

4.3.2. SOLDADURA POR RESISTENCIA

La *soldadura por resistencia*, SR (en inglés *resistance welding*, RW), es un grupo de procesos soldadura por fusión que utiliza una combinación de calor y presión para obtener una coalescencia, el calor se genera mediante una resistencia eléctrica dirigida hacia el flujo de corriente en la unión que se va a soldar. Los principales componentes en la soldadura por resistencia se muestran en las figuras 4.22 y 4.23 para una operación de soldadura de puntos por resistencia, proceso de uso más difundido en el grupo.

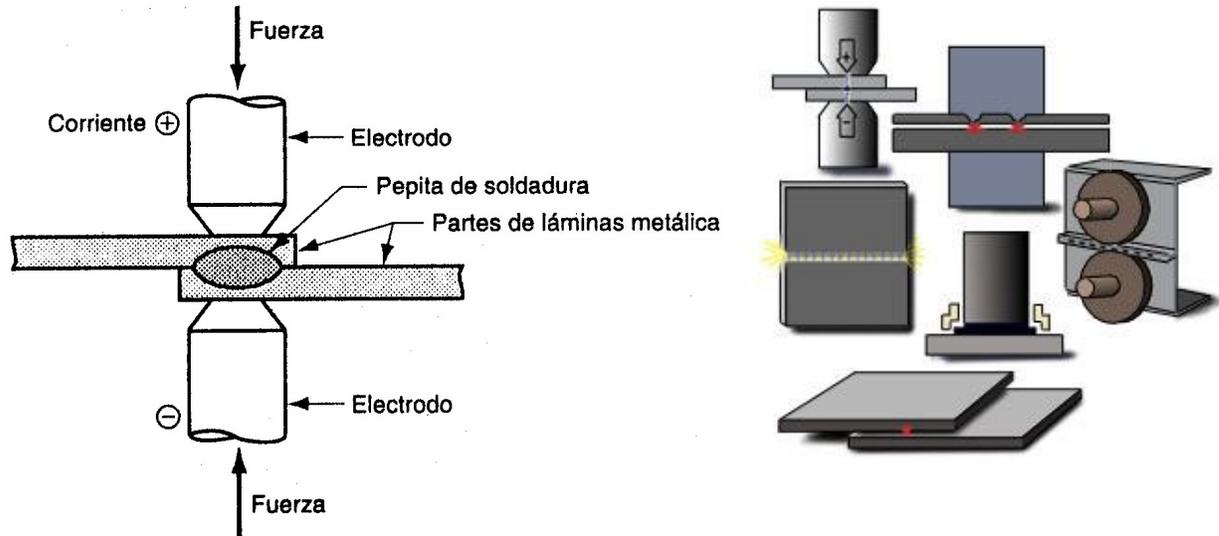


Figura 4.22 Soldadura por resistencia mostrando los componentes en la soldadura de puntos, el proceso predominante en el grupo de soldadura por resistencia



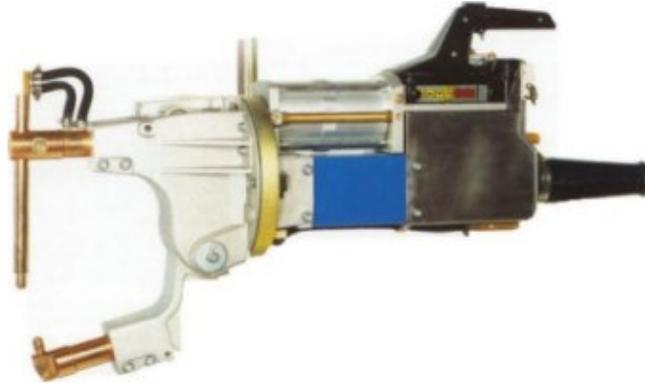


Figura 4.23 Maquinaria empleada para realizar el proceso de soldadura por resistencia (www.dextra.com).

Los componentes incluyen las partes de trabajo que se van a soldar (por lo general partes de lámina metálica), dos electrodos opuestos, un medio para aplicar presión destinado a apretar las partes entre los electrodos y un transformador de corriente alterna desde el cual se aplica una corriente controlada.

La operación produce una zona de fusión entre las dos partes, denominada una *pepita de soldadura* en la soldadura de puntos.

En comparación con la soldadura con arco eléctrico, la soldadura por resistencia no usa gases protectores, fundentes o metal de aporte y los electrodos que conducen la corriente eléctrica para el proceso son no consumibles, la RW se clasifica como un proceso de soldadura por fusión porque el calor aplicado provoca la fusión de las superficies empalman tez. Sin embargo, hay excepciones. Algunas operaciones de soldadura basadas en el calentamiento de una resistencia usan temperaturas abajo del punto de fusión de los metales base, por lo que no ocurre una fusión.

4.3.2.1. Fuente de energía en la soldadura por resistencia

La energía calorífica aplicada a la operación de soldadura depende del flujo de corriente, la resistencia del circuito y el intervalo del tiempo en que se aplica la corriente. Esto se expresa mediante la ecuación

$$H = I^2 R t \quad 4.9$$

Donde

H = calor generado, en Ws o J;

I = corriente, en A;

R = resistencia eléctrica, en (Ω);

t = tiempo, en segundos.

La corriente usada en las operaciones de soldadura por resistencia es muy alta (por lo común de 5000 a 20 000 A), aunque el voltaje es relativamente bajo (normalmente menos de 10). La duración de la corriente es breve en la mayoría de los procesos, tal vez de 0.1 a 0.4 seg en una operación de soldadura de puntos normal.

Las razones por las que la corriente es tan alta es la soldadura por resistencia son: 1) el término al cuadrado en la ecuación 4.9 amplifica el efecto de la corriente y 2) la resistencia es muy baja (alrededor de 0.0001 (Ω)). La resistencia en el circuito de soldadura es la suma de: 1) La resistencia de los electrodos, 2) la resistencia de las partes de trabajo, 3) las resistencias de contacto entre los electrodos y las partes de trabajo y 4) la resistencia de contacto de las superficies empalman tez sean la resistencia más grande en la suma, dado que ésta es la posición deseada para la soldadura. La resistencia de los electrodos se minimiza usando metales con resistividades muy bajas, tales como el cobre. La resistencia de las partes de trabajo es una función de las resistividades de los metales base implícitos y los espesores de las partes. La resistencia de contacto entre los electrodos y las partes se determina mediante las áreas de contacto (tamaño y forma del electrodo) y la condición de las superficies (por ejemplo, la limpieza de las superficies de trabajo y el óxido en el electrodo). Por último, la resistencia en las superficies empalman tez depende del acabado de la superficie, la limpieza, el área de contacto y la presión. No debe existir pintura, grasa, suciedad u otros contaminantes que separen las superficies que hacen contacto.

EJEMPLO 4.4 Soldadura por resistencia

Se ejecuta una operación de soldadura de puntos por resistencia sobre dos piezas de láminas de acero de 2 mm de grosor, usando 12 000 A para una duración de 0.23 seg. Los electrodos tienen un diámetro de 7 mm en las superficies que hacen contacto. Se supone que la resistencia es 0.0001 (Ω), y que la pepita de soldadura resultante tiene un diámetro de 7 mm y un espesor de 3 mm. La unidad de energía de fusión para el metal $U_m = 10 \text{ J/mm}^3$. ¿Qué parte del calor generado se usó para formar la soldadura y que parte se disipó dentro del metal circundante?

Solución: La ecuación 4.9 proporciona el calor generado en la operación como:

$$H = (12\,000)^2 (0.0001) (0.23) = 3312 \text{ W-seg.}$$

que el calor convierte a 3312 J. El volumen de la pepita de soldadura (se supone que tiene forma de disco) es:

$$V = 3 \frac{\pi}{4} (7)^2 = 115.454 \text{ mm}^3$$

El calor requerido para fundir este volumen de metal es:

$$H_m = 115.454(10) = 1154.54 \text{ J}$$

El calor restante, $3312 - 1154.54 = 2157.46$ (65% del total) lo absorbe el metal circundante.

El éxito en la soldadura por resistencia depende tanto de la presión como del calor. Las principales funciones de la presión en la RW son: 1) obligar a que hagan contacto los electrodos y las partes de trabajo-al igual que las dos superficies de trabajo- antes de aplicar una corriente y 2) presionar las superficies empalman tez una contra otra para obtener una coalescencia cuando se alcance la temperatura para soldadura correcta.

Las ventajas generales de la soldadura por resistencia son: 1) no se requiere un metal de relleno, 2) son posibles altas tasas de producción, 3) se presta para la mecanización y la automatización, 4) el nivel de habilidad del operador es menor al que se requiere para la soldadura con arco eléctrico y 5) es fácil de repetir y es confiable. Las desventajas son: 1) el costo inicial del equipo es alto, por lo general mucho más costoso que la mayoría de las operaciones de soldadura con arco eléctrico y 2) los tipos de uniones que pueden soldarse están limitados a las uniones sobrepuestas para la mayoría de los procesos de RW.

4.3.2.2. Procesos de soldadura por resistencia

Los procesos de soldadura por resistencia de mayor importancia comercial son la soldadura de puntos, engargolada y por proyección.

Soldadura de puntos por resistencia La soldadura de puntos por resistencia es por mucho el proceso predominante en este grupo. Se usa ampliamente en la producción masiva de automóviles, aparatos domésticos, muebles metálicos y otros productos hechos a partir de láminas metálicas. Si se considera que la carrocería de un automóvil normal tiene aproximadamente 10000 soldaduras de puntos individuales y que la producción anual de automóviles en todo el mundo se mide en decenas de millones de unidades, es posible apreciar la importancia económica de la soldadura de puntos.

La *soldadura de puntos por resistencia*, SPR (en inglés *resístanse spot welding, RSW*), es un proceso en el cual se obtiene la fusión en una posición de las superficies empalmantez de una unión superpuesta, mediante electrodos opuestos. El proceso se usa para unir partes de láminas metálicas con un grosor de 3 mm o menos, usando una serie de soldaduras de puntos en situaciones en donde no se requiere un ensamble hermético. El tamaño y la forma del punto de soldadura se determina por medio de la punta de electrodo, la forma de electrodo más común es redonda; pero también se usan formas hexagonales, cuadradas y otras. La pepita de soldadura resultante tiene normalmente un diámetro de 5 a 10 mm, con una zona afectada por el calor que se extiende un poco más allá de la pepita dentro de los metates base. Si la soldadura se hace correctamente, su resistencia es comparable con la del metal circundante. El ciclo en una operación de soldadura de puntos se muestra la figura 4.24.

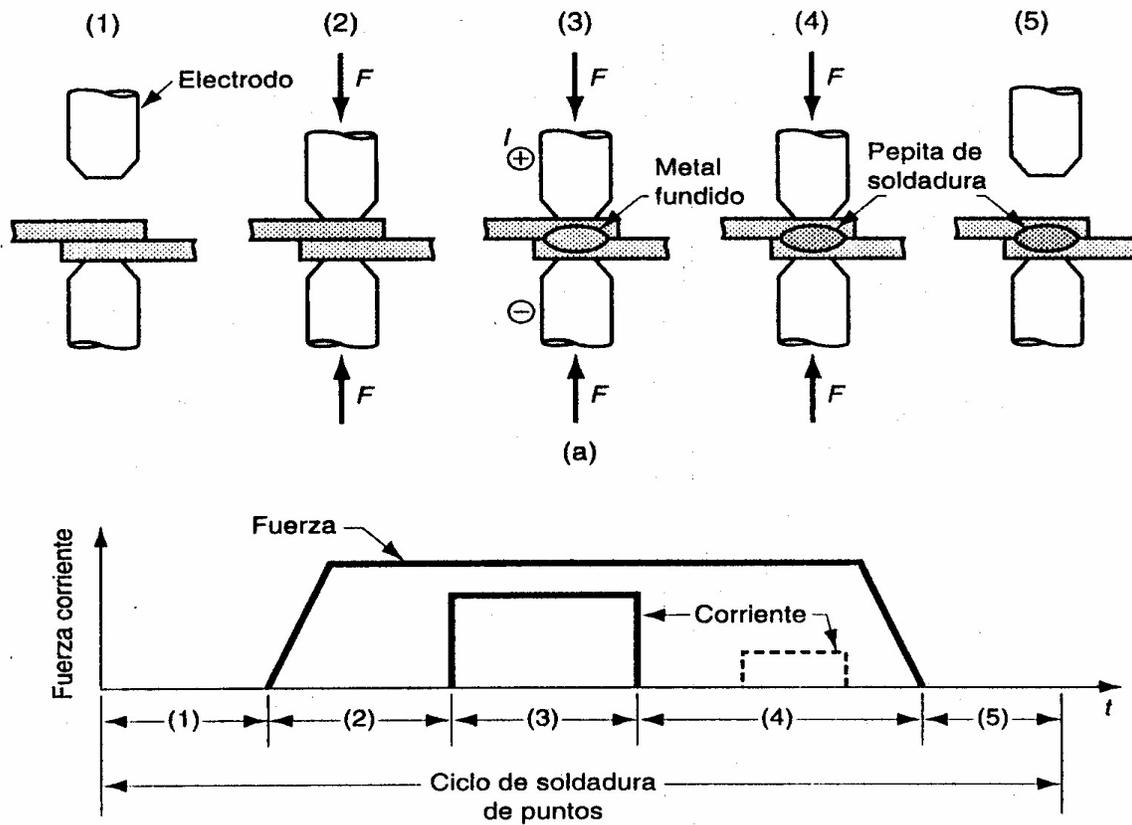


FIGURA 4.24 (a) Pasos en un ciclo de soldadura de puntos, y (b) gráfica de la fuerza de presión y la corriente durante el Ciclo. La secuencia es: (1) partes insertadas entre los electrodos abiertos, (2) los electrodos se cierran y se aplica una fuerza, (3) tiempo de soldadura (se activa la corriente), (4) se desactiva la corriente, pero se mantiene o se aumenta la fuerza (en ocasiones se aumenta una corriente reducida cerca del final de este paso para liberar la tensión en la región de la soldadura) y (5) se abren los electrodos y se remueve el ensamble soldado.

Los materiales usados para los electrodos en la SPR consisten en dos grupos principales: 1) aleaciones basadas en cobre. Los electrodos son usados de cobre, porque, comparado con la mayoría de los metales, el cobre tiene una resistencia eléctrica más baja y una conductividad térmica más alta, esto asegura que el calor será generado en la pieza de trabajo y no en los electrodos, en la tabla 4.6, se muestra algunas de estas propiedades. 2) compuestos de metales refractarios, tales como combinaciones de cobre y tungsteno. El segundo grupo tiene una mayor resistencia al desgaste. Igual que en la mayoría de los procesos de manufactura, las herramientas para la soldadura de puntos se desgastan gradualmente con el uso. Cuando, es posible llevarlo a cabo, los electrodos se diseñan con canales internos para enfriamiento con agua,

TABLA 4.6

Metal	Conductividad Térmica (W/m-K)	Resistividad Eléctrica (Ohms-cm)	Punto de Fusión (°C)
Acero (1020)	52	17.4E ⁻⁶	1500
Aluminio	190	5.0E ⁻⁶	620
Zinc	112	5.9E ⁻⁶	420
Cobre	385	1.7E ⁻⁶	1085

Debido a su extenso uso industrial, hay disponibles diversas máquinas y métodos para realizar las operaciones de soldadura de puntos. El equipo incluye máquinas de soldadura de puntos con balancín y tipo prensa, así como pistolas portátiles para soldadura. Los *soldadores de puntos de balancín*, que muestra la figura 4.25 a) y b), tienen un electrodo inferior estacionario y un electrodo superior móvil que sube y baja para cargar y descargar el trabajo. El electrodo superior se monta en un balancín, cuyo movimiento es controlado mediante un pedal operado por el trabajador. Las máquinas modernas se pueden programar para controlar la fuerza y la corriente durante el ciclo de soldadura.

Los *soldadores de puntos tipo prensa* están diseñados para un trabajo más grande. El electrodo superior tiene un movimiento en línea recta proporcionado por una prensa vertical, que se opera en forma automática o hidráulica. La acción de la prensa permite que se apliquen fuerzas más grandes, y los controles generalmente hacen posible la programación de ciclos de soldadura complejos.



FIGURA 4.25 a) Máquina de soldadura de puntos con balancín.



FIGURA 4.25 b) Operarios empleando la maquinaria.

Los dos tipos de máquinas anteriores son soldadores de puntos estacionarios o estáticos, en los cuales el trabajo se coloca en la máquina. Para trabajos pesados y grandes es difícil mover y (orientar) el trabajo hacia las máquinas estacionarias. Para estos casos, se cuenta con pistolas portátiles de soldadura de puntos en diferentes tamaños y configuraciones. Estos aparatos consisten en dos electrodos opuestos dentro de un mecanismo de tenazas. Cada unidad es ligera, por lo que un trabajador o un robot industrial pueden sostenerla y manipularla. La pistola está conectada a su propia fuente y control de energía, mediante cables eléctricos flexibles y mangueras de aire. Si es necesario, también se proporciona enfriamiento de los electrodos mediante una manguera con agua. Las pistolas portátiles para soldadura de puntos se usan ampliamente en las plantas de ensamble final de automóviles, para soldar las carrocerías de láminas metálicas. Algunas de estas pistolas son manejadas por trabajadores, pero los robots industriales se han convertido en la tecnología preferida.

Soldadura engargolada por resistencia En la soldadura *engargolada por resistencia*, SER (en inglés *resistance seam welding*, RSEW), los electrodos con forma de varilla de la soldadura de puntos se sustituyen con ruedas giratorias, como se muestran en la figura 4.26, y se hace una serie de soldaduras de puntos sobrepuestas a lo largo de la unión.

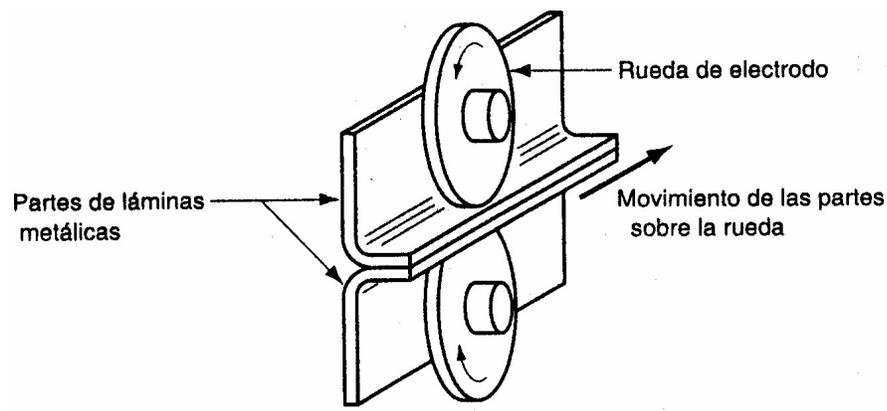


FIGURA 4.26 Soldadura de engargolado por resistencia (RSEW).

El proceso produce uniones herméticas y sus aplicaciones industriales incluyen la producción de tanques de gasolina, silenciadores de automóviles y otros recipientes fabricados con láminas de metal. Técnicamente, la RSEW es igual que la soldadura de puntos, excepto que los electrodos en ruedas introducen ciertas complejidades. Dado que la operación generalmente se realiza en forma continua, y no separada, las formas engargoladas deben estar a lo largo de una línea recta o uniformemente curva. Las esquinas agudas e irregularidades similares son difíciles de manejar. Asimismo, la deformación de las partes es el factor más significativo en la soldadura engargolada por resistencia, por esta causa se requieren soportes bien diseñados para sostener el trabajo en la posición correcta y así reducir la distorsión.

El espaciamiento entre las pepitas de soldadura en la soldadura engargolada por resistencia depende del movimiento de las ruedas de electrodos relacionado con la aplicación de la corriente de soldadura. En el método usual de operación, denominado *soldadura de movimiento continuo*, la rueda gira en forma continua a una velocidad constante y la corriente se activa a intervalos de tiempo que coinciden con el espaciamiento deseado entre los puntos de soldadura a lo largo del engargolado. Normalmente, la frecuencia de las descargas de corriente se establece para que se produzcan puntos de soldadura sobrepuestos. Pero si se reduce bastante la frecuencia, habrá espacios entre los puntos de soldadura y este método se denomina soldadura de puntos con rodillo. En otra variable, la corriente de soldadura permanece en un nivel constante (en lugar de activarse y desactivarse), por lo que se produce un engargolado de soldadura verdaderamente continuo. Estas variaciones se muestran en la figura 4.27.

Una alternativa para la soldadura del movimiento continuo es la soldadura de movimiento intermitente, en la cual la rueda de electrodos se detiene periódicamente para hacer la soldadura de puntos. La cantidad de rotación de rueda entre las detenciones determina la distancia entre los puntos de soldadura a lo largo del engargolado, produciendo patrones similares a los de las partes (a) y (b) de la figura 4.27.

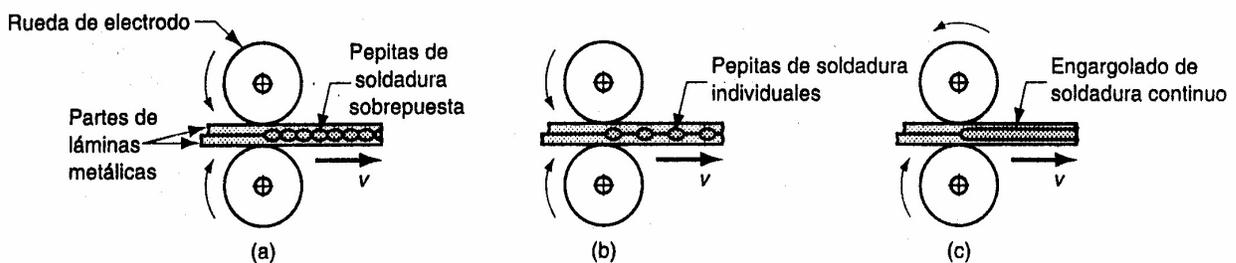


FIGURA 4.27 Diferentes tipos de engargolados producidos por ruedas de electrodos: (a) soldadura de engargolado por resistencia convencional, en la cual se producen puntos sobre puestos, (b) soldadura de puntos en rollo y (c) soldadura por resistencia continua

Las máquinas de soldadura engargolada son similares a los soldadores por puntos de tipo presión, excepto que se usan ruedas de electrodos, en lugar de los electrodos normales con forma de varilla. Con frecuencia es necesario el enfriamiento del trabajo y las ruedas en la soldadura engargolada por

resistencia, esto se consigue dirigiendo agua a las partes superior e inferior de las superficies de la parte de trabajo, cerca de las ruedas de electrodos.

Soldadura por proyección La Soldadura *por proyección*, SEP (en inglés *resistance projection welding*, RPW), es un proceso de soldadura por resistencia en el cual ocurre la coalescencia en uno o mas puntos de contacto relativamente pequeños en la partes. Estos puntos de contacto se determinan mediante el diseño de las partes que se van a unir y pueden consistir en proyecciones, grabados o intersecciones localizadas de las partes. Un caso normal en el cual se sueldan dos partes de chapas de metal se describe en la figura 4.28. La parte superior se ha fabricado con dos puntos grabados para entrar en contacto con la otra parte al principio del proceso. Puede argumentarse que la operación de grabado aumenta el costo de la parte, pero este incremento queda más que compensado por los ahorros en el costo de la soldadura

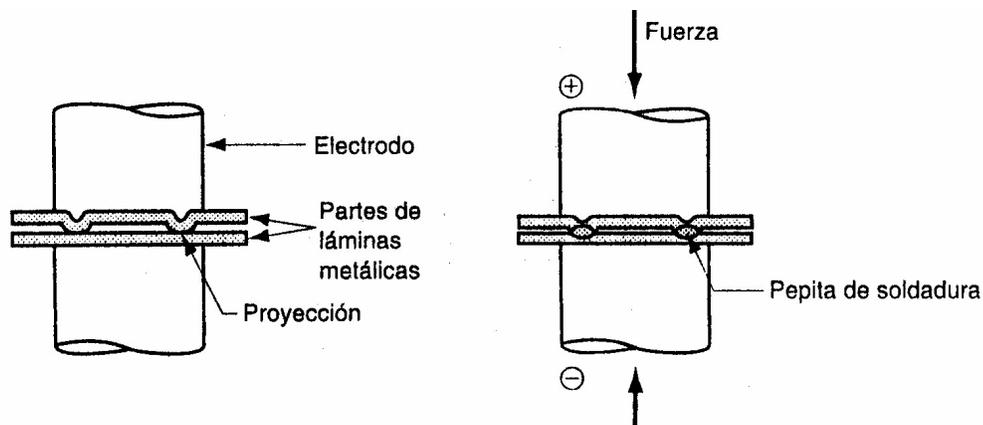


FIGURA 4.28 soldadura por proyección (RPW)

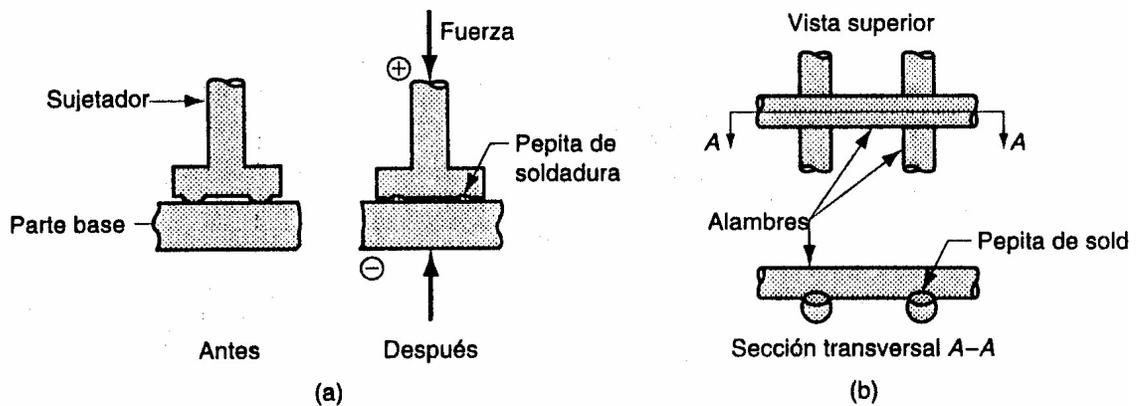


FIGURA 4.29 Dos variables de soldadura por proyección: (a) soldadura de un sujetador maquinado o formado sobre una parte de chapa de metal y (b) soldadura de alambre transversal

La figura 4.29 muestra dos variables de la soldadura por proyección. En una, es posible unir permanentemente sujetadores con proyecciones maquinadas u formadas en láminas o placas mediante RW, lo que facilita las operaciones de ensamble subsecuentes. Otra variable, llamada *soldadura de*

alambre transversal, se usa para fabricar productos de alambre soldados, tales como alambradas, carros para supermercado y parrillas de estufas. En este proceso, las superficies de los alambres redondos que hacen contacto funcionan como las proyecciones y permiten ubicar el calor de resistencia para la soldadura.

Otras operaciones de soldadura por resistencia Además de los procesos de soldadura por resistencia principales recién descritos, deben señalarse varios procesos adicionales en este grupo: instantánea, a tope con recalcado, por percusión y por resistencia de alta frecuencia.

En la *soldadura instantánea*, Si (en inglés *flash welding, FW*), usada normalmente para uniones empalmadas, se ponen en contacto o se acercan las dos superficies que se van a unir y se aplica una corriente eléctrica para calentar las superficies hasta su punto de fusión, después de lo cual las superficies se oprimen juntas para formar la soldadura. Los dos pasos se detallan en la figura 4.30. Además del calentamiento por resistencia, se generan ciertos arcos (llamados destellos instantáneos de ahí el nombre) dependiendo del alcance del contacto entre las superficies empalmantes, por lo que la soldadura instantánea se clasifica en ocasiones en el grupo de soldadura con arco eléctrico. Por lo general, la corriente se detiene durante el recalcado. Se desborda un poco de metal de la unión, al igual contaminantes en las superficies, que después debe maquinarse para proporcionar una unión de tamaño uniforme.

Las aplicaciones de la soldadura instantánea incluyen las soldaduras de tiras de acero en operaciones con laminadoras, la unión de extremos en el estirado de alambres y la soldadura de partes tubulares. Los extremos que se van a unir deben tener las mismas secciones transversales. Para estos tipos de aplicaciones de alta producción, la soldadura instantánea es rápida y económica, pero el equipo es costoso.

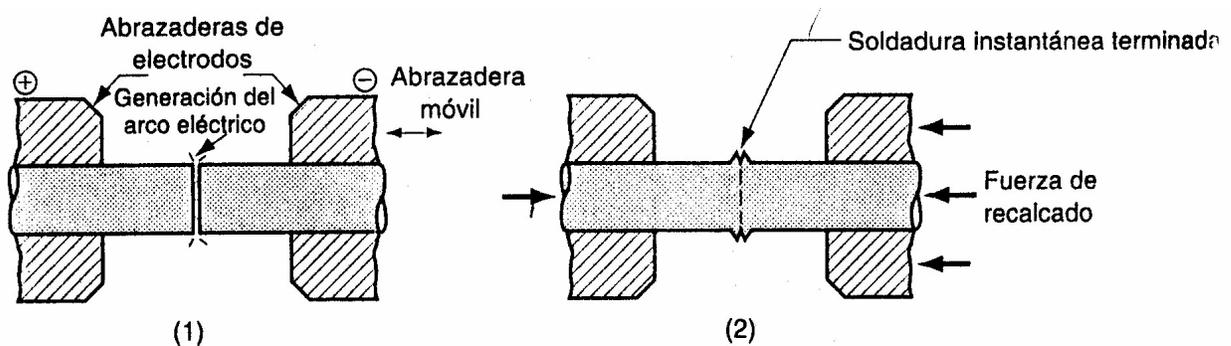


FIGURA 4.30 Soldadura instantánea (FW): (1) calentamiento mediante resistencia eléctrica y (2) recalcado (las partes se aprietan una contra la otra).

La *soldadura a tope con recalcado*, STR (en inglés *upset welding, UW*), es similar a la soldadura instantánea, excepto que en la primera las superficies empalmantes se aprietan una contra la otra durante el calentamiento y se recalcan. En la soldadura instantánea, los pasos de calentamiento y presión se separan durante el ciclo. El calentamiento en la UW se obtiene completamente mediante

resistencia eléctrica generada en las superficies que hacen contacto; no se producen arcos eléctricos. Cuando las superficies empalmantes se han calentado a una temperatura conveniente abajo del punto de fusión, se aumenta la fuerza que presiona a las partes una contra otra para producir el recalado y la coalescencia en la región de contacto. Por tanto, la soldadura a tope con recalado no es un proceso de soldadura por fusión en el mismo sentido que los otros procesos de soldadura que hemos analizado. Las aplicaciones de la UW son similares a las de la soldadura instantánea: unión de extremos de alambres, tubos, depósitos y similares.

La *soldadura por percusión*, SP (en inglés *percussion welding*, PEW), también es similar a la soldadura instantánea, excepto que la duración del ciclo de soldadura es extremadamente breve, por lo general sólo transcurren de 1 a 10 milésimas de segundo. El calentamiento se obtiene rápidamente a través de las veloces descargas de energía eléctrica entre las dos superficies que se van a unir, para continuar con la percusión inmediata de una parte contra la otra para formar la soldadura. El calentamiento está muy localizado y esto hace atractivo el proceso para aplicaciones electrónicas, en las cuales las dimensiones son muy pequeñas y los componentes pueden ser sensibles al calor.

La *soldadura por resistencia de alta frecuencia* SRAF (en inglés *high-frequency resistance welding*, HFRW), es un proceso en el cual se usa una corriente alterna de alta frecuencia para el calentamiento, seguido de la aplicación rápida de una fuerza de recalado para producir coalescencia, igual que en la figura 4.31(a). Las frecuencias están en el rango de 10 a 500 Khz. y los electrodos hacen contacto con el trabajo en la vecindad inmediata de la unión soldada. En una variación del proceso, denominada *soldadura por inducción de alta frecuencia*, SIAF (en inglés *high-frequency induction welding*, HFIW), la corriente de calentamiento se induce en las partes mediante un rollo de inducción de alta frecuencia, igual que en la figura 4.31(b). El rollo no hace contacto físico con el trabajo. Las aplicaciones principales de la HFRW y de la HFIW son la soldadura empalmada de engargolados longitudinales en conductos y tubos metálicos.

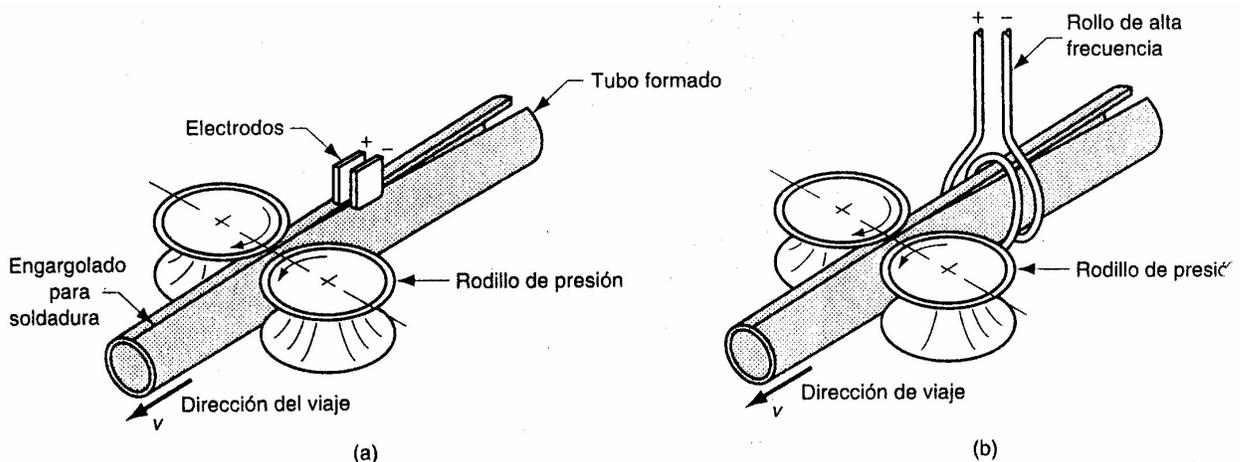


FIGURA 4.31 Soldadura de engargolados de tubos mediante (a) soldadura por resistencia de alta frecuencia y (b) soldadura por inducción de alta frecuencia.

4.3.3. SOLDADURA CON OXIGENO Y GAS COMBUSTIBLE

La *soldadura con oxígeno y gas combustible*, SOGC (en inglés *oxyfuel gas welding*, OFW); es el término que se usa para describir el grupo de operaciones de fusión durante las cuales se queman diferentes combustibles mezclados con oxígeno para ejecutar la soldadura. Los procesos de soldadura con oxígeno y gas combustible emplean varios tipos de gases, los cuales representan la principal diferencia entre los procesos de este grupo. El oxígeno y el gas combustible también se usan normalmente en sopletes de corte para separar placas metálicas y otras partes. El proceso más importante de soldadura con oxígeno y gas combustible es la soldadura con oxiacetileno.

4.3.3.1. Soldadura con oxiacetileno

La soldadura *con oxiacetileno*, OAW (en inglés *oxyacetylene welding*, OAW), es un proceso de soldadura por fusión realizado mediante una flama de alta temperatura a partir de la combustión del acetileno y el oxígeno. La flama se dirige mediante un soplete de soldadura. En ocasiones se agrega un metal de aporte y se llega a aplicar presión entre las superficies de las partes que hacen contacto. La figura 4.32 muestra una operación de soldadura con oxiacetileno común.

Cuando se usa metal de aporte, normalmente está en forma de varillas de 90 cm de longitud con diámetros que van desde 1.6 mm hasta 9.5 mm. La composición del aporte debe ser similar a la de los metales base. Con frecuencia se recubre el aporte con un fundente, lo cual ayuda a limpiar las superficies, evita la oxidación y se produce una mejor unión soldada.

El acetileno (C_2H_2) es el combustible más popular entre el grupo de OFW porque soporta temperaturas más altas que cualquiera de los otros, hasta de $3480\text{ }^\circ\text{C}$. La flama en la soldadura con oxiacetileno se produce mediante la reacción química del acetileno y el oxígeno en dos etapas.

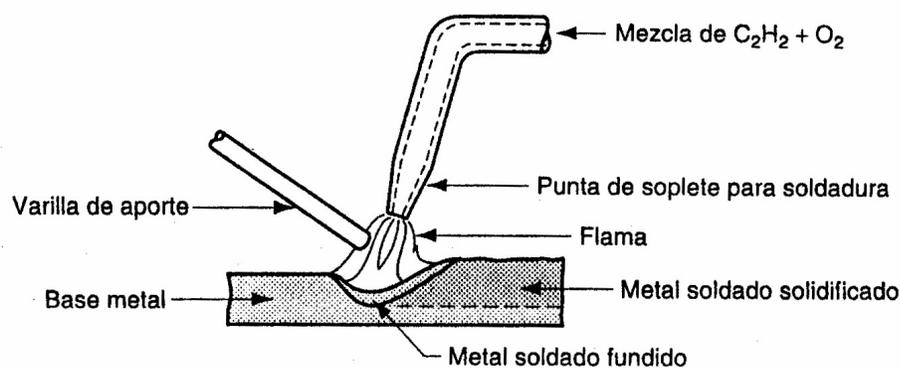
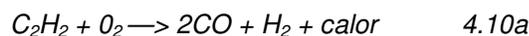
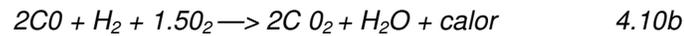


FIGURA 4.32 Una operación típica de soldadura con oxiacetileno (OAW)

La primera etapa se define mediante la reacción:



de la cual sus dos productos son combustibles, lo que conduce a la reacción de la segunda etapa:



Las dos etapas de la combustión son visibles en la flama de oxiacetileno que emite el soplete. Cuando la mezcla de acetileno y oxígeno está en la razón 1:1, como se describe en las fórmulas de reacción química, la flama resultante es similar a la de la figura 4.33, y se denomina una flama neutral. La reacción de la primera etapa se aprecia como el cono interno de la flama (que tiene un color blanco brillante), en tanto que la reacción de la segunda etapa se exhibe en la cubierta externa (que casi no tiene color, pero posee matices que van del azul al naranja). La temperatura máxima se alcanza en la punta del cono interno; las temperaturas de la segunda etapa son, de algún modo, menores que las del cono interno. Durante la soldadura, la cubierta externa se extiende y protege de la atmósfera circundante las superficies de trabajo que se unen.

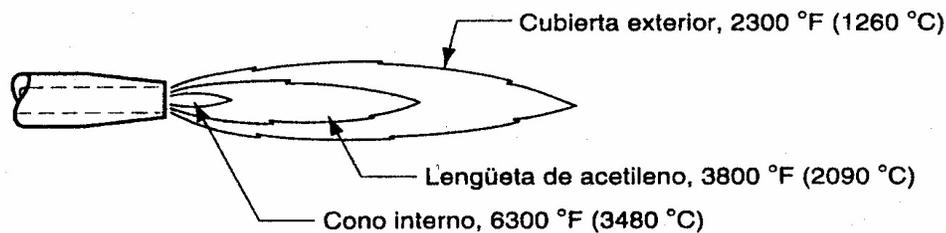


FIGURA 4.33 La flama neutral de un soplete de oxiacetileno indicando las temperaturas obtenidas

El calor total liberado durante las dos etapas de la combustión es de $55 \times 10^6 \text{ J/m}^3$ de acetileno. Sin embargo, debido a la distribución de la temperatura en la flama, la forma en la que ésta se extiende sobre la superficie de trabajo y se pierde en el aire, así como las densidades de energía y las eficiencias de transferencia de calor en la soldadura con oxiacetileno son relativamente bajas: $f_1 = 0.10$ a 0.30 .

EJEMPLO 4.5 Generación de calor en la soldadura con oxiacetileno

Un soplete de oxiacetileno proporciona 0.3 m^3 de acetileno por hora y una razón igual de volumen de oxígeno para una operación de soldadura con oxiacetileno sobre acero de 5 mm . El calor generado mediante combustión se transfiere a la superficie de trabajo con una eficiencia $f_1 = 0.25$. Si se concentra el 75% del calor de la flama en un área circular sobre la superficie de trabajo que tiene un diámetro de 10 mm . Encuentre: a) la razón de calor liberado durante la combustión, b) la razón de calor transferido a la superficie de trabajo y c) la densidad de energía promedio en el área circular.

Solución: a) La razón de calor generado por el soplete es el producto de la razón de volumen de acetileno por el calor de combustión:

$$HR = (0.3 \text{ pies}^3/\text{hr.}) (55 \cdot 10^6 \text{ J/mm}^3) = 4583.333 \text{ J/s.}$$

b) Con una eficiencia de transferencia de calor $f_t = 0.25$ la cantidad de calor que recibe la superficie de trabajo es:

$$f_t \times HR = 4583.333 \times 0.25 = 1145.833 \text{ J/s.}$$

c) El área del círculo en la cual se concentra el 75 %, de calor de la flama es:

$$A = \frac{\pi(10^2)}{4} = 78.54 \text{ mm}^2$$

La densidad de energía en el círculo se encuentra al dividir el calor disponible por el área del círculo como observamos:

$$\text{Densidad de Energía} = \frac{0.75(1145.833)}{78.54} = 10.942 \text{ J/s} - \text{mm}^2$$

La combinación del acetileno con el oxígeno es muy flamable y por tanto, el ambiente en el que se realiza la OAW es peligroso. Algunos de los peligros se relacionan específicamente con el acetileno. El C_2H_2 puro es un gas inodoro e incoloro. Por razones de seguridad, el acetileno comercial se procesa para que contenga un olor característico de ajo. Una limitación física del gas es su inestabilidad a presiones superiores alrededor de 1 atm. Por esta razón, los cilindros de almacenamiento de acetileno se empaquetan con un material poroso (tal como asbesto, madera de balsa y otros materiales) saturado con acetona (CH_3COCH_3). El acetileno se disuelve en acetona líquida; de hecho, la acetona disuelve alrededor de 25 veces su propio volumen en acetileno, lo que proporciona un medio relativamente seguro de almacenar este gas para soldadura. Algunas otras precauciones de seguridad en la soldadura con oxiacetileno incluyen protección para los ojos y la piel del soldador (lentes, guantes y ropas de protección), las cuerdas de los tornillos en los cilindros y mangueras de acetileno y oxígeno son distintas de las estándares, para evitar la conexión accidental de los gases incorrectos, y también es fundamental un mantenimiento adecuado del equipo.

La soldadura con oxiacetileno usa equipo relativamente barato y portátil. Por tanto, es un proceso económico y versátil, conveniente para producción en bajas cantidades y trabajos de reparación. Rara vez se usa para soldar materia prima de láminas y placas más gruesas de 6.4 mm debido a las ventajas de la soldadura con arco eléctrico en tales aplicaciones. Aunque la OAW puede mecanizarse, con frecuencia se ejecuta en forma manual y, por esta causa, depende de la habilidad del soldador producir una unión soldada de alta calidad.

4.3.3.2. Gases alternativos para la soldadura con oxígeno y gas combustible

Varios procesos del grupo de OFW se basan en gases diferentes al acetileno. Muchos de los combustibles alternativos se enlistan en la tabla 4.7, junto con las temperaturas a las que arden, y los calores de combustión. Para comparación, se incluye el acetileno en la lista. Aunque el oxiacetileno es el combustible más común para la OFW, todos los otros gases se usan en ciertas aplicaciones,

comúnmente se limitan a la soldadura de láminas metálicas y metales con bajas temperaturas de fusión y soldadura fuerte. Además, algunos usuarios prefieren estos gases alternativos por razones de seguridad.

TABLA 4.7 Gases usados en la soldadura y corte con oxígeno y gas combustible, con temperaturas de flama y calores de combustión

Combustible	Temperatura	Calor de Combustión
	(°C)	(MJ/m ³)
Acetileno (C ₂ H ₂)	(3087)	(54.8)
MAPP (C ₃ H ₄) ^b	(2927)	(91.7)
Hidrógeno (H ₂)	(2660)	(12.1)
Propileno (C ₃ H ₆) ^c	(2900)	(89.4)
Propano (C ₃ H ₈)	(2526)	(93.1)
Gas natural	(2538)	(37.3)

^a Se comparan las temperaturas neutrales de flama, dado que esta es al flama que se usaría más comúnmente para soldadura.

^b MAPP es la abreviatura comercial para el metilacetileno-propadieno.

^c El propileno se usa principalmente en el corte con flama.

El combustible que compite más estrechamente con el acetileno por la temperatura a la que arde y el valor de calentamiento es el metilacetileno y propadieno. Es un combustible desarrollado por la compañía Dow Chemical y su nombre comercial es MAPP (agradecemos a Dow que lo haya abreviado). El MAPP (C₃H₄) tiene características de calentamiento similares a las del acetileno y puede almacenarse bajo presión como un líquido, con lo que se evitan los problemas de almacenamiento especial asociados con el C₂H₂.

Cuando se quema hidrógeno con oxígeno como combustible, el proceso se denomina *soldadura de oxihidrógeno*, SO (en inglés *oxyhydrogen welding*, OMW). Como se muestra en la tabla 4.7, la temperatura de la OMW es menor a la que se obtiene en la soldadura con oxiacetileno. Además, el color de la flama no se ve afectado por diferencias en la mezcla de hidrógeno y oxígeno, por tanto es más difícil que el soldador ajuste el soplete.

Otros combustibles utilizados en la OFW incluyen el propano y el gas natural. El propano (C₃H₈) se asocia más estrechamente con operaciones de soldadura fuerte, soldadura blanda y de corte que con la soldadura por fusión. El gas natural está formado principalmente de etano (C₂H₆) y metano (CH₄). Cuando se mezcla con oxígeno produce una flama de alta temperatura, por esa causa se ha vuelto más común en talleres pequeños para soldadura por fusión.

Soldadura por gas a presión Este es un proceso especial de la soldadura con oxígeno gas combustible (OFW), se distingue más por el tipo de aplicación que por el gas combustible. La *soldadura con gas a presión*, SGP (en inglés *pressure gas welding*, PGW), es un proceso de soldadura por fusión, mediante el cual se obtiene la coalescencia sobre todas las superficies de contacto de las dos partes, calentándolas con una mezcla de combustible apropiada (por lo general gas de oxiacetileno) y después

aplicando presión para unir las superficies. La figura 4.34 muestra una aplicación común. Las partes se calientan hasta que empieza la fusión en las superficies. Después se retira el soplete de calentamiento, se oprimen las partes una contra la otra y se sostienen a presiones altas mientras ocurre la solidificación. En la PGW no se usa metal de relleno.

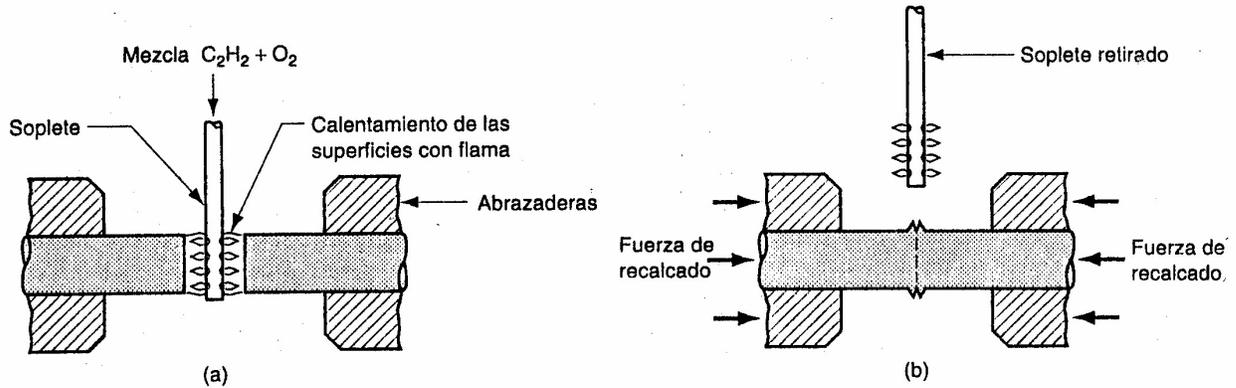


FIGURA 4.34 Una aplicación de soldadura con gas a presión: (a) calentamiento de las dos partes y (b) aplicación de presión para formar la soldadura.