

41126
104



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

**ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
ARAGÓN**

**ESTIMACIÓN DE LOS COSTOS EN LOS PROCESOS
DE SOLDADURA ELÉCTRICA**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE :
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA
Á R E A M E C Á N I C A
P R E S E N T A :
ADÁN RUIZ HERNÁNDEZ

ASESOR:
ING. DÁMASO VELÁZQUEZ VELÁZQUEZ

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

MEXICO

2008

A



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Con toda mi gratitud a mi familia: a mis hermanas, Norma, Ana María y Nancy, a mis sobrinos, Luis Fernando y Ana Luisa, y en especial a mis padres Adán y María Concepción, por haberme apoyado durante el tiempo en que realicé este trabajo.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

A la Universidad Nacional Autónoma de México que me dio la oportunidad estudiar la carrera de Ingeniería Mecánica y a todos mis amigos y profesores.

¡gracias!

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



ÍNDICE

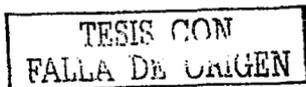
| | Pág. |
|--|------|
| OBJETIVO | 4 |
| INTRODUCCIÓN | 5 |
| CAPÍTULO 1- Descripción de los procesos de soldadura | |
| 1.1. Soldadura de arco metálico protegido (SMAW) | 7 |
| 1.1.1. Descripción del proceso | 7 |
| 1.1.2. Clasificación de los electrodos | 8 |
| 1.1.3. Ventajas y desventajas del proceso SMAW | 10 |
| 1.2. Soldadura de arco con núcleo fundente (FCAW) | 11 |
| 1.2.1. Descripción del proceso | 11 |
| 1.2.2. Equipo | 11 |
| 1.2.3. Gases de protección | 11 |
| 1.2.4. Clasificación de los electrodos | 13 |
| 1.2.5. Ventajas y desventajas del proceso FCAW | 14 |
| 1.3. Soldadura de arco eléctrico abierto con alambre sólido y gas de protección (GMAW) | 15 |
| 1.3.1. Descripción del proceso | 15 |
| 1.3.2. Equipo | 15 |
| 1.3.3. Tipos de transferencia | 16 |
| 1.3.4. Gases de protección | 17 |
| 1.3.5. Ventajas y desventajas del proceso GMAW | 17 |
| 1.4. Arco sumergido (SAW) | 18 |
| 1.4.1. Descripción del proceso | 18 |
| 1.4.2. Métodos generales | 19 |
| 1.4.3. Equipo | 19 |
| 1.4.4. Fundentes | 20 |
| 1.4.5. Nomenclatura de los electrodos | 21 |
| 1.4.6. Metales base | 22 |
| 1.4.7. Ventajas y desventajas del proceso SMAW | 22 |
| 1.5. Soldadura de arco de tungsteno con gas (GTAW) | 23 |
| 1.5.1. Descripción del proceso | 23 |
| 1.5.2. Principios de operación | 23 |
| 1.5.3. Equipo requerido | 23 |
| 1.5.4. Gases de protección | 23 |
| 1.5.5. Energía para la soldadura | 24 |
| 1.5.6. Electrodos | 25 |
| 1.5.7. Aplicaciones del proceso GTAW | 26 |
| 1.5.8. Ventajas y desventajas del proceso GTAW | 26 |

CAPÍTULO 2- Cálculo de los costos involucrados en la soldadura

| | |
|--|----|
| 2.1. Ventajas de realizar un análisis de costos. | 28 |
| 2.2. Factores que afectan los costos de soldadura. | 29 |
| 2.2.1. Preparación del metal | 29 |
| 2.2.2. Montaje | 29 |
| 2.2.3. Precaentamiento | 29 |
| 2.2.4. Postsoldadura | 30 |
| 2.3. Factor operador | 30 |
| 2.4. Cálculo de costos totales | 32 |
| 2.5. Cálculo del metal necesario para las uniones | 32 |
| 2.6. Electrodo | 36 |
| 2.7. Costo de consumibles | 38 |
| 2.8. Costo del electrodo | 38 |
| 2.9. Costo del gas de protección | 44 |
| 2.10. Fundente | 45 |
| 2.11. Mano de obra | 46 |
| 2.12. Gastos generales o indirectos | 47 |
| 2.13. Costo de la energía eléctrica para soldar | 47 |

CAPÍTULO 3- Aspectos básicos para la reducción de costos

| | |
|---|----|
| 3.1. Precauciones con el uso de las fórmulas de costos | 50 |
| 3.2. El papel del diseñador en la reducción de costos | 50 |
| 3.3. El rediseño como una alternativa en la reducción de costos | 53 |
| 3.4. Puntos a considerar para obtener reducción de costos. | 55 |
| 3.4.1. Factor operador | 55 |
| 3.4.2. Cambio de empaque | 55 |
| 3.4.3. Cambio de alambre sólido a tubular | 56 |
| 3.4.4. Selección del equipo eléctrico | 56 |
| 3.4.5. Instalación del equipo | 57 |
| 3.5. Soldabilidad | 58 |
| 3.5.1. Aleaciones Ferrosas | 59 |
| 3.5.1.1. Aceros al carbono | 59 |
| 3.5.1.2. Aceros con bajo contenido de aleación | 60 |
| 3.5.1.3. Soldadura de aceros con aleación | 62 |
| 3.5.1.4. Hierro fundido, hierro vaciado | 65 |
| 3.5.1.5. Aceros inoxidables | 66 |
| 3.5.1.6. Aceros de ultra alta resistencia | 69 |



| | |
|---|-----------|
| 3.5.2. Metales no ferrosos | 72 |
| 3.5.2.1. Aluminio y aleaciones de aluminio | 72 |
| 3.5.2.2. Cobre y aleaciones de cobre | 76 |
| 3.5.2.3. Magnesio y aleaciones de magnesio | 80 |
| 3.5.2.4. Níquel y aleaciones con alto contenido de níquel | 82 |
| 3.5.2.5. Plomo y aleaciones de plomo | 83 |
| 3.5.2.6. Cinc y aleaciones de cinc | 84 |
| 3.5.2.7. Titanio y sus aleaciones | 85 |
| 3.5.2.8. Metales refractarios | 86 |
| 3.5.2.9. Metales preciosos | 87 |
| CONCLUSIONES | 88 |
| BIBLIOGRAFÍA | 89 |

TESIS CON
FALLA DE CARGEN

OBJETIVO

Este trabajo pretende brindar las bases para establecer una estructura adecuada en la reducción de costos en los procesos de soldadura, por medio de la presentación de la información necesaria para realizar una buena comparación de un sistema ya establecido contra un sistema propuesto, o establecer un buen sistema desde la selección de un proceso de soldadura y los consumibles a utilizar hasta las técnicas de ahorro adecuados a las necesidades de producción.

Es importante tener en cuenta que en un proceso de fabricación, en donde la soldadura sea la principal herramienta de producción, no únicamente se calcula el costo de la simple operación de soldar. Intervienen acciones presoldadura y postsoldadura en donde la empresa invierte tiempo hombre y dinero.

No se pueden aplicar los mismos métodos de análisis de costos a diferentes procedimientos de soldadura, debido a que en cada procedimiento de soldadura predominan tiempos y costos característicos de éste. al mismo tiempo, cada diseño de soldadura presenta características individuales. De ahí la importancia de analizar en forma particular cada problema al que nos enfrentamos.

Una reducción de costos no significa disminuir la calidad del producto a realizar, sino localizar los puntos y aspectos en donde es posible cambiar el diseño o modificar el proceso de producción para reducir el consumo de materiales de aporte, tiempo de mano de obra y demás costos asociados a la fabricación.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la soldadura eléctrica tiene una gran importancia en los procesos industriales en aplicaciones como:

- Proceso de unión.
- Mantenimiento.
- Reparación.
- etc.

Esto se debe a su facilidad de aplicación y buenos resultados que se obtienen al unir la mayoría de los metales ferrosos y no ferrosos así como sus aleaciones.

Durante la realización de la soldadura (desde el pedido inicial hasta la inspección final) existen prácticas de mal uso de tiempos, mano de obra y material (que presentan una mala inversión), de ahí mi interés en presentar una descripción de los procesos de soldadura eléctrica y cálculo de costos, en donde se consideren aspectos que puedan influir en la toma de decisión en la selección de un proceso de soldadura eléctrica o en la modificación de los métodos de fabricación.

El desconocimiento de las técnicas básicas de uso, la capacitación insuficiente o no actualizada y los ahorros mal entendidos, a menudo originan costos elevados de fabricación.

Para la elaboración del presente trabajo se realizó una investigación bibliográfica que se enfocó a publicaciones especializadas en este tema. También, se entrevistó a personas involucradas en los procesos de soldadura.

Para entender acerca de los elementos que interfieren en un buen planteamiento de un sistema de costos, es necesario comprender las bases de los procesos de soldadura eléctrica. Por esto, en el primer capítulo se describen éstos, mencionando las características que se encuentran involucradas en el análisis de un sistema de costos como son: descripción del proceso, características de los electrodos, gases de protección, fundentes, ventajas y desventajas de los diferentes procesos de soldadura eléctrica.

En el segundo capítulo se presenta una serie de fórmulas y procedimientos para el cálculo de cada aspecto envuelto en el proceso de soldadura, como son: costo de mano de obra, consumibles (electrodos, gases y fundentes), costos directos e indirectos y costo de la energía eléctrica.

En el tercer capítulo se describen algunos puntos que deben ser considerados en la reducción de costos. También, se presentan alternativas que se pueden aplicar, asimismo, la importancia que representa un buen diseño de soldadura y la corrección de éste cuando se localizan errores o mal funcionamiento durante su utilización en el área de trabajo.

CAPÍTULO I

DESCRIPCIÓN DE LOS PROCESOS DE SOLDADURA

DESCRIPCIÓN DE LOS PROCESOS DE SOLDADURA

Existe una gran variedad de procesos de soldadura eléctrica. Algunos de ellos presentan problemas en aplicaciones específicas, pero también la mayoría de los procesos dan soluciones adecuadas a una variedad de aplicaciones.

Desde que se plantea el procedimiento de fabricación se debe seleccionar el proceso de soldadura adecuado. No siempre un proceso semiautomático o automático resuelve nuestras necesidades de producción, pues cada método tiene sus propias limitaciones. Por esta razón, es necesario entender los procesos de soldadura para garantizar un buen trabajo y esto se logra por medio de una adecuada técnica de aplicación del proceso en el tipo de unión requerida, la adecuación metalúrgica para el material a soldar y su economía de uso.

En este capítulo se presentan las características de algunos de los principales procesos de soldadura eléctrica para que el lector tenga bases para seleccionar el proceso de soldadura que acomode a sus necesidades.

1.1 Soldadura de Arco Metálico Protegido (SMAW: Shielded Metal Arc Welding)

1.1.1. Descripción del proceso

SMAW es el método de soldadura más usado en la industria. En este método el arco eléctrico es formado entre la varilla metálica de un electrodo revestido y la superficie del metal base.

El arco es una mezcla compleja de partículas de gas ionizadas y aceleradas a través de un campo eléctrico, limitado por su campo magnético y que ejerce un profundo efecto en la transferencia del metal de relleno.

El calor producido en el arco (aprox. 13,000 °F) induce la fusión de los metales base. El núcleo del electrodo sirve de conductor de la corriente y metal de aporte a la pieza de trabajo, ver figura 1. El recubrimiento del electrodo tiene funciones importantes, pues a través de éste se determinarán las propiedades de la soldadura por medio de una reacción química a que se somete el revestimiento conforme se funde el electrodo.

Además, el recubrimiento del electrodo tiene las siguientes funciones:

- Inicia y mantiene la estabilidad del arco.
- Determina las características físicas, químicas y mecánicas de la soldadura.
- Aporta materiales de aleación.
- Determina la penetración.
- Determina la velocidad de enfriamiento de la junta soldada.
- Protege el metal fundido del medio ambiente, por medio de una atmósfera y escoria provocadas en la descomposición de recubrimiento, e impide la creación de impurezas, retención de oxígeno y nitrógeno en la soldadura.

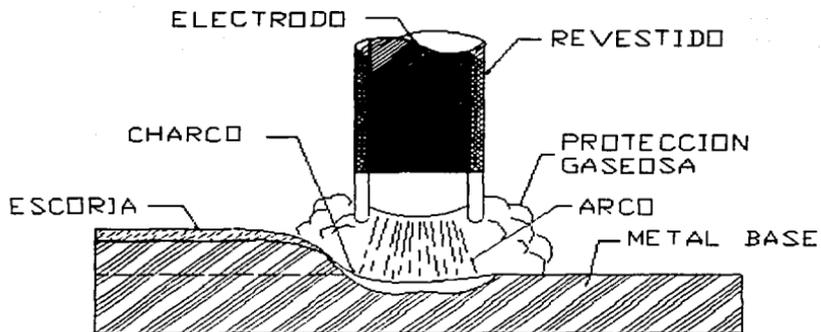


Figura 1. Soldadura de Arco Metálico Protegido

1.1.2 Clasificación de electrodos

- El prefijo "E" significa electrodo para uso en arco eléctrico.
- Los primeros dos dígitos determinan la resistencia a la tracción en miles de lb/pulg² (psi).
- El tercer dígito indica la posición para soldar:
 - EXX1X Todas posiciones (plana, horizontal, vertical y sobrecabeza).
 - EXX2X Soldadura horizontal de filete y posición plana.
 - EXX4X Vertical hacia abajo.
- El último dígito designa el tipo de cubierta (ver tabla 1).
- El último o los dos últimos dígitos indican el tipo de corriente con la que se va a usar:

| | |
|-------|---------------------------------|
| EXX10 | cd (electrodo al positivo) |
| EXXX1 | ca y cd (electrodo al positivo) |
| EXXX2 | ca y cd (electrodo al negativo) |
| EXXX3 | ca y cd |
| EXXX4 | ca y cd |
| EXXX5 | cd (electrodo al positivo) |
| EXXX6 | ca o cd (electrodo al positivo) |
| EXXX8 | ca o cd (electrodo al positivo) |
| EXX20 | ca o cd |
| EXX24 | ca o cd |
| EXX27 | ca o cd |
| EXX28 | ca o cd (electrodo al positivo) |

Tabla 1. Composición química de algunos electrodos para aplicaciones específicas en el proceso SMAW.

| AWS Clasificación | Composición química, porcentaje. | | | | | | | | |
|--------------------------------------|----------------------------------|-----------|------|------|-----------|-----------|-----------|-----------|------|
| | C | Mn | P | S | Si | Ni | Cr | Mo | V |
| Composición química, porcentaje | | | | | | | | | |
| E7010-A1 | | 0.60 | | | 0.40 | | | | |
| E7011-A1 | | 0.60 | | | 0.40 | | | | |
| E7015-A1 | | 0.90 | | | 0.60 | | | | |
| E7016-A1 | 0.12 | 0.90 | 0.03 | 0.04 | 0.60 | — | — | 0.40-0.65 | — |
| E7018-A1 | | 0.90 | | | 0.60 | | | | |
| E7020-A1 | | 0.60 | | | 0.40 | | | | |
| E7027-A1 | | 1.00 | | | 0.40 | | | | |
| Electrodos acero cromo-molibdeno | | | | | | | | | |
| E8016-B1 | 0.05 a | 0.90 | 0.03 | 0.04 | 0.60 | — | 0.40-0.65 | 0.40-0.65 | — |
| E7017-B1 | 0.12 | | | | 0.80 | | | | |
| E8015-B2L | 0.05 | 0.90 | 0.03 | 0.04 | 1.00 | — | 1.00-1.50 | 0.40-0.65 | |
| E8016-B2 | 0.05 a | 0.90 | 0.03 | 0.04 | 0.60 | — | 1.00-1.50 | 0.40-0.65 | — |
| E8018-B2 | 0.12 | | | | | | | | |
| E8018-B2L | 0.05 | 0.90 | 0.03 | 0.04 | 0.80 | — | 1.00-1.50 | 0.04-0.65 | — |
| E9015-B3L | 0.05 | 0.90 | 0.03 | 0.04 | 1.00 | — | 2.00-2.50 | 0.90-1.20 | — |
| E9015-B3 | 0.05 a | 0.90 | 0.03 | 0.04 | 0.60 | — | 2.00-2.50 | 0.90-1.20 | — |
| E9016-B3 | 0.12 | | | | 0.60 | | | | |
| E9018-B3 | | | | | 0.80 | | | | |
| E9018-B3L | 0.05 | 0.90 | 0.03 | 0.04 | 0.80 | — | 2.00-2.50 | 0.90-1.20 | — |
| E8015-B4L | 0.05 | 0.90 | 0.03 | 0.04 | 1.00 | — | 1.75-2.25 | 0.40-0.65 | — |
| E8016-B5 | 0.07 a | 0.40 a | 0.03 | 0.04 | 0.30-0.60 | — | 0.40-0.60 | 1.00-1.25 | 0.05 |
| | 0.15 | 0.70 | | | | | | | |
| Electrodos acero níquel | | | | | | | | | |
| E8016-C1 | 0.12 | 1.25 | 0.03 | 0.04 | 0.05 | 2.00-2.75 | — | — | — |
| E8018-C1 | | | | | 0.08 | | | | |
| E7015-C1L | 0.05 | 1.25 | 0.03 | 0.04 | 0.50 | 2.00-2.75 | — | — | — |
| E7016-C1L | | | | | | | | | |
| E7018-C1L | | | | | | | | | |
| E8016-C2 | 0.12 | 1.25 | 0.03 | 0.04 | 0.60 | 3.00-3.75 | — | — | — |
| E8018-C2 | | | | | 0.80 | | | | |
| E7015-C2L | 0.05 | 1.25 | 0.03 | 0.04 | 0.50 | 3.00-3.75 | — | — | — |
| E7016-C2L | | | | | | | | | |
| E7018-C2L | | | | | | | | | |
| E8016-C3 | 0.12 | 0.40-1.25 | 0.03 | 0.03 | 0.80 | 0.80-1.10 | 0.15 | 0.35 | 0.05 |
| E8018-C3 | | | | | | | | | |
| Electrodos acero níquel-molibdeno | | | | | | | | | |
| E8018-NM | 0.10 | 0.80-1.25 | 0.02 | 0.03 | 0.60 | 0.80-1.10 | 0.05 | 0.40-0.65 | 0.02 |
| Electrodos acero manganeso-molibdeno | | | | | | | | | |
| E9015-D1 | 0.12 | 1.25-1.75 | 0.03 | 0.04 | 0.60 | — | — | 0.25-0.45 | — |
| E9018-D1 | | | | | 0.80 | | | | |
| E9016-D3 | 0.12 | 1.00-1.75 | 0.03 | 0.04 | 0.60 | — | — | 0.40-0.65 | — |
| E9018-D3 | | | | | 0.80 | | | | |
| E10015-D2 | 0.15 | 1.65-2.00 | 0.03 | 0.04 | 0.60 | — | — | 0.25-0.45 | — |
| E10016-D2 | | | | | 0.80 | | | | |
| E10018-D2 | | | | | 0.80 | | | | |

| Todos los demás electrodos baja aleacion | | | | | | | | | |
|--|------|-----------|-------|-------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------|
| | — | 1.00 min | — | — | 0.80 min | 0.50 min | 0.30 min | 0.20 min | 0.10 min |
| EXX10-G | | | | | | | | | |
| EXX11-G | | | | | | | | | |
| EXX13-G | | | | | | | | | |
| EXX15-G | | | | | | | | | |
| EXX16-G | | | | | | | | | |
| EXX18-G | | | | | | | | | |
| E7020-G | | | | | | | | | |
| ES018-M | 0.10 | 0.50-1.25 | 0.030 | 0.030 | 0.60 | 1.40-1.80 | 0.15 | 0.35 | 0.05 |
| E10018-M | 0.10 | 0.75-1.70 | 0.030 | 0.030 | 0.60 | 1.40-2.10 | 0.35 | 0.25-0.50 | 0.05 |
| E11018-M | 0.10 | 1.30-1.80 | 0.030 | 0.030 | 0.60 | 1.25-2.50 | 0.40 | 0.25-0.50 | 0.05 |
| E12018-M | 0.10 | 1.30-2.25 | 0.030 | 0.030 | 0.60 | 1.75-2.50 | 0.30-1.50 | 0.30-0.55 | 0.05 |
| E12018-M1 | 0.10 | 0.80-1.60 | 0.015 | 0.012 | 0.65 | 3.00-3.60 | 0.65 | 0.20-0.30 | 0.05 |
| E7018-W | 0.12 | 0.40-0.70 | 0.025 | 0.025 | 0.40-0.70 | 0.20-0.40 | 0.15-0.30 | — | 0.06 |
| ES018-W | 0.12 | 0.50-1.30 | 0.03 | 0.04 | 0.35-0.60 | 0.40-0.60 | 0.45-0.70 | — | — |

En este proceso de soldadura eléctrica, la corriente se mantiene constante, por lo tanto, el voltaje varía y se regula según la longitud del arco, que es la distancia que existe entre la punta del núcleo del electrodo y la superficie del charco de soldadura.

1.1.3. Ventajas

- El equipo es de fácil operación, portátil y económico.
- Este proceso es utilizado para soldar la mayoría de los metales comunes y sus aleaciones.
- No necesita de gases ni fundentes granulares de protección externa.
- Este proceso es menos sensible al viento que otros procesos con protección gaseosa externa.
- Fácil manejo en áreas restringidas.

Desventajas

- Desperdicio considerable de electrodo.
- Requiere de gran habilidad del soldador.
- No pueden soldarse metales de bajo punto de fusión.
- Excesivas cantidades de corriente sobrecalientan el electrodo y rompen el recubrimiento, ocasionando velocidades de deposición menores comparadas con el proceso GMAW.

1.2. Soldadura de arco con núcleo fundente (FCAW: Flux-Cored Arc Welding)

1.2.1. Descripción del proceso

En este proceso el electrodo es continuo y está formado por un núcleo de materiales fundentes pulverizados, contenidos dentro de un tubo de metal, que se deposita como material de aporte.

La forma como el proceso FCAW protege el charco de soldadura tiene dos variantes:

1. Autoprotección, el calor descompone y vaporiza al fundente para proteger a la soldadura.
2. Con un suministro de un gas de protección (además del núcleo fundente) se protege a la soldadura.

En la primera variante, la autoprotección se logra cuando los materiales vaporizados del fundente desplazan el aire. Esta variante tolera corrientes de aire más fuertes que los electrodos con escudo de gas, debido a que los ingredientes del fundente producen CO_2 e introducen agentes desoxidantes en la superficie del charco de soldadura.

En ambos casos, el fundente crea una escoria protectora.

1.2.2. Equipo

Para el proceso de soldadura por arco con núcleo fundente autoprotegido y la variante con escudo de gas son similares. La principal diferencia radica en el suministro y regulación del gas para la variante con escudo de gas (ver figura 2).

La fuente de poder debe suministrar una corriente directa con un voltaje constante.

El alimentador suministra alambre tubular a una velocidad constante por medio de un motor, y también recibe las mangueras del gas de protección (en el caso de que el electrodo o proceso lo requieran), así como también se encuentra conectada una pistola al alimentador de alambre. Por medio de un interruptor montado en la pistola se acciona la alimentación del alambre, del gas y la apertura del arco.

1.2.3. Gases de protección

El dióxido de carbono es el gas de protección más usado en el proceso de arco con núcleo fundente, debido a su bajo costo y la gran profundidad que permite lograr. Al fundente se le agregan materiales desoxidantes (silicio y/o manganeso) para compensar el efecto oxidante del CO_2 , así el oxígeno reacciona con los materiales desoxidantes y no con el carbono del acero. Los materiales resultantes de esta reacción (óxidos sólidos) flotarán en la superficie, incorporándose a la cubierta de la escoria.

Mezcla de gases: al utilizar mezcla de gases, se combinan propiedades de diferentes gases. Al aumentar el porcentaje de un gas inerte en la mezcla, se obtiene una mejor transferencia de materiales desoxidantes comparada con la protección al 100% de CO₂.

La mezcla de más uso es la de 25% argón y 75% CO₂, logrando las siguientes ventajas:

1. Soldadura fuera de posición.
2. Aporte de material de soldadura con mayor resistencia a la tensión.
3. Produce un arco con mejores características que el CO₂ puro.

Cuando existen problemas con la calidad de la soldadura se deben tomar en cuenta los siguientes puntos:

1. Un bajo flujo de gas produce porosidades y oxidación, debido a la poca protección.
2. Un excesivo flujo arrastra corrientes de aire y provoca turbulencias, provocando porosidad.

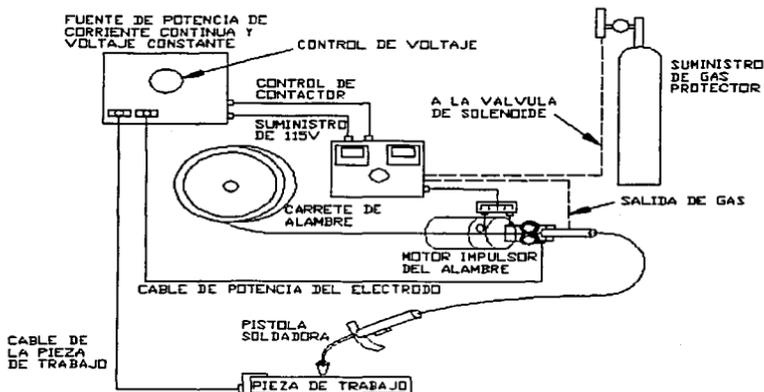
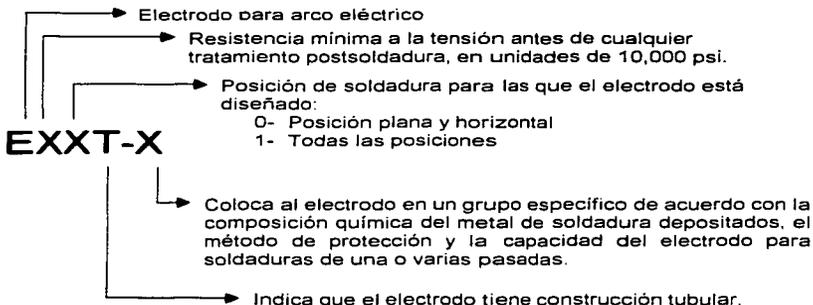


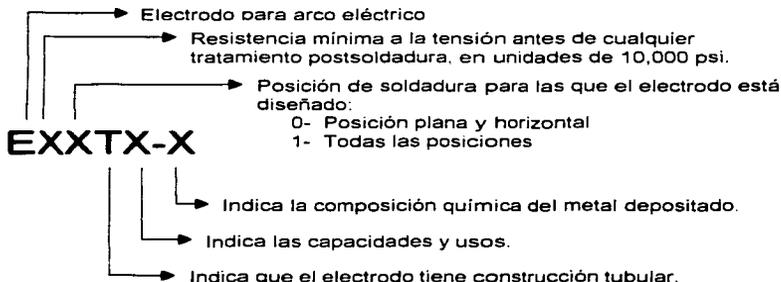
Figura 2. Equipo requerido para el proceso FCAW con suministro de gas protector.

1.2.4. Clasificación de los electrodos

➤ Clasificación de los electrodos de acero dulce para FCAW



➤ Clasificación de los electrodos de acero de baja aleación.



1.2.5. Ventajas

- Aumento de la productividad debido a una alimentación continua del electrodo y alta tasa de deposición.
- Este proceso se adapta a todas las posiciones de soldadura.
- Excelente apariencia del cordón.
- No requiere mucha limpieza previa.
- El empleo de electrodos de autoprotección elimina la necesidad de equipo de gas de protección, soportando movimientos bruscos de aire en construcciones exteriores.
- La composición química del núcleo fundente mejora las cualidades metalúrgicas de la soldadura.
- Resistencia al agrietamiento o fractura.

Desventajas

- Su uso está limitado a metales ferrosos y aleaciones base níquel.
- El equipo y alambre son más costosos que el proceso SMAW.
- El proceso produce una cubierta de escoria.
- Cuando se utiliza el equipo de protección gaseoso, se tienen que evitar corrientes de viento muy fuertes.
- Se genera mayor cantidad de humos y vapores.
- El equipo requiere mayor mantenimiento que el proceso SMAW.

1.3. Soldadura de arco eléctrico abierto con alambre sólido y gas de protección (GMAW: Gas-Shielded Metal Arc Welding)

1.3.1. Descripción del proceso

También conocido como MIG, utiliza un electrodo sólido continuo como metal de aporte. El electrodo es alimentado en forma constante.

Este es un proceso de arco abierto donde el electrodo inicia y mantiene el arco eléctrico. Además, se requiere de un gas de protección exterior (helio, argón, dióxido de carbono, o una mezcla de alguno de estos gases) para evitar que el depósito de soldadura se contamine con componentes de la atmósfera.

1.3.2. Equipo

Este proceso está constituido de los siguientes componentes (ver figura 3):

- Fuente de poder: está diseñada para suministrar un voltaje constante.
- Alimentador de alambre: es un motor de velocidad constante.
- Pistola de soldar: por medio del gatillo en la pistola se controlan los tres dispositivos siguientes:
 - Energiza al alimentador (iniciando la alimentación del alambre).
 - Energiza la válvula de control de gas (iniciando el flujo de gas).
 - Energiza los bornes de salida de la fuente (energizando el electrodo).

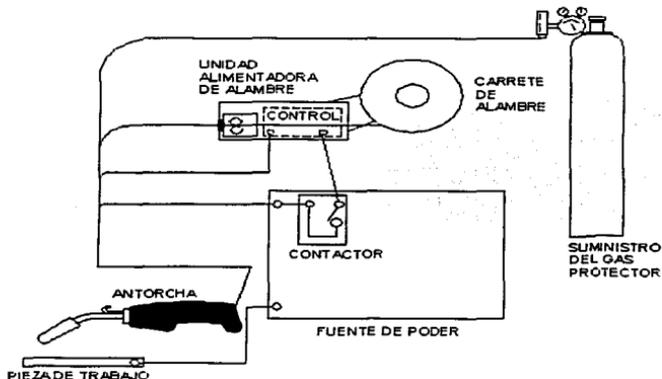


Figura 3. Equipo básico para el proceso GMAW.

1.3.3. Tipos de transferencias

La transferencia de metal con el proceso GMAW se realiza por dos de los siguientes métodos:

- **Transferencia en corto circuito** (ver la figura 4): Esta transferencia utiliza bajas corrientes, bajos voltajes y electrodos delgados, características necesarias para soldar secciones delgadas en cualquier posición de aplicación. La penetración es baja y se debe establecer una buena técnica para poder realizar cordones gruesos. El electrodo se alimenta a una velocidad tan alta que la punta fundida periódicamente estará en contacto con el chorro de soldadura, en este lapso el arco se encuentra extinguido. La transferencia se realiza cuando se inicia el periodo de corto circuito. El electrodo hace contacto con el charco fundido sobre la pieza de trabajo, progresando en el reencendido del arco, continuando con un periodo de arco y terminando con la extinción del arco cuando el metal fundido en la punta del electrodo toca el charco fundido. El metal es transferido durante el periodo de corto circuito.
- **Transferencia por rocío**: los electrodos utilizados en este proceso son de mayor diámetro que los utilizados en la transferencia en corto circuito, además, produce una gran cantidad de calor, dando altas deposiciones, pero requiere de una alta densidad de corriente. Esta transferencia es recomendada para espesores de 1/8".

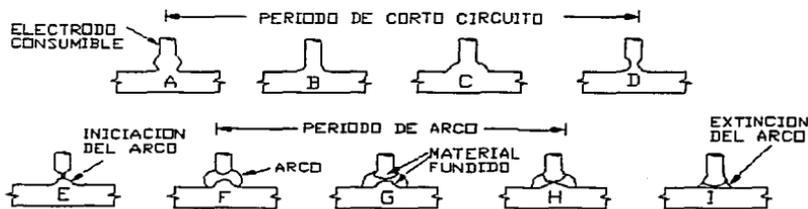


Figura 4. Ciclo de corto circuito en el proceso SMAW.

La transferencia por rocío puede ser subdividida en dos categorías:

- a) **Transferencia de rocío axial** (el gas protector es 80% Argón): el metal es depositado a través del arco en forma de gotas o menores al diámetro del electrodo. Las gotas se dirigen del electrodo al charco de soldadura en forma axial, en línea recta. A intensidades pequeñas de corriente la gota aumenta de tamaño y la frecuencia de las gotas disminuye.

- b) **Transferencia globular** (el gas protector es dióxido de carbono o helio): la transferencia del material de aporte se realiza en forma de gotas irregulares provocando una gran cantidad de salpicadura y generando un cordón de aspecto áspero pero con una penetración profunda.

1.3.4. Gases de protección

Los gases de protección en este proceso juegan un papel importante, pues, a través de ellos, además de evitar la contaminación con agentes atmosféricos (oxígeno o nitrógeno), podemos manipular las propiedades metalúrgicas de la soldadura, así como también manipular las características del arco eléctrico.

A continuación se presentan algunas de las características y aplicaciones de los gases más comúnmente usados para el proceso GMAW:

- ◆ Dióxido de carbono:
 - Gas reactivo.
 - Utilizado para transferencia en corto circuito.
 - Bajo costo.
 - Mejor penetración.
 - Utilizado para soldar aceros al carbono y baja aleación.
 - Arco estable con salpicadura.
 - Permite soldar fuera de posición.

- ◆ Argón.

Es un gas inerte y generalmente no se utiliza al 100% como gas de protección, se le agrega dióxido de carbono u oxígeno para estabilizar el arco

a) Una mezcla de argón con 20 al 50% de dióxido de carbono es utilizada en la transferencia de corto circuito, dando buena apariencia al cordón y útil para soldar en todas posiciones.

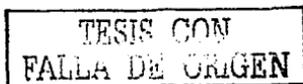
b) Una mezcla de argón con 3 al 10% de dióxido de carbono o 1 a 5% de oxígeno, es utilizada en la transferencia tipo rocío axial, presentado una buena apariencia de cordón con mínima salpicadura.

1.3.5. Ventajas

- ◆ Altas velocidades de deposición comparadas con el proceso SMAW.
- ◆ Poca o nula presencia de escoria.
- ◆ Buena apariencia del cordón de soldadura.
- ◆ Alto factor de operación.
- ◆ Fácil aplicación de la soldadura.

Desventajas

- ◆ Su aplicación se limita a metales ferrosos, carbón y aluminio.
- ◆ El equipo es más costoso y complejo que el proceso SMAW.
- ◆ Difícil acceso a áreas restringidas.
- ◆ Cuando se utiliza protección gaseosa se deben de evitar fuertes corrientes de aire.



1.4. Arco sumergido (SAW: Submerged Arc Welding)

1.4.1. Descripción del proceso

El rasgo distintivo de la soldadura por arco sumergido es el fundente, el cual cubre el área de soldadura evitando la radiación del arco, chispas, salpicaduras y humos. Además, ayuda a la estabilidad del arco, controla las propiedades mecánicas y químicas del depósito de soldadura final y ayuda a moldear el contorno de la soldadura.

Durante el proceso, el extremo del electrodo continuo se inserta en un montículo de fundente colocado en el área que se va a soldar. Después se enciende el arco y un mecanismo comienza a alimentar el electrodo a una velocidad constante, al mismo tiempo, el fundente es alimentado alrededor del electrodo (ver figura 5).

El calor generado por el arco derrite a parte del fundente, el extremo del alambre, y el metal de trabajo cercano al arco, creando un charco de metal líquido bajo una escoria líquida. El fundente derretido protege al metal fundido de la atmósfera. Es necesario eliminar la escoria antes de efectuar otra pasada de soldadura.

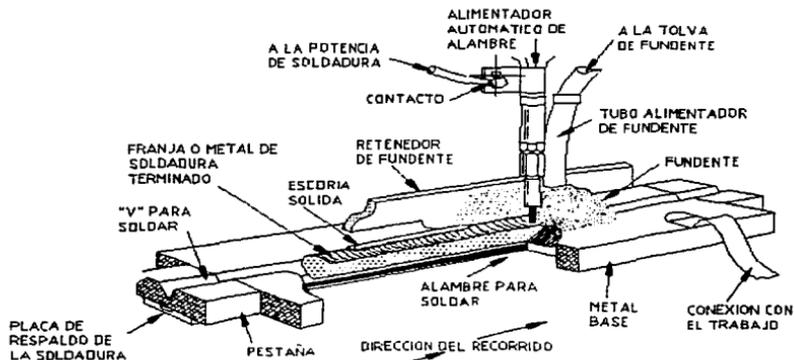


Figura 5. Proceso de soldadura por arco sumergido.

1.4.2. Métodos generales

La soldadura por arco sumergido se puede realizar de tres formas (cuidando que el charco de soldadura y el fundente en la pieza de trabajo permanezca en forma horizontal hasta solidificar):

1. Semiautomática: se utiliza una pistola soldadora manual que suministra el electrodo y el fundente al mismo tiempo. El desplazamiento puede ser manual o impulsado por un motor.
2. Soldadura automática: todo el proceso lo realiza el equipo de soldadura, solo se requiere la vigilancia del operador (ver figura 6).
3. Soldadura mecanizada: el operador inicia, detiene, ajusta la corriente y voltaje y alinea las juntas mientras dura el proceso.

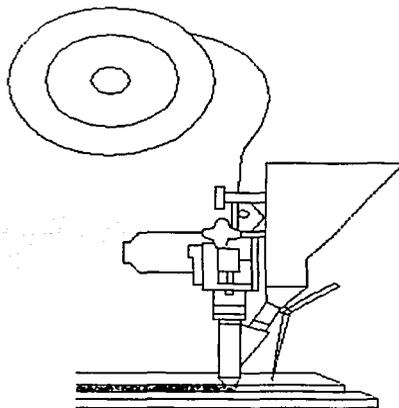


Figura 6. Proceso automático con un alambre y un cabezal (el método más utilizado)

1.4.3. Equipo

El equipo requerido para el proceso SAW es:

- Fuente de poder: existen diferentes tipos de fuente de potencia adecuados para el proceso SAW, por ejemplo: las fuentes de poder de corriente constante pueden ser del tipo transformador rectificador o de motor generador y proporcionar salida de voltaje constante, corriente constante o salida voltaje constante/corriente constante seleccionable. Las fuentes de

potencia de corriente alterna, por lo general, son de tipo transformador y pueden suministrar salida de corriente constante o bien voltaje constante. Puesto que en el proceso SAW se utilizan corrientes elevadas con ciclos de trabajo altos, se recomienda una fuente de poder capaz de suministrar amperajes altos con ciclo de trabajo del 100%.

- Alimentador de alambre.
- Sistema de distribución de fundente.
- Mecanismo de desplazamiento: el desplazamiento de la cabeza de soldadura por arco sumergido (comprende la unidad de motor alimentado y rodillos impulsores del alambre) generalmente se efectúa por medio de un carro tipo tractor, un carro de riel o un manipulador.
- Sistema de control del proceso: son sencillos controles que vigilan el voltaje de arco y ajustan la velocidad de alimentación del alambre para mantener un voltaje constante.
- Recuperador de fundente (opcional): las unidades recuperadoras de fundente están diseñadas para:
 - Retirar el fundente no fusionado y la escoria fusionada detrás de la soldadura.
 - Separar por medio de mallas la escoria fusionada y materiales de tamaño grande.
 - Retirar polvos finos.
 - Recircular el fundente a una tolva para su utilización.
- Equipo de posicionamiento o manipulación (opcional): debido a que el proceso SAW se realiza en una posición horizontal, se utilizan posicionadores y equipo de fijación que ayudan a preparar, ubicar y sostener la pieza de trabajo.

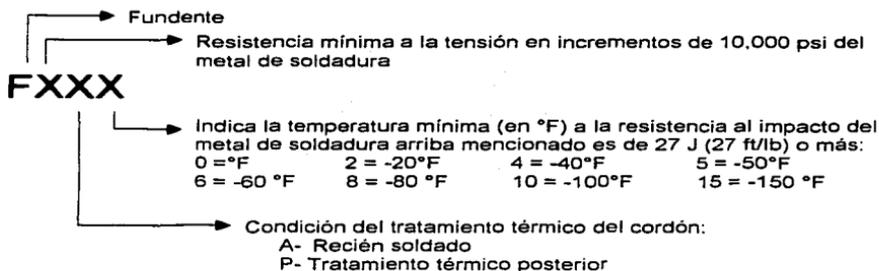
1.4.4. Fundentes

Los fundentes son compuestos minerales granulares mezclados de acuerdo a ciertas formulaciones.

Los fundentes se clasifican según la composición química y en las propiedades mecánicas del metal de soldadura:

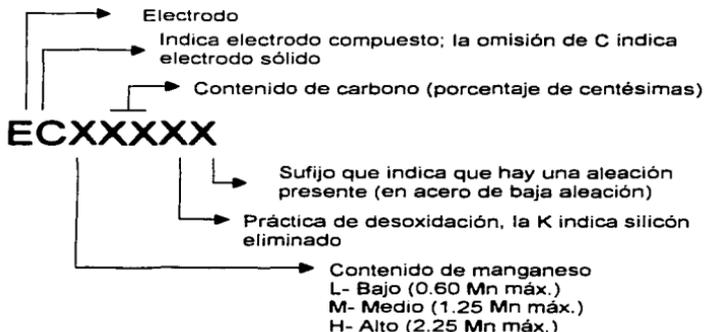
- Fundentes básicos: contienen óxidos de metales que se disocian fácilmente para dar un catión metálico y un anión de oxígeno. Este tipo de fundente contiene gran cantidad de MgO o CaO.
- Fundentes ácidos: contienen óxidos que se disocian para una pequeña extensión. Los fundentes químicamente ácidos contienen SiO₂.
- Fundentes neutros: este fundente no agrega ni sustraen componentes químicos del depósito de soldadura.

La nomenclatura dada a un fundente es la siguiente:



1.4.5. Nomenclatura de los electrodos

El alambre para el proceso SAW se emplea en forma de bobina y está cobreado en la superficie, para evitar la oxidación y proporcionar un buen contacto eléctrico.



El metal base nos ayuda a seleccionar el electrodo, debido a que la mayoría de los elementos aleados se encuentran en el electrodo y pocos o nada en los fundentes.

1.4.6. Metal base

Con el proceso SAW se pueden soldar los siguientes metales:

- ◆ Aceros al carbono hasta 0.29% de carbono.
- ◆ Aceros inoxidable.
- ◆ Aleaciones con base de níquel.
- ◆ Aceros de cromo-molibdeno (0.5 a 9% de cromo y 0.5 a 1% de molibdeno).

1.4.7. Ventajas

- ◆ Altas velocidades de deposición, hasta diez veces más altas que el proceso SMAW.
- ◆ Maneja altas intensidades de corriente.
- ◆ Cordones de soldadura lisos y sin salpicaduras evitando con esto, un maquinado o esmerilado posterior a la soldadura.
- ◆ Alta penetración. Al penetrar más en la junta se minimiza la cantidad de material de aporte.
- ◆ Se pueden utilizar múltiples electrodos.
- ◆ Fácil remoción de escoria.

Desventajas

- ◆ El equipo es costoso.
- ◆ Se utiliza en posición plana y horizontal.
- ◆ Recomendado para espesores gruesos.

1.5. Soldadura de arco de tungsteno con gas (GTAW: Gas Tungsten Arc Welding)

1.5.1. Descripción del proceso

En el proceso GTAW el calor es derivado de un arco eléctrico establecido entre un electrodo de tungsteno no consumible y la pieza a ser soldada. La zona del arco debe estar llena con un gas inerte para protegerla de la oxidación y proporcionar un camino conductor para la corriente, este gas se suministra en forma externa.

Cuando se utilizan bajas corrientes, el cable de poder esta colocado dentro de la manguera conductora de gas, el cual sirve como aislante térmico. Cuando se utilizan corrientes elevadas, la antorcha se refrigera con agua, y requiere de 3 mangueras: una para suministrar agua, una para el regreso del agua y otra para administrar el gas protector.

1.5.2. Principios de operación

Alrededor del 70% del calor es generado en la terminal positiva del arco. La corriente del arco es llevada principalmente por electrones que son emitidos por la terminal negativa (cátodo) y obtenidos por la ionización de los átomos del gas inerte. Estos electrones son atraídos a la terminal positiva (ánodo), donde éstos generan aproximadamente el 70% del calor. Una pequeña porción de la corriente de arco es llevada por los iones positivos del gas, los cuales son atraídos a la terminal negativa, donde éstos generan el 30% del calor del arco. El cátodo pierde calor por la emisión de electrones, esta energía es transferida como calor cuando los electrones se depositan en el ánodo.

1.5.3. Equipo requerido (ver figura 7)

- La fuente de poder proporciona una corriente constante. Este proceso de soldadura puede ser usado con corriente directa o corriente alterna. El voltaje variará según la longitud del arco, forma del electrodo (diámetro y afilado), tipo de gas de protección, movimiento para aportación de material, etc.
- La antorcha es un dispositivo diseñado para: sujetar con firmeza el electrodo, para transmitir la corriente de soldadura al electrodo en el centro de la boquilla y para introducir el gas inerte de protección alrededor del electrodo de tungsteno, y dirigirlo al área del arco (ver figura 8). Las antorchas se evalúan por la capacidad de transmisión de corriente y están construidas de cerámica.

1.5.4. Gases de protección

Cualquier gas inerte podría ser utilizado para el proceso GTAW, pero solo el helio y el argón son usados comercialmente, porque éstos son abundantes y mucho menos costosos que otros gases inertes.

El argón es usado más extensamente que el helio, debido a que:

- Produce un suave y silencioso arco.
- Su gran acción limpiadora en la soldadura de materiales como, el aluminio y el magnesio, en el modo de corriente alterna.
- es menos costoso que el helio.
- es fácil iniciar el arco.

El helio transfiere más calor a la pieza de trabajo que el argón, esta cualidad es ventajosa para unir metales de alta conductividad térmica.

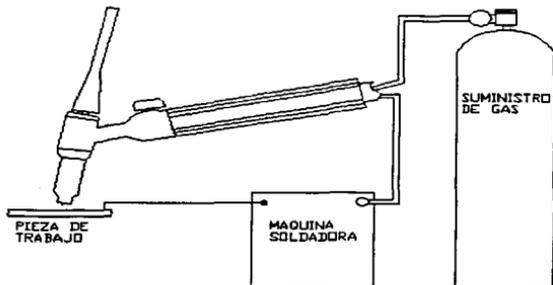


Figura 7. Equipo básico para el proceso GTAW.

1.5.5. Energía para la soldadura

El proceso GTAW puede ser operado en tres modos diferentes:

- a) Electrodo al negativo, con corriente directa: genera gran cantidad de calor en la pieza de trabajo, por esta razón este modo de GTAW es el más usado para soldar la mayoría de los metales. El electrodo al negativo tiene la desventaja de no proveer una acción limpiadora en la superficie de la pieza de trabajo.
- b) Electrodo al positivo, con corriente directa: la acción limpiadora toma lugar en la superficie de trabajo debido al impacto de los iones positivos del gas, esto remueve una delgada capa de óxido. La penetración no es tan grande y utiliza electrodos más gruesos debido al calor intenso generado en el electrodo de tungsteno.
- c) Corriente alterna: este método tiene buena acción limpiadora, el arco se enciende y se apaga dos veces por ciclo, en estas condiciones, el electrodo se hace negativo, el arco se inicia fácilmente, pero cuando el electrodo se hace positivo, el arco puede ser lento, resultando baja corriente.

Para obtener una acción limpiadora, se requiere que, el arco se encienda cuando el electrodo sea positivo.

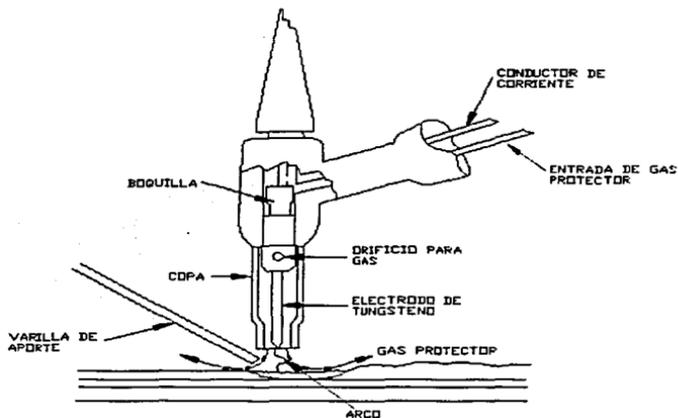


Figura 8. Antorcha para el proceso GTAW.

1.5.6. Electrodo

A continuación se muestra la clasificación (según su composición química) de algunos electrodos de acuerdo con la ANSI-AWS.

Tabla 2. Código de colores para electrodos de tungsteno.

| Clasificación AWS | Color | Elementos básicos | Oxido aleante | Peso nominal de oxido aleante % |
|-------------------|----------|-------------------|--------------------------------|---------------------------------|
| EWP | Verde | Tungsteno puro | Tungsteno puro | ----- |
| EWCe-2 | Naranja | Cerio | CeW ₂ | 2 |
| EWLa-1 | Negro | Lantano | La ₂ O ₃ | 1 |
| EWTh-1 | Amarillo | Torio | ThO ₂ | 1 |
| EWTh-2 | Rojo | Torio | ThO ₂ | 2 |
| EWG | Gris | No especificado | ----- | ----- |
| EWZr-1 | Marrón | Zirconio | ZrO ₂ | 0.25 |

1.5.7. Aplicaciones del proceso GTAW.

- Tubería a alta presión en acero al carbón e inoxidable.
- Mantenimiento y fabricación de tanques contenedores de productos alimenticios.
- Mantenimiento y fabricación de tanques y tubos para petroquímica y química.
- Fabricación de partes automotrices en aluminio.
- Mantenimiento en el área aeronáutica (aluminio y titanio).
- Cordones de presentación en inoxidables, cocinetas.

1.5.8. Ventajas

- ◆ El proceso puede usarse para la mayoría de los metales comunes y sus aleaciones, incluyendo juntas de diferentes metales.
- ◆ Puede ser usado con o sin metal de aporte.
- ◆ Permite el control preciso de las variables de soldadura.
- ◆ La fuente de poder y el metal de aporte se controlan independientemente.
- ◆ Produce soldaduras de buena calidad libre de salpicaduras.
- ◆ Permite un excelente control de penetración del paso de raíz.

Desventajas

- ◆ La velocidad de depósito es menor comparada con un electrodo consumible.
- ◆ En el proceso GTAW el soldador requiere de más destreza y coordinación.
- ◆ El material base se contamina con tungsteno si el electrodo hace contacto con éste.
- ◆ Es difícil proteger la zona soldada en medios con corrientes de aire.
- ◆ Es menos económico que el electrodo consumible para espesores mayores de 3/8".

CAPÍTULO II

CÁLCULO DE LOS COSTOS INVOLUCRADOS EN LA SOLDADURA

CÁLCULO DE LOS COSTOS INVOLUCRADOS EN LA SOLDADURA

2.1. Ventajas de realizar un análisis de costos.

Las razones para realizar un análisis de costos son variadas, pero las más frecuentes son:

- Proveer de los datos necesarios para una propuesta de trabajo.
- Comparar las economías de soldadura con algunos otros métodos de fabricación o manufactura.
- Establecer la información necesaria para hacer una decisión entre diseños simultáneos.
- Evaluar cambios propuestos en los procedimientos, equipo y materiales de soldadura.
- Obtener datos del producto para considerar si es conveniente fabricarlo y venderlo con utilidades.
- Determinar el método, proceso y materiales a emplear en la fabricación de un producto de mejor calidad y menor costo.
- Seleccionar el equipo, procesos y métodos más adecuados para realizar un proyecto específico.
- Comparar las ventajas económicas de competencia de diferentes procesos de soldadura.

En un análisis de costos de soldadura, se encuentran involucradas gran cantidad de personas desde: diseñadores, jefes de taller y otros. Todos ellos toman la mejor decisión, pues el costo de la soldadura afecta el costo total del producto.

El uso de fórmulas, tablas y gráficas parece un poco pesado, pero reducen bastante los problemas para encontrar una solución apta.

Los resultados de un análisis de costos solo serán tan buenos como los datos insertados en las ecuaciones de costos. Algunos de los datos a ser utilizados en las fórmulas serán bajo el criterio del personal, otros datos se basarán en las prácticas de contabilidad de la compañía.

En las fórmulas donde se utilicen datos irreales —velocidades de soldadura, factor operador, etc., las fórmulas de costos darán resultados irreales; por ésto, la persona encargada de realizar el análisis de costos tiene que verificar la validez de los datos antes de aplicarlos en una fórmula de costos. Estos valores pueden ser obtenidos por la larga experiencia de las compañías, obtenida a través de años.

2.2. Factores que afectan los costos de soldadura.

Antes de intentar calcular los costos en soldadura, es deseable tener una idea de los factores que están envueltos en los costos de soldadura. Cada operación necesaria para soldar, antes de unir, son legítimamente cargables a los costos de soldadura, así los siguientes puntos son ejemplo de lo antes dicho:

2.2.1 Preparación del metal

Un aspecto a considerar dentro de los costos es la preparación de la unión, este punto afecta el costo total de la construcción soldada. La preparación implica la limpieza de la pieza, cortarla a la medida y preparar los bordes para la soldadura.

Cuando se han de unir chapas o placas, a menudo se eligen medios mecánicos, como el cepillado, para su preparación.

Para cortar materiales ferríticos, el soplete es el medio más utilizado por ser económico. Existen más medios para cortar, por ejemplo:

- El corte con plasma puede ser usado para la mayoría de los materiales.
- Inyección de polvo de hierro, utilizado para cortar aceros inoxidables, después del corte, es necesario el amolado.

Al utilizar métodos térmicos existe el riesgo de deformación, debido al calentamiento, haciendo difícil cortar en línea recta grandes longitudes o placas estrechas. Para reducir este riesgo, se utiliza una preparación mecánica de los bordes, pero frecuentemente es precedida por una operación de corte con soplete para reducir la placa a dimensiones aproximadas.

2.2.2. Montaje

Es una etapa importante en el proceso de unión. Los trabajos pequeños se pueden colocar en utillajes. Láminas y planchas delgadas se puntean con soldadora. Las grandes estructuras se montan con fuertes respaldos y calzas provisionales.

Estos trabajos son realizados por obreros especializados.

2.2.3. Pre calentamiento

Es un método empleado para minimizar el agrietamiento de las soldaduras en las aleaciones ferrosas que contienen más de 0.25% C.

El precalentamiento es una elevación de la temperatura de toda la zona de la soldadura y, su propósito es producir un enfriamiento más lento y, por tanto, más uniforme.

El calentamiento eléctrico se controla más fácilmente que el calentamiento por gas, pero es más caro; aunque todo precalentamiento es costoso.

2.2.4. Postsoldadura

Las operaciones postsoldadura (como el amolado, tratamiento térmico postsoldadura y verificación) aumentan considerablemente el costo final de soldadura.

Cuando se lleve acabo la verificación habrán rechazos y éstos deben tomarse en cuenta para su valoración. Los defectos están involucrados en la parte económica y también en el tiempo de terminación de un producto, utilizando espacio útil en el taller y retrasando el pago del trabajo.

Los anteriores costos adicionales pueden ser determinados al obtenerlos del personal administrativo. Son valores en que la compañía invierte en tiempo, equipo, materiales, mano de obra, etc., y se representan de la siguiente forma:

Costos adicionales (\$/ft)

En el estudio de costos se consideran tres puntos principales:

- Mano de obra.
- Materiales.
- Gastos indirectos.

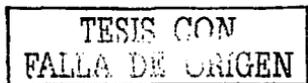
2.3. Factor operador

Durante la realización de la soldadura, el soldador esta ocupado poco tiempo en soldar y el resto de su tiempo lo invierte en actividades improductivas.

Es frecuente que un soldador utilice 1/3 parte de su tiempo saldando, cuando emplea 2/3 de su tiempo se puede considerar como bueno, pero el soldador debe realizar una serie de actividades desde: colocarse los guantes, agarrar el electrodo, colocarlo en el porta-electrodo, colocarse la careta, posicionar el electrodo y encender el arco. Cuando el electrodo se consume, el soldador debe levantarse la careta, retirar el extremo sobrante, retirar la escoria del cráter, colocar otro electrodo y repetir el ciclo. Pero también emplea tiempo para desplazarse de un lugar a otro, tomar descansos, preparar la junta, acoplamientos, preparar montajes, aliviar esfuerzos (si la soldadura lo requiere) y cuando espera mientras recibe instrucciones, o una grúa para mover el trabajo.

Los costos de mano de obra son usualmente los más altos (en algunos casos del 80 al 85%) en el proceso de fabricación y no los costos del material.

El total de horas que el soldador trabaja son siempre más que las horas que suelda, y la porción de horas gastadas en soldar con el total de horas trabajadas es conocido como el factor operador (F.O.).



Para obtener el factor operador se puede utilizar la siguiente ecuación:

$$F.O. = \frac{\text{Tiempo de arco prendido}}{\text{Tiempo total}} \dots (1)$$

Para obtener las piezas elaboradas en una jornada de 8 horas, empleamos la siguiente ecuación:

$$\frac{\text{Unidades Terminadas}}{8 \text{ horas}} = \frac{60}{T_u + T_a} \times 8 = \left[\frac{\text{Unidades}}{\text{Día}} \right] \dots (2)$$

Donde:

T_u = Tiempo en que el arco está encendido (min.)

T_a = Tiempo en que el arco está apagado (min.)

Nota: Los tiempos se toman desde que se comienza hasta que se termina 1 pieza

El resultado que nos proporciona la ecuación (1) es en unidades decimales. Por conveniencia para referirnos al factor operador, la fracción es multiplicada por 100 para expresarla como un porcentaje.

Es deseable tener un factor operador tan alto como sea posible. Esto significa que un alto porcentaje del tiempo del soldador esta siendo usado en soldar. Pero algunas veces resulta engañoso el comparar factores de operación, por ejemplo: en la fabricación de un ensamble en particular usando un procedimiento específico uno podría concluir que un factor operador de 50% podría ser mejor que uno de 40%. Con un factor de 50% el taller podría producir 25 ensamblajes al día, con uno de 40% se ensamblarían 20 piezas. Si se introduce un proceso mecanizado de soldadura en el mismo trabajo, que triplica la velocidad de soldadura, mientras que el tiempo en que el arco se encuentra apagado se mantiene igual, el tiempo de arco encendido debería ser reducido a 3.2 min./ensamble, con lo que el factor operador es de 18%.

La reducción del factor operador en este caso no significa que el número de ensamblajes soldados por día debería caer.

Un incremento en el factor operador no siempre exige un incremento en la producción, depende mucho de la velocidad de arco, debido a la introducción de un proceso mecanizado.

Por lo anterior, podemos establecer que:

Solo es posible comparar factores de operación que están bajo las mismas condiciones.

Una vez que el trabajo está en progreso, el factor operador puede ser determinado.

El promedio de las mediciones hechas a varias estaciones dará un porcentaje más real que una medición hecha a una sola estación.

2.4. Cálculo de costos totales

En muchas situaciones los costos de soldadura pueden ser estimados usando fórmulas detalladas para costos.

Costo total de soldadura = [mano de obra y gastos fijos^{*}] + [costo de consumibles para soldadura] + [poder] (3)

^{*} Includiendo costos adicionales, gastos generales, amortización de la planta y equipo

2.5. Cálculo del metal necesario para las uniones

La base para realizar el cálculo de los costos de los materiales es el determinar el metal depositado en la unión.

El siguiente procedimiento se aplica a todas las soldaduras de arco eléctrico donde se deposita metal.

Los diseños de uniones que se presentan en la tabla 3 se encuentran estandarizados, el área de la sección transversal se puede determinar por cálculos geométricos.

Algunas veces la geometría de la sección transversal de la soldadura es compleja, se recomienda dividirla en áreas más simples.

En la siguiente tabla (3), se proporciona el peso teórico del depósito de soldadura con relación al diseño y al espesor.

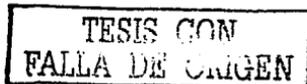


Tabla 3. Peso de metal de soldadura (libras por pie de junta).

| d o r | | | | | | | | | | | |
|---------|-------|------|-------|------|------|------|-------|------|-------|------|------|
| | 1/16" | 1/8" | 3/16" | 1/4" | 3/8" | 1/2" | 1/16" | 1/8" | 3/16" | 1/4" | |
| 1/8 | 027 | 053 | 080 | 106 | 159 | 213 | | | | | 021 |
| 3/16 | 040 | 080 | 120 | 159 | 239 | 319 | 027 | | | | 063 |
| 1/4 | 053 | 106 | 159 | 213 | 319 | 425 | 036 | | | | 188 |
| 5/16 | 066 | 159 | 199 | 266 | 368 | 531 | 044 | | | | 334 |
| 3/8 | 080 | 159 | 239 | 319 | 478 | 638 | 053 | 106 | | | 751 |
| 7/16 | 093 | 186 | 279 | 372 | 558 | 744 | 062 | 124 | 186 | | 1.02 |
| 1/2 | 106 | 213 | 319 | 425 | 636 | 850 | 071 | 142 | 213 | | 1.34 |
| 9/16 | 120 | 239 | 359 | 478 | 717 | 956 | 080 | 159 | 239 | | 522 |
| 5/8 | 133 | 266 | 398 | 531 | 797 | 106 | 089 | 177 | 266 | 354 | |
| 11/16 | 146 | 292 | 438 | 584 | 877 | 117 | 097 | 195 | 292 | 390 | |
| 3/4 | 159 | 319 | 478 | 638 | 956 | 128 | 106 | 213 | 319 | 465 | |
| 13/16 | 173 | 345 | 518 | 691 | 104 | 138 | 115 | 230 | 345 | 480 | |
| 7/8 | 186 | 372 | 568 | 744 | 112 | 149 | 124 | 248 | 372 | 496 | |
| 15/16 | 199 | 398 | 598 | 797 | 120 | 159 | 133 | 266 | 398 | 531 | |
| 1 | 213 | 425 | 638 | 850 | 128 | 170 | 142 | 283 | 425 | 567 | |
| 1-1/16 | 226 | 452 | 677 | 903 | 135 | 181 | 151 | 301 | 452 | 602 | |
| 1-1/8 | 239 | 478 | 717 | 956 | 143 | 191 | 159 | 319 | 478 | 636 | |
| 1-3/16 | 252 | 505 | 757 | 101 | 151 | 202 | 168 | 336 | 505 | 673 | |
| 1-1/4 | 266 | 531 | 797 | 106 | 159 | 213 | 177 | 354 | 531 | 708 | |
| 1-5/16 | 279 | 558 | 837 | 112 | 167 | 223 | 186 | 372 | 558 | 744 | |
| 1-3/8 | 302 | 584 | 877 | 117 | 175 | 234 | 195 | 390 | 584 | 779 | |
| 1-7/16 | 305 | 611 | 916 | 122 | 183 | 244 | 204 | 407 | 611 | 815 | |
| 1-1/2 | 319 | 638 | 956 | 128 | 191 | 255 | 213 | 425 | 638 | 850 | |
| 1-9/16 | 332 | 664 | 996 | 133 | 199 | 266 | 221 | 443 | 664 | 885 | |
| 1-5/8 | 345 | 691 | 104 | 138 | 207 | 276 | 230 | 460 | 691 | 921 | |
| 1-11/16 | 359 | 717 | 108 | 143 | 215 | 287 | 239 | 478 | 717 | 956 | |
| 1-3/4 | 372 | 744 | 112 | 149 | 223 | 298 | 248 | 496 | 744 | 992 | |
| 1-13/16 | 385 | 770 | 116 | 154 | 231 | 308 | 257 | 514 | 770 | 103 | |
| 1-7/8 | 398 | 797 | 120 | 159 | 239 | 319 | 266 | 531 | 797 | 106 | |
| 1-15/16 | 412 | 823 | 124 | 165 | 248 | 329 | 274 | 549 | 823 | 110 | |
| 2 | 425 | 850 | 128 | 170 | 255 | 340 | 283 | 567 | 850 | 113 | |
| 2-1/8 | 452 | 903 | 135 | 181 | 271 | 361 | 301 | 602 | 903 | 120 | |
| 2-1/4 | 478 | 956 | 143 | 191 | 287 | 383 | 319 | 638 | 956 | 128 | |
| 2-3/8 | 505 | 101 | 151 | 202 | 308 | 404 | 336 | 673 | 101 | 135 | |
| 2-1/2 | 531 | 106 | 159 | 213 | 319 | 425 | 354 | 708 | 106 | 142 | |
| 2-5/8 | 558 | 112 | 167 | 223 | 335 | 446 | 372 | 744 | 112 | 149 | |
| 2-3/4 | 584 | 117 | 175 | 234 | 351 | 468 | 390 | 779 | 117 | 156 | |
| 2-7/8 | 611 | 122 | 183 | 244 | 367 | 489 | 407 | 815 | 122 | 163 | |
| 3 | 638 | 128 | 191 | 255 | 385 | 511 | 425 | 850 | 128 | 170 | |
| 3-1/8 | 664 | 133 | 199 | 266 | 398 | 531 | 443 | 885 | 133 | 177 | |
| 3-1/4 | 691 | 138 | 207 | 276 | 414 | 553 | 460 | 921 | 138 | 184 | |
| 3-3/8 | 717 | 143 | 215 | 287 | 430 | 574 | 478 | 956 | 143 | 191 | |
| 3-1/2 | 744 | 149 | 223 | 298 | 446 | 595 | 496 | 992 | 149 | 198 | |
| 3-5/8 | 770 | 154 | 231 | 308 | 462 | 616 | 514 | 103 | 154 | 205 | |
| 3-3/4 | 797 | 159 | 239 | 319 | 478 | 638 | 531 | 106 | 159 | 213 | |
| 3-7/8 | 823 | 165 | 247 | 329 | 494 | 659 | 549 | 110 | 165 | 220 | |
| 4 | 850 | 170 | 255 | 340 | 510 | 680 | 567 | 113 | 170 | 227 | |
| 4-1/8 | 877 | 175 | 263 | 351 | 525 | 701 | 584 | 117 | 175 | 234 | |
| 4-1/4 | 903 | 181 | 271 | 361 | 542 | 723 | 602 | 120 | 181 | 241 | |
| 4-3/8 | 930 | 186 | 279 | 372 | 558 | 744 | 620 | 124 | 186 | 248 | |
| 4-1/2 | 956 | 191 | 287 | 383 | 574 | 765 | 638 | 128 | 191 | 255 | |
| 4-5/8 | 983 | 197 | 295 | 393 | 590 | 786 | 655 | 131 | 197 | 262 | |
| 4-3/4 | 101 | 202 | 303 | 404 | 606 | 808 | 673 | 135 | 202 | 269 | |
| 4-7/8 | 104 | 207 | 311 | 414 | 622 | 829 | 691 | 138 | 207 | 276 | |
| 5 | 106 | 213 | 319 | 425 | 638 | 850 | 708 | 142 | 213 | 283 | |

Tabla 3 Continuación. Peso de metal de soldadura (libras por pie de junta).

| d | 14° | 20° | 30° | 45° | 60° | 70° |
|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1/16 | .0095 | .0094 | .014 | .022 | .031 | .037 |
| 1/8 | .015 | .021 | .032 | .050 | .066 | .084 |
| 3/16 | .026 | .037 | .057 | .088 | .123 | .149 |
| 1/4 | .041 | .059 | .089 | .138 | .192 | .232 |
| 5/16 | .059 | .084 | .128 | .198 | .276 | .336 |
| 3/8 | .080 | .115 | .174 | .270 | .376 | .456 |
| 7/16 | .104 | .150 | .228 | .352 | .491 | .596 |
| 1/2 | .132 | .190 | .288 | .446 | .621 | .753 |
| 9/16 | .163 | .234 | .356 | .550 | .767 | .930 |
| 5/8 | .197 | .283 | .431 | .656 | .928 | 1.13 |
| 1 1/16 | .235 | .337 | .512 | .792 | 1.10 | 1.34 |
| 3/4 | .276 | .396 | .601 | .900 | 1.30 | 1.57 |
| 13/16 | .320 | .459 | .698 | 1.06 | 1.50 | 1.82 |
| 7/8 | .367 | .527 | .801 | 1.24 | 1.73 | 2.09 |
| 15/16 | .417 | .600 | .911 | 1.41 | 1.96 | 2.36 |
| 1 | .471 | .677 | 1.03 | 1.59 | 2.22 | 2.71 |
| 1-1/8 | .528 | .759 | 1.15 | 1.78 | 2.48 | 3.07 |
| 1-3/16 | .589 | .845 | 1.28 | 1.99 | 2.77 | 3.42 |
| 1-1/4 | .652 | .937 | 1.42 | 2.20 | 3.07 | 3.79 |
| 1-5/16 | .719 | 1.03 | 1.57 | 2.43 | 3.38 | 4.06 |
| 1-3/8 | .789 | 1.13 | 1.72 | 2.66 | 3.71 | 4.42 |
| 1-7/16 | .863 | 1.24 | 1.88 | 2.91 | 4.06 | 4.79 |
| 1-1/2 | .939 | 1.35 | 2.05 | 3.17 | 4.42 | 5.18 |
| 1-9/16 | 1.02 | 1.46 | 2.22 | 3.44 | 4.79 | 5.59 |
| 1-5/8 | 1.10 | 1.58 | 2.41 | 3.72 | 5.18 | 6.01 |
| 1-11/16 | 1.19 | 1.71 | 2.59 | 4.01 | 5.59 | 6.45 |
| 1-3/4 | 1.28 | 1.84 | 2.79 | 4.31 | 6.01 | 6.90 |
| 1-13/16 | 1.37 | 1.97 | 2.96 | 4.63 | 6.45 | 7.37 |
| 1-7/8 | 1.47 | 2.11 | 3.20 | 4.95 | 6.90 | 7.85 |
| 1-15/16 | 1.57 | 2.25 | 3.42 | 5.29 | 7.37 | 8.36 |
| 2 | 1.67 | 2.40 | 3.64 | 5.63 | 7.85 | 8.86 |
| 2-1/8 | 1.89 | 2.71 | 4.11 | 6.36 | 8.36 | 9.44 |
| 2-1/4 | 2.11 | 3.04 | 4.31 | 7.13 | 9.44 | 10.57 |
| 2-3/8 | 2.35 | 3.38 | 5.14 | 7.94 | 11.07 | 12.27 |
| 2-1/2 | 2.61 | 3.75 | 5.69 | 8.80 | 12.27 | 13.53 |
| 2-5/8 | 2.88 | 4.13 | 6.24 | 9.70 | 13.53 | 14.85 |
| 2-3/4 | 3.16 | 4.53 | 6.89 | 10.65 | 14.85 | 16.23 |
| 2-7/8 | 3.45 | 4.96 | 7.53 | 11.64 | 16.23 | 17.67 |
| 3 | 3.76 | 5.40 | 8.20 | 12.97 | 17.67 | 19.17 |
| 3-1/8 | 4.06 | 5.85 | 8.90 | 13.78 | 19.17 | 20.73 |
| 3-1/4 | 4.41 | 6.33 | 9.62 | 14.88 | 20.73 | 22.36 |
| 3-3/8 | 4.76 | 6.83 | 10.38 | 16.04 | 22.36 | 24.05 |
| 3-1/2 | 5.11 | 7.34 | 11.16 | 17.25 | 24.05 | 25.79 |
| 3-5/8 | 5.49 | 7.88 | 11.97 | 18.51 | 25.79 | 27.57 |
| 3-3/4 | 5.87 | 8.43 | 12.81 | 19.80 | 27.57 | 29.48 |
| 3-7/8 | 6.27 | 9.00 | 13.68 | 21.15 | 29.48 | 31.41 |
| 4 | 6.68 | 9.59 | 14.58 | 22.53 | 31.41 | 33.40 |
| 4-1/8 | 7.10 | 10.20 | 15.50 | 23.96 | 33.40 | 35.46 |
| 4-1/4 | 7.54 | 10.83 | 16.46 | 25.44 | 35.46 | 37.57 |
| 4-3/8 | 7.99 | 11.48 | 17.44 | 26.96 | 37.57 | 39.75 |
| 4-1/2 | 8.45 | 12.14 | 18.45 | 28.52 | 39.75 | 41.99 |
| 4-5/8 | 8.93 | 12.82 | 19.49 | 30.12 | 41.99 | 44.29 |
| 4-3/4 | 9.42 | 13.53 | 20.56 | 31.78 | 44.29 | 46.65 |
| 4-7/8 | 9.92 | 14.25 | 21.65 | 33.47 | 46.65 | 49.07 |
| 5 | 10.44 | 14.99 | 22.78 | 35.21 | 49.07 | |

Tabla 3 Continuación. Peso de metal de soldadura (libras por pie de junta).

| W o d |  |  |  |  |  |  |
|-------------|---|---|---|---|---|---|
| 1/8 | | | | .032 | .041 | .036 |
| 3/16 | .041 | .045 | .053 | .072 | .063 | .061 |
| 1/4 | .062 | .100 | .120 | .129 | .166 | .146 |
| 5/16 | .163 | .178 | .213 | .201 | .258 | .226 |
| 3/8 | .256 | .278 | .332 | .289 | .371 | .325 |
| 7/16 | .367 | .401 | .478 | .364 | .505 | .443 |
| 1/2 | .499 | .548 | .651 | .514 | .659 | .578 |
| 9/16 | .652 | .713 | .850 | .651 | .834 | .732 |
| 5/8 | .825 | .903 | 1.06 | .804 | 1.03 | .904 |
| 11/16 | 1.02 | 1.11 | 1.33 | .972 | 1.25 | 1.09 |
| 3/4 | 1.23 | 1.36 | 1.61 | 1.16 | 1.48 | 1.30 |
| 13/16 | 1.47 | 1.60 | 1.91 | | | |
| 7/8 | 1.72 | 1.88 | 2.24 | 1.57 | 2.02 | 1.77 |
| 15/16 | 2.00 | 2.18 | 2.60 | | | |
| 1 | 2.29 | 2.51 | 2.99 | 2.06 | 2.64 | 2.31 |
| 1-1/16 | 2.61 | 2.85 | 3.40 | | | |
| 1-1/8 | | | | 2.60 | 3.34 | 2.93 |
| 1-1/4 | | | | 3.21 | 4.12 | 3.61 |
| 1-3/8 | | | | 3.89 | 4.99 | 4.37 |
| 1-1/2 | | | | 4.63 | 5.93 | |
| 1-5/8 | | | | 5.43 | 6.96 | 6.11 |
| 1-3/4 | | | | 6.30 | 8.08 | 7.09 |
| 1-7/8 | | | | 7.23 | 9.27 | 8.13 |
| 2 | | | | 8.23 | 10.55 | 9.25 |
| 2-1/8 | | | | 9.29 | 11.91 | 10.45 |
| 2-1/4 | | | | 10.41 | 13.36 | 11.71 |
| 2-3/8 | | | | 11.60 | 14.87 | 13.05 |
| 2-1/2 | | | | 12.86 | 16.46 | 14.46 |
| 2-5/8 | | | | 14.17 | 18.17 | 15.94 |
| 2-3/4 | | | | 15.56 | 19.94 | 17.49 |
| 2-7/8 | | | | 17.00 | 21.80 | 19.12 |
| 3 | | | | 18.51 | 23.73 | 20.82 |
| 3-1/4 | | | | 21.73 | 27.85 | 24.43 |
| 3-1/2 | | | | 25.20 | 32.30 | 28.24 |
| 3-3/4 | | | | 28.93 | 37.06 | 32.53 |
| 4 | | | | 32.91 | 42.19 | 37.01 |

La tabla anterior, muestra como se relacionan los costos de soldadura con los diseños de unión y la cantidad de metal necesario.

El área (in²) de la sección transversal multiplicada por la longitud (in) de la soldadura nos proporciona el volumen (in³) del diseño de la soldadura. El volumen multiplicado por 0.283 lb/in³, que es la densidad del acero, da como resultado el peso de la soldadura (ver ecuación 4):

$$\text{peso del metal requerido (lb)} = \left(\begin{array}{c} \text{área de la} \\ \text{sección} \\ \text{transversal} \end{array} \right) \left(\begin{array}{c} \text{longitud} \\ \text{de la} \\ \text{soldadura} \end{array} \right) \left(\begin{array}{c} \text{densidad} \\ \text{del} \\ \text{acero} \end{array} \right) \dots (4)$$

En las soldaduras con bisel es conveniente el incrementar un 10% en el peso teórico de la soldadura, debido a que el soldador generalmente hace la soldadura ligeramente sobredimensionada (este exceso sirve como refuerzo). Esta cantidad excedente de soldadura se debe mantener al mínimo porque aumenta la cantidad de metal de soldadura necesario.

2.6. Electrodo

En la mayoría de los procesos de soldadura con arco eléctrico, al ejecutar la soldadura, no todo el metal de aporte se deposita en la junta. Existen pérdidas debidas a:

- Extremos no quemados.
- Electrodo desperdiciados.

El rendimiento general del metal de aporte, es la relación de peso depositado del metal de soldadura dividido entre el peso bruto del metal de aporte que se usa, como se muestra en la siguiente ecuación:

$$E_1 = \frac{\text{rendimiento general del metal de soldadura}}{\text{Peso del metal de soldadura depositado (lb)}} \times \frac{\text{Peso neto del metal de aporte que se consume o usa (lb)}}{\text{Peso neto del metal de aporte que se consume o usa (lb)}} \times (100) \dots (5)$$

- El electrodo recubierto tiene un rendimiento mínimo debido a los extremos no quemados del electrodo.
- El electrodo macizo y desnudo tiene un alto rendimiento general debido a que los extremos del alambre en el carrete se descartan, pues el peso de éstos es insignificante comparados con el peso total del carrete.

La tabla 4 indica el consumo de electrodos para una costura de 40 pulgadas realizadas sobre una pieza de acero suave, mostrando el rendimiento general de electrodos recubiertos.

Tabla 4. Metal depositado por 110 lb. de electrodos

| Clasificación del electrodo (AWS) | Diámetro del electrodo (pulgadas) | | | | |
|-----------------------------------|-----------------------------------|-------|-------|-------|-------|
| | 1/8 | 5/32 | 3/16 | 7/32 | 1/4 |
| E6010 | 66-71 | 66-71 | 71-73 | 73-75 | 73-75 |
| E6011 | 66-71 | 68-71 | 68-71 | 73-75 | 73-75 |
| E6012 | 66 | 68 | 68 | 71 | 73-75 |
| E6013 | 66 | 68 | 68 | 68 | 68 |
| E3024 | 60 | 60 | 60 | 66 | 66 |
| E7018 | 66-71 | 66-71 | 68-71 | 71 | 71-73 |

También existen pérdidas debidas a:

- Salpicadura.
- Creación de escoria.

Estas pérdidas son consideradas en la eficiencia de deposición,

$$E_2 = \text{eficiencia de deposición (\%)} = \frac{\text{Peso del metal de soldadura depositado (lb)}}{\text{peso del electrodo fundido (lb)}} \times (100) \dots (6)$$

La eficiencia de deposición en electrodos recubiertos es más alta cuan mayor es el diámetro de la varilla. La relación real debe determinarse investigando unos cuantos trabajos ya realizados.

El electrodo macizo y desnudo tiene la mayor eficiencia de deposición porque las pérdidas son mínimas, pues genera poca o nula escoria.

La pérdida por salpicadura se relaciona con el proceso y la técnica de soldadura, por ejemplo:

- ♦ En el proceso de arco sumergido, no existe salpicadura, por lo tanto, se deposita casi todo el metal en la soldadura, es decir, la velocidad con que se funde el electrodo es igual a la tasa de deposición.
- ♦ En el proceso GMAW existe una pérdida aproximada del 5%.
- ♦ En el proceso FCAW existe una pérdida del 10 al 20%, esta pérdida ocurre debido a que el fundente dentro del alambre tubular se pierde como escoria. Esta pérdida depende del tipo y tamaño del electrodo con núcleo fundente. Además, existe una pérdida de un 5% debidas a salpicaduras.

El rendimiento de los electrodos puede ser tomado con los siguientes valores de la tabla 5:

Tabla 5. Rendimiento general de los electrodos para los distintos procesos de soldadura.

| Proceso | Rendimiento (%) |
|---------------------------|-----------------|
| GTAW | 100 |
| SAW | 95 – 100 |
| GMAW (Spray) | 97 |
| GMAW (CO ₂) | 93 |
| FCAW (Autoprotegido) | 83 |
| FCAW (Protección Gaseosa) | 86 |
| SMAW 14" | 55 – 65 |
| SMAW 18" | 60 – 70 |

2.7. Costo de consumibles

La siguiente ecuación aplica:

$$\text{Costo de consumibles para soldadura} = \left(\begin{array}{l} \text{Electrodo} \\ \text{consumido por} \\ \text{pie de soldadura} \end{array} \right) \left(\begin{array}{l} \text{Pies} \\ \text{totales} \\ \text{de soldadura} \end{array} \right) \left(\begin{array}{l} \text{Precio} \\ \text{del} \\ \text{electrodo} \end{array} \right) + \left(\begin{array}{l} \text{Materiales protectores} \\ \text{usados por libra de} \\ \text{soldadura} \end{array} \right) \left(\begin{array}{l} \text{Libras totales} \\ \text{de electrodo} \\ \text{consumido} \end{array} \right) \left(\begin{array}{l} \text{Precio de} \\ \text{los materiales} \\ \text{protectores} \end{array} \right) \dots (7)$$

2.8. Costo del electrodo

Existen diferentes formas de calcular los costos del electrodo, debido a que en muchas situaciones de soldadura existen datos no conocidos, así una compilación de fórmulas para costos de soldadura puede ser de utilidad para seleccionar la que más acomode a nuestras necesidades.

Algunos de los datos requeridos en las fórmulas pueden estar presentes o pueden ser establecidos por registros de la planta, tomando como base la experiencia y experimentación. Otros valores son obtenidos de procedimientos estandarizados de soldadura o de literatura de manufactura.

La forma más común de calcular el costo del electrodo se basa en la longitud de soldadura.

$$\text{costo} = \frac{(3.4)(A_w)(E)}{E_1} \dots (8)$$

Donde:

A_w = Área de la sección transversal de la soldadura (in^2).

E = Costo del electrodo (\$/lb).

E_1 = Rendimiento general del metal de soldadura (ver ecuación 5 o utilizar tabla 5).

Con la siguiente ecuación, se obtiene el costo por unidad de longitud, pero emplea la tasa de deposición (más adelante será explicado este término) específica para cada electrodo en particular (ver tablas 6a - 6j).

$$\text{costo} = \frac{(D_n)(E)}{\text{pie} = (5)(S)(E_1)} \dots (9)$$

Donde:

D_n = Libras de metal de soldadura depositada por hora con un F.O. de 100% (lb/hr)

= Tasa de deposición

S = Pulgadas de soldadura depositadas por minuto o velocidad de avance, más adelante será explicado este término.

Nota: Las ecuaciones (8) y (9) se aplican al electrodo manual.

Tablas 6a - 6j. **Tasa de deposición para electrodos manuales (lbs/hr)**

Tabla 6a. Electrodo E6010

| Diámetro | CORRIENTE (Amps.) | | | | | | | | | | | |
|----------|-------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| | 100 | 150 | 200 | 250 | 300 | 350 | 400 | 450 | 500 | 550 | 600 | 650 |
| 1/8" | 2.08 | 2.28 | | | | | | | | | | |
| 5/32" | 3.07 | 3.17 | 3.27 | | | | | | | | | |
| 3/16" | | 3.93 | 4.05 | 4.17 | 4.29 | | | | | | | |
| 7/32" | | 4.10 | 4.30 | 4.50 | 4.70 | 4.90 | 5.10 | | | | | |
| 1/4" | | | 4.57 | 4.91 | 5.24 | 5.58 | 5.91 | 6.25 | 6.58 | 6.92 | | |
| 5/16" | | | | 6.73 | 7.19 | 7.65 | 8.11 | 8.57 | 9.03 | 9.49 | 9.95 | 10.41 |

Tabla 6b. Electrodo E6011

| Varios diámetros | CORRIENTE (Amps.) | | | | | | | | | |
|------------------|-------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|--|
| | 40 | 60 | 80 | 100 | 120 | 140 | 160 | 180 | 190 | |
| | 1.365 | 1.831 | 2.297 | 2.763 | 3.229 | 3.695 | 4.161 | 4.627 | 4.86 | |

Tabla 6c. Electrodo E6012

| Varios diámetros | CORRIENTE (Amps.) | | | | | | | | |
|------------------|-------------------|------|------|------|------|-----|------|------|-------|
| | 40 | 60 | 80 | 100 | 120 | 140 | 180 | 190 | |
| | 0.45 | 0.84 | 1.23 | 1.62 | 2.01 | 2.4 | 2.79 | 3.18 | 3.375 |

Tabla 6d. Electrodo E6013

| Varios diámetros | CORRIENTE (Amps.) | | | | | | | | | | |
|------------------|-------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 60 | 80 | 100 | 120 | 140 | 160 | 180 | 200 | 220 | 240 | 260 |
| | 1.07 | 1.44 | 1.81 | 2.18 | 2.55 | 2.91 | 3.28 | 3.65 | 4.02 | 4.39 | 4.75 |

Tabla 6e. Electrodo E7014

| Varios diámetros | CORRIENTE (Amps.) | | | | | | | | |
|------------------|-------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 60 | 80 | 100 | 120 | 140 | 160 | 200 | 220 | |
| | 0.41 | 0.92 | 1.43 | 1.93 | 2.44 | 2.94 | 3.45 | 3.96 | 4.46 |

Tabla 6f. Electrodo E7018

| Diámetro | CORRIENTE (Amps.) | | | | | | | | | | | |
|----------|-------------------|-------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 100 | 150 | 200 | 250 | 300 | 350 | 400 | 450 | 500 | 550 | 600 | 650 |
| 1/8" | 2.20 | 2.80 | | | | | | | | | | |
| 5/32" | | 3.41 | 3.83 | | | | | | | | | |
| 3/16" | | 4.00 | 4.80 | 5.60 | | | | | | | | |
| 7/32" | | 5.113 | 5.94 | 6.76 | 7.59 | 8.41 | | | | | | |
| 1/4" | | | 6.20 | 7.05 | 7.90 | 8.75 | 9.60 | 10.45 | 11.30 | 12.15 | | |
| 5/16" | | | 7.51 | 8.35 | 9.20 | 10.04 | 10.89 | 11.73 | 12.58 | 13.42 | 14.27 | 15.11 |

Electrodos Con Alta Deposición (lbs/hr)

Tabla 6g. Electrodo E6027

| Varios diámetros | CORRIENTE (Amps.) | | | | | | | |
|------------------|-------------------|-----|------|------|------|------|------|-----|
| | 140 | 160 | 180 | 200 | 220 | 240 | 260 | 280 |
| | 3.24 | 4.1 | 4.96 | 5.81 | 6.67 | 7.53 | 8.39 | |

Tabla 6h. Electrodo E7024

| Varios diámetros | CORRIENTE (Amps.) | | | | | | | | |
|------------------|-------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 140 | 160 | 180 | 200 | 220 | 240 | 260 | 280 | 300 |
| | 4.24 | 4.92 | 5.61 | 6.29 | 6.98 | 7.67 | 8.35 | 9.04 | 9.72 |

Tabla 6i. Electrodo E7024-1

| Varios diámetros | CORRIENTE (Amps.) | | | | | | | | | |
|------------------|-------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 140 | 160 | 180 | 200 | 220 | 240 | 260 | 280 | 300 | 320 |
| | 3.23 | 3.91 | 4.58 | 5.25 | 5.92 | 6.59 | 7.27 | 7.94 | 8.61 | 9.28 |

Tabla 6j. Electrodo E7028

| Varios Diámetros | CORRIENTE (Amps.) | | | | | | | | | |
|------------------|-------------------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|------|-------|
| | 140 | 160 | 180 | 200 | 220 | 240 | 260 | 300 | 325 | |
| | 2.312 | 3.138 | 3.964 | 4.79 | 5.616 | 6.442 | 7.268 | 8.094 | 8.92 | 9.952 |

Cuando calculamos el costo del metal necesario en los procesos donde se utiliza electrodo continuo y la soldadura se realiza en un solo paso necesitamos realizar más cálculos, al finalizar obtendremos el costo por pie de soldadura.

- Primero calculamos la cantidad de material de soldadura depositado por unidad de tiempo (tasa de deposición). Aunque parece sencillo, la obtención de este parámetro es uno de los más difíciles de calcular. En las siguientes tablas se muestran las diferentes tasas de deposición para los diferentes procesos en donde se utilizan electrodos continuos:

Tabla 7. Tasa de deposición (lb/hr) para alambre sólido de acero al carbón GMAW

| Diámetro | Velocidad de alimentación del alambre (in/min) | | | | | | | |
|----------|--|------|------|------|------|------|------|------|
| | 100 | 200 | 300 | 400 | 500 | 600 | 700 | 800 |
| 0.030" | 1.3 | 2.5 | 3.8 | 5.0 | 6.3 | 7.5 | 8.8 | 10.0 |
| 0.035" | 1.7 | 3.4 | 5.2 | 6.9 | 8.6 | 10.3 | 12.1 | 13.8 |
| 0.045" | 2.9 | 5.8 | 8.7 | 11.6 | 14.5 | 17.4 | | |
| 0.052" | 3.8 | 7.7 | 11.5 | 15.3 | 19.2 | | | |
| 0.062" | 5.3 | 10.6 | 15.9 | | | | | |

Tabla 8a. Tasa de deposición (lb/hr) para alambre sólido SAW.

Para los electrodos(AWS): L-50, L-56, L-60, L-61, L-70, L-63, LA-75, LA-90 y LA-100.

Polaridad DC (+), un solo arco, Stickout normal,

| Diámetro del Electrodo | Stickout Normal | Razón de fusión | Amps. | | | | | | | | | | | | | |
|------------------------|-----------------|-----------------|-------|-----|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | | | 100 | 150 | 200 | 300 | 400 | 500 | 600 | 700 | 800 | 900 | 1000 | 1100 | 1200 | 1300 |
| 0.035" | 1/2" | in/min | 185 | 296 | 428 | | | | | | | | | | | |
| | | lbs/hr | 3.0 | 4.8 | 7.0 | | | | | | | | | | | |
| 0.045" | 1/2" | in/min | | 160 | 220 | 378 | | | | | | | | | | |
| | | lbs/hr | | 4.3 | 5.9 | 10.2 | | | | | | | | | | |
| 0.052" | 1/2" | in/min | | | 190 | 304 | 458 | | | | | | | | | |
| | | lbs/hr | | | 6.9 | 11.0 | 16.5 | | | | | | | | | |
| 1/16" | 5/8" | in/min | | | 98 | 165 | 251 | 369 | | | | | | | | |
| | | lbs/hr | | | 5.1 | 8.6 | 13.1 | 19.2 | | | | | | | | |
| 5/64" | 1" | in/min | | | 50 | 84 | 123 | 181 | | | | | | | | |
| | | lbs/hr | | | 4.1 | 6.8 | 10.0 | 14.7 | | | | | | | | |
| 3/32" | 1" | in/min | | | 57 | 82 | 112 | 150 | | | | | | | | |
| | | lbs/hr | | | 6.7 | 9.6 | 13.1 | 17.6 | | | | | | | | |
| 1/8" | 1" | in/min | | | 27 | 40 | 55 | 71 | 90 | 112 | | | | | | |
| | | lbs/hr | | | 5.6 | 8.3 | 11.5 | 14.8 | 18.8 | 23.3 | | | | | | |
| 5/32" | 1" | in/min | | | | 24 | 34 | 45 | 56 | 68 | 81 | | | | | |
| | | lbs/hr | | | | 7.8 | 11.1 | 14.7 | 18.2 | 22.1 | 26.4 | | | | | |
| 3/16" | 1" | in/min | | | | | 22 | 29 | 37 | 45 | 53 | 62 | 72 | 82 | | |
| | | lbs/hr | | | | | 10.3 | 13.6 | 17.3 | 21.1 | 24.8 | 29.1 | 33.8 | 38.4 | | |
| 7/32" | 1" | in/min | | | | | | 21 | 26 | 31 | 36 | 42 | 48 | 55 | 63 | |
| | | lbs/hr | | | | | | 13.4 | 16.6 | 19.8 | 23.0 | 26.8 | 30.6 | 35.1 | 40.2 | |

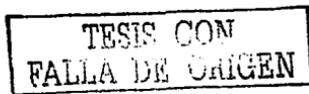


Tabla 8b. Tasa de deposición (**lbs/hr**) para alambre sólido SAW.

Para los electrodos: L-50, L-56, L-60, L-61, L-70, L-63, LA-75, LA-90 y LA-100. Polaridad DC (-), un solo arco.

| Diámetro del Electrodo | Stickout Normal | Razón de fusión | Amps. | | | | | | | | | |
|------------------------|-----------------|-----------------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | | | 200 | 300 | 400 | 500 | 600 | 700 | 800 | 900 | 1000 | 1100 |
| 5/64" | 2-1/4" | in/min | 96 | 176 | 253 | 370 | | | | | | |
| | | lbs/hr | 7.8 | 14.3 | 21.4 | 30.1 | | | | | | |
| 3/32" | 3-1/4" | in/min | | 137 | 201 | 281 | 370 | | | | | |
| | | lbs/hr | | 16.1 | 2.6 | 32.9 | 43.4 | | | | | |
| 1/8" | 5" | in/min | | 66 | 98 | 134 | 174 | 218 | | | | |
| | | lbs/hr | | 13.8 | 20.4 | 27.9 | 36.3 | 45.4 | | | | |
| 5/32" | 5" | in/min | | | 55 | 75 | 97 | 120 | 145 | | | |
| | | lbs/hr | | | 17.9 | 24.4 | 31.6 | 39.1 | 47.2 | | | |
| 3/16" | 5" | in/min | | | | 47 | 59 | 72 | 86 | 100 | 116 | |
| | | lbs/hr | | | | 22.0 | 27.7 | 33.8 | 40.3 | 48.9 | 54.4 | |
| 7/32" | 5" | in/min | | | | | 43 | 51 | 60 | 70 | 80 | 91 |
| | | lbs/hr | | | | | 27.4 | 32.5 | 38.3 | 44.7 | 51.1 | 58.1 |

Tabla 9a. Tasa de deposición (**lbs/hr**) del electrodo con núcleo fundente autoprotectido.

| Electrodo | Diámetro | Velocidad de alimentación del electrodo (in/min) | | | | | | |
|-----------|----------|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | 50 | 100 | 150 | 200 | 250 | 300 | 350 |
| E70T-3 | 0.068" | 2.35 | 4.70 | 7.05 | 9.40 | 11.75 | | |
| | 0.120" | | 13.70 | 20.55 | 27.40 | 34.25 | 41.10 | 47.95 |
| | 5/32" | 11.35 | 22.70 | 34.05 | 45.40 | 56.75 | | |
| E70T-10 | 3/32" | | 6.60 | 9.90 | 13.20 | 16.50 | | |
| | 0.062" | 2.00 | 4.00 | 6.00 | 8.00 | 10.00 | | |
| E71T-14 | 0.068" | 2.55 | 5.10 | 7.65 | 10.20 | 12.75 | | |
| | 5/64" | 3.10 | 6.20 | 9.30 | 12.40 | 15.50 | 18.60 | |
| | 5/64" | 2.40 | 4.80 | 7.20 | 9.60 | 12.00 | 14.40 | |
| E71T-8J | 3/32" | | 7.10 | 10.65 | 14.20 | 17.75 | | |
| | 5/64" | 2.35 | 4.70 | 7.05 | 9.40 | 11.75 | 14.10 | |
| | 3/32" | | 7.30 | 10.95 | 14.60 | 18.25 | | |
| E61TGS | 0.068" | 2.50 | 5.00 | 7.50 | 10.00 | 12.50 | | |
| | 0.068" | 1.90 | 3.80 | 5.70 | 7.60 | 9.50 | | |
| E71T8-K6 | 5/64" | 2.50 | 5.00 | 7.50 | 10.00 | 12.50 | 15.00 | |
| | 0.035" | 0.70 | 1.40 | 2.10 | 2.80 | 3.50 | | |
| | 0.045" | 0.95 | 1.90 | 2.85 | 3.80 | 4.75 | | |
| E71T-11 | 0.068" | 2.25 | 4.50 | 6.75 | 9.00 | 11.25 | | |
| | 5/34" | 3.20 | 6.40 | 9.60 | 12.80 | 16.00 | 19.20 | |
| | 3/32" | 4.30 | 8.60 | 12.9 | 17.20 | 21.50 | | |
| | 0.068" | 1.75 | 3.50 | 5.25 | 7.00 | 8.75 | | |
| E71T-8 | 0.072" | 1.90 | 3.80 | 5.70 | 7.60 | 9.50 | | |
| | 5/64" | 2.40 | 4.80 | 7.20 | 9.60 | 12.00 | 14.40 | |

Tabla 9a (continuación). Tasa de deposición (lbs/hr) del electrodo con núcleo fundente autoprotegido.

| | | | | | | | | | |
|---------|--------|------|-------|-------|-------|-------|-------|------|--|
| E70T-6 | 0.068" | 1.95 | 3.90 | 5.85 | 7.80 | 9.75 | 15.90 | | |
| | 5/64" | 2.65 | 5.30 | 7.95 | 10.60 | 13.25 | 15.90 | | |
| | 3/32" | 3.50 | 7.00 | 10.50 | 14.00 | 17.50 | | | |
| E70T-7 | 5/64" | 2.55 | 5.10 | 7.65 | 10.20 | 12.75 | 15.30 | | |
| | 3/32" | 3.90 | 7.80 | 11.70 | 15.60 | 19.50 | | | |
| | 7/64" | 5.35 | 10.7 | 16.05 | 21.4 | 26.75 | | | |
| E70TGK2 | 5/64" | 2.05 | 4.10 | 6.15 | 8.20 | 10.25 | 12.30 | | |
| | 3/32" | 3.00 | 6.00 | 9.00 | 12.00 | 15.00 | | | |
| | 7/64" | 4.25 | 8.50 | 12.75 | 17.00 | 21.25 | | | |
| E71T-K6 | 5/64" | 2.35 | 4.70 | 7.05 | 9.40 | 11.75 | 14.10 | | |
| | 5/64" | 2.75 | 5.50 | 8.25 | 1.00 | 13.75 | 16.50 | | |
| E70T-4 | 3/32" | 3.95 | 7.90 | 11.85 | 15.80 | 19.75 | | | |
| | 0.120" | 5.70 | 11.40 | 17.10 | 22.80 | 28.50 | 34.20 | 19.9 | |

Tabla 9b. Tasa de deposición (lbs/hr) del electrodo con núcleo fundente y protección externa.

| Electrodo | Diámetro | Velocidad de alimentación del electrodo (in/min) | | | | | | | | | | | | |
|-----------|----------|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--|
| | | 50 | 100 | 150 | 200 | 250 | 300 | 350 | 400 | 450 | 500 | 550 | 600 | |
| E70T-1 | 1/16" | | | 5.55 | 7.40 | 9.25 | 11.10 | 12.95 | 14.80 | 16.65 | | | | |
| | 5/64" | | 5.70 | 8.55 | 11.40 | 14.25 | 17.10 | 19.95 | | | | | | |
| | 3/32" | | 8.00 | 12.00 | 16.00 | 20.00 | | | | | | | | |
| | 1/8" | 6.70 | 13.40 | 20.10 | 26.80 | | | | | | | | | |
| E70T-1H8 | 3/32" | | 8.10 | 12.15 | 16.20 | 20.25 | 24.50 | 28.35 | | | | | | |
| E71T-9 | 0.045" | | | 4.00 | 5.00 | 6.00 | 7.00 | 8.00 | 9.00 | 10.00 | 11.00 | 12.00 | | |
| | 0.052" | | | | | 6.50 | 7.80 | 9.10 | 10.40 | 11.70 | 13.00 | 14.30 | 15.60 | |
| | 0.072" | | | 5.55 | 7.40 | 9.25 | 11.10 | 12.95 | 14.80 | 16.65 | 18.50 | 20.35 | 22.20 | |
| E70T-5 | 0.045" | | | 3.60 | 4.50 | 5.40 | 6.30 | 7.20 | 8.10 | 9.00 | 9.90 | 10.80 | | |
| | 1/16" | | 5.25 | 7.00 | 8.75 | 10.50 | 12.25 | 14.00 | 15.75 | | | | | |
| | 0.045" | | | 4.00 | 5.00 | 6.00 | 7.00 | 8.00 | 9.00 | 10.00 | 11.00 | 12.00 | | |
| E81T1-N11 | 1/16" | | 5.10 | 6.80 | 8.50 | 10.20 | 11.90 | 13.60 | 15.30 | | | | | |
| E91T1-K2 | 0.045" | | | 4.00 | 5.00 | 6.00 | 7.00 | 8.00 | 9.00 | 10.00 | 11.00 | 12.00 | | |
| | 1/16" | | 5.25 | 7.00 | 8.75 | 10.50 | 12.25 | 14.00 | 15.75 | | | | | |
| | 0.045" | | | 5.00 | 6.25 | 7.50 | 8.75 | 10.00 | 11.25 | 12.50 | 13.75 | 15.00 | | |
| E110C-G | 1/16" | | 7.20 | 9.60 | 12.00 | 14.40 | 16.80 | 19.20 | 21.60 | | | | | |
| | 0.045" | | | 4.60 | 5.75 | 6.90 | 8.05 | 9.20 | 10.35 | 11.25 | 12.65 | 13.80 | | |
| | 0.052" | | | | 7.50 | 9.00 | 10.50 | 12.00 | 13.50 | 15.00 | 16.50 | 18.00 | | |
| E70T-6C | 1/16" | | 6.60 | 8.80 | 11.00 | 13.20 | 15.40 | 17.60 | 19.80 | | | | | |
| | 0.045" | | | 4.80 | 6.00 | 7.20 | 8.40 | 9.60 | 10.80 | 12.00 | 13.20 | 14.40 | | |
| | 0.052" | | | | 8.00 | 9.60 | 11.20 | 12.80 | 14.40 | 16.00 | 17.60 | 19.20 | | |
| E70C-6M | 1/16" | | 6.60 | 8.80 | 11.00 | 13.20 | 15.40 | 17.60 | 19.80 | | | | | |
| | 5/64" | | 6.70 | 10.05 | 13.40 | 16.75 | 20.10 | 23.45 | | | | | | |

- El segundo paso es determinar la velocidad de soldadura o velocidad de avance. Una forma de obtener este valor es efectuando pruebas de soldadura tomando en cuenta el tiempo que se utiliza en realizar cierta longitud (medida en pulgadas) de soldadura. Un punto importante a considerar es, cuando se mide y cronometra físicamente la velocidad de avance ésta es exacta solamente si la dimensión permanece constante. La dimensión de la soldadura deberá ser medida con un indicador para filetes y se debe usar la dimensión promedio.

Otra forma de determinar la velocidad de avance es la siguiente:

$$S = \frac{D_s}{(5)(D_r)}$$

donde:

S = Velocidad de avance (in/min).

D_s = Libras de soldadura depositadas por pie de soldadura.

= (3.4)(área de la sección transversal de la soldadura (in²)) [lb/ft]

- Por último, calculamos el costo del electrodo por pie de soldadura realizada:

$$\text{costo del electrodo} \left(\frac{\$}{\text{ft}} \right) = \frac{(D_s)(E)}{(5)(S)(E_2)} \quad \dots (10)$$

donde:

E₂ = eficiencia de deposición.

2.9. Costo del gas de protección.

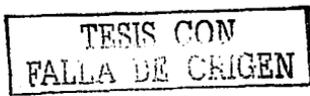
El costo de los gases de protección debe agregarse a los costos de los materiales consumibles.

El gas de protección se usa a un flujo especificado, según el procedimiento de soldadura y si no se cuenta con estos valores, se puede medir con un medidor de flujo, para cerciorarse de que se encuentra dentro del valor estandarizado (ver tabla 10).

Tabla 10. Valores de flujo estándar.

| Proceso | Flujo (ft ³ /hr) |
|---------------------------|-----------------------------|
| GMAW - corto circuito | 25 - 30 |
| GMAW - Spray | 30 - 40 |
| FCAW - protección gaseosa | 40 - 50 |
| GTAW | 15 - 25 |

Es difícil establecer el consumo exacto de gas debido a que el consumo de gas varía con las condiciones climatológicas (corrientes de aire), el tipo de unión y cuando es necesario un post-enfriamiento para evitar la formación de fisuras en el



cráter, fugas, dispositivos de purga, etc. Por lo que, en los cálculos se asume que el gas fluye solamente cuando se está soldando.

Existen dos formas de analizar el costo del gas de protección:

a) La primera se basa en el tiempo necesario para realizar la soldadura, multiplicado por la velocidad de paso del gas. Con la siguiente ecuación, calculamos el costo del gas por pieza o unidad de soldadura realizada:

$$\text{costo del gas} \left[\frac{\$}{\text{unidad}} \right] = \frac{(g)(r)(T_u)}{60}$$

Donde:

g = Costo del gas por pie cúbico (\$/ft³).

r = Flujo del gas en pies cúbicos por hora (ft³/hr).

T_u = Tiempo que el arco está encendido para realizar una pieza o unidad (min.)

b) La segunda forma (la más útil para nuestros cálculos) de obtener el costo del gas se basa en costo por pie de soldadura:

$$\text{Costo del gas} \left[\frac{\$}{\text{ft}} \right] = \frac{(g)(r)}{(5)(S)}$$

2.10. Fundente

El costo del fundente, al igual que los gases, se agrega al costo de los materiales consumidos. El costo del fundente está relacionado con la cantidad de metal depositado. Por lo general, para el proceso SAW la relación es de 1, una libra de fundente por cada libra de acero depositado, aunque los fundentes aglomerados¹ presentan una menor relación de consumo que los fundidos², pero son más caros. El fundente consumido es aquel que se transforma en metal depositado y en escoria, además, existe fundente que se pierde aunque se utilice un recuperador de fundente, por lo que, se debe utilizar un porcentaje más alto, por ejemplo: de 130% a 150%.

El fundente debe ser el suficiente para cubrir el arco, aunque pequeñas cantidades extra no crean problemas, pero un exceso de fundente, no permite la salida de los gases y proporciona cordones de forma irregular.

Estos fundentes deben su nombre al método de fabricación:

¹ Aglomerados: las materias primas se pulverizan, se mezclan en seco y se aglomeran con silicato de potasio, silicato de sodio o una mezcla de ambos. Ya aglomerada, la mezcla se convierte en pelotitas y se cuece a una temperatura menor que la empleada con los fundentes fusionados. Las pelotitas se disgregan, se pasan por mallas para uniformar el tamaño y se empacan.

² Fusionados: las materias primas se mezclan en seco y se funden en un horno eléctrico. Una vez fundida y después de agregarse cualesquier ingredientes finales, la carga del horno se vacía y enfría. El enfriamiento puede efectuarse disparando la mezcla a través de un chorro de agua o vaciándola sobre grandes bloques refrigerados. El resultado es un producto de aspecto vídioso que se tritura, se pasa por mallas para uniformar su tamaño y se empaça.

Para calcular el costo del fundente por pie de soldadura, utilizamos la siguiente ecuación:

$$\text{costo del fundente} \left[\frac{\$}{\text{ft}} \right] = \frac{(F)(D_1)(R)}{E_2}$$

Donde:

F = Costo de cada libra de fundente (\$/lb)

R = Relación de fundente con peso el peso del electrodo.

$$= \frac{\text{libras consumidas de fundente por pie de soldadura (lbs/hr)}}{\text{libras fundidas de electrodo por pie de soldadura (lbs/hr)}}$$

E₂ = Eficiencia de deposición

2.11. Mano de obra

El costo de la mano de obra es el más significativo del costo total de la soldadura. Algunas veces a los trabajadores se les paga basándose en las soldaduras realizadas, es decir, por pie de soldadura realizada, pero es necesario tener establecido el tiempo necesario para realizar cada tipo de soldadura. Estos tiempos se pueden obtener con datos estandarizados que generalmente se basan en el material de soldadura depositado en determinado tiempo.

Otras veces (en la mayoría de las empresas) al trabajador se le paga según las horas trabajadas.

Para calcular el costo de la mano de obra por pie de soldadura utilizamos la siguiente ecuación (para soldaduras de un solo paso):

$$\text{costo de mano de obra} \left[\frac{\$}{\text{ft}} \right] = \frac{M}{(5)(S)(F.O.)}$$

Donde:

M = Tarifa de pago al soldador (\$/h).

En la mayoría de los casos, las compañías factorizan la tarifa de pago para cubrir las prestaciones, como el costo del seguro, vacaciones, días festivos, etc. Este es un factor que se debe determinar y estar de acuerdo con los sistemas de contabilidad de la empresa.

Para calcular el costo de la mano de obra para soldaduras con más de un solo paso se utiliza la siguiente ecuación:

$$\text{costo de la mano de obra} \left[\frac{\$}{\text{ft}} \right] = \frac{(M)(D_1)}{(D_1)(F.O.)}$$

2.12. Gastos generales o indirectos

Entre los gastos indirectos podemos mencionar:

- Sueldos de ejecutivos, supervisores, inspectores, personal de mantenimiento, limpieza, etc.
- Renta o depreciación de la planta, mantenimiento del edificio, terrenos, etc.
- Depreciación del equipo (máquinas soldadoras, grúas, etc.)
- Impuestos sobre la planta, terrenos y equipo.
- Herramientas: martillos, porta-electrodos, equipo de seguridad, etc.
- Calefacción, alumbrado, etc.
- Soportes especiales para apuntalar y sujetar.

Existen varias formas de repartir los gastos generales a los trabajos de soldadura, una de ellas es cargándolos a los costos directos de mano de obra. Otras veces, los gastos generales se calculan por separado y no van incluidos en la tarifa de los soldadores, cuando este sea el caso, los costos generales se calculan de la siguiente manera:

$$\text{gasto general} \left[\frac{\$}{\text{ft}} \right] = \frac{L}{(S)(F.O.)} \quad (\text{para soldaduras de un solo paso})$$

$$\text{gasto general} \left[\frac{\$}{\text{ft}} \right] = \frac{(L)(D_r)}{(D_n)(F.O.)} \quad (\text{para soldaduras de más de un solo paso})$$

Donde:

L = Factor de gasto indirecto (\$/h).

El factor de gasto indirecto es un dato presentado por la compañía y se establece por medio de la experiencia, registros o un estudio de tiempo.

2.13. Costo de la energía eléctrica para soldar

En la mayoría de las plantas, la energía eléctrica es considerada como un gasto directo, pues así se pueden analizar diferentes tipos de procesos de soldadura por separado. Para calcular los costos de la energía eléctrica, se utiliza la siguiente ecuación:

$$\text{Costo de la energía eléctrica} \left[\frac{\$}{\text{ft}} \right] = \frac{(ck)(V)(I)(D_r)}{(1000)(D_n)(F.O.)(E_m)}$$

donde:

c_k = Precio del Kwh (\$/kwh).

V = Voltaje, en volts.

I = Corriente, en amperes

E_M = Eficiencia de la fuente de energía (%).

El precio del Kwh se establece a partir de la tarifa local de energía cobrada a la empresa por la compañía de luz local. Los volts y amperes son los valores que se usan al realizar las soldaduras. La tasa de deposición, el F.O. y el peso depositado por cada pie de soldadura, son datos establecidos para cada proceso de soldadura. La eficiencia de la fuente de energía es proporcionada por el fabricante de ésta.

CAPÍTULO III

ASPECTOS BÁSICOS PARA LA REDUCCIÓN DE COSTOS

ASPECTOS BÁSICOS PARA LA REDUCCIÓN DE COSTOS

3.1. Precauciones con el uso de las fórmulas de costos.

Durante el análisis de costos en soldadura existen algunas precauciones que se deben tomar, en todos los casos, las dimensiones especificadas deberán ser usadas, si alguna tiene que ser calculada de datos existentes, las fórmulas de costos deberán ser empleadas exactamente, por ejemplo: en una soldadura de doble-V en donde se requieren de dos pases de soldadura y conocemos que la velocidad de avance para la primera es $S_1 = 16$ in/min y la segunda es $S_2 = 10$ in/min.; generalmente lo calculamos, primero obteniendo el promedio de las velocidades de avance y después lo dividimos entre el número de pases para obtener la velocidad de avance general. Así, el promedio de S_1 y S_2 es de 13 in/min y la velocidad de avance general es de 6.5 in/min.

La forma correcta para obtener la velocidad de avance general es:

$$S = \frac{1}{\frac{1}{S_1} + \frac{1}{S_2} + \frac{1}{S_3} \dots}$$
$$S = \frac{1}{\frac{1}{16} + \frac{1}{10}} = \frac{1}{0.0625 + 0.1} = 6.1538 \frac{\text{in}}{\text{min}}$$

En el ejemplo anterior, la diferencia no es grande, pero ésta aumenta como las diferencias entre las velocidades de avance incrementan. Solo cuando las velocidades de avance son iguales, la velocidad de avance general se obtiene con la velocidad de avance promedio dividida por el número de pases.

3.2. El papel del diseñador en la reducción de costos.

Una vez que el diseñador comienza a involucrarse en el estudio de análisis de costos, su primer esfuerzo para reducir los costos será, posiblemente, el disminuir los malgastos en sus compras, seguido por un mejoramiento sistemático en las prácticas de soldadura y modernización de equipo.

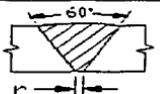
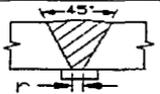
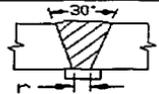
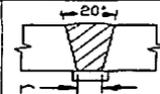
Para la conservación del metal de soldadura, uno automáticamente reduce el electrodo, fundente, mano de obra y costos de energía. El diseñador determina cuanto metal está por ser usado, y tiene control sobre el consumo de metal de soldadura.

Un punto de comienzo para escudriñar un diseño, con el fin de encontrar oportunidades para la conservación de metal de soldadura, es en el detalle de la junta. Frecuentemente el diseñador está habituado a detalles de junta específicos y conoce el buen desempeño de ésta y la recomendación, no pensando la posibilidad de un detalle alternativo que podría dar el mismo desempeño y, tal vez, a bajo costo.

Generalmente es mejor emplear los diseños de junta que minimizan la cantidad aplicada de soldadura. Por ejemplo: con una junta con bisel, el diseñador podría considerar la posibilidad de usar un ángulo comprendido menor con tira de respaldo, con el proceso de soldadura a ser usado.

Al reducir el ángulo comprendido en una junta con bisel (ver tabla 11) se puede hacer una considerable reducción del metal de soldadura en placas más gruesas que una pulgada. En el caso de placas de dos pulgadas, usando un ángulo comprendido de 20° en lugar de un ángulo de 60° se reducen los requerimientos de metal de soldadura de 9.43 lb/ft a 6.07 lb/ft. y, para placas más gruesas, la reducción es mayor.

Figura 11. Efecto del ángulo incluido en el requerimiento de metal de soldadura.

| |  |  |  |  |
|----------------------------|---|---|---|---|
| Abertura de la raíz r, in. | 1/8 | 1/4 | 3/8 | 1/2 |
| Espesor de la placa, in. | Metal de soldadura necesitado, lb/ft | | | |
| 1/2 | 0.84 | 0.90 | 0.99 | 1.13 |
| 5/8 | 1.21 | 1.23 | 1.29 | 1.44 |
| 3/4 | 1.64 | 1.61 | 1.62 | 1.76 |
| 1 | 2.69 | 2.50 | 2.38 | 2.47 |
| 1 1/2 | 5.55 | 4.81 | 4.23 | 4.12 |
| 2 | 9.43 | 7.85 | 6.54 | 6.07 |
| 3 | 20.21 | 16.08 | 12.57 | 10.88 |
| 4 | 35.03 | 27.19 | 20.44 | 16.91 |
| 6 | 76.71 | 58.01 | 41.72 | 32.58 |
| 8 | 134.43 | 100.29 | 70.37 | 53.10 |
| 10 | 208.14 | 154.01 | 106.40 | 78.45 |

En los diseños de ranura, las placas más delgadas se unen a menor costo cuando hay una pequeña abertura de raíz y un ángulo mayor.

Los ahorros para el metal de soldadura por la selección del detalle de junta óptima, son fácilmente reconocidos. Además, frecuentemente el metal de soldadura es usado donde este no tiene función de ingeniería, y algunas veces también el acero es usado donde no sirve a lo propuesto.

La figura 9, ilustra un caso en donde el metal de soldadura y acero están fuera del uso propuesto. Un conjunto soldado está siendo sustituido por una pieza fundida. El diseñador -conociendo que la pieza fundida sirve bien su función- decide hacer la pieza fundida en acero soldado. Él agrega 12 montajes de refuerzo no necesarios en el diseño del conjunto soldado -sustancialmente incrementa tanto la cantidad del metal de soldadura y la cantidad de acero. El conjunto soldado no necesita los montajes de refuerzo que incrementan el costo, pero que podría ser agregado a la pieza fundida como un pequeño costo extra.



Figura 9. Conjunto soldado reemplazado por una pieza fundida.

En algunos casos de diseños sofisticados, son encontrados algunos usos extravagantes del metal de soldadura.

Otra práctica de desperdicio es el usar soldaduras continuas donde soldaduras intermitentes podrían ser adecuadas. Algunas veces soldaduras continuas pueden ser justificadas por apariencia, cuando las soldaduras intermitentes pueden ser ocultas, la apariencia es mejorada.

Es preferible usar cordones de menor tamaño de pierna, pero de mayor longitud; la capacidad de un cordón tipo filete es proporcional al tamaño de la pierna por la longitud. Un cordón tipo filete con $\frac{1}{2}$ " de pierna y una longitud de 6", puede tener la misma capacidad que un cordón de $\frac{1}{4}$ " de pierna y una longitud de 12", sin embargo, el filete de $\frac{1}{2}$ " requiere el doble de metal depositado que el filete

de menor tamaño. Para la misma resistencia, los cordones tipo filete son siempre más económicos cuando se hacen en longitudes mayores, y con menores tamaños de pierna.

Cuando el diseñador está consciente de los costos, él encontrará numerosos métodos para lograr una reducción de costos objetivos.

3.3. El rediseño como una alternativa en la reducción de costos

El área de ingeniería debe revisar todas las prácticas de soldadura dentro de la compañía, para encontrar un método que genere los mismos resultados pero con menor costo, además de evaluar los productos soldados y generar sugerencias para realizar cambios y ahorrar dinero.

El análisis de los productos soldados puede tomar varias rutas: analizar el diseño de la construcción soldada, la preparación de los materiales y la operación de soldar.

El diseñador debe preguntar al personal del área de soldadura lo relacionado a la construcción soldada para conocer:

- ◆ Si el soldador tiene fácil acceso a las partes a ser soldadas.
- ◆ La dificultad que presentan las piezas para ser soldadas.
- ◆ Si las partes que se ajustan entre sí, requieren de recortes o dejan espacios.
- ◆ Si las partes que se agregan después, cubren a las soldaduras anteriores.

Los puntos críticos se deben de investigar para encontrar soluciones.

Los siguientes puntos son las actividades que cada departamento debe hacer para localizar fallas y realizar las correcciones correspondientes:

- ◆ Diseñadores e ingenieros:
- Investigar el desempeño de la pieza soldada en el campo. Si la pieza soldada no ha presentado problemas en el campo, será necesario realizar nuevamente los cálculos de las cargas y esfuerzos; quizá la construcción soldada esté sobrediseñada. Si la pieza soldada ha presentado problemas se deben corregir en el rediseño.
- Eliminar las uniones soldadas, siempre que sea posible. Utilizar secciones roladas o laminadas, emplear piezas de acero pequeñas vaciadas, para lugares complejos, así como placas dobladas o formadas.
- Cuando sea necesario bastante espesor, emplear placas gruesas cortadas con soplete, o piezas vaciadas.

- Diseñar la construcción soldada con el mínimo número de piezas gruesas de acero. Esto reduce el almacenaje de piezas gruesas.
- Evitar tamaños de pierna desiguales en filetes de soldadura.
- El tipo de material también debe tenerse en cuenta (más adelante será tratado ampliamente este tema).
- Decidir entre usar materiales gruesos sin refuerzos o piezas adicionales y soldadura
 - ◆ Ingenieros de manufactura o de proceso.
- Para todo trabajo hay que proporcionar planos o procedimientos de soldadura por escrito al departamento de soldadura
- Antes de costosas inversiones en equipo de mayor capacidad o última tecnología, se debe considerar la medida en que se pueden emplear el equipo y las capacidades ya disponibles en el taller. A menudo, es posible utilizar los equipos existentes en condiciones diferentes a su capacidad nominal, siempre y cuando se tenga presente el cuidado de su ciclo de trabajo. Si puede preverse para el futuro más trabajo de tipo similar puede tenerse en consideración equipo adicional. Alternativamente, pueden encargarse pequeñas piezas de un conjunto a otra organización que posea el equipo adecuado. Esto se hace frecuentemente cuando se necesitan instalaciones costosas. El número de unidades a fabricar es uno de los factores más importantes a considerar, al decidir usar soldadura automática o instalaciones de soldadura especialmente diseñadas.
- Considerar procesos de alta penetración, como el proceso SAW, para reducir el volumen de metal de soldadura requerido, economizar costos de preparación de la unión y reducir o eliminar el precalentamiento.
- Utilizar equipo de sujeción cuando esto represente ahorros.
 - ◆ Personal de preparación de partes:
- Siempre que se pueda cortar o preparar las piezas con cizalla, usar biseladoras automáticas.
- Utilizar equipo automático de corte de perfiles.
- Emplear topes, calibres, etc., en las operaciones de conformación de metales para aumentar la exactitud de las partes.
- Comprobar con el departamento de soldadura, los problemas de ajuste y corregir los dibujos de las partes.
 - ◆ Personal del departamento de soldadura
- Procurar ajustes exactos en todas las construcciones soldadas. Antes de soldar, verificar si el ajuste es adecuado.

- No soldar demasiado. Las soldaduras deben ser del tamaño que señalan los símbolos de soldadura. Fundir metal de soldadura requiere tiempo adicional cuando se suelda demasiado.
- Eliminar el refuerzo excesivo en todas las soldaduras. No se necesita refuerzo para que la soldadura sea resistente.
- Siempre que sea posible, utilizar subensambles. Esto hará mínima la distorsión y reducirá el tiempo del ciclo de soldadura.
- Seguir los procedimientos de soldadura para disminuir la distorsión. Ésta originará ajuste deficiente, que puede necesitar más soldadura.
- Utilizar equipo de fijación y soldadura plana en toda producción.
- Emplear herramientas motorizadas para quitar la escoria y para el terminado de soldaduras.
- Procurar la comodidad y la seguridad de los soldadores usando biombos.
- Mantener en buenas condiciones el equipo para soldar mediante procedimientos de mantenimiento rutinario.

Se debe tener una perspectiva general de la construcción soldada. El diseño debe ser funcional, tratando de que sea más adecuado cada vez que se cambie.

Si todo el personal participa, se obtendrán los ahorros esperados.

3.4. Puntos a considerar para obtener reducción de costos

3.4.1. Factor operador

Un factor de operación puede ser mejorado al analizar los tiempos no utilizados en soldar. Por ejemplo: una forma de eliminar el tiempo que el soldador utiliza en los trabajos de acoplamiento, limpieza, corte, esmerilado, etc., es trasladando estos trabajos a otra estación o eliminarlos mediante un cambio en los procedimientos, tal es el caso de la preparación de la unión.

Otra forma de reducir los tiempos auxiliares es que el trabajo se acerque al soldador y no al contrario. Esto se hace por medio de un conjunto de vigas. Para eliminar los tiempos auxiliares del resanado del cordón de raíz y el volteo de la pieza, se utiliza el procedimiento de una sola cara con respaldos cerámicos.

3.4.2. Cambio de empaque (presentación del electrodo)

En uniones largas en las que hay que repetir la capa soldada, se puede analizar un cambio en el tamaño del empaque. Podemos ahorrar en lo que respecta al costo total de soldadura, debido a que se utiliza tiempo de soldadura en cambiar los rollos, la producción se interrumpe debido a estos cambios y, además, se ahorra material de aporte debido a que se desperdiciaría menos material en colas de electrodo.

Para considerar un cambio de empaque, se deben tomar en cuenta los siguientes aspectos:

- Número de estaciones de soldadura.
- Tamaño del rollo.
- Costo de mano de obra e indirectos.
- Costo del consumible.
- Material consumido anualmente.
- Tiempo que se utiliza para cambiar los rollos.

3.4.3. Cambio de alambre sólido a tubular.

Se puede incrementar la velocidad de posición a amperajes similares utilizando alambre tubular en lugar de alambre sólido. El incremento en la deposición se debe a que la corriente circula por una sección transversal de menor área en el caso de los alambres tubulares.

3.4.4. Selección del equipo eléctrico

Una soldadura satisfactoria puede ser lograda con corriente alterna o directa. Cada tipo de corriente, sin embargo, tiene ventajas particulares que lo hacen el mejor para ciertos tipos y condiciones de soldadura.

La principal ventaja de la corriente alterna es la eliminación del soplo de arco, que puede encontrarse cuando se suelda en placas gruesas o en una esquina. Los campos magnéticos desvían en la placa el camino del arco. La corriente alterna tiende a minimizar la desviación y así incrementa la velocidad de soldadura con electrodos mayores a 3/16" de diámetro, y con el tipo de electrodos con polvo de hierro.

Las principales ventajas de la corriente directa son la estabilidad del arco y el hecho que la corriente de salida de las máquinas soldadoras tipo motor generador permanezca constante a variaciones en el voltaje de entrada que afecta a una máquina soldadora tipo transformador. La corriente directa, por eso es, la más versátil. El uso de electrodos con corriente directa y conectados al negativo en lugar del positivo (en el caso de alambres sólidos) produce mayor velocidad de deposición a los mismos amperajes, reduciendo la penetración. Ciertos electrodos, como los inoxidables, requieren un arco estable; estos electrodos operan mucho mejor con corriente directa. La corriente directa, debido a su estabilidad, es también mejor para hojas metálicas, donde el peligro de perforación está presente.

El arco con corriente directa también puede ser más fácilmente variado para encontrar diferentes condiciones de soldadura. Un amplio rango de control en el voltaje y corriente permiten ajustes más estrechos del arco para condiciones de soldadura difíciles, como podrían ser encontradas al soldar en posición vertical o sobrecabeza.

Existen en el mercado máquinas soldadoras tipo motor-generador o como equipos transformador-rectificador. Los generadores son impulsados por un pequeño motor de gasolina enfriado por aire. La ventaja de este tipo de equipo es que en el área de soldadura, no es necesario tender líneas eléctricas de poder al área de trabajo.

Para la mayoría de los trabajos de soldadura, una máquina con capacidad de 250 amperes de salida es suficiente. Varios fabricantes hacen máquinas compactas, portátiles para este tipo de trabajos. Altos amperajes pueden ser requeridos en aplicaciones particulares; para esto, máquinas de servicio pesado deben ser usadas.

Otro tipo de máquina soldadora es la que produce ambos tipos de corriente de soldadura, directa y alterna, cualquiera de ellas puede estar disponible al mover un interruptor. Este tipo de máquina es ideal porque ofrece flexibilidad completa.

3.4.5. Instalación del equipo

Una buena soldadura comienza con la apropiada instalación del equipo. Las instalaciones deberán ser hechas en lugares lo más limpio como sea posible, con un suministro de aire limpio para la ventilación. Es importante proporcionar cercamientos separados si la atmósfera está excesivamente húmeda o contiene vapores corrosivos. Si la soldadura debe ser hecha donde la temperatura ambiente es alta, es conveniente colocar el equipo en una locación diferente. Los equipos operados al aire libre deben ser equipados con protección contra las inclemencias del tiempo.

Al instalar equipos de soldadura, se debe considerar lo siguiente:

- Contactar a la compañía local de luz para asegurar un adecuado suministro de energía eléctrica.
- Proteger al equipo adecuadamente contra abusos mecánicos y las condiciones atmosféricas.
- Suministrar aire fresco para ventilación y enfriamiento.
- Checar las conexiones eléctricas para estar seguros de que están limpias y mecánicamente seguras.
- Suministrar conductores de suficiente capacidad para manejar la corriente requerida.
- Checar el equipo antes de operarlo para estar seguros que ninguna parte esté suelta o en malas condiciones. Los puntos calientes desperdician energía.

3.5. Soldabilidad

Un aspecto a considerar al seleccionar un proceso de soldadura es la soldabilidad del metal base. La AWS define a la soldabilidad como "la capacidad de un metal para ser soldado con las condiciones de fabricación impuestas dentro una estructura específica y convenientemente diseñada, y para tener un rendimiento satisfactorio en el servicio que se pretende".

Para lograr que un material quede soldado correctamente, es decir, una unión igual o mayor que el metal base, se deben considerar las propiedades físicas, químicas y mecánicas del metal base. Al conocer estas propiedades se cuenta con bases para seleccionar el proceso de soldadura y diseño de la soldadura.

El calor es el medio por el cual se funde el metal de aporte y el metal base, ocasionando cambios de temperatura, cambios de dimensión, transformación de fase y crecimiento de cristales y granos.

Los problemas más comunes presentes en una soldadura son:

- Huecos: debidos a gases atrapados durante la soldadura provocados por una solidificación rápida. Los gases inertes no son solubles en el metal fundido y, por esta razón, se usan en muchas aplicaciones de soldadura en donde se requiere de una atmósfera gaseosa de protección.
- Fracturas: éstas se presentan en el metal depositado en la soldadura o el área afectada por el calor, durante o después de efectuar la soldadura. Las fracturas son consecuencia de alguno de los siguientes factores o una combinación de ellos: forma de la soldadura, calor excesivo, composición del material, estiramiento (a medida que el material se enfría, éste se contrae), y composición del metal base.
- Metales atrapados: las impurezas como el azufre y el fósforo provocan la falta de homogeneidad en la soldadura.

El calor utilizado, tipo de soldadura, composición del metal base y del metal de aporte y el procedimiento de soldadura son factores que determinan el tipo de microestructura.

Las características principales de una buena soldabilidad son:

- Tendencia a la aparición de fracturas.
- Capacidad de endurecimiento: ciertos elementos de aleación y el uso de carbono incrementan esta capacidad. Una rápida velocidad de enfriamiento tiende a producir una alta dureza.

A continuación se presentan las características de aleaciones ferrosas y no ferrosas.

3.5.1. Aleaciones Ferrosas

3.5.1.1. Aceros al carbono

Aceros con bajo carbono (hasta 0.15% de C.)

Estos aceros se producen primordialmente en láminas, en hojas, o en rollos, y laminados, tanto en frío como en caliente. Tienen baja resistencia a la fluencia, y se emplean en la mayoría de las aplicaciones que requieren considerable conformación en frío, tales como piezas estampadas, formas fabricadas en rodillos, o dobladas en tamaños de barras para surtir y formas estructurales.

Pueden unirse por cualquiera de los procedimientos de soldadura de arco eléctrico, de gas y resistencia. En raras ocasiones, los aceros que tienen un contenido de carbono menor de 0.10% muestran tendencia a producir soldaduras porosas. Aunque la porosidad, a excepción que la soldadura sea muy porosa, no ofrece un serio problema desde el punto de vista de la resistencia, las picaduras superficiales en la soldadura son indeseables desde el punto de vista de la apariencia.

Aceros con contenido bajo-medio carbono (0.15% a 0.29% de C.)

Estos aceros al ser laminados, tienen una resistencia a la fluencia comprendida en el intervalo de 36,000 a 65,000 psi. Los aceros con este intervalo de carbono se venden laminados en frío, laminados en caliente, y tratados térmicamente. Un gran porcentaje de los tanques de agua y maquinaria, se fabrican utilizando estos aceros.

Los aceros blandos, en espesores hasta de 5/16" inclusive, son fácilmente soldables sin necesidad de precaución alguna. Las secciones de mayor espesor de estos aceros, en las que más de uno de los elementos esté hacia el lado alto del límite permitido de contenido de carbono, muestran cierta tendencia al agrietamiento. Una forma de corregir el problema de agrietamiento es el uso de precalentamiento.

Aceros con contenido medio de carbono (0.29 a 0.40% de C)

Estos aceros se templen fácilmente, y su dureza puede variar desde totalmente blandos en la situación recocida, hasta una lectura Rockwell C de 25. Se hacen con estos aceros las partes de máquinas forjadas en frío y en caliente, tales como pernos pasantes, birlos, barras de conexión y ejes frontales.

Se deben correr pruebas para analizar el riesgo de fracturas, una forma es realizando una soldadura de filete en el material base, a temperatura ambiente y sin precalentamiento para analizarla visualmente en busca de agrietamiento. Si el acero no muestra tendencia al agrietamiento, pueden aplicarse los procedimientos normales de soldadura. En cambio, si se observa una tendencia al agrietamiento, se pueden usar tratamientos de precalentamiento (que oscila entre 300 a 500 °F) y postcalentamiento (relevado de esfuerzos).

Estos aceros se pueden soldar con procesos de arco eléctrico, de gas y resistencia.

El postcalentamiento ayuda también a reducir zonas duras producidas por la soldadura. La temperatura usual de relevado de esfuerzos es de 1100 a 1200°F. Es práctica común mantener el acero durante una hora a esta temperatura por cada pulgada (o fracción de pulgada) de espesor hasta un máximo de 8 horas.

Aceros con alto contenido de carbono (0.45 a 1.70% de C.)

Esta categoría incluye muchos aceros que generalmente se emplean templados, con dureza que varía desde Rockwell C 40 y 63 hasta el temple completo.

Las partes que se fabrican con los aceros de este grupo incluyen las brocas y puntas de broca, cuchillos, rejas de arado, ruedas para carros de ferrocarril, rodillos de laminación, y otros artículos que no requieren soldadura para su manufactura. Sin embargo, estas piezas se reparan frecuentemente con soldadura.

Hay que tener precauciones especiales cuando se sueldan aceros de esta clase. Se deben emplear electrodos de bajo hidrógeno. El precalentamiento (de 400 a 600°F) es usado cuando se sueldan secciones gruesas. Generalmente se requiere de un postcalentamiento para liberar de tensiones.

3.5.1.2. Aceros con bajo contenido de aleación

Estos son aceros al carbono a los que se han agregado elementos de aleación para obtener ciertas propiedades. A continuación se presentan los aceros según el elemento de aleación.

Aceros de níquel bajo.

El níquel es uno de los más viejos y el principal elemento de aleación de los aceros. Estos aceros están incluidos en la serie AISI 2315, 2515 y 2517. Contienen: 0.12 a 0.30% de C, 0.40 a 0.60% de Mn, 0.20 a 0.45% de Si y 3.25 a 5.25% de Ni. Si el carbono no excede de 0.15% el precalentamiento no es necesario, excepto para secciones extremadamente gruesas. Si el carbono excede de 0.15% se requerirá precalentamiento hasta de 500°F, dependiendo del grosor. Para materiales de $\frac{1}{4}$ " o menores, el precalentamiento es innecesario. Se sugiere el postcalentamiento para liberar tensiones.

Aceros cromados de níquel bajo

Estos aceros están incluidos en la serie AISI 3120, 3135, 3140 y 3316. Contienen: 0.14 a 0.34% de C, 0.40 a 0.90% de Mn, 0.20 a 0.35% de Si, 1.10 a 3.75% de Ni, y 0.55 a 0.75% de Cr. Los calibres delgados de estos aceros en los

carbonos de aleación más baja pueden soldarse sin precalentamiento. Los aceros con 0.20% de carbono se deben precalentar de 200 a 300°F; un carbono de aleación más alta, se debe precalentar a 600°F. Se debe aplicar un postcalentamiento para liberar tensiones. Los electrodos E80XX o E90XX con el sufijo C-1 o C-2 pueden ser usados para soldar los aceros cromados de níquel bajo.

Aceros bajos en manganeso

Estos aceros están incluidos en la serie AISI 1320, 1330, 1335, 1340 y 1345. Contienen: de 0.18 a 0.48% de C, de 1.60 a 1.90% de Mn y de 0.20 a 0.35% de Si. El precalentamiento no es necesario cuando la aleación es baja en carbono y en manganeso. Se sugiere precalentamiento de 250 a 300°F a medida que el carbono se aproxima a 0.25%, pero es indispensable cuando la aleación de manganeso es más alta. Se recomienda un tratamiento de postcalentamiento para liberar de tensiones. Se deben usar los electrodos E80XX o E90XX con el sufijo A-1, D-1, o D-2.

Aceros cromados de aleación baja

Estos aceros están incluidos en la serie AISI 5015 a 5160 y los aceros de horno eléctrico 50100, 51100 y 52100. Contienen: de 0.12 a 0.10% de C, de 0.30 a 1.00% de Mn, de 0.20 a 1.60% de Cr y de 0.20 a 0.30% de Si. Cuando el carbono se encuentra en el extremo bajo, estos aceros pueden soldarse sin precauciones especiales. A medida que el carbono y el cromo aumentan, es mayor la capacidad de endurecimiento y se requerirá un precalentamiento de 750°F, particularmente para secciones gruesas.

Para soldar estos aceros con el proceso SAW, es necesario acoplar la composición del electrodo con la composición del metal base. El fundente debe estar seco y ser neutro para que no añada ni sustraiga elementos al metal de soldadura. El precalentamiento se reduce al utilizar el proceso SAW, debido al consumo de calor más alto y al ritmo de enfriamiento más bajo.

Cuando se sueldan por el proceso GMAW, se debe seleccionar el electrodo de tal modo que se acople al metal base y el gas de protección se debe elegir muy bien, para evitar una oxidación excesiva del metal de soldadura. Se debe usar precalentamiento cuando el carbono excede de 0.60% y el espesor sea mayor de 3/4".

Cuando se usa el proceso FCAW, el depósito del metal de soldadura producido por electrodo con núcleo fundente, debe acoplarse al metal base que se está soldando.

En todos los casos de aceros con bajo contenido de aleación, se debe de usar electrodos de bajo hidrógeno.

3.5.1.3. Soldadura de aceros con aleación

Se considera que el acero tiene aleación cuando el nivel máximo de su contenido en los elementos de la aleación excede uno o más de los siguientes límites: 1.65% Mn, 0.60% Si, 0.60% Cu.

Para soldar adecuadamente aceros con aleación se deben considerar cuatro factores:

1. Emplear siempre un procedimiento de soldadura de bajo hidrógeno.
2. Seleccionar el metal de aporte más parecido al nivel de resistencia del acero de aleación. Las especificaciones AVVS proporcionan los datos para la selección del metal de aporte. Los sufijos que designan la composición química se indican en la tabla siguiente:

| Letra del Sufijo | Química |
|------------------|-------------------------------|
| A | Acero al carbono—molibdeno |
| B | Acero al cromo—molibdeno |
| C o NI | Acero al níquel |
| D | Acero al manganeso—molibdeno |
| NM | Acero al níquel—molibdeno |
| G, K, M y W | Otros aceros de baja aleación |

Por lo común, las letras del sufijo algunas veces van seguidas por un número, el cual indica una clasificación específica de composición química. Los números del sufijo son un punto de partida para seleccionar metales de aporte, pero también hay que consultar la especificación para obtener la composición química exacta.

3. Acoplar el calor necesario para la soldadura del acero con aleación y su espesor.

Aceros de microaleación

Estos también se conocen como aceros HSLA y se identifican por la especificación ASTM A710 ó A736. Son fáciles de soldar (sin necesidad de precalentamiento) debido a su bajo contenido de carbono (entre 0.04 y 0.08%). El refinamiento del grano se logra por medio de una microaleación de 0.01 a 0.05% de columbio. Se usan pequeñas adiciones de cobre (1 a 1.3%), níquel (0.7 a 1%), cromo (0.60 a 0.90%) y molibdeno (0.15 a 0.25%), para lograr una alta resistencia.

Estos aceros cada día son más populares y se usan para vagones de ferrocarril, para ahorrar peso y para miembros estructurales de puentes y edificios. Se fabrican en grosores de metal de hojas hasta placas gruesas.

Hay tres diferentes clases de este acero, basadas en el método de tratamiento térmico. Las placas laminadas seguidas por un tratamiento de envejecimiento constituyen una clase; las placas laminadas normalizadas y envejecidas están amparadas por la segunda clase, y la tercera clase abarca las placas que se

laminan, se templan y se envejecen. El electrodo recubierto que se usa para soldar este acero es el E10018-M1 o el E12018-M2.

La soldadura con el proceso GMAW, utiliza de electrodo que se acopla el nivel de resistencia y el contenido de aleación del acero HSLA que se esté usando. El gas de protección puede ser 98% de argón-2% de O₂, 75% de argón-25% de CO₂. Para la soldadura con arco con núcleo de fundente se aplica lo mismo.

No se requieren precauciones especiales de soldadura para lograr una resistencia igual a la del metal base y adecuadas propiedades de dureza.

Aceros con níquel alto

Los aceros con níquel al 9% se fabrican para proporcionar una alta resistencia y una dureza extrema a temperaturas de trabajo muy bajas (hasta -320°F). La razón para fabricar el material es proporcionar un acero que pudiera usarse en tanques y recipientes para almacenar gas natural licuado. También se hace un acero bajo en níquel en el rango de 5% más molibdeno al 0.25%, el cual proporcionará buenas propiedades a temperaturas tan bajas como -275°F. Estos aceros se sueldan bajo la condición de tratamientos térmicos y no requieren de un postcalentamiento.

La dureza de este acero se debe a la pequeña cantidad de austenita, la cual mejora durante el tratamiento de templado. Esta fase es estable a temperaturas inferiores a cero y contribuye a la dureza del acero.

El acero de níquel al 9% se puede cortar por medio de flama usando un equipo normal de gas de combustible de oxígeno, seguido de un esmerilado para eliminar cualquier metal endurecido y la superficie del óxido.

La zona afectada por el calor de la soldadura tiene una microestructura un tanto distinta a la del metal base. La soldadura se puede realizar con los procesos SMAW, SAW, GMAW, y FCAW.

Cuando se usa el proceso SMAW, se emplean los electrodos altos en níquel-cromo-hierro. Estos son los del tipo AWS ENiCrFe-2 y los del tipo ENiCrFe-3. El electrodo más alto en cromo-níquel produce soldaduras de resistencia ligeramente más alta. No se requiere precalentamiento o postcalentamiento sobre un material con un espesor de 2" o menos. Antes de soldar el metal base debe estar a temperatura ambiente, 70° F. Cuando se hacen soldaduras en ranuras en forma de V, el ángulo mínimo incluido debe ser de 70°. Los electrodos altos en níquel tienen una baja penetración.

Cuando se realiza la soldadura con el proceso SAW a materiales delgados, se usa un precalentamiento a temperatura ambiente de 70°F. Cuando se suelda materiales de 2" y más gruesos, se recomienda un precalentamiento de 250 a 300°F. Se usa la misma temperatura entre pasos.

El proceso GMAW emplea el electrodo alto en cromo-níquel, AWS ERNiCrFe-6, y se recomienda un gas de protección de 90% de helio y 10% de argón con una transferencia de corto circuito. Cuando se utiliza el proceso FCAW, se emplean alambres de electrodos de fabricación especial.

Aceros de cromo-molibdeno

Los aceros de cromo-molibdeno se diseñaron para uso a temperatura elevada. Se han usado extensamente en tuberías de potencia, donde funcionan a altas presiones y temperaturas entre 700 y 1100°F.

Estos aceros tienen bajo coeficiente de expansión térmica, además, no se vuelven quebradizos después de periodos de uso a alta temperatura.

Para soldar estos aceros se utilizan cualquiera de los siguientes procesos: SMAW, SAW, FCAW, GTAW y GMAW. Es necesario acoplar estrechamente el análisis del depósito del metal de soldadura con la composición del metal base.

Para el caso del proceso SMAW, el sufijo de la clase de electrodo que va de B1 (con 1/2% de cromo-1/2 de molibdeno), hasta B4 (con el 2 1/2% de cromo-1/2% de molibdeno), identifica a la composición. Los electrodos para este proceso de soldadura deberán ser del tipo de bajo hidrógeno.

Las especificaciones de la AWS para los electrodos sólidos y desnudos de cromo-molibdeno y para los electrodos de núcleo de fundente, fluctúan entre 2 1/2% de cromo-1% de molibdeno, dentro de su análisis.

Los gases de protección sugeridos para soldar este tipo de aceros son:

- Usar argón para el proceso GTAW.
- Emplear CO₂ o una mezcla de argón-CO₂ para el proceso GMAW.
- Usar CO₂ o una mezcla de argón-CO₂ para el proceso FCAW.

Los aceros cromo-molibdeno son de tipo endurecible; por consiguiente, es necesario proporcionar un procedimiento de soldadura que incluya un precalentamiento y un postcalentamiento. Las temperaturas de precalentamiento oscilan entre 100°F a 700°F. Se requiere de un tratamiento de postcalentamiento cuando el contenido de carbono excede de 0.20%, o cuando el espesor de la pared es de más de 1/2". La temperatura del tratamiento térmico fluctúa entre 1150 a 1300°F.

Quando se sueldan diferentes calidades de aceros de cromo-molibdeno, las temperaturas de precalentamiento y de postcalentamiento se basan en el material de aleación más alta, pero el electrodo de soldadura se puede basar en el material de aleación más baja.

Aceros vaciados o fundidos

El acero vaciado se deposita en un molde para darle la forma deseada, en vez de hacerlo en lingoteras, así, se fabrican piezas complejas a un menor costo que por otros medios. Las piezas de acero vaciado se compran generalmente, según ciertas propiedades mecánicas específicas. Estas piezas fundido pueden tener defectos de fundición, los cuales se reparan por medio de soldadura.

Entre los grados de acero fundido que más comúnmente se especifican, pueden mencionarse:

- a) los aceros recocidos con bajo contenido de carbono que corresponden a la especificación QQ-S-681 clase 2, a la ASTM 65-35, o a la SAE 0030, y
- b) los aceros de mayor resistencia, con frecuencia aleados o con tratamiento térmico completo, o ambas cosas, similares a los de las especificaciones QQ-S-681 clase 4C2, ASTM 105-85 o SAE 0105.

Cuando se sueldan piezas fundidas tratadas térmicamente, una de las áreas con problemas es el depósito del metal de soldadura. Éste presenta, por lo general, un contenido de carbono más bajo que la pieza fundida, y el tratamiento de calentamiento puede no producir las mismas propiedades mecánicas en el metal de soldadura que en la pieza fundida. Cuando se usan los procesos FCAW y SAW, este problema se reduce a la más alta penetración de estos procesos. Hay más dilución del metal de soldadura desde el metal base, y así resultará un depósito de carbono más alto, esto proporciona un depósito de metal de soldadura más similar a la pieza fundida.

3.5.1.4. Hierro fundido, hierro vaciado

La expresión hierro fundido abarca una amplia variedad de materiales con base de hierro, los que contienen carbono, silicio, manganeso, fósforo, azufre, níquel, molibdeno, titanio, vanadio, cromo, magnesio, cobre y aluminio.

Los tipos de hierro fundido se pueden clasificar como sigue:

La *fundición blanca* se considera "insoldable".

Las variedades de *fundición gris* se usan para aplicaciones tales como: contrapesos de ventanas, contrapesos de elevadores, puertas de hornos industriales, válvulas a baja presión, tubos de alcantarilla, partes de máquinas, y otras aplicaciones, en las que es importante lograr un costo mínimo y con bajas presiones y cargas estáticas.

Los *hierros maleables* se usan comúnmente para hacer partes automotrices, tales como: cajas de diferenciales, articulaciones de la dirección, cajas de engranajes para direcciones, suspensores para muelles, partes para transmisiones automáticas, eslabones de cadena, etc.

El *hierro nodular*, llamado también *hierro dúctil*, se produce por los mismos procesos y con los mismos materiales que la fundición gris, con la excepción de que se agregan magnesio y/o cesio. Las piezas fundidas en hierro nodular se usan para aplicaciones tales como: ejes de generadores, con diámetro de 10 a 20 pulgadas y longitudes de 7 a 12 pies, para piezas vaciadas de bombas centrífugas y en otras aplicaciones que requieren de resistencia al choque térmico, hasta de 1600°F.

Los hierros vaciados se sueldan con facilidad mediante los procedimientos normales de soldadura. Estos procedimientos están planeados para restringir la

penetración a la profundidad mínima requerida para la fusión, con lo cual se reduce al mínimo o se impide la transformación del metal base en una zona frágil en la soldadura (ocasionada por el enfriamiento rápido del metal de la soldadura y el enfriamiento rápido de ese mismo metal en la zona afectada por el calor).

Los precalentamientos a alta temperatura producen microestructuras más blandas y menos frágiles que los precalentamientos a baja temperatura. Sin embargo, con los primeros se dificulta más la soldadura. La pieza vaciada debe aislarse para que no sufra una pérdida rápida de calor, de manera que pueda mantenerse la temperatura de precalentamiento durante toda la operación de soldadura. El calor aportado por la soldadura puede usarse para ayudar a mantener las temperaturas entre pasadas en las piezas de tamaño pequeño y mediano.

Además de precalentar, es importante preparar correctamente la ranura de la soldadura, por ejemplo: para una soldadura a tope o para reparar una pieza soldadura defectuosa con el proceso SMAW, se prepara la ranura (que se extienda más allá de una grieta existente) con un ángulo incluido de 60°, mediante el corte de rebabas, a esmeril o por maquinado. Debe tenerse cuidado de dejar una abertura de fondo lo suficientemente amplia para permitir la manipulación no interrumpida de electrodo y la fusión con las caras de la raíz y la placa de respaldo (si se usa).

3.5.1.5. Aceros inoxidables

Las palabras descriptivas de aceros inoxidables, se aplican a muchas aleaciones preparadas con base de hierro, todas las cuales contienen por lo menos 12% de cromo, con o sin adiciones de otros elementos de aleación. La propiedad notable de los aceros inoxidables es su resistencia a la corrosión en muchos medios corrosivos, una delgada película de óxido de cromo se forma sobre la superficie del metal cuando se expone al oxígeno del aire. Además, poseen una adaptabilidad excepcional a los procesos de conformado en frío y en caliente y pueden desarrollar una alta resistencia a la tensión y al movimiento plástico hasta de 350.000 y 25.000 psi, respectivamente, a 1000°F.

Todos los aceros inoxidables que se han descrito son fácilmente soldables mediante los procesos SMAW, GTAW y GMAW.

Los aceros inoxidables son ligeramente más difíciles de soldar que los aceros de carbón dúctiles, debido a sus propiedades las cuales son:

- Temperatura de fundición baja.
- Conductividad térmica con coeficiente más bajo.
- Expansión térmica con coeficiente alto.
- Resistencia eléctrica más alta.

Estas propiedades no son iguales para todos los aceros inoxidables, pero son las mismas para todos los que tienen la misma microestructura.

En la tabla 12 se presentan algunas de las aplicaciones y clasificación de las aleaciones de los aceros inoxidables.

Tabla 12. Soldabilidad de los aceros inoxidables AISI.

| | Características sobresalientes | Aplicaciones | |
|---|--------------------------------|---|---|
| Austeníticos Cromo-Níquel, no endurecibles, no magnéticos | 301 | Acero inoxidable de uso general que se trabaja con facilidad. Se fabrica fácilmente, para aplicaciones decorativas o resistentes a la corrosión | Ornamentos arquitectónicos, equipos para lecherías (tales como aparatos de ordeña y equipos de homogeneización), equipos para restaurantes y fuentes de sodas, herrajes para cocina, tornillos y remaches, así como para partes de máquinas, calderas de combustión instantánea, recipientes sujetos a presión, carcasas de caldera, mamparas de caldera, laminas de hogar o cajas de fuego, revestimientos de hornos, soportes de mesa de destilería, revestimientos de secadores, para revestimientos de hornos, transportadores y soportes para usarse en el interior de hornos de tratamiento térmico, chimeneas y compuertas de las mismas, etc. |
| | 302 | | |
| | 304, 304LC | | |
| | 308 | | |
| | 309 | | |
| | 310 | | |
| | 316, 316LC | | |
| | 317 | | |
| Martensíticos Cromo, endurecibles, magnéticos | 403 | Se usa para álabes de turbina forjados. Uso general, bajo precio tratable térmicamente | Se emplean para cuchillería de precio bajo, partes de bomba, equipo para refinerías de petróleo, lavadoras de carbón, hojas de turbina, cuerdas, reglas de acero, partes de máquinas, instrumentos de cirugía, válvulas, tornillos para máquina, objetos decorativos, tanques para ácido nítrico, accesorios para aviones, barras de calentadores, maquinaria para papel, tornillos pasantes, rodamientos de bolas, etc. |
| | 410 | | |
| | 414 | | |
| | 416 | | |
| | 420 | | |
| | 431 | | |
| | 440A | | |
| | 440B | | |
| Ferríticos Cromo, no endurecibles, magnéticos | 440C | Con mayor contenido de carbono que el 440A o B para alta dureza | Se usan en tuberías de paso de petróleo caliente, y otros equipos de refinería que trabajan a temperaturas elevadas, tubos de hornos, intercambiadores de calor, válvulas y tuberías para vapor a temperaturas elevadas. |
| | 501 | | |
| | 502 | | |
| | 405 | | |
| | 406 | Para resistencias eléctricas. | |
| | 430 | Aleación de fácil conformado, para molduras automotrices. | |
| | 430F | Variedad de maquinado libre del grado 430 | |
| | 446 | Alta resistencia a la corrosión y formación de escamas hasta 2150 °F. | |

Los aceros inoxidables **austeníticos** (serie 300), tienen un coeficiente de dilatación térmica aproximadamente 50% mayor que el del acero al carbono. Su conductividad térmica es sólo de la tercera parte de la del acero al carbono.

Estos aceros pueden presentar ciertos problemas de deformación, a menos que se implementen prácticas de soldadura para controlar la deformación, tales como:

- Colocar barras de cobre para enfriamiento rápido bajo las zonas de soldadura, para extraer el calor con mayor rapidez.
- Utilizar dispositivos posicionadores para soldadura, para impedir el movimiento de los metales de base.

Se recomienda soldar con alta velocidad de desplazamiento y corriente de soldadura baja.

Los aceros inoxidables austeníticos, cuando se calientan en el intervalo de 800 a 1500°F, experimentan una migración de cromo, lo que baja su resistencia a la corrosión, por lo que, no se recomienda el precalentamiento. Sin embargo, puede requerirse el relevado de esfuerzos para asegurar la estabilidad dimensional. El relevado de esfuerzos puede efectuarse en un amplio intervalo de temperaturas, dependiendo de la magnitud del relajamiento requerido.

Los aceros **ferríticos** inoxidables no son endurecibles por medio de tratamiento térmico. Estos aceros son soldables por la mayoría de los procesos de soldadura, a excepción del grado 430F de maquinación libre, el cual contiene un alto nivel de azufre. No se recomiendan los procesos de soldadura que tienden a incrementar la captación de carbono, como el proceso GMAW con protección de CO₂.

Los aceros ferríticos de la serie 400 poseen la tendencia para el crecimiento granular a temperaturas elevadas (1600°F). Los tipos con el nivel más bajo de cromo muestran tendencias al endurecimiento con una estructura resultante del tipo martensítico en los límites de granos del área de soldadura. Esto disminuye la ductilidad, dureza y resistencia a la corrosión en la soldadura. El intervalo de temperatura de precalentamiento recomendado para los aceros inoxidables ferríticos mayores de ¼" de espesor es de 300 a 450°F. Como los aceros menores a ¼" de espesor tienen menos probabilidades de agrietarse, el precalentamiento de estas secciones delgadas es optativo.

Se recomienda un recocido posterior a la soldadura en el intervalo de 1450 a 1550°F, seguido de un templado desde 110°F a la temperatura ambiente, en aire, o por enfriamiento rápido en agua.

En los aceros inoxidables **martensíticos** templables (serie 400) la dureza de la zona afectada por el calor depende principalmente del carbono del metal de base. Al aumentar la dureza disminuye la tenacidad, y la zona se vuelve más susceptible al agrietamiento. El precalentamiento y el control de las temperaturas entre pasadas, son los medios más eficaces para evitar el agrietamiento. Para obtener resultados óptimos se requiere el tratamiento térmico de postsoldadura.

Puede usarse la siguiente guía para relacionar los tratamientos térmicos de precalentamiento y postsoldadura con los contenidos de carbono y las características de estos aceros en cuanto a la soldadura.

- *Carbono por debajo de 0.10%*. Los aceros con un contenido de carbono tan bajo no son estándares. No requieren precalentamiento ni postcalentamiento.
- *Carbono de 0.10 a 0.20%*. Precalentar a 500°F; soldar a esta temperatura y enfriar a la temperatura ambiente.
- *Carbono de 0.20 a 0.50%*. Precalentar a 500°F; soldar a esta temperatura y recocer.
- *Carbono de más de 0.50%*. Precalentar a 500°F; soldar con alto aporte de calor y recocer después de soldar.

3.5.1.6. Aceros de ultra alta resistencia

El término *acero de alta resistencia* se aplica frecuentemente a todos los aceros distintos de los de carbono bajo y dúctiles, con una resistencia de flexión de por lo menos 80.000 psi.

Los grupos de aceros que se incluyen en esta categoría son los siguientes:

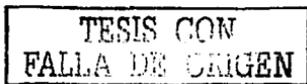
Aceros endurecibles con carbono medio y de baja aleación

Los aceros mejor conocidos en esta clase son AISI 4130, AISI 4140, AISI 4340 (de resistencia más alta) y el acero AMS 6434. Estos aceros obtienen su alta resistencia por medio de tratamiento térmico hasta lograr una microestructura martensítica total, la cual se temple para mejorar la ductilidad y la dureza. Las temperaturas de templado afectan considerablemente los niveles de resistencia de estos aceros. El carbono está en el grado medio, a un nivel tan bajo como sea posible, pero suficiente para proporcionar la resistencia requerida. Las impurezas se mantienen a un nivel mínimo absoluto debido a métodos de fundición de alta calidad y de refinamiento.

Los aceros de este grupo pueden cortarse mecánicamente o por medio de flama. Sin embargo, cuando se cortan por medio de flama deben precalentarse hasta 600°F y después del corte deben esmaltarse antes de cualquier otro trabajo para reducir la dureza de los bordes.

La soldadura casi siempre se hace sobre estos aceros cuando están en la condición esmaltada o normalizada. Posteriormente se tratan por medio de calor para obtener la resistencia deseada. Los procesos GTAW, GMAW, SMAW y de gas se usan para soldar estos aceros. La composición del metal de aporte se designa para producir un depósito de soldadura que responda a un tratamiento térmico aproximadamente de la misma manera que el metal base.

Se usan temperaturas de precalentamiento relativamente altas (600°F), así como temperaturas entre pasos para evitar quebraduras y la posibilidad de fracturas durante la soldadura. Las soldaduras complejas se tratan por medio de calor inmediatamente después de la soldadura.



Aceros endurecibles de aleación media (aceros para herramientas)

Estos aceros se usan en aplicaciones estructurales de ultra-alta resistencia. Tienen carbono en un grado que fluctúa de bajo a medio y poseen una gran resistencia contra fracturas a niveles de alta resistencia. Además, se endurecen por medio de aire, lo cual reduce la distorsión que sucede con los métodos de templado más drásticos.

La clasificación de los aceros para herramientas, según la AISI, considera el método de templado, aplicaciones, características particulares y aceros para industrias específicas. A continuación se presentan los siete grupos principales para los aceros para herramientas:

| GRUPO | SÍMBOLO Y TIPO |
|------------------------|--|
| Templados en agua | W |
| Resistentes al impacto | S |
| Trabajo en frío | O Templable en aceite |
| | A Mediana aleación y templable en aire |
| | D Alto carbono, alto cromo |
| Trabajo en caliente | H (H1-H19, incluso, base cromo; H20-H39, incluso, base tungsteno; H40-H59, incluso, base molibdeno) |
| Alta velocidad | T Base tungsteno |
| | M Base molibdeno |
| Moldes | P Aceros para moldes (P1-P19, incluso, bajo carbono: P20-P39, incluso otros tipos) |
| Propósitos específicos | L Baja aleación |
| | F Carbono-tungsteno |

Cuando se cortan con flama, los aceros para calidad de aeronaves, el precalentamiento (a 600°F) es absolutamente necesario, puesto que los aceros son endurecibles por aire, se esmaltan después de que se terminan de cortar con flama, que es susceptible de romperse.

Este tipo de acero debe soldarse solamente cuando esta esmaltado. El acero debe precalentarse hasta 600°F y esta temperatura se mantendrá a través de toda la operación de soldadura. Después de soldar la pieza se debe enfriar lentamente. Esto se puede hacer por medio de un postcalentamiento, o por enfriamiento de horno. Entonces, la soldadura se libera de la tensión a 1300°F y se enfría por medio de aire para obtener una microestructura totalmente templada y preparada para trabajos adicionales. Por lo general, se esmalta después de que se hace toda la soldadura, antes del tratamiento final con calor.

El metal de aporte debe ser de la misma composición que el metal base para proporcionar un nivel de resistencia igual al del metal base. Los procesos GTAW, GMAW y SMAW se utilizan ampliamente para soldar estos aceros.

En todos los casos, se requiere de un proceso de bajo hidrógeno o sin hidrógeno. Para la soldadura el proceso SMAW se recomiendan los electrodos de bajo hidrógeno del tipo E-13018. Si se utilizan otros procesos, hay que tomar precauciones para tener la seguridad de que el gas esté seco, igual que el fundente del proceso SAW. El precalentamiento por lo menos será de 100°F para los materiales más delgados y del doble para los materiales más gruesos. El consumo de calor debe ser tal que el metal base adyacente no se sobrecaliente.

Por lo general, no se requiere ni se recomienda un tratamiento subsiguiente con calor.

Aceros endurecibles de alta aleación

Los aceros de este grupo desarrollan una alta resistencia por medio de un endurecimiento estándar y tratamiento de templado térmico. Los aceros poseen una resistencia extremadamente alta, con una flexión que fluctúa entre los 180,000 psi y tienen un alto grado de dureza. Esto se obtiene con un contenido mínimo de carbono (de 0.20%), sin embargo, estos aceros contienen:

- Cantidades pequeñas de aleaciones
- Cantidades relativamente altas de níquel y cobalto

Los aceros endurecibles de alta aleación, algunas veces se conocen como aceros de 9% Ni-4% Co. Casi siempre se sueldan cuando están templados.

Para soldar estos aceros se utiliza el proceso GTAW. No se requiere ningún tratamiento posterior con calor. El metal de aporte debe acoplarse al análisis del metal base.

Aceros envejecidos altos en níquel

Este tipo de acero tiene un contenido de níquel relativamente alto, pero es bajo en carbono. Obtiene su alta resistencia a partir de un tratamiento especial de calor denominado envejecimiento. Estos aceros poseen una extraordinaria combinación de alta resistencia, así como una resistencia hacia las fracturas, y al mismo tiempo, es fácil darles forma, son soldables y fáciles de tratar por medio de calor.

Hay tres tipos básicos de estos aceros: los tipos de níquel al 18%, níquel al 20% y níquel al 25%.

Las propiedades especiales de estos aceros se obtienen calentando el acero a 900°F y permitiendo que se enfríe a la temperatura ambiente. Durante este tratamiento térmico toda la austenita se transforma en martensita, la cual es de un tipo muy duro y masivo. El período a la temperatura de 900°F es extremadamente importante, por lo general, fluctúa en tres horas. Los aceros cada vez se hacen más fuertes a medida que pasan mayor tiempo a esta temperatura en la condición martensítica, por esta razón se denominan aceros envejecidos.

Estos aceros pueden ser dúctiles y ser fabricados en frío. Se pueden cortar con flama y con arco en plasma. Generalmente estos aceros se sueldan por el proceso GTAW o GMAW. Los procesos SAW y SMAW también se pueden usar con combinaciones especiales de fundente-electrodo.

El metal de aporte debe tener la misma composición que el metal base. Además, el metal de aporte debe ser de alta pureza con un nivel bajo de carbono. No se requiere precalentamiento ni postcalentamiento, sin embargo, la soldadura debe ir seguida por el tratamiento de envejecimiento por calor, el cual producirá uniones de soldadura con una resistencia extremadamente alta.

3.5.2. Metales no ferrosos

3.5.2.1. Aluminio y aleaciones de aluminio

Clasificación

El aluminio tiene bajo peso y resistencia relativamente alta y es el segundo metal que se suelda con mayor frecuencia. Hay dos clases de aleaciones de aluminio y se clasifican de acuerdo con el método de fabricación: las fundidas y las forjadas. Las aleaciones para forja, que se conforman mediante deformación plástica, tienen composiciones y microestructuras significativamente diferentes a las aleaciones para fundición, lo cual refleja las diferentes condiciones del proceso de manufactura.

Tabla 13. Sistema de clasificación para las aleaciones fundidas.

| | | |
|-------|---------------------------|---|
| 1xx.x | Alum. comercialmente puro | No envejecido |
| 2xx.x | Al-Cu | Endurecible por envejecimiento |
| 3xx.x | Al-Si-Cu o Al-Mg-Si | Algunas son endurecibles por envejecimiento |
| 4xx.x | Al-Si | No envejecido |
| 5xx.x | Al-Mg | No envejecido |
| 7xx.x | Al-Mg-Zn | Endurecible por envejecimiento |
| 8xx.x | Al-Sn | Endurecible por envejecimiento |

En la tabla 14, se muestra la clasificación mediante el sistema de enumeración para las aleaciones fundidas.

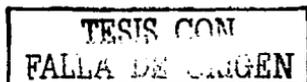


Tabla 14. Designaciones de las aleaciones de aluminio forjables (según la Aluminium Association y la ASME)

| DESIGNACIONES POR GRUPOS DE ALEACIONES | | SERIE |
|---|--|-------|
| Aluminio | 99.00% de aluminio y más. Se usan principalmente en las industrias eléctrica y química. No envejecido. | 1XXX |
| Aleaciones de aluminio agrupadas por sus principales elementos de aleación. | Elemento de aleación: Cobre. Estas aleaciones no proporcionan una resistencia adecuada a la corrosión, y con frecuencia se revisten de aluminio puro o con aleación especial con base de aluminio. Estas aleaciones se utilizan en la industria aeronáutica. Endurecible por envejecimiento. | 2XXX |
| | Elemento de aleación: Manganeso. El contenido de manganeso está limitado aproximadamente a 1.5%. Estas aleaciones tienen resistencia moderada y se maquinan fácilmente. No envejecido. | 3XXX |
| | Elemento de aleación: Silicio. Se puede agregar en cantidades suficientes para reducir apreciablemente el punto de fusión y se usa para las aleaciones de latónado y para electrodos de soldadura. Endurecible por envejecimiento si hay Mg presente. | 4XXX |
| | Elemento de aleación: Magnesio. Estas aleaciones son de resistencia media. Tienen buenas características de soldadura. resisten bien la corrosión, pero se debe limitar el trabajo en frío. No envejecido. | 5XXX |
| | Elementos de aleación: Magnesio y silicio. Estas aleaciones tienen resistencia media y resisten bastante bien a la corrosión. Endurecible por envejecimiento. | 6XXX |
| | Elemento de aleación: Cinc. El magnesio también forma parte de la mayoría de aleaciones de muy alta resistencia. Esta serie se emplea en los bastidores de las aeronaves. Endurecible por envejecimiento. | 7XXX |

Además de la designación numérica, las aleaciones forjadas se identifican también por las designaciones de su revenido:

F Como está fabricado (trabajo en caliente, forja, fundición, etc.).

O Recocido y recristalizado (sólo para productos forjados).

H Trabajada en frío (sólo para productos forjados):

H1x –Trabajada en frío solamente (x se refiere a la cantidad de trabajo en frío y endurecimiento).

H12 –Proporciona una resistencia a la tensión intermedia entre O y H14.

H14 –Proporciona una resistencia a la tensión intermedia entre O y H18.

H16 –Proporciona una resistencia a la tensión intermedia entre H14 y H18.

H18 –Proporciona una reducción de aproximadamente 75%.

H19 –Proporciona una resistencia a la tensión mayor en 2000 psi, respecto de la obtenida por H18.

H2X –Trabajada en frío y parcialmente recocida.

H3X –Trabajada en frío y estabilizada a una temperatura baja para evitar el endurecimiento por envejecimiento.

W Tratado térmico de solución.

T Endurecida por envejecimiento:

T1 –Enfriada desde la temperatura de fabricación y envejecida naturalmente.

- T2 —Enfriada desde la temperatura de fabricación, trabajada en frío y envejecida naturalmente.
- T3 —Tratada por solución, trabajada en frío y envejecida naturalmente
- T4 —Tratada por solución y envejecida naturalmente.
- T5 —Enfriada desde la temperatura de fabricación y envejecida artificialmente.
- T6 —Tratada por solución y envejecida artificialmente.
- T7 —Tratada por solución, estabilizada por sobreenvejecimiento.
- T8 —Tratada por solución, trabajada en frío y envejecida artificialmente.
- T9 —Tratada por solución, envejecida artificialmente y trabajada en frío.
- T10 —Enfriada desde la temperatura de fabricación, trabajada en frío y envejecida artificialmente.

Son importantes las especificaciones del temple, desde el punto de vista de la soldadura, porque la misma soldadura, que en sí es un tratamiento térmico, puede cambiar las características del metal de la zona afectada por el calor.

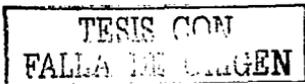
Características del aluminio.

- El aluminio es muy activo y reacciona con el oxígeno del aire, produciendo una capa superficial de óxido delgada y dura. Esta capa tiene un punto de fusión de 3600°F, superior al punto de fusión del aluminio puro que es de 1200°F.

Esta capa de óxido de aluminio absorbe humedad del ambiente. La humedad es una fuente de hidrógeno, el cual a su vez es la causa de la porosidad en las soldaduras de aluminio. La limpieza del aluminio previa a la soldadura es esencial para obtener una calidad óptima de soldadura. Los contaminantes de la superficie deben removerse del metal de base, inclusive la mugre, las partículas metálicas, el aceite y la grasa, la pintura, la humedad, y los recubrimientos gruesos de óxido.

La eliminación se puede realizar por medios mecánicos, químicos o eléctricos, procurando ejecutar la soldadura cuando más 8 horas después de realizada la limpieza. Sin embargo, no siempre se requieren soldaduras de la más alta calidad. En donde lo permiten las necesidades del servicio, muchas partes se sueldan sin limpieza alguna de presoldadura.

- Alta conductividad térmica. Debido a que se tiene que aplicar gran cantidad de calor, generalmente se usa el precalentamiento (hasta de 400°F) en las partes que se van a unir. Esta alta conductividad térmica puede ayudar también, porque si el calor se aleja de la soldadura rápidamente, la soldadura solidificará muy rápidamente.
- Coeficiente de expansión térmica alto. Es importante el uso de plantillas y dispositivos para soldadura diseñados adecuadamente, para minimizar la magnitud de la deformación que resulta por el calor que se aplica al material durante la soldadura y su enfriamiento subsiguiente. El aluminio fundido se contrae aproximadamente tres veces más que un volumen similar de acero. A veces, cuando no es posible usar resúmenes de calor o barras de enfriamiento rápido, deben usarse otros métodos de enfriamiento (tales como el hielo seco) para aislar la zona de la soldadura y reducir al mínimo la deformación.



- Temperatura de fusión baja.
- No cambia de color cuando la temperatura se acerca al punto de fusión.

Cuando se toman en consideración los factores anteriores, se podrán hacer uniones soldadas en aluminio con poco o ningún problema.

Soldadura por el proceso GTAW

Puede usarse el proceso manual GTAW para soldar secciones cuyo espesor varíe desde 0.040 hasta 3/8", y el proceso automático GTAW para secciones cuyo espesor varíe entre 0.010 a 1".

Se recomienda la corriente alterna con alta frecuencia porque proporciona una acción de remoción de óxido, esta remoción se logra por medio de un bombardeo catódico o de electrones. Este bombardeo tiene lugar durante el medio ciclo de la corriente alterna al soldar, cuando el electrodo es positivo (polaridad invertida).

Cuando se suelda manualmente la longitud del arco se debe mantener corta e igual al diámetro del electrodo. El electrodo de tungsteno no debe sobresalir demasiado del extremo de la boquilla. Se deben emplear fuentes de potencia diseñadas para este proceso porque pueden tener programación, pre y postflujio del gas de pantalla y pulsación.

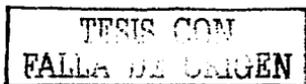
Los gases pueden ser argón o helio, o una mezcla de ambos. El argón es el más empleado y se usa a menor flujo. El helio aumenta la penetración, pero se necesita mayor flujo.

Soldadura por el proceso GMAW

El proceso GMAW puede usarse para hacer soldaduras en secciones que varíen desde 1/8 hasta varias pulgadas en espesor, este proceso es más rápido que el proceso GTAW.

El electrodo debe estar libre de humedad. Este proceso, por lo general, utiliza el argón puro como atmósfera de protección. Se debe usar control de purga de gas y postflujio de gas. Se recomienda un ángulo de 30° para el avance de la pistola. El equipo de alimentación del alambre debe estar bien ajustado para un manejo eficiente del electrodo, y los rodillos deben ser los adecuados para que puedan empujar el electrodo delgado, a través de cables de pistola muy largos. Para soldar aluminio se usan las fuentes de voltaje constante con alimentador de alambre de velocidad constante.

Deben usarse barras de respaldo de tipo permanente o temporal en este proceso de soldadura. El acero al carbono es el material que se usa con más frecuencia en las barras de respaldo, aunque también se emplea acero inoxidable cuando se requiere menor conductividad térmica en el respaldo.



3.5.2.2. Cobre y aleaciones de cobre

Clasificación

El cobre y sus aleaciones tienen propiedades específicas que las hacen muy útiles, como son: su alta conductividad eléctrica y su resistencia a la corrosión. En la tabla 15 se muestra la clasificación de los distintos cobsres y sus aleaciones.

Tabla 15. Código numérico para el cobre y sus aleaciones (según la ASTM y SAE).

| Cobre Número | Aleaciones Maleables - Grupos |
|--------------|---|
| C11X00 | Libre de oxígeno -cobre de alta conductividad (99.95 + %) |
| C11X00 | Cobre refinado (99.88 + %) |
| C12X00 | |
| C13X00 | |
| C19X00 | Aleaciones con alto cobre (96 + % de cobre) |
| C2X00 | Aleaciones de cobre y cinc (latones) |
| C3X00 | Aleaciones de cobre, cinc y plomo (latones al plomo) |
| C4X00 | Aleaciones de cobre, cinc y estaño (latones al estaño) |
| C50X00 | Aleaciones de cobre y estaño (bronces fosforados) |
| C51X00 | |
| C52X00 | |
| C53X00 | Aleaciones de cobre y estaño (bronce de estaño) |
| C54X00 | |
| C61X00 | Aleaciones de cobre y aluminio (bronces de aluminio) |
| C62X00 | |
| C63X00 | |
| C64X00 | Aleaciones de cobre y silicio (bronces al silicio) |
| C65X00 | |
| C66X00 | Aleaciones de cobre y cinc (latones y bronce varios) |
| C67X00 | |
| C68X00 | |
| C69X00 | |
| C70X00 | Aleaciones de cobre y níquel |
| C71X00 | |
| C72X00 | |
| C73X00 | Aleaciones de cobre, níquel y cinc (plata de níquel) |
| C74X00 | |
| C75X00 | |
| C76X00 | |
| C77X00 | |
| C78X00 | |
| C79X00 | |

Tabla 15 (continuación). Código numérico para el cobre y sus aleaciones (según la ASTM y SAE).

| Aleaciones de fundición –Grupos | |
|--|---|
| C80X00 | Aleaciones de cobre (89 + % cobre) |
| C81X00 | Aleaciones con alto cobre (cobre al berilio) |
| C82X00 | Aleaciones cobre, estaño, cinc + bronce, estaño, cinc y plomo (latones rojos y latones rojos con plomo) |
| C83X00 | Aleaciones cobre, estaño, cinc + bronce, estaño, cinc y plomo (latones rojos y latones rojos con plomo) |
| C84X00 | Latones semirrojos y latones semirrojos con plomo |
| C85X00 | Aleaciones con manganeso y con manganeso y plomo |
| C86X00 | Aleaciones de cobre, estaño y plomo (bronces fosforados al plomo) |
| C87X00 | Aleaciones cobre, estaño, cinc + bronce estaño cinc y plomo (latones rojos y latones rojos con plomo) |
| C90X00 | Aleaciones de cobre, estaño y plomo (bronce de estaño con alto plomo) |
| C91X00 | Aleaciones de cobre, cinc y silicio (bronces y latones al silicio) |
| C92X00 | Aleaciones de cobre, cinc y silicio (bronces y latones al silicio) |
| C93X00 | Aleaciones de cobre, estaño y plomo (bronce de estaño con plomo) |

Característica del cobre

- Alta conductividad térmica. A menudo se usa el precalentamiento, esto se debe a que se emplea mayor calor porque el cobre lo disipa muy rápidamente. Lo anterior puede ser una ventaja, pues al disipar rápido el calor, la zona de la soldadura se solidifica rápidamente.
- Coeficiente de dilatación térmica alto: aproximadamente 50% más alto que la del acero
- Temperatura de fusión relativamente baja: ésta varía según el tipo de aleación.
- Algunas aleaciones son quebradizas a altas temperaturas, esto se debe a que algunos elementos de aleación forman óxidos y otros compuestos en los límites de los granos.
- Metal fundido muy fluido.
- Alta conductividad eléctrica: provoca problemas al soldarlo con los procesos de soldadura por resistencia.
- Gran parte de su resistencia se debe al trabajo en frío, el calor recoce al cobre en la zona afectada por el calor.
- No cambia de color a temperaturas altas.

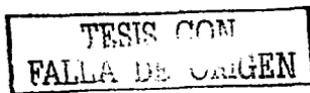
Soldabilidad en el cobre y sus aleaciones

El proceso GTAW se usa más frecuentemente para soldar aleaciones de cobre en secciones hasta de $\frac{1}{2}$ " de espesor. No se utiliza ningún metal de aporte para secciones de $\frac{1}{8}$ " o menores. El proceso GTAW se utiliza con corriente directa y electrodo al negativo y, en ocasiones, se utiliza corriente alterna con alta frecuencia.

Casi invariablemente se aplica el proceso GMAW para soldar el cobre y sus aleaciones en secciones de $\frac{1}{4}$ " o de mayor espesor, además, proporciona mayor tasa de deposición, presenta menor distorsión y produce soldaduras de alta calidad en todas las posiciones. Este proceso se utiliza con corriente directa y electrodo al positivo. se recomienda una fuente con voltaje constante.

Se debe escoger la composición del metal de aporte para que coincida lo más posible con la del metal base.

- En la serie C1XX00 se encuentran los cobres libres de oxígeno, cobres tenaces y los altos en contenido en cobre (que contienen desoxidantes). Estos cobres son empleados en barras conductoras, radiadores automotores, alambre, interruptores, rodillos para impresión, acondicionadores de aire, tubos para plomería, recipientes para procesos químicos, líneas hidráulicas, válvulas, equipo para soldar, etc. Para soldar estos cobres se debe utilizar protección gaseosa, controlando el calor, porque demasiado calor provoca oxidación. Se debe emplear un precalentamiento de 250 a 1000°F, según la masa.
- Aleaciones de Cobre y Cinc (latones), son la serie C2XX00. Estas aleaciones son empleadas en, aplicaciones arquitectónicas, tubos para plomería, herrajes marinos, joyería, tubos para condensadores e intercambiadores de calor, radiadores automotores, componentes de bombas, etc. El cinc tiene una temperatura de ebullición relativamente baja y el calor del arco tenderá a evaporarlo. Para disminuir o evitar este fenómeno, se utiliza el precalentamiento y corrientes menores para soldar. Al utilizar el proceso GMAW se pueden emplear los diversos metales de aporte como el cobre-silicio, el cobre-estaño, bronce y el bronce -aluminio, con protección de argón para secciones ligeras. Para secciones gruesas se aplica precalentamiento (aprox. 400°F) y al soldar, se emplea el helio como atmósfera de protección. Toda la soldadura debe hacerse en la posición plana, con soleras de respaldo.
- Aleaciones de Cobre, Cinc y Plomo, son de la serie C3XX00 (latones al plomo). Estas aleaciones no son adecuadas para soldar porque el plomo origina porosidad, provocando grietas en la soldadura.
- Aleaciones de cobre Cinc y Estaño (latones al estaño), son de la serie C4XX00. Estas aleaciones son empleadas en herrajes para aviación y usos marinos, placas de condensador, evaporadores e intercambiadores de calor, etc. Se sueldan con metal de aporte CuAl-A2. Para secciones ligeras se usa el argón como gas de protección y, para secciones gruesas, se utiliza el precalentamiento (aprox. 400°F) y al soldar se emplea el helio como atmósfera de protección.



• Aleaciones de Cobre y Estaño (bronces fosforados), son de la serie C5XX00. Se emplean en: utilería para procesos químicos, bujes, cojinetes, resortes, interruptores, contactos eléctricos, varillas de soldadura, etc. Estas aleaciones se sueldan por los procesos SMAW y GTAW, usando alta densidad de corriente y una alta velocidad de recorrido. Es práctica común soldar con un cordón recto y martillar entre cordones de soldadura, debido a que, presentan una alta conductividad térmica y tienden a la fragilización en caliente. Se debe emplear el precalentamiento entre 300 a 400°F. El gas de protección recomendado en el proceso GTAW es el helio.

• Aleaciones de Cobre y Aluminio (bronces al aluminio), son un subgrupo de la clase C6XX00. Se emplean en: tuercas y tornillos, recipientes para procesos químicos, tubos de condensador, herrajes marinos, recubrimientos superficiales, etc. Estas aleaciones se sueldan por los procesos GTAW y GMAW. Las aleaciones de bronce al aluminio que contienen menos del 10% de aluminio, no requieren precalentamiento y el conjunto soldado terminado debe dejarse enfriar lentamente al aire. Para aleaciones con un contenido igual o mayor de 10% de aluminio requieren temperatura de precalentamiento y el conjunto soldado terminado debe enfriarse al aire con ayuda de un ventilador.

• Aleaciones de Cobre y Silicio (bronces al silicio), son un subgrupo de la clase C6XX00. Se emplean en: tubos de intercambiadores de calor, líneas hidráulicas, tornillos y elementos de sujeción, varillas de soldadura, bujes, cojinetes, etc. Estas aleaciones se sueldan por los procesos GTAW (con corriente directa y polaridad directa) y GMAW (con corriente directa y polaridad invertida). Como las aleaciones de bronce al silicio tienden a dañarse con grietas cortas en caliente, no deben precalentarse, y las temperaturas entre pasadas deben mantenerse por debajo de 200°F. Estos bronces pueden soldarse con electrodos de ECuSi y ECuSi-A.

• Aleaciones de Cobre y Níquel, pertenecen a la clase C7XX00 de números bajos. Se emplean en: equipo para desalinado, tuberías marinas, condensadores, tubos para evaporadores e intercambiadores de calor, superficies antiensuciables, etc. Estas aleaciones son soldables con por los procesos GTAW y GMAW. El metal de aporte debe ser del tipo CuNi 70/30 (cuproníquel), con corriente directa de polaridad invertida. Estas aleaciones son fácilmente soldables en cualquier posición de soldadura, sin embargo, se obtienen los resultados óptimos con la soldadura en la posición plana. Normalmente se emplea argón, pero para espesores mayores se pueden usar mezclas de argón y helio. Generalmente no se precalientan las piezas y no se debe permitir que la temperatura entre pasos sea superior a 150°F.

• Aleaciones de Cobre, Níquel y Cinc (Plata de Níquel), pertenecen a la parte de los números altos de la clase C7XX00. Estas aleaciones se emplean en: elementos de sujeción, artículos ópticos, herrajes arquitectónicos, resortes, etc. Normalmente no se sueldan al arco. Esto se debe a la cantidad relativamente alta de cinc que contienen.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

3.5.2.3. Magnesio y aleaciones de magnesio

El magnesio tiene la densidad más baja entre los metales comerciales. su densidad es aproximadamente las dos terceras partes la del aluminio y la cuarta parte la del acero. Tiene aplicaciones en: estructuras, partes de maquinaria y herramientas debido a su relación de resistencia a peso. El magnesio se puede vaciar, forjar, fabricar y maquinar.

En la tabla 16 se incluyen las aleaciones más comunes de magnesio y nomenclatura (según la ASTM).

Tabla 16. Composición de las aleaciones de magnesio.

| COMPOSICIÓN NOMINAL. % | | | | | | | |
|---|----------|-----------|------|----------|---------------|-------|----------|
| Aleación ASTM | Aluminio | Manganeso | Cinc | Zirconio | Tierras raras | Torio | Magnesio |
| Fundiciones en arena y moldes permanentes | | | | | | | |
| AZ92A | 9.0 | 0.15 | 2.0 | --- | --- | --- | Balance |
| AZ63A | 6.9 | 0.25 | 3.0 | --- | --- | --- | Balance |
| AZ81A | 7.6 | 0.13 min. | 0.7 | --- | --- | --- | Balance |
| AZ91C | 8.7 | 0.20 | 0.7 | --- | --- | --- | Balance |
| EK30A | --- | --- | --- | 0.35 | 3.0 | --- | Balance |
| EK41A | --- | --- | --- | 0.6 | 4.0 | --- | Balance |
| EZ33A | --- | --- | 2.7 | 0.7 | 3.0 | --- | Balance |
| HK31A | --- | --- | --- | 0.7 | --- | 3.0 | Balance |
| HZ32A | --- | --- | 2.1 | 0.7 | --- | 3.0 | Balance |
| Fundiciones en moldes metálicos | | | | | | | |
| AZ91A | 9.0 | 0.20 | 0.6 | --- | --- | --- | Balance |
| AZ91B | 9.0 | 0.20 | 0.6 | --- | --- | --- | Balance |
| Extrusiones | | | | | | | |
| AZ31B | 3.0 | 0.45 | 1.0 | --- | --- | --- | Balance |
| AZ31C | 3.0 | 0.45 | 1.0 | --- | --- | --- | Balance |
| AZ61A | 6.5 | 0.30 | 1.0 | --- | --- | --- | Balance |
| M1A | --- | 1.50 | --- | --- | --- | --- | Balance |
| AZ80A | 8.5 | 0.25 | 0.5 | --- | --- | --- | Balance |
| ZK60A | --- | --- | 5.7 | 0.55 | --- | --- | Balance |
| Lámina y placa | | | | | | | |
| AZ31B | 3.0 | 0.45 | 1.0 | 0.7 | --- | --- | Balance |
| HK31A | --- | --- | --- | --- | --- | 3.0 | Balance |

Características del magnesio

♦ El magnesio es muy activo y su velocidad de oxidación aumenta cuando sube la temperatura, además, las aleaciones de magnesio son generalmente surtidas por la fábrica, ya sea con una película protectora de aceite, con superficie preparada por ataque ácido, o con superficie recubierta con cromato. El recubrimiento protector debe removerse mediante desengrasado y/o lavado alcalino, seguido por una limpieza mecánica, antes de soldar.

- ♦ Alta conductividad térmica.
- ♦ Coeficiente de expansión térmica relativamente alto.
- ♦ Capa superficial de óxido de magnesio.
- ♦ La temperatura de fusión del magnesio es más baja que su óxido, lo cual hace necesario la eliminación de éste antes de soldar.
- ♦ No cambia de color cuando la temperatura se acerca al punto de fusión.

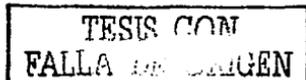
Algunas aleaciones de magnesio están sujetas a corrosión bajo tensiones. Las construcciones soldadas sujetas a ataque corrosivo durante cierto tiempo pueden romperse junto a las soldaduras si no se eliminan los esfuerzos residuales, lo que hace necesario el relevado de esfuerzos.

Soldabilidad del magnesio y sus aleaciones

El proceso GTAW se utiliza para materiales delgados, utilizando un arco corto. La antorcha debe tener un ángulo de avance ligeramente adelantado. Usar corriente de alta frecuencia para iniciar el arco con corriente directa. Cuando se use corriente alterna durante el proceso de soldadura, se debe emplear alta frecuencia. La velocidad de avance debe mantenerse constante. Se recomienda el argón como gas de protección.

El proceso GMAW se recomienda para secciones medianas a gruesas. El electrodo de magnesio tiene una alta velocidad de fusión, por lo que, se requiere un alimentador de alambre de alta velocidad. Se recomienda una transferencia de cortocircuito, con argón como atmósfera de protección.

Para estructuras, se recomienda el precalentamiento entre 200 a 400°F. El relevado de esfuerzos se debe usar cuando la estructura soldada esté expuesta a la corrosión.



3.5.2.4. Níquel y aleaciones con alto contenido de níquel

El níquel y las aleaciones con alto níquel son resistentes a la corrosión. Se utilizan en la industria química y alimenticia, y como materiales de aporte para unir materiales distintos. En la práctica, las aleaciones de níquel se identifican por nombres comerciales seguido de tres dígitos (ver tabla 17):

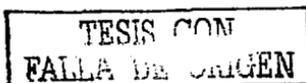
Tabla 17. Composiciones nominales de níquel y aleaciones de níquel

| ALEACIÓN | COMPOSICIÓN |
|--|---|
| NÍQUEL Y ALEACIONES DE SOLUCIÓN SÓLIDA | |
| Níquel 200 | 99.5 Ni, 0.06 C, 0.25 Mn, 0.15 Fe |
| Níquel 201 | 99.5 Ni, 0.01 C, 0.20 Mn, 0.15 Fe |
| Níquel 205 | 99.5 Ni, 0.06 C, 0.20 Mn, 0.10 Fe, 0.04 Mg |
| Níquel 211 | 95.0 Ni, 0.10 C, 4.75 Mn, 0.05 Fe |
| Níquel 220 | 99.5 Ni, 0.06 C, 0.12 Mn, 0.05 Fe, 0.04 Mg |
| Níquel 230 | 99.5 Ni, 0.09 C, 0.10 Mn, 0.05 Fe, 0.06 Mg |
| Níquel 233 | 99.5 Ni, 0.09 C, 0.18 Mn, 0.05 Fe, 0.07 Mg |
| Níquel 270 | 99.98 Ni, 0.01 C |
| Monel 400 | 66.0 Ni, 31.5 Cu, 0.90 Mn, 1.35 Fe |
| Monel 401 | 44.5 Ni, 53.0 Cu, 1.70 Mn, 0.20 Fe, 0.50 Co |
| Monel 404 | 55.0 Ni, 44.0 Cu |
| Monel R-405 | 66.0 Ni, 31.5 Cu, 1.35 Fe |
| ALEACIONES ENDURECIBLES POR PRECIPITACIÓN | |
| Monel K-500 | 65.0 Ni, 29.50 Cu, 0.60 Mn, 1.00 Fe, 0.60 Ti, 2.73 Al |
| Monel 502 | 66.5 Ni, 28.0 Cu, 0.75 Mn, 1.0 Fe, 0.25 Ti, 3.0 Al |
| ALEACIONES PARA FINES ESPECIALES | |
| Moly-Permalloy 4-79 | 79 Ni, 4 Mo, resto Fe |
| Mumetal (AMS 7701) | 80 Ni, 15 Fe, resto Cu, Mo o Cr |
| Nicrom | 57 Ni, 16 Cr, 27 Fe |
| Invar 36 | 35.5 Ni, 0.18 C, 0.42 Mn, resto Fe |

Al soldar las aleaciones de níquel se tratan casi como aceros inoxidable, porque el punto de fusión, el coeficiente de expansión térmica y la conductividad térmica son semejantes, pero las aleaciones de níquel presentan otros problemas adicionales, como son:

- Adquieren una capa superficial de óxido que se funde a una temperatura de 1000°F. mayor que el punto de fusión que el metal base. el óxido se debe quitar de la zona de unión mediante esmerilado, sopleteado, abrasivo, maquinado o por medios químicos (enjuagando al final para eliminar todo residuo químico).

- Son susceptibles a la fragilización a las temperaturas de soldadura por la presencia de plomo, azufre, fósforo y aleaciones fusibles a baja temperatura. La superficie de la zona por soldar debe estar limpia para evitar la contaminación y fragilización.



- La penetración de la soldadura es menor que la esperada con otros metales. Para aumentar la penetración se aumenta la abertura de los ángulos de bisel y proporciona una abertura de raíz correcta. Se deben aumentar los ángulos de bisel a 40° más de los que se usan en el acero al carbón.

Soldabilidad del níquel y sus aleaciones

Los procesos más comunes para soldar las aleaciones de níquel son: GMAW, GTAW y SMAW.

Cuando se aplica el proceso SMAW se usa corriente directa y polaridad invertida. Debe usarse la posición plana siempre que sea posible. Para la soldadura vertical y hacia arriba, el arco debe ser ligeramente más corto que para la soldadura en posición plana, y la corriente aproximadamente un 10% más baja.

Las aleaciones con solución sólida hasta de 3" de espesor pueden soldarse por el proceso SAW.

Debe usarse la forma de transferencia de metal por rociado o arco pulsado al soldar con el proceso GMAW.

Los electrodos recubiertos y desnudos utilizados para soldar estas aleaciones son: ERNi-3, ERNiCu-7 y ERNiCr-3.

No se requiere tratamiento térmico después de la soldadura para mantener o restaurar la resistencia a la corrosión de las aleaciones de níquel, pero se puede requerir el relevado de esfuerzos para cumplir ciertas especificaciones.

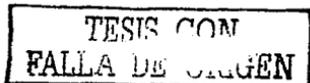
3.5.2.5. Plomo y aleaciones de plomo

El plomo tiene un bajo punto de fusión de 612°F y hierve a 3092°F. es suave y dúctil. El plomo y sus aleaciones son usados en aparatos químicos, baterías, blindajes de cables, municiones, recubrimientos, reflectores y protecciones nucleares, lámina para techos y vistas arquitectónicas, tubo extruído para aplicaciones con resistencia a la corrosión, etc.

El plomo generalmente se suelda con el soplete de oxiacetileno, pero, el proceso GTAW proporciona buenos resultados.

Como el plomo, generalmente está en forma de hojas delgadas, la unión recta a tope y la de traslape son las que se usan más. El metal base de aporte puede consistir en bandas recortadas del metal base. Se recomienda un arco largo para disminuir el calor real en la unión.

Advertencia: Por la naturaleza tóxica del plomo, la soldadura de plomo debe efectuarse en lugares bien ventilados.



3.5.2.6. Cinc y aleaciones de cinc

El cinc es semejante al plomo, con la excepción de que no es tan denso. Los usos más comunes del cinc y aleaciones de cinc son: para cubrir acero (al producto se llama acero galvanizado), en pilas secas, vistas arquitectónicas, solera a prueba de intemperie, alojamientos de condensador, canales y bajadas de agua, techos de lámina acanalada, accesorios automotrices, etc.

En la tabla 18, se indica la composición química de algunas aleaciones típicas de cinc.

Tabla 18. Cinc y aleaciones cinc.

| Tipo | Composición, % |
|---|--|
| Cinc comercial laminado (estirado profundo) | Pb 0.10 máx., resto Zn |
| Cinc comercial laminado | Pb 0.05-0.10, Cd 0.05-0.08, resto Zn |
| Cinc comercial laminado (mayor contenido de Pb, Cd) | Pb 0.25-0.50, Cd 0.25-0.45, Resto Zn |
| Aleación laminada y endurecida de cobre cinc | Cu 0.85-1.25, Resto Zn |
| Aleación de cinc laminada (Cu, Mg) | Cu 0.85-1.25, Mg 0.006-0.061, resto Zn |
| Aleación de cinc laminada (Cu, Ti) | Cu 0.50-1.5, Ti 0.12-0.50, resto Zn |
| Aleación de cinc (Cu, Ti) extruída, forjada | Cu 1.0, Ti <1, resto Zn |
| Aleación de cinc (Cu, Mn, Ti) extruída, forjada | Cu 1.0 Mn 1.0, Ti <1, resto Zn |
| Aleación de cinc (Al, Cu) forjada | Al 12.0, Cu <1, resto Zn |
| Aleación de cinc | Al 14.5, Cu <1, resto Zn |
| Cinc superplástico | Al 22, resto Zn |
| Aleación AG40A (XXII) | Al 3.5-4.3, Mg 0.03-0.08, resto Zn |
| Aleación AG41A (XXV) | Al 3.5-4.3, Cu 0.75-1.25, Mg 0.03-0.08, resto Zn |
| Aleación vaciada antiherrumbrosa | Al 4.5-5.0, Cu 0.2-0.3, resto Zn |
| Aleación vaciada antiherrumbrosa (metal irrompible) | Al 5.25-5.75, resto Zn |
| Aleación iziro 12 para fundición | Al 11-13, Cu 0.5-1.25, Mg 0.01-0.03, resto Zn |
| SAE 903 ZAMAK 7 | Al 3.9-4.3, Cu 0.25-0.75, Mg 0.020-0.05 |

La zona de la junta debe limpiarse perfectamente, y tratarse con abrasivo porque el cinc tiene una capa tenaz de óxido.

La preparación de la junta de una ruptura en una pieza vaciada consiste en eliminar toda la grasa, aceite, suciedad, óxidos y cualquier recubrimiento de níquel o cromo de la zona de la soldadura. Después de limpiarla, se ranura la parte rota, pasando todo el espesor de la pieza a un ángulo incluido de 45°.

Pueden hacerse soldaduras satisfactorias en cualquiera de las aleaciones de cinc anotadas en la tabla 18, con espesores hasta de 0.125". Las láminas con espesor menor de 0.040" se sueldan sin adición de metal de aporte. Las láminas de cinc más gruesas deben biselarse, para formar un ángulo de 70° a 90°. También pueden hacerse juntas a traslape, con soldadura de filete, hecha, por lo general, en ambos lados de la junta. Generalmente es deseable unir por puntos de soldadura antes de hacer la soldadura de acabado.

Si la pieza fundida es grande y complicada, la estructura completa debe precalentarse a aproximadamente 250°F, porque el calentamiento localizado puede ocasionar deformaciones serias.

El metal de aporte puede ser, ya sea cinc, o una aleación de la misma composición que el metal base.

El proceso GTAW produce soldaduras satisfactorias con penetración uniforme en las aleaciones de cinc. Como gas protector se recomienda el argón, porque permite usar voltajes más bajos y mayores longitudes de arco. Es necesaria una corriente de alta frecuencia para vencer la interferencia con la estabilidad del arco, ocasionada por la presencia de óxidos de titanio, aluminio y cinc.

Cuando se utiliza el proceso GTAW para soldar las aleaciones de cinc-cobretitanio, requiere el uso de un metal de aporte que produzca refinamiento del grano en el depósito, sin reducir apreciablemente la ductilidad por una reacción de endurecimiento por precipitación que ocurra durante el enfriamiento. Se recomienda que el material de aporte no exceda de 0.12% de titanio y que tenga el mismo contenido de cobre que el metal base.

Con los procesos SMAW, GTAW y SAW se obtienen buenos resultados al soldar acero galvanizado. El proceso GTAW automático, cuando resulta práctico aplicarla, es deseable para mantener un control estrecho de la longitud del arco y de la rapidez de avance. Se recomienda un respaldo de gas inerte en una cámara de expansión del lado de la raíz de la junta, para superar la tendencia a la falta de fusión en los bordes de la raíz que quedan a tope, situación que se origina por la formación de óxidos cuando se emplean materiales refractarios simples o el cobre como respaldos.

Advertencia: Los humos de cinc constituyen un riesgo potencial para la salud, por lo que deben tomarse precauciones respecto a la ventilación.

3.5.2.7. Titanio y sus aleaciones

El titanio es un metal reactivo, reacciona violentamente (o explota) a las temperaturas de aplicación de la soldadura cuando se combinan con el oxígeno y el nitrógeno de la atmósfera. A temperaturas menores, es altamente resistente a la corrosión. Este material tiene bajo punto de fusión, densidad menor (comparado con los metales refractarios), a altas temperaturas el material se rompe de manera frágil en lugar de hacerlo según el modo dúctil.

El proceso GTAW es el proceso que se emplea con mayor frecuencia para soldar el titanio y sus aleaciones. Las secciones hasta de 0.10" de espesor pueden soldarse a tope con bordes escuadrados y sin usar metal de aporte. A no ser que se haga la soldadura en el interior de una cámara cargada de un gas inerte, como argón o helio, es absolutamente esencial proteger adecuadamente la junta contra la atmósfera por medio de una protección secundaria. También se emplean soleras de respaldo que dan protección con gas inerte a la parte trasera de la soldadura protegiéndola del aire. Otra ayuda importante para soldar las láminas

de titanio es la colocación de barras enfriadoras en contacto íntimo con las soleras de respaldo.

En las estructuras en las que pueden representar un problema los esfuerzos residuales (ocasionados por la contracción de enfriamiento), debe calentarse la estructura a más de 1000°F para que produzca las propiedades mecánicas requeridas (resistencia) en el material y evitar la fragilización.

Nota: Antes de soldar, deben limpiarse de aceite, grasa y mugre de taller todas las plantillas, dispositivos, equipo de prensado, la junta y una superficie de por lo menos 1" a cada lado de la junta.

3.5.2.8. Metales refractarios

Los metales refractarios son los que tienen puntos de fusión superiores al intervalo del hierro, el cobalto y el níquel, pero a altas temperaturas el material se rompe de manera frágil en lugar de hacerlo según el modo dúctil. Tienen densidad relativamente alta. Los metales refractarios soldables que se ofrecen en el comercio son: tungsteno, molibdeno, tantalio y niobio (columbio).

Como los metales refractarios son susceptibles a la porosidad, y en ocasiones al agrietamiento, es esencial que la junta que se va a soldar, y la zona inmediatamente adyacente a ésta, estén limpias. La limpieza se lleva a cabo con medios químicos y enjuagando con agua para eliminar todo residuo y secando el material al aire.

El molibdeno se suelda mediante el proceso GTAW (en manera muy semejante a los metales reactivos), proceso de resistencia, difusión y proceso de haz de electrones, aunque se ha tratado de soldar por otros procesos de soldadura eléctrica, pero los resultados no son satisfactorios. La AWS recomienda que las aleaciones de molibdeno que tengan temperaturas de transición superiores a la temperatura ambiente de soldadura sean precalentadas a una temperatura superior a la de transición (900°F).

El tungsteno se suelda del mismo modo que el molibdeno y tiene los mismos problemas. Es susceptible a la fractura porque las temperaturas de transición dúctil a frágil son mayores, por lo que, debe precalentarse siempre a 900°F en una atmósfera de gas inerte. Se emplea el proceso GTAW con corriente directa y electrodo al negativo, la soldadura se debe efectuar lentamente para evitar fracturas.

El molibdeno y el tungsteno se vuelven frágiles cuando se absorbe una diminuta cantidad de oxígeno o de nitrógeno.

El tantalio comercial puro es suave y dúctil, es fácil de soldar, se debe limpiar bien y soldarlo en una cámara de gas inerte, se recomienda el proceso GTAW con corriente directa con electrodo negativo y alta frecuencia para iniciar el arco.

Las aleaciones de niobio pueden ser dúctiles o frágiles porque su temperatura de transición es parecida a la temperatura ambiente. El proceso GTAW (con protección gaseosa muy buena) es el adecuado para soldar el niobio puro y

aleaciones comerciales de menor resistencia, algunas aleaciones requieren precalentamiento.

3.5.2.9. Metales preciosos

Los metales preciosos se conocen por sus nombres genéricos: oro, plata, platino y paladio.

Con pocas excepciones, no se requieren técnicas especiales para soldar estos metales. La plata se suelda casi de la misma manera que el cobre porque tiene una alta conductividad y baja afinidad con el oxígeno y el nitrógeno. La plata se emplea para joyería y para cubiertos, además, para aplicaciones industriales donde se recubren tanques con lámina de plata en la industria química, así como para recubrir de plata otros metales en los reactores químicos. Se emplea el proceso GTAW para soldar la plata y, en este caso, se usa corriente directa y electrodo negativo. Se pueden usar los datos de procedimiento de soldadura de cobre puro como puntos de partida para un procedimiento de soldadura de plata.

El oro es uno de los metales más caros y, por tanto, las partes para soldar son o muy delgadas o muy pequeñas y de formas intrincadas. El oro se puede estañar o latonar y puede soldarse en frío o a presión. Generalmente, se suelda con el proceso de soplete de oxígeno y gas con un soplete pequeño.

El platino se emplea en la industria química y en la industria del vidrio, para fabricar los filamentos de la fibra de vidrio. Con frecuencia se necesita soldarlo y esto, generalmente, se logra con el soplete de oxiacetileno, así como el proceso GTAW. Los demás metales preciosos del grupo del platino se pueden soldar con resistencia, no obstante su alta conductividad.

Es preciso determinar lo más exactamente posible los materiales de aporte, los gastos requeridos para la preparación de bordes, la necesidad del empleo de máquinas y la sustitución de electrodos. No tiene ninguna finalidad emplear un material de soldadura que sea más valioso que el material base, con la condición de que satisfaga las condiciones de seguridad. Además, tiene una gran importancia la facilidad de separación de la escoria y una tendencia pequeña a originar salpicadura, puesto que los costes para la limpieza, picado de cordón y la eliminación de proyecciones de salpicaduras también influyen en los costos.

Las técnicas de reducción de costos podrían nunca afectar la integridad de la soldadura o del conjunto soldado. El objetivo es el uso estratégico del metal de soldadura, que usualmente significa incrementar la calidad del producto antes que denigrar éste.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

CONCLUSIONES

Se puede concluir que los puntos relevantes con respecto a un análisis de costos de soldadura, son los siguientes:

- ◆ **Factor operador:** tratar de que el soldador utilice su tiempo laboral en realizar soldaduras.
- ◆ **Ciclo de trabajo en cada proceso:** implementar procesos semiautomáticos o automáticos, teniendo la preocupación de no utilizar equipos costosos y complejos en trabajos donde equipos más sencillos pueden proporcionar soldaduras satisfactorias.
- ◆ **Tasa de deposición:** seleccionar procesos que proporcionen una alta tasa de deposición del metal de aporte.
- ◆ **Materiales de aporte:** usar materiales de aporte que suministren una resistencia similar al metal base, el emplear materiales de aporte con características superiores representa costos no necesarios.
- ◆ **Diseño de la junta:** con una selección correcta del diseño de la junta se logra una soldadura con características iguales a las del metal base, con una mínima cantidad de metal de aporte y con poco tiempo requerido para su deposición.
- ◆ **Mantener una estrecha comunicación** entre todo el personal que se encuentra involucrado en la manufactura del elemento soldado.
- ◆ **Estudiar las características de soldabilidad** del metal base a utilizar.

El resultado será un ahorro que se verá reflejado en:

- ◆ Un incremento de los salarios de las personas que laboran en la empresa.
- ◆ Mayor tiempo disponible para realizar otros trabajos de soldadura.
- ◆ Al tener un bajo costo de producción, se pueden enfrentar costos elevados del material base, materiales de aporte, costos de energía, combustible, etc.

El uso de la soldadura eléctrica como proceso de unión será mayor conforme pase el tiempo, se desarrollarán más procesos de soldadura para aplicaciones específicas, habrá una mayor diversidad de electrodos (con composición química más compleja), pero siempre será necesario evaluar las ventajas y desventajas que nos proporcionan cada uno de ellos.

El éxito que obtengamos en nuestro trabajo de soldadura radica, principalmente, en saber aplicar el proceso, seleccionar consumibles, ahorrar energía y utilizar adecuadamente de la mano de obra.

BIBLIOGRAFÍA

- The Lincoln Electric Company. "The procedure handbook of arc welding". 12th edition. EUA, 1973.
- Cary, Howard B. "Manual de Soldadura Moderna". 2ª Edición, Prentice-Hall Hispanoamericana. México. Tomos I, II y III
- Sahling-Latzin. "La técnica de soldadura en la ingeniería de construcción". Editorial Blume. España, 1970.
- Carrillo, Francisco Olivares. "Soldadura, corte e inspección de obra soldada". 2ª Edición Servicio de Publicaciones Universidad de Cádiz. España, 1993.
- Houldcroft, P. T. "Tecnología de los procesos de soldadura". Biblioteca CEAC de Mecánica. España, 1990.
- Higgins, Lindley R. "Maintenance Engineering". 5th Edition. McGraw-Hill. United States of America. 1995.
- Patton, W. J. "Ciencia y Técnica de la soldadura". URMO S.A Ediciones. España, 1979.
- Marks. "Manual del Ingeniero Mecánico". Segunda edición en español. McGraw-Hill. México. 1984. Vol. 3.
- Avner, Sydney H. "Introducción a la metalurgia física". 2ª Edición. McGraw-Hill. México. 1988.
- Askeland, Donald R. "La ciencia e ingeniería de los materiales". Grupo Editorial Iberoamérica. S.A. de C.V. México, 1985.