

GENERALIDADES DE LA SOLDADURA POR FRICCIÓN.

**Dr. C. Eduardo Torres Alpizar¹, M.SC. Jesús Peña Acción², Ing. Lermith Abraham
Marín Brizuela³, Ing. José Augusto Suárez Torrelles³, Ing. Silfredo José Rivero³**

1. *Universidad de Matanzas, Vía Blanca Km.3,
Matanzas, Cuba.*

2. *Universidad de Cienfuegos “Carlos Rafael
Rodríguez”, Cuatro Caminos, Carretera a Rodas Km 4*

3. *Universidad Politécnica Territorial del Alto Apure
“Pedro Camejo”, Antiguo Hato Modelo, Carretera Nacional
Vía el Samán.*

Resumen.

La soldadura por fricción es un tipo de proceso de soldadura mediante el cual es posible la unión de materiales similares y disimiles por lo cual ha tenido una gran relevancia y amplio uso en la industria aeroespacial, automotriz, agrícola, marina, militar por mencionar algunas. Algunos ejemplos de este tipo de unión se pueden observar en las uniones que existen entre el pistón y el anclaje en los cilindros hidráulicos de una retroexcavadora y en los rodillos transportadores utilizados en la industria de la imprenta. A pesar de no ser muy conocido como otros tipos de proceso de soldadura debido al alto costo de adquisición de su equipamiento y su difusión en los medios comerciales, la soldadura por fricción es un tipo de proceso tecnológico que debe ser del conocimiento de todos los estudiantes de ingeniería mecánica y especialidades afines. Sin embargo, es un método muy importante y sobresaliente con respecto al balance costo-beneficio. La presente monografía muestra una panorámica de este proceso de soldadura así como de sus principales variantes tecnológicas.

Palabras claves: Ingeniería Mecánica, soldadura, soldadura por fricción, tecnología

Soldadura por fricción (FRW)

El calor necesario para la unión se produce mediante la fricción entre las superficies a unir. Una de las piezas a unir se mantiene fija, mientras que la otra se hace girar a alta velocidad constante. Las dos piezas se ponen en contacto mediante una fuerza axial; una vez conseguido suficiente contacto se detiene el giro de la pieza, para que la soldadura no se rompa por cizallamiento, y se aumenta la fuerza axial (Figura 1.11) (Burgos, 1987).

El tamaño de la zona de la soldadura depende de:

- Cantidad de calor generado.
- Conductividad térmica de los materiales.
- Propiedades mecánicas de los materiales a altas temperaturas.

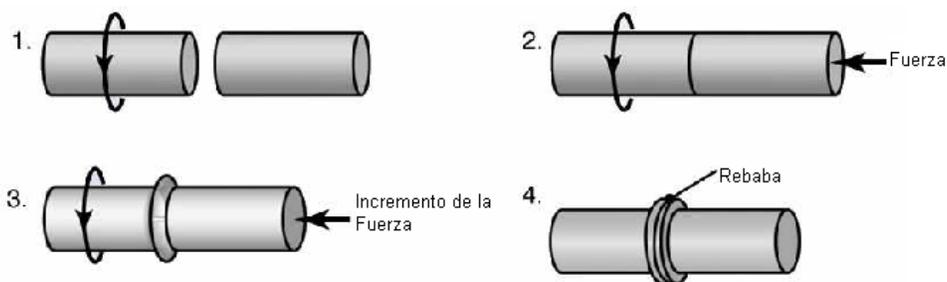


Figura 1.11 Secuencia en soldadura por fricción (Burgos, 1987).

La forma de la zona de la soldadura dependerá de la velocidad de rotación y de la presión aplicada. Este tipo de soldadura se puede utilizar con una gran variedad de materiales, siempre que alguno de los componentes tenga alguna simetría rotacional.

Algunas variantes de este tipo de soldaduras son:

- Soldadura por fricción continua

- Soldadura por fricción inercial
- Soldadura por fricción lineal
- Soldadura por fricción y agitación

Entre las principales ventajas que ofrece el método de soldadura de estado sólido por fricción, se encuentran las enumeradas a continuación (Shafer, 2014):

1. Minimiza el consumo energético. La potencia que se requiere de las instalaciones es considerablemente menor que en el caso de otros métodos de soldadura.
2. El equipamiento tecnológico es muy sencillo y el proceso puede programarse de forma automática o semiautomática.
3. Es un método ambientalmente limpio. No produce humos, gases, vapores residuales o calor excesivo hacia el medio circundante.
4. El proceso de soldadura es factible en casi todos los tipos de acero, así como en distintos metales y aleaciones no ferrosas. También pueden ser soldados materiales de composición química diferente.
5. La resistencia de la unión soldada es igual o mayor que el material de base.
6. Introduce mejoras en el producto pues permite una amplia combinación de materiales disímiles.
7. Al ser un proceso de estado sólido, preserva la microestructura y las propiedades del material forjado.
8. La soldadura tiene lugar sin la presencia de aire en la superficie a soldar por lo que es una soldadura completa libre de porosidad, con una zona de altas temperaturas muy pequeña.
9. No se necesita material de aporte ni tipo alguno de fundente para realizar la unión.
10. Durante el proceso de fricción son destruidas y expulsadas de las zonas de soldadura las películas de óxidos y otras impurezas lo que garantiza una buena calidad de la unión soldada.
11. Se realiza en piezas semiacabadas y genera productos prácticamente acabados (el mecanizado final es elemental).
12. No requiere ninguna preparación previa de las superficies o bordes que no sea la perpendicularidad de las superficies a soldar con el eje de las piezas.
13. La soldadura es posible en condiciones de campaña, sin necesidad de utilizar energía eléctrica, se puede utilizar un motor de combustión interna.

Entre las limitaciones principales se encuentran:

1. Al menos una de las partes debe estar en rotación.
2. Por lo general deben eliminarse las rebabas que se producen por la aplicación de la presión de forja.
3. El recalado reduce la longitud de las partes lo cual debe tomarse en consideración para el diseño y la fabricación de los productos.

Particularidades de la soldadura de estado sólido por fricción.

La soldadura por fricción, como se describió anteriormente, es un proceso de fase total de penetración sólida que tiene como principio de trabajo la conversión de la energía mecánica en térmica mediante la fricción de elementos externos sobre las piezas a unir o la fricción entre dichas piezas bajo la acción de una fuerza exterior de compresión. Este proceso es clasificado como una unión en estado sólido ya que la temperatura no alcanza a fundir el metal y además al analizar microscópicamente dicha zona no se observa dilución entre los materiales lo que se puede apreciar en la (Figura 1.12) (UTN, 2014).

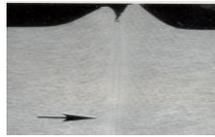


Figura 1.12 Análisis metalográfico de uniones soldadas a tope por fricción (UTN, 2014).

De forma general el proceso se desarrolla en dos etapas. Una llamada de calentamiento en la que se eleva la temperatura en la zona de interfase entre las piezas a unir, como resultado de la intensa fricción a que son sometidas por el movimiento relativo entre las superficies en contacto bajo la acción de una fuerza exterior que las oprime. Esta etapa se mantiene hasta que el material alcanza un estado plastizado a una temperatura algo menor que la temperatura de fusión. La fuerza aplicada sobre las superficies a unir en esta etapa se le denomina fuerza de calentamiento.

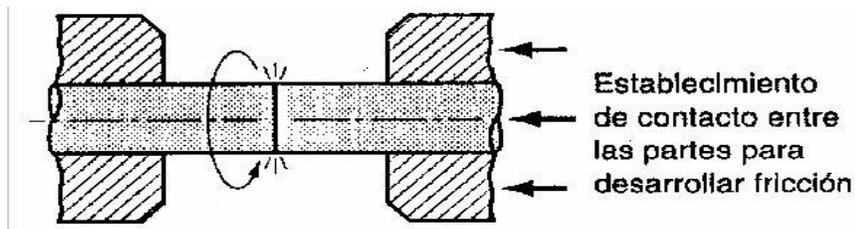


Figura 1.13 Etapa de Calentamiento.
Fuente: (Moreno, 2008)

El final de la etapa de calentamiento en máquinas experimentales se determina por la coloración de la interfase mientras que en máquinas de producción ya está establecido el tiempo que debe durar esta etapa, de acuerdo a las características particulares de la unión que se desea lograr. Una vez terminada esta etapa se suspende el suministro de energía a la pieza en rotación (en algunas máquinas esta es frenada y en otras no). En estos momentos comienza la segunda etapa donde se incrementa la fuerza axial de compresión hasta un valor llamado Fuerza de Forja que puede ser hasta el doble de la de calentamiento, en esta etapa todo el material en estado plástico es expulsado de la zona de interfase provocando una rebaba y se consolida la unión entre las piezas (Moreno, 2008).

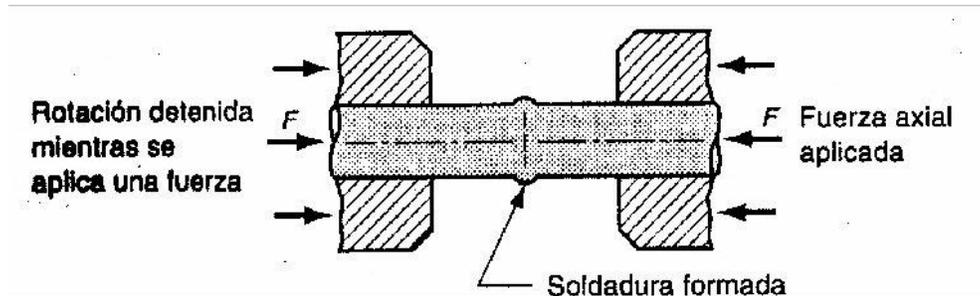


Figura 1.14 Etapa de Forja (Moreno, 2008).

En la Figura 1.15 se muestran uniones por fricciones típicas y piezas producidas por esta tecnología.



Figura 1.15 Ejemplos de uniones soldadas en barras (Revista Tope, 2014).

Clasificación de la soldadura por fricción

Los procesos de soldadura por fricción hasta hoy desarrollados se clasifican de acuerdo a (Moreno, 2008):

- Movimiento relativo de las piezas a unir.
- Forma de suministro de la energía a la pieza en rotación.
- Objetivo principal del proceso.

A partir del movimiento relativo de las piezas a unir se clasifican en:

- Rotacional, donde una pieza rota con respecto a la otra (Figura 1.16).

a)

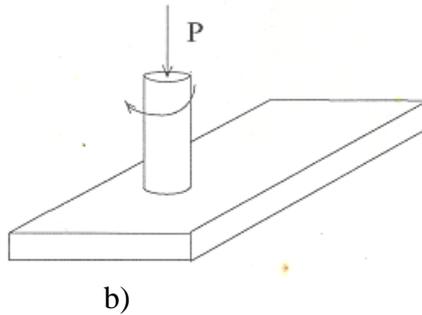


Figura. 1.16 Ejemplos de soldadura por fricción rotacional

a) Barras b) Láminas y barras
(Vucetich, 2013)

- Oscilación lineal, donde una pieza oscila linealmente respecto a la otra. Este procedimiento es utilizado para unir piezas que no tienen sección circular.
- Oscilación angular, donde una pieza oscila angularmente con respecto a la otra (Figura 1.17). Su utilización fundamental es cuando la pieza que rota no admite una alta velocidad de rotación.

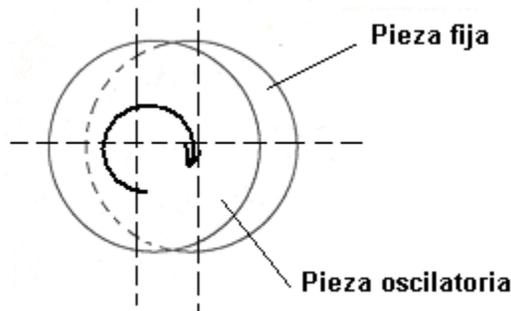


Figura 1.17 Soldadura por fricción de oscilación angular (Vucetich, 2013).

- Combinado, donde las dos piezas se encuentran en movimiento, mientras una rota la otra se desplaza linealmente (Figura 1.18). Se utiliza fundamentalmente en la obtención de recubrimientos superficiales.

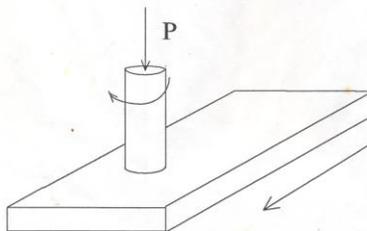


Figura 1.18 Soldadura por fricción combinada (Vucetich, 2013)

En la Figura 1.19 se muestra otro ejemplo de soldadura por fricción combinada. Este tipo de soldadura fue inventada, patentada y desarrollada para su propósito industrial por TWI (The Welding Institute), en Cambridge, Reino Unido (Franco, 2009) y se conoce como fricción – agitación o friction – stir welding (FSW). En este caso se agita una tercera pieza (o cuerpo) contra las dos superficies a unir. Una sonda rotatoria (no consumible), de unos 5-6 mm de diámetro y 5 mm de altura, se introduce en la zona de unión. Las presiones de contacto provocan el calentamiento por fricción. La sonda rotatoria produce el

calentamiento y mezcla del material de las dos piezas a unir. Se han conseguido soldar materiales como aluminio, cobre, acero y titanio. En la actualidad se utiliza para vehículos aeroespaciales, automovilísticos, militares y embarcaciones. El equipo necesario puede ser una fresadora vertical convencional con el husillo modificado. Se pueden soldar espesores de 1 a 50 mm.

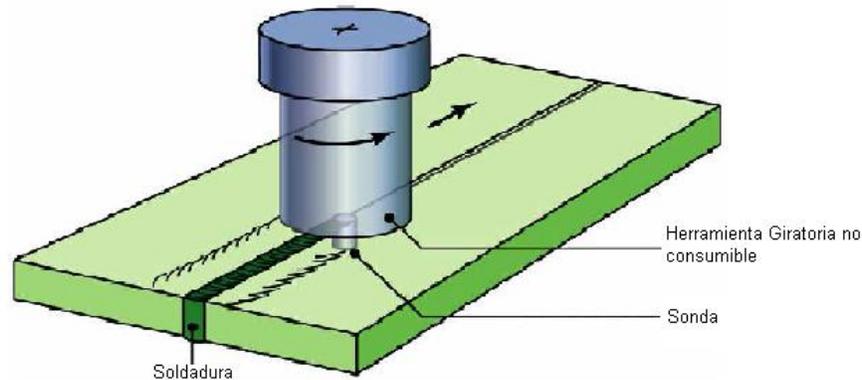


Figura. 1.19 Soldadura por fricción – agitación o friction – stir welding (FSW) (Arquitectura 21, 2014).

De acuerdo a la forma de suministro de energía a la pieza en rotación se clasifican en:

- Soldadura por fricción de conducción continua: cuando la energía para el calentamiento de la interfase es tomada directamente de un motor eléctrico que mueve la pieza en rotación durante toda la etapa de calentamiento. En la *soldadura por fricción de conducción continua* se dirige una parte a una velocidad de rotación constante y se impone un contacto con la parte estacionaria a cierto nivel de fuerza, para que se genere calor por fricción en la interfase. Cuando se alcanza la temperatura de trabajo correcta, se frena la rotación en forma abrupta y al mismo tiempo se juntan las partes hasta el valor de las presiones de forja.
- Soldadura por fricción inercial: la energía para la soldadura es suministrada mediante un volante que ha sido previamente energizado por un motor eléctrico y acelerado a una velocidad predeterminada. Una vez que el volante ha alcanzado la velocidad necesaria es desconectado el motor mediante un embrague y entonces se oprime la pieza fija contra la que rota con una fuerza que generalmente es constante. Toda la energía acumulada en el volante se disipa en forma de calor en la zona de la unión producto de la fricción entre las superficies que actúan como freno para producir la coalescencia en las superficies a soldar. El ciclo total para estas operaciones dura alrededor de 20 segundos.

Por otra parte, teniendo en cuenta el propósito principal del proceso la soldadura por fricción se clasifica en:

- Soldadura por fricción para unión permanente.
- Soldadura por fricción para la obtención de depósitos superficiales (fricción surfacing).

1.2.2 Soldadura por fricción de conducción continua

Como ya se conoce en este proceso la energía para el calentamiento de la interfase se toma de un motor eléctrico, que acciona la pieza en rotación durante toda la etapa de calentamiento (Moreno, 2008).

La forma en que ocurre el proceso se explica en la (Figura 1.20).

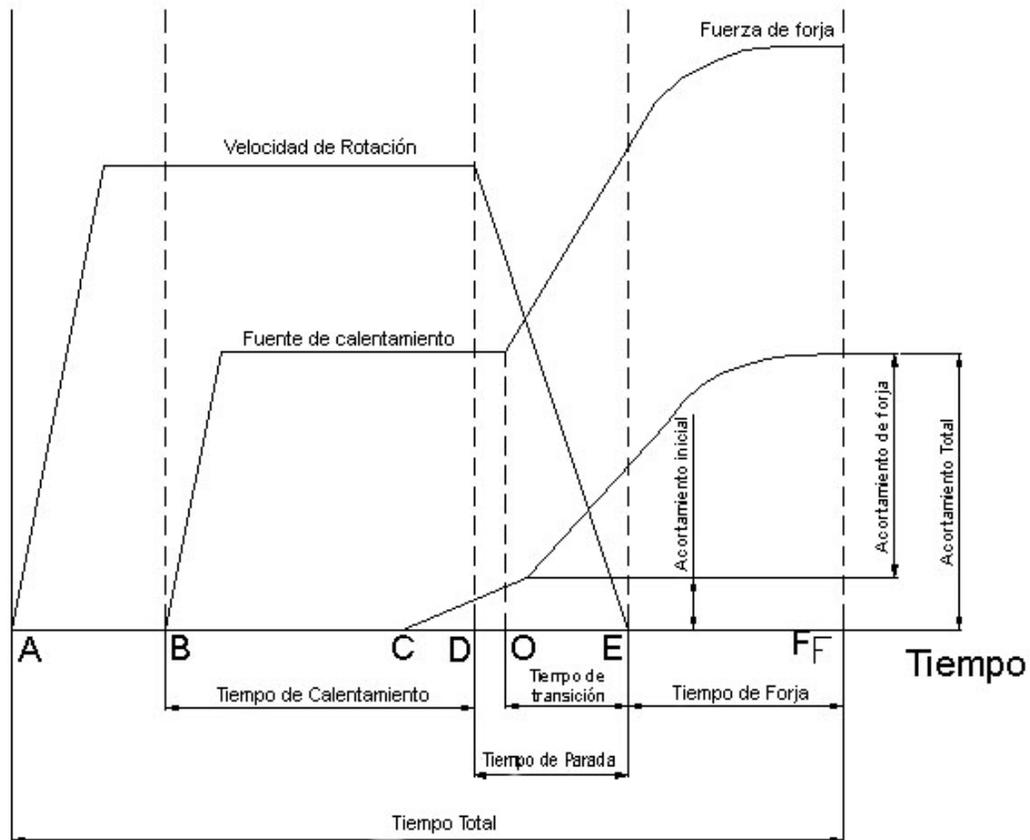


Figura 1.20 Variación de los diferentes parámetros de la soldadura por fricción continua con respecto al tiempo de duración total del proceso (Moreno, 2008).

El proceso se inicia en el punto A del eje del tiempo. Hasta el punto B la velocidad de la pieza móvil se incrementa hasta la velocidad de soldadura, en el punto B comienza la etapa de calentamiento, se comienza a incrementar la fuerza axial hasta que alcance el valor de la fuerza de calentamiento, la velocidad permanece constante a cuenta del incremento de la potencia que el motor entrega a medida que se incrementa la fuerza axial. En el punto C de la etapa de calentamiento ya la interfase se encuentra en estado plástico y las piezas comienzan a acortarse (Moreno, 2008).

En el punto D comienza la etapa de transición, se desconecta el motor y se aplica el mecanismo de freno, la velocidad desciende bruscamente a la vez que la fuerza axial se incrementa hasta el valor de forja, el acortamiento de las piezas se incrementa igualmente.

La etapa de forja comienza en el punto E cuando la pieza móvil se detiene y la fuerza axial alcanza el valor de forja, el acortamiento de las piezas se incrementa expulsando el material

en estado plástico de la zona de interfase. Una vez que termina el acortamiento se produce la unión soldada.

De la Figura 1.20 puede concluirse que los parámetros principales del proceso de soldadura por fricción continua son:

- Velocidad de rotación o periférica.
- Precisión de calentamiento.
- Tiempo de calentamiento.
- Tiempo de transición.
- Fuerza de forja
- Tiempo de forja.
- Acortamiento total.

La carta tecnológica para el desarrollo del proceso de soldadura por fricción establece los valores de cada uno de estos parámetros para garantizar un resultado satisfactorio teniendo en cuenta la naturaleza de los materiales a unir y el diámetro de las piezas. En la (Tabla 1.1) se pueden apreciar los valores recomendados de los parámetros de soldadura de diferentes aceros.

Tabla 1.1 Parámetros de soldadura por fricción continua para diferentes materiales (Moreno, 2008).

Material	D (mm)	N (rpm)	P _{calentamiento} (MPa)	P _{forja} (MPa)	T (seg)
Acero al carbono	12.7	3000	35	32	5
	25.4	1500	52	52	15
Acero inoxidable	12.7	3000	110	110	7
	25.4	8000	140	140	35
Acero inoxidable - Acero aleado	19	3000	52	104	10
Acero para herramientas	19	4000	104	208	10
Cobre	25.4	6000	34	65	18
Aluminio	19	2800	28	45	6
Acero aleado,(d)	>9	2800	172	276	10
Acero aleado-Acero al carbono	44.5	3000	38	110	26

D – Diámetros

N – Velocidad

P_{calentamiento} – Presión de calentamiento

P_{for} – Presión de forja

a – AISI 1010, 1020, 1030, 1045, etc

b – series 300 a 400

c – T1 o equivalentes

d – AISI 3140, 21%Cr, 4%Ni, 9%Mn

Soldadura por fricción inercial

En la (Figura 1.21) se muestra el principio de funcionamiento de una máquina para uniones soldadas por fricción inercial, en las que la energía para el calentamiento de la interfase se toma de un volante que ha sido previamente energizado por un motor eléctrico.

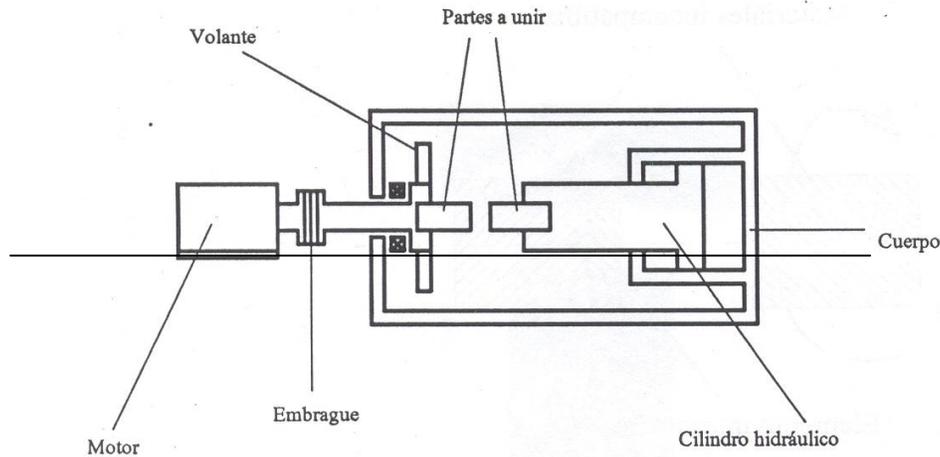


Figura 1.21 Esquema de una máquina para uniones soldadas por fricción inercial (López, 2008)

El proceso comienza cuando el volante alcanza la velocidad necesaria para acumular el nivel de energía requerida para el calentamiento de la interfase, en ese momento se desconecta el motor quedando el volante y la pieza móvil en rotación libre, entonces se aplica la fuerza de calentamiento y posteriormente la de forja entre las superficies a unir que actúan como freno en el que se disipa en un corto tiempo la energía acumulada en el volante alcanzando la temperatura necesaria para lograr la unión que queda completamente consolidada una vez se detenga el volante con la pieza móvil.

Los parámetros fundamentales de la unión son:

- Velocidad inicial de rotación o periférica.
- Momento de inercia del volante.
- Presión axial o Fuerza de Forja bajo la que se desarrolla el proceso.

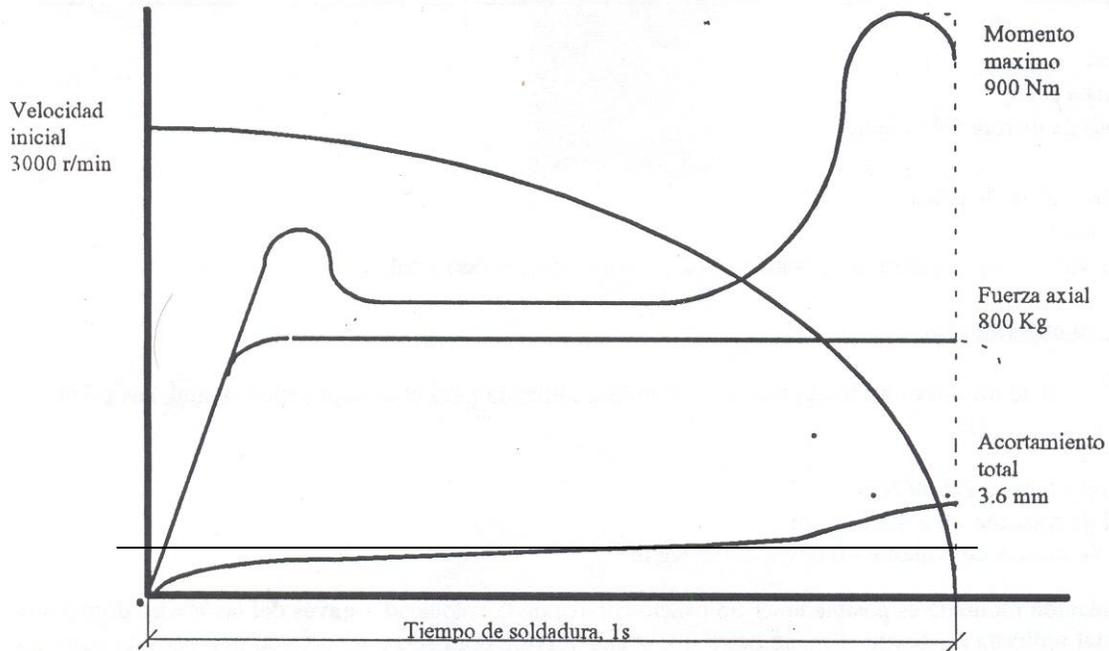


Figura. 1.22 Comportamiento de los parámetros de soldadura para barras de acero de mediano carbono de 25.4 mm de diámetro (Moreno, 2008).

En la (Tabla 1.2) se muestran los valores recomendados de estos parámetros para diferentes combinaciones de materiales.

Tabla 1.2 Valores recomendados para unir barras de 25.4 mm de diámetro y diferentes combinaciones de materiales (Moreno, 2008).

Material	Parámetros de Soldadura			Condiciones resultantes		
	n, rpm	F _{axial} kN	Iv, Kg·cm ²	E, J	Ds, mm	Tt, s
Aceros de bajo carbono	4600	55	6224	35544	2.54	2
Aceros de medio carbono	4600	63	7246	37968	2.54	2
Aceras de bajo carbono aleado	4600	68	7710	40680	2.55	2
Aceros súper aleados	1500	230	120770	67800	3.81	3
Aceros inoxidable ferríticos	3000	80	18580	67800	2.54	2.5
Aceros inoxidable austeníticos	3500	80	13006	13560	2.54	2.5
Cobre	8000	22	926	13560	3.81	0.5
Latón	7000	22	1115	21696	3.81	0.7
Titanio	6000	36	1580	20340	2.54	2
Aluminio(AA1100)	5700	27	2508	23052	3.81	1
Aluminio(AA6061)	5700	31	2787	20340	3.81	1
Cobre-Acero aleado	8000	22	1300	54240	3.81	1
Ac .rápido-Ac.al carbono	3000	180	25083	67800	2.54	3
Ac.superaleado-Ac al carbono	1500	180	120770	40680	3.81	2.5
Ac.inoxidable-Ac al carbono	3000	80	18580	40680	2.54	2.5
Aluminio(6081)-Ac.inoxidable	5500	22-68*	3623	27120	5.08	3
Cobre – Aluminio	5500	22-68*	3623	27120	5.8	3

La soldadura por fricción inercial tiene como ventajas sobre la continua que tiene menores exigencias en cuanto al tamaño del motor. Con la aplicación de modelos matemáticos elaborados al efecto (Franco, 2009) se ha demostrado que para soldar un tubo de acero medio de 68.5 cm de diámetro exterior y 65 cm de diámetro interior se requiere una energía de 12231 kJ. Si la unión se realiza por el método de soldadura inercial sería necesario un motor de 11,25 kW y el tiempo de soldadura no sobrepasaría los 4 seg. Sin embargo, para realizar la unión por el método de soldadura por fricción continua se requeriría un motor de 67.5 kW que estaría trabajando todo el tiempo de calentamiento.

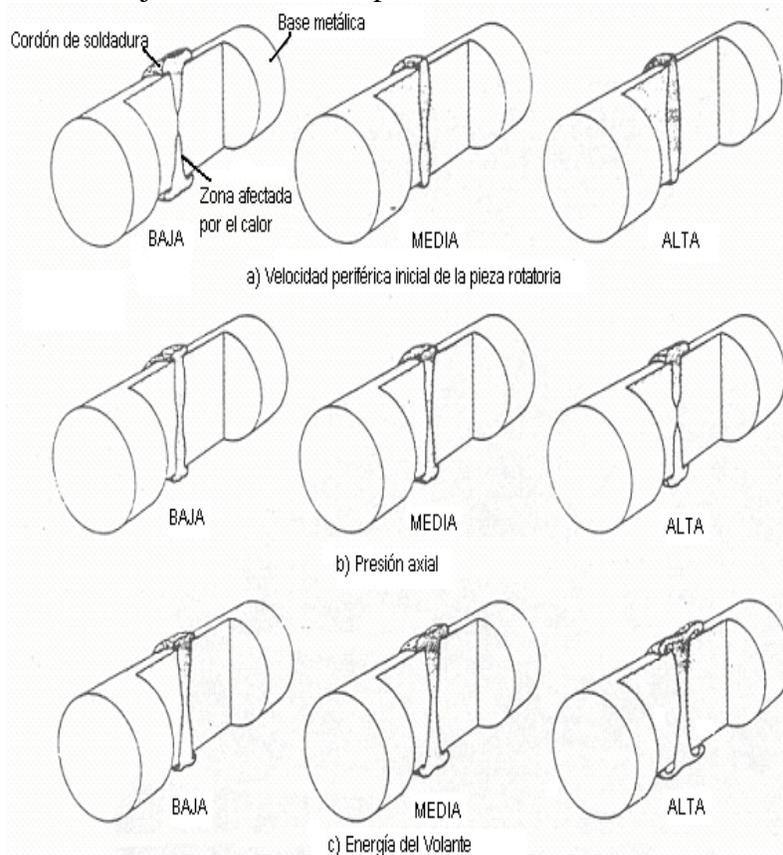


Figura. 1.23 Relación entre los parámetros de soldadura y la apariencia de la zona de interfase. (López, 2008)

1.1 Características fundamentales de las máquinas para la soldadura por fricción continua (López, 2008)

1.3.1 Clasificación de las máquinas para la soldadura por fricción continua (López, 2008).

Estas máquinas, se clasifican según distintos aspectos:

- Nivel de automatización.
- Designación.
- Posición del husillo.
- Movilidad del husillo.

Según el nivel de automatización pueden ser:

- Automáticas: Tanto el proceso de soldadura como la carga y descarga de la máquina se realiza de forma automática.

- Semiautomática: Solo se realiza de forma automática el proceso de soldadura.

Las maquinas modernas están dotadas de computadoras que controlan todo el proceso y archivan el comportamiento de los parámetros de soldadura en cada unión realizada, lo cual tiene gran importancia para el control de calidad.

Según su designación estas máquinas pueden ser:

- Designación general (Universales): tienen una gran universalidad en el sistema de sujeción de las piezas, pueden variar la fuerza axial en un amplio rango, lo que le permite soldar piezas de distintas formas y diámetros. Generalmente son semiautomáticas.
- Especializadas: Están destinadas a soldar piezas de una sola denominación o grupos de piezas parecidas en su forma y dimensiones. Pueden encontrarse tanto automáticas como semiautomáticas.

Según la posición del husillo pueden ser:

- Husillo horizontal
- Husillo vertical

Según la movilidad del husillo con respecto a la bancada:

- Husillo inmóvil: Es la configuración más común, ya que lo más razonables es que el movimiento a lo largo de la bancada los haga la pieza que no rota.
- Husillo móvil: Esta configuración encuentra aplicación en las máquinas de doble vástago utilizadas para la soldadura de tres piezas al mismo tiempo. Durante el proceso la pieza que no rota se coloca en el agarre central que es fijo y las que rotan en los husillos siendo oprimidas contra la que no rota.

Principales partes y sistemas de las máquinas para la soldadura por fricción continua (López, 2008).

Las partes principales más comunes de las máquinas convencionales para la soldadura por fricción se muestran en la (Figura 1.24).

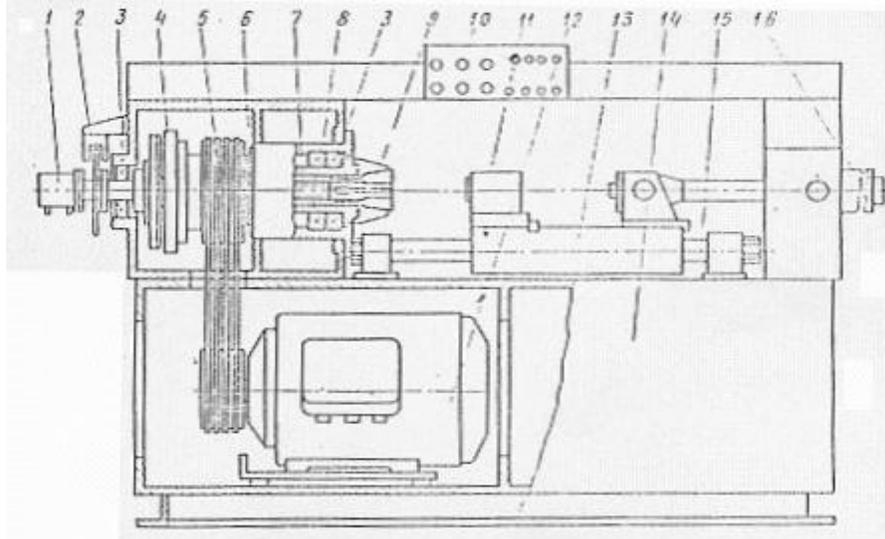


Figura. 1.24 Máquina convencional para la soldadura por fricción (Partes y sistemas). (López, 2008)

1. Cilindro de mando de la mordaza de sujeción: Es el encargado de dar el apriete inicial y aflojar las mordazas que sujetan la piezas rotatoria. Pueden ser neumático o hidráulico.

2. Sistema de freno: Es el encargado de detener la pieza rotatoria al finalizar la etapa de calentamiento y comenzar la etapa de forja.
3. Cojinetes del husillo: Deben ser capaces de soportar grandes cargas axiales ya que asimilan toda la carga que oprime las piezas a soldar.
4. Embrague: Es el encargado de desacoplar el motor del husillo, antes de aplicar el freno.
5. Transmisión por correas: Es la encargada de llevar el movimiento del motor principal al husillo es muy frecuente su utilización en estas máquinas por su sencillez y buena capacidad de trabajo.
6. Cabeza fijo: Contiene el husillo generalmente no tiene movimiento axial con respecto a la bancada.
7. Órgano de tracción de la mordaza del husillo: Es el encargado de conectar el cilindro de accionamiento con las muelas del plato.
8. Husillo
9. Mordazas de sujeción de la pieza rotatoria
10. Panel de mando
11. Mordazas de sujeción de la pieza fija
12. Motor eléctrico: Generalmente son motores asincrónicos trifásicos dado su costo relativamente bajo y su velocidad de giro constante, así como su capacidad de admitir las cargas variables que se derivan del proceso de soldadura.
13. Cabeza móvil: Contiene las mordazas de sujeción de la pieza fija tiene movimiento axial con respecto a la bancada
14. Bancada: Por lo general es de acero soldado, las bancadas de hierro fundido encuentran escasa aplicación ya que estas tienen que soportar grandes momentos flectores.
15. Guías del cabezal móvil
16. Cilindro principal: Puede ser hidráulico o neumático y tiene por misión aplicar la fuerza de forja y de calentamiento durante el proceso

1.3.3 Particularidades de los apoyos del cabezal delantero en las máquinas convencionales para la soldadura por fricción (López, 2008).

El cabezal delantero o cabezal fijo de las máquinas de soldadura por fricción tiene por misión permitir el giro de la pieza rotatoria a la vez que asimila las fuerzas axiales correspondientes a las etapas de calentamiento (de forma dinámica) y de forja (de forma estática). En la (Figura 1.25) se puede apreciar la configuración típica del cabezal fijo de una máquina convencional.

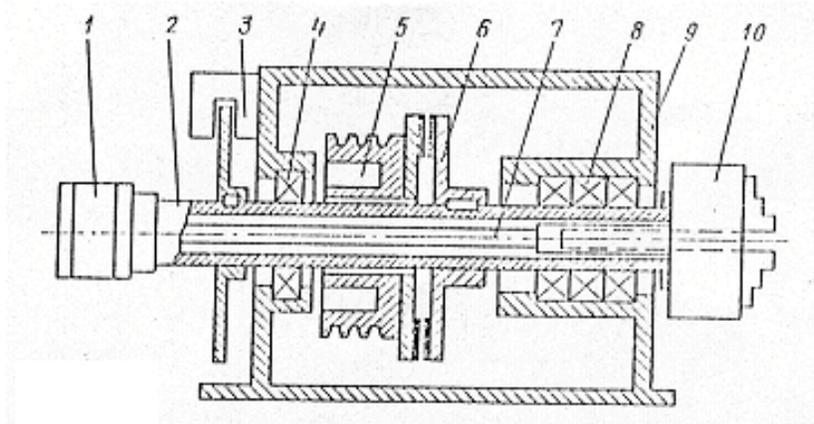


Figura. 1.25 Configuración típica del cabezal fijo de una máquina convencional (López, 2008).

1. Cilindro de mando del agarre
2. Husillo
3. Freno
4. Cojinete trasero
5. Polea
6. Embrague
7. Vástago del sistema de agarre
8. Cojinetes delanteros
9. Cuerpo
10. Plato de agarre

Los cojinetes del cabezal delantero trabajan en condiciones muy difíciles, durante la etapa de calentamiento rotan a velocidades relativamente altas estando sometidos a cargas radiales producto de la transmisión y axiales producto de la fuerza de calentamiento que actúan como carga dinámica. Durante la etapa de forja están sometidos a la carga axial producida por la fuerza de forja, que puede ser hasta el doble de la de calentamiento y actúa como carga estática.

Particularidades de la bancada de las máquinas convencionales para la soldadura por fricción (López, 2008).

Una de las principales exigencias que se plantea para el buen desarrollo del proceso de soldadura por fricción es la coaxialidad entre los ejes de las piezas a unir, por lo que la bancada de estas máquinas debe tener una elevada rigidez que garantiza que la coaxialidad se mantenga dentro de los límites aceptables. Además la bancada debe tener una elevada resistencia mecánica pues las fuerzas que intervienen en el proceso y los momentos originados por estas alcanzan valores elevados.

De acuerdo a sus características constructivas y a la forma en que soportan la carga las bancadas de estas máquinas se dividen en dos grupos.

- Máquinas de bancada cargada
- Máquinas de bancada descargada

En el primer tipo la bancada asimila completamente la acción de las fuerzas que intervienen en el proceso y de los momentos que estas originan.

Este tipo de bancada solo se utiliza en las máquinas de hasta 100 kN de fuerzas axial en las cuales resulta posible diseñar la bancada para que no sufra deformaciones inadmisibles.

Las bancadas descargadas se utilizan en máquinas de más de 100 kN de fuerza axial, en estas se realizan determinados arreglos que permiten liberar completa o parcialmente a la bancada de la acción de las fuerzas axiales.

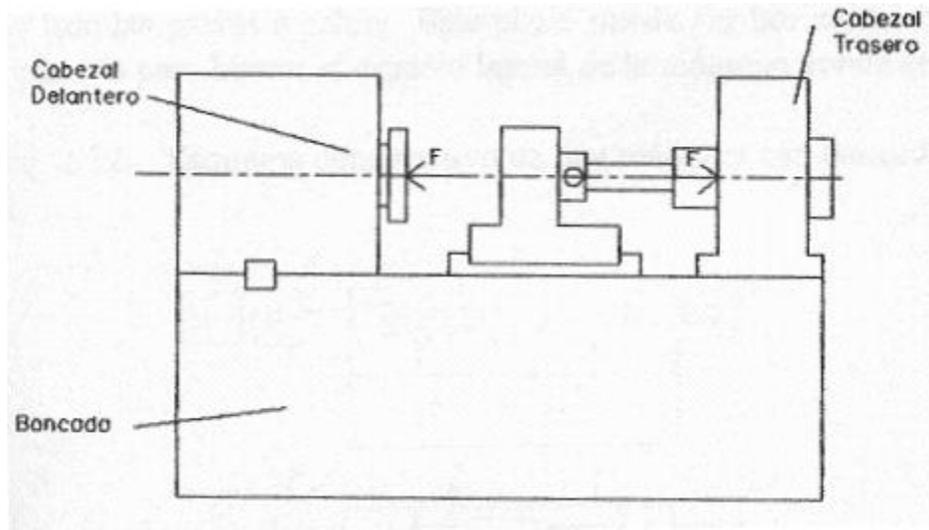


Figura 1.26 Esquema constructivo de una máquina de bancada cargada. (López, 2008)

En la (Figura 1.27) se muestra una bancada en forma de cuadro similar a la mostrada en la 1.26, pero que se le ha agregado una barra rigidizadora en la parte superior, la cual descarga parcialmente la bancada de la acción de la fuerza axial y prácticamente elimina los momentos flectores que son los que provocan las mayores deformaciones.

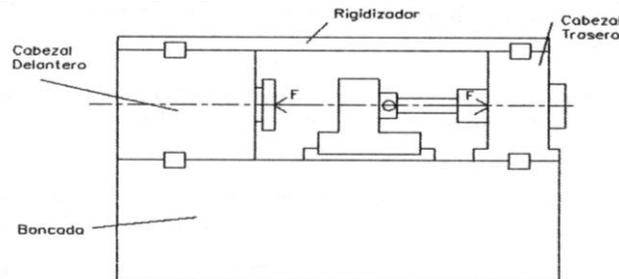


Figura 1.27 Esquema constructivo de una máquina con bancada rigidizada (López, 2008)

En la Figura (1.28) se muestra el esquema constructivo de una bancada que ha sido liberada completamente de la acción de la fuerza axial mediante la colocación de dos rigidizadores laterales que asimilan la acción de esa carga. La eliminación de los momentos flectores se logra colocando el eje de los rigidizadores en el mismo eje que las piezas a soldar. Este plano puede ser horizontal como en la figura, o inclinado para liberar el espacio lateral de la máquina donde se coloca el operario.

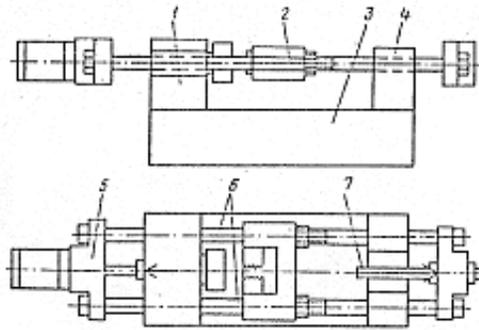


Figura 1.28 Esquema constructivo de una máquina con bancada descargada (López, 2080)

1. Cabezal delantero
2. Cabezal trasero
3. Bancada
4. Guías
5. Travesaño
6. Refuerzos laterales
7. Soporte trasero de la carga

Bibliografía.

1. AGUILAR SHAFER, JULIO ALBERTO. Soldadura por fricción (Friction Stir Welding). 2014. 24 p. Disponible en la World Wide Web en http://biblio3.url.edu.gt/Libros/2013/pro_ma/19.pdf
2. AIMME. Aimme estudia la soldadura por fricción mediante agitación o batido (friction stir welding) en aleaciones de aluminio. Unidad de Materiales y Tratamientos Superficiales – AIMME. AIMME - Instituto Tecnológico Metalmeccánico. Valencia. España. 2014. Disponible en la World Wide Web en <http://www.aimme.es>
3. ARQUITECTURA 21. Que es la soldadura por fricción. Obras civiles y construcción. 2014. Disponible en la World Wide Web en <http://www.arquitectura21.com>
4. BURGOS SOLA, JOSÉ. Tecnología de la soldadura. Editorial Pueblo y Educación. Ciudad de la Habana. 1987. 287 p.
5. CABOT, PEDRO, et al. Soldadura Por Friccion Agitacion (FSW) De AA 6061 T6. Comisión Nacional de Energía Atómica, Av. Libertador 8250, Buenos Aires-Argentina. Materia, Vol 8, No 2 (2003) 187- 195. Disponible en la World Wide Web en <http://www.materia.coppe.ufrj.br/sarra/artigos/artigo10147>
6. CONSTRUSUR. Tecnología de la Soldadura. Procesos especiales. Sarandí Construcciones I y C.S.R.L. 2014. Disponible en la World Wide Web en <http://www.construsur.com.ar/News-sid-84-file-article-pageid-1.html>
7. FALLA, R et al. Propiedades mecánicas de soldadura por fricción agitación de punto en aleación de aluminio AA6063-T5. Prospect. Vol. 10, No. 1, Enero - Junio de 2012, págs. 79-84. <http://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/4212156.pdf>
9. FRANCO, FERNANDO. Soldadura por fricción-agitación de aleaciones ligeras – una alternativa a nuestro alcance. Suplemento de la Revista Latinoamericana de

- Metalurgia y Materiales 2009; S1 (3): 1369-1375. Disponible en la World WideWeb en <http://www.rlmm.org/archivos/S01/N3/RLMMArt-09S01N3-p1369.pdf>
10. LÓPEZ, F. S; ANDRADE; L. V. Máquina para soldadura por fricción. 2do Encuentro de Jóvenes Investigadores en Ciencia y Tecnología de Materiales – Posadas – Misiones, 16 - 17 Octubre 2008. Disponible en la World Wide Web en http://www.materiales-sam.org.ar/sitio/biblioteca/jovenesSAM08/Trabajos_completos/2.Fundición25B3n,%2520Solidificaci%25C3%25B3n%2520y%2520Soldadura/02086LopezFS.pdf
 11. MORENO SIEGERT, ESTEBAN. Soldadura por fricción. Universidad EAFIT. Escuela de Ingeniería. Departamento de Ingeniería Mecánica. Medellín. 2008. 68p.
 12. MUÑOZ PINZÓN, SERGIO ANTONIO. Soldadura por fricción batido de tuberías de polietileno para gas natural. Magíster en ingeniería de soldadura. Pontificia universidad católica del Perú escuela de posgrado. 19p.
 13. PEREYRA, S et al. Modelado numérico del proceso de soldadura por fricción agitación en aceros inoxidables. *Matéria* (Rio J.) vol.13 no.2 Rio de Janeiro Apr./June 2008. Disponible en la World Wide Web en <http://dx.doi.org/10.1590/S1517-70762008000200017>
 14. QUINTANA, KAREN. Evaluación de la soldadura por fricción-agitación de punto de la aleación de aluminio AA 6063-T5. *El hombre y la máquina* No. 39. Mayo – Agosto de 2012. Disponible en la World Wide Web en http://ingenieria.uao.edu.co/hombremaquina/revistas/39%25202012-2/Evaluacion_soldadura.pdf
 15. REVISTA TOPE. La soldadura por fricción en pistones y cilindros hidráulicos. *Revista Tope. Artículos Técnicos. Soldadura.* 2014. Disponible en la World Wide Web en <http://www.revistatope.com>
 16. REVISTA TOPE. La soldadura por fricción en componentes aeronáuticos. *Revista Tope. Artículos Técnicos. Soldadura.* 2014. Disponible en la World Wide Web en <http://www.revistatope.com>
 17. SANTIAGO, DIEGO et al. Analisis de defectos en soldadura por Fricción - Agitación mediante un modelado 3d. *Mecánica Computacional Vol XXV.* Alberto Cardona, Norberto Nigro, Victorio Sonzogni, Mario Storti. (Eds.). Santa Fe, Argentina, Noviembre 2006. pp. 2217-2226. Disponible en la World Wide Web en <http://cimec.org.ar/ojs/index.php/mc/article/view/183/163>
 18. SANTIAGO, DIEGO et al. Análisis térmico en soldadura por fricción. *Mecánica Computacional Vol. XXIV. A.* Larreteguy (Editor). Buenos Aires, Argentina, Noviembre 2005. Disponible en la World Wide Web en http://www.researchgate.net/publication/228908511_ANALISIS_DE_DEFECTOS_EN_SOLDADURA_POR_FRICCIN-AGITACION_MEDIANTE_UN_MODELADO_3D
 19. TUFARO, L. N; SVOBODA, H. G. Efecto del procedimiento de soldadura por fricción-agitación sobre las propiedades mecánicas en uniones de aleación de aluminio termoenejecible. Instituto Nacional de Tecnología Industrial, Centro de Investigación y Desarrollo en Mecánica, San Martín, Buenos Aires, Argentina. 2014. Disponible e la World Wide Web en <http://www.inti.gob.ar/tecnointi/CD/info/pdf/530.pdf>

20. UTN. Soldadura por fricción. Universidad Tecnológica Nacional. Argentina. 2014. Disponible en la World Wide Web en <http://www1.frm.utn.edu.ar>
21. VUCETICH, DANILO A; et al. Soldadura por fricción y agitación de placas de aluminio 5086. Laboratorio de Investigaciones de Metalurgias Físicas (LIMF), Departamento de Mecánica, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de La Plata. Segundas Jornadas de Investigación y Transferencia. 2013. Disponible en la World Wide Web en <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/38232>