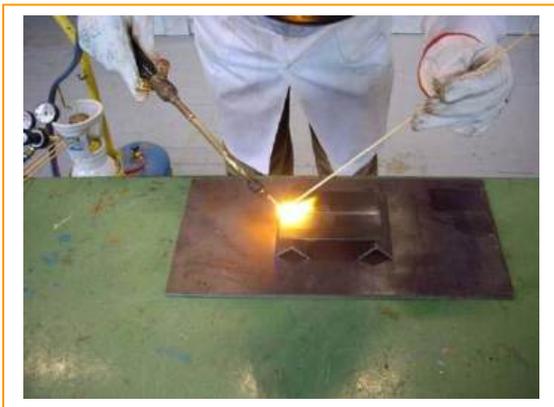


Fig. 57

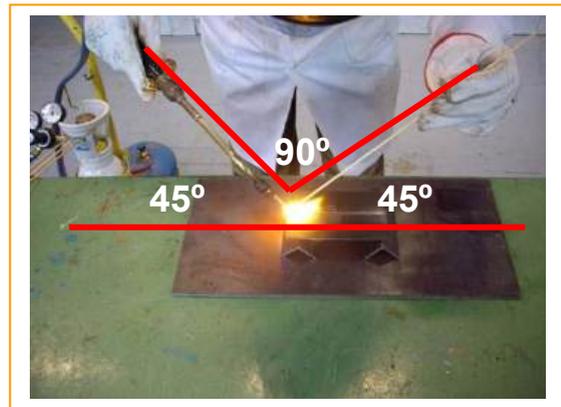


Fig. 58

- El cordón se forma de derecha a izquierda si se observa desde el punto de vista del soldador (figura 59). Una vez efectuada la soldadura, deja que se enfríe al aire o bien aplicando un trapo mojado para eliminar los restos de fundente que hayan podido quedar sobre el cordón (figura 60).



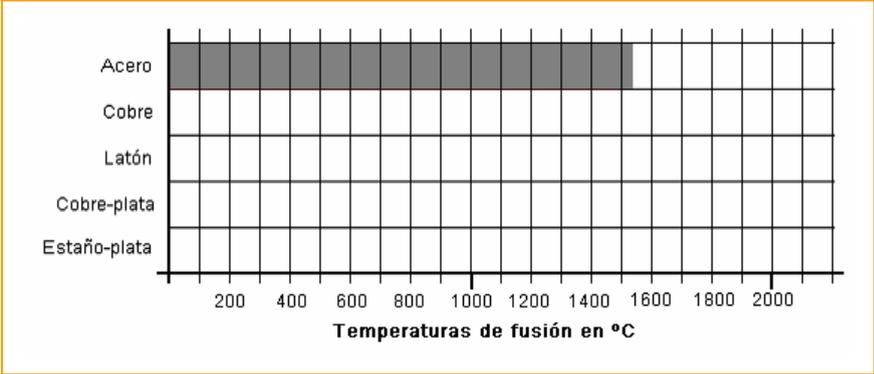
Fig. 59



Fig. 60

4 actividad

Completa el gráfico de la figura. Se trata de que representes mediante barras horizontales las temperaturas de fusión de algunos de los materiales mencionados en esta unidad; no es necesario que emplees datos exactos, ya que esta temperatura puede variar ligeramente de unas aleaciones a otras, basta con una aproximación. Para que te sirva de orientación, hemos incluido ya la barras correspondiente a la temperatura del acero.



Resumen

Introducción a la soldadura

Soldar es reunir las partes integrantes de una construcción asegurando la continuidad de la materia entre ellas.

Las soldaduras se clasifican en dos grupos:

- **Homogéneas.** Se caracterizan porque el material de aportación es de distinta naturaleza que el material base, el cual no permanece en todo momento en estado sólido.

Las soldaduras homogéneas se clasifican atendiendo principalmente a la fuente de calor; así, tenemos la soldadura con llama, la soldadura por arco eléctrico, la soldadura en fase sólida y la soldadura por resistencia, entre otras.

- **Heterogéneas.** Se caracterizan porque el material base y el de aportación son de la misma naturaleza y ambos participan en la fusión.

Atendiendo a la temperatura de fusión del material de aportación, las soldaduras heterogéneas se subdividen en:

- Blandas.
- Fuertes.

Soldadura blanda

Se caracteriza porque el material de aportación funde a una temperatura inferior a 450° C.

- El campo de aplicación para esta soldadura es la unión de tubos de cobre en instalaciones de fontanería, de calefacción y de gas a baja presión.
- El material de aportación es una aleación de estaño-plata.
- El calor es aportado por una llama de butano o propano.
- Es muy importante la limpieza de la zona a soldar, así como la protección con alguna sustancia desoxidante.
- Para efectuar la soldadura se calienta el tubo con el soplete hasta una temperatura superior a la de fusión del estaño-plata. El material de aportación ha de fundir al ponerse en contacto con la superficie del tubo y no por la acción directa de la llama.
- El material de aportación se reparte por el intersticio entre el tubo y el accesorio por capilaridad.

Soldadura fuerte

Se caracteriza porque el material de aportación funde a una temperatura superior a 450° C.

- Como material de aportación se utilizan distintas aleaciones de cobre-fósforo y cobre-plata.
- El campo de aplicación de esta soldadura comprende las instalaciones de gases a media y alta presión, extendiéndose su aplicación a las instalaciones de refrigeración y aire acondicionado.
- La soldadura fuerte también comprende la unión de acero o cobre con latón como material de aportación.
- El latón no es aplicable en la unión de tubos debido a su baja capilaridad.
- La soldadura se efectúa de forma similar a la blanda, si bien aquí hay que utilizar un soplete de oxibutano, oxipropano u oxiacetileno debido a su mayor temperatura de fusión.