

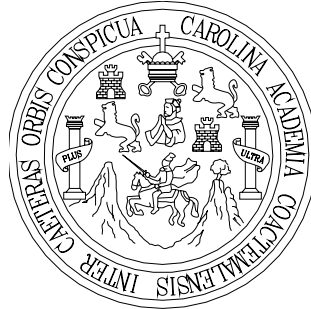


Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Mecánica

**Aspectos Técnicos de la soldadura para el curso Procesos de  
Manufactura II**

Luis Eduardo Coronado Noj  
**Asesorado por Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez**

**Guatemala, mayo de 2005.**  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

ASPECTOS TÉCNICOS DE LA SOLDADURA INDUSTRIAL PARA EL CURSO  
PROCESOS DE MANUFACTURA II

TRABAJO DE GRADUACIÓN

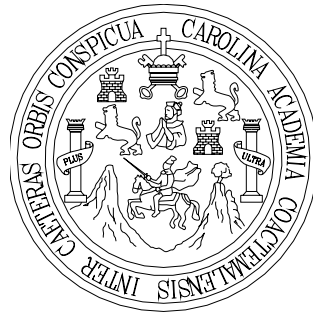
PRESENTADA A JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**LUIS EDUARDO CORONADO NOJ**  
ASESORADO POR ING. CARLOS HUMBERTO PÉREZ RODRÍGUEZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO

GUATEMALA, MAYO DE 2005  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERIA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
VOCAL I	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL II	Lic. Amahán Sánchez Alvarez
VOCAL III	Ing. Julio David Garcia Celada
VOCAL IV	Br. Kenneth Issur Estrada Ruiz
VOCAL V	Br. Elisa Yasminda Vides Leiva
SECRETARIO	Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Julio Ismael Gonzales Podszueck
EXAMINADOR	Ing. Francisco Ubieto Bedoya

EXAMINADOR Ing. Melvin Aman Monroy González  
EXAMINADOR Ing. Carlos Aníbal Chicojay Coloma  
SECRETARIO Ing. Francisco Javier González López



HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

Aspectos Técnicos de la soldadura industrial para el curso Procesos de Manufactura II

tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica, con fecha 7 de junio de 2004.

---

Luis Eduardo Coronado Nój

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	VIII
RESUMEN	XIII
OBJETIVOS	XIV
INTRODUCCIÓN	XV
1. SOLDADURA POR ARCO ELÉCTRICO	1
1.1. Principio	1
1.2. Metalurgia de la soldadura	2
1.3. Criterio para el rendimiento de la soldadura	3
1.4. Condiciones esenciales para soldar correctamente	4
1.5. Aplicaciones de la soldadura con arco eléctrico	6
1.6. Control de calidad de la soldadura	6
1.7. Costos de soldadura	7
2. ELECTRODOS	9
2.1. Electroodos protegidos	9
2.2. Electroodos según A.W.S.	10
2.3. Electroodos y su utilización	12
2.4. Funciones principales del revestimiento	15
2.5. Juntas soldadas y sus símbolos	15
2.6. Soplo de arco	19
2.7. Cebado de arco	20
2.8. Terminación de los electroodos	21

2.9. Causas y soluciones a los problemas más comunes en las soldaduras	21
2.10. Electroodos de bajo hidrógeno	26
2.10.1. Ventajas de los electroodos de bajo hidrógeno	26
2.10.2 Cuidado que se debe tener con los electroodos de bajo hidrógeno	26
3. SOLDADURA POR GAS (S.O.A.)	27
3.1. Principio	27
3.2. Gases combustibles	27
3.3. Medidas de seguridad	29
3.4. Equipo de protección personal	30
3.5. Área de trabajo segura	33
3.6. Instalación de equipo	33
3.7. Instalación de reguladores	36
3.8. Colocación de soplete	37
3.9. Cebado de válvulas	38
3.10. Instalación de boquillas	38
3.11. Encendido de soplete	39
3.12. Tipo de llamas	40
3.13. Varillas para soldar	41
4. OPERACIÓN DE SOLDADURA CON GAS	43
4.1. Corte oxiacetilenico	43
4.2. Pasos para corte	45
4.3. Defectos y soluciones	45
5. SOLDADURA EN TUBERÍA	47
5.1. Líneas de transmisión en tubería	47

5.2.	Calidad de acero de tubería	47
5.3.	Preparación de las uniones	48
5.4.	Electrodos para tubería	51
6.	<b>HIERRO COLADO</b>	53
6.1.	Soldadura en el hierro colado	53
6.2.	Detalles del hierro colado	55
6.3.	Electrodos para la soldadura del hierro colado	56
6.4.	Recomendaciones para la soldadura en hierro colado	58
6.5.	Pre calentamiento de materiales ferrosos y no ferrosos	59
7.	<b>SOLDADURA DE ARCO METÁLICO CON PROTECCIÓN DE GAS (G.M.A.W.)</b>	61
7.1.	Principio	61
7.2.	Precauciones eléctricas	62
7.3.	Precaución con gases comprimidos	63
7.4.	Operación de limpieza de la soldadura	64
7.5.	Ventilación	65
7.6.	Equipo de protección personal	65
7.7.	Equipo	67
7.8.	Fuentes de poder	67
7.9.	Equipo semiautomático	67
7.10.	Equipo automático	67
7.11.	Gases de protección	68
7.12.	Características del helio y el argón	69
7.13.	Selección de los gases de protección	70
7.14.	Materiales	71
7.15.	Material de aporte	71
7.16.	Tipo y diámetro de alambre correcto	71

7.17. Corriente apropiada	72
7.18. Voltaje correcto	73
7.19. Refuerzos de soldadura	74
7.20. Defectos y como corregirlos	75
7.21. Pre calentamiento de materiales ferrosos y no ferrosos en la soldadura	78
CONCLUSIONES	80
RECOMENDACIONES	81
REFERENCIAS	82
BIBLIOGRAFÍA	83



## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1	Temperaturas logradas y estructura resultante en una soldadura típica en acero	3
2	Ángulo del electrodo transversal al cordón	5
3	Temperaturas logradas y estructura resultante en una soldadura típica en acero	7
4	Diagrama de rendimiento de la soldadura manual con arco	8
5	Soldadura con electrodo desnudo	13
6	Soldadura con electrodo recubierto	13
7	Variables que influyen en la soldadura por arco eléctrico	14
8	Tipos de juntas soldadas	16
9	(a) Símbolo completo de soldadura (b) Símbolo básico de soldadura	17
10	Soldadura de filete (o de entalle)	18
11	Soldaduras a tope (o de ranura)	18
12	Tipos especiales de juntas y ranuras	19
13	Equipo de protección	31
14	Ropa de protección	32
15	Equipo completo para soldadura oxiacetilénica	35
16	Regulador de presión	36
17	Soplete típico para soldar	38
18	Tipos de llamas de oxiacetileno	41
19	Principios del corte a la flama	44

20	Unión típica de tuberías recomendada para el cordón de fundeo con electrodo E-6010 de 1/8 Ø	50
21	Unión de tubería recomendada para diámetros de tuberías superiores a los 300 mm.	50
22	Soldadura con arco-metal y gas	61
23	Equipo Semiautomático	66
24	Forma de cordón- contorno y penetración con distintos gases de protección	70
25	Refuerzo de soldadura	74
26	Refuerzo de soldadura maquinado	74

## TABLAS

I	Tabla de gases de combustibles de uso común	29
II	Corte con oxiacetileno	44
III	Aceros API, composición química, propiedades mecánicas, y electrodos recomendados	49
IV	Tabla típica del precalentamiento en uso por varios metales	79

## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>C</b>	Carbono
<b>H</b>	Hidrógeno
<b>Kpa</b>	Kilopascal
<b>Mpa</b>	Megapascal
<b>Psi</b>	Libra por pulgada cuadrada
<b>Mn</b>	Manganeso
<b>P</b>	Fósforo
<b>S</b>	Azufre
<b>Si</b>	Silicio
<b>Ti</b>	Titanio
<b>Co<sup>2</sup></b>	Dióxido de carbono

## GLOSARIO

<b>Acero de alto carbón</b>	Acero con el 0.45% de carbón o más.
<b>Acero de bajo carbono</b>	Acero con un contenido de 0.20% de carbón o menos. También se llama acero dulce.
<b>API</b>	Instituto Americano del Petroleo
<b>A.W.S</b>	<i>American Welding Society</i>
<b>Azote</b>	Término que se aplica al movimiento hacia arriba y hacia abajo que se da al electrodo empleado en soldadura vertical para evitar socavadura, así se obtiene una buena distribución del metal de aporte en el cordón de soldadura.
<b>Balanceo</b>	Técnica de depositar el metal de soldadura oscilando el electrodo.
<b>Charco</b>	Porción de soldadura fundida en el lugar que se aplica el calor.
<b>Cráter</b>	Depresión en la terminación de una soldadura.

<b>Electrodo desnudo</b>	Electrodo para soldadura eléctrica, consiste en un alambre metálico sin revestimiento.
<b>Electrodo recubierto</b>	Electrodo para soldadura eléctrica consistente en una varilla metálica con revestimiento relativamente grueso que protege el metal fundido de la atmósfera, mejora las propiedades del metal de soldadura y estabiliza el arco.
<b>Estructura</b>	Conjunto de piezas cuyos componentes se unen por soldadura.
<b>Garganta de la soldadura</b>	Es la distancia más corta entre la raíz y las caras de la soldadura de ángulo.
<b>G.M.A.W</b>	Soldadura de Arco Metálico con Protección
<b>Inclusiones de escoria</b>	Materiales sólidos no metálicos atrapados en el metal de soldadura o entre el metal de soldadura y el meta base.
<b>MAPP</b>	Metilacetileno propadieno
<b>Metal de aporte</b>	Porción de soldadura fundida durante la operación de soldar.
<b>Pasada</b>	Progresión longitudinal y sencilla de una operación de soldadura a lo largo de una junta o de otra soldadura.

<b>Penetración</b>	Distancia en que la zona de fusión se extiende por debajo de la superficie de la parte o las partes que se han soldado.
<b>Pie de la soldadura</b>	Punto en que se unen la cara de la soldadura y el metal base.
<b>Porosidad</b>	Bolsas de gas provocadas en soldadura por electrodos defectuosos, falta de limpieza del metal
<b>Punto de soldadura</b>	Soldadura generalmente muy corta que se hace para sujetar las piezas de una estructura en alineación apropiada hasta que se termine la soldadura.
<b>Pre calentamiento</b>	Aplicación del calor a la pieza antes de soldar o cortar.
<b>Proceso de soldadura</b>	Métodos y prácticas que se emplean, incluyendo los procesos de unión involucrados en la producción de la estructura.
<b>Profundidad de fusión</b>	Distancia entre la superficie del metal base y el punto de la junta donde termina la fusión.
<b>Salpicaduras</b>	Partículas expelidas durante la operación de soldar en soldadura autógena y eléctrica.

<b>Separación de la raíz</b>	Distancia entre las piezas que se van a unir en la raíz de la junta.
<b>Sin tratamiento</b>	Condición en que queda el metal de soldadura, las uniones soldadas y la estructura después de soldarse y antes de someterlas a tratamiento térmico o mecánico.
<b>Socavadura</b>	Ranura fundida en el metal base adyacente al pie de la soldadura y que no ha sido llenada por el metal de soldadura.
<b>Solape</b>	Amontonamiento del metal de soldadura más allá de la línea del pie del cordón.
<b>Soldadura</b>	Unión localizada del metal producida por el calentamiento apropiado con o sin aplicación de presión y con o sin el uso del metal de aportación. El metal de aportación puede tener un punto de fusión aproximadamente igual al del metal base o por debajo de éste, pero por encima de 426°C (800°F).
<b>Soldadura a tope</b>	Soldadura que se hace en la unión de dos piezas de metal más o menos en el mismo plano.

**Soporte**

Material (metal, asbesto, carbón, fundente granulado, etc.) que soporta la unión por el lado opuesto durante la operación de soldadura para mejorar la calidad de la unión en la raíz.

**Tensión del arco**

Voltaje que pasa a través del arco de soldadura.

**Velocidad del depósito**

Peso o longitud del electrodo fundido en una unidad de tiempo.



## **OBJETIVOS**

- **General**

Proporcionar al curso de Procesos de manufactura II, material técnico de apoyo para su mejor desarrollo y aprovechamiento.

- **Específicos**

1. Conocer el proceso de soldadura por arco eléctrico, S.E.A,
2. Conocer el proceso de soldadura oxiacetilénica, S.O.A.
3. Conocer el proceso de soldadura de arco metálico con protección de gas, G.M.A.W.
4. Conocer los electrodos revestidos para su elección y aplicación.

## **RESUMEN**

La soldadura por arco eléctrico es un proceso de fundición con o sin metal de aporte, dentro de sus características principales está que la micro estructura del metal base y de aporte se afecta, lo que hace necesario un equipo y corriente adecuadas. Los electrodos recubiertos son los ideales para la soldadura de arco eléctrico por su estabilidad, fundición, penetración y presentación. La simbología en la soldadura también es básica para mejorar la eficiencia en los trabajos.

La soldadura oxiacetilénica es básica en el medio guatemalteco por su bajo costo, por su equipo que es accesible, así como los gases que se utilizan. Sus medidas de seguridad son sencillas y también la instalación del equipo; su aplicación y corte son variados. La soldadura en tubería depende mucho de la calidad del acero que se use en la preparación de las juntas. Los electrodos para soldar tubería son del tipo celulósico. La soldadura de hierro colado tiene tres aspectos básicos: calentamiento, soldadura y enfriamiento controlado. En la soldadura de hierro colado es importante que el soldador sea calificado. Los electrodos para el hierro colado son los de acero suave y extra suave y los propiamente de hierro colado. La soldadura de arco metálico con protección de gas, tiene dentro de sus características que se utiliza alambre desnudo, el cual se protege con gas. Es versátil y se aplica para soldadura semiautomáticas en todas posiciones.

Es necesario respetar normas de precaución para prevenir accidentes y protección del equipo, asimismo, conviene usar cilindros de gases que cumplan con

las especificaciones del fabricante. Es importante tomar en cuenta los refuerzos de soldadura para un mejor acabado y presentación de la soldadura.

## **INTRODUCCIÓN**

La soldadura eléctrica es una de la más complicada entre todas las especialidades existentes en el campo de la construcción mecánica, sin embargo, es creencia de muchos que la palabra “soldadura” es aquel trabajo fácil y simple de unión de dos piezas por medio de un cordón de soldadura, basándose exclusivamente en el tipo de producción estandarizado de su empresa o taller.

En la tecnología moderna, la soldadura ha adquirido más importancia, debido a la creciente demanda de los productos, a la extensión de la soldabilidad de los materiales y a los requerimientos de calidad cada vez más estrictos.

En consecuencia, las características de los equipos se han vuelto más sofisticadas, se han adecuado a las condiciones de aplicación de la soldadura, para obtener altas concentraciones de material aportado y de mejor calidad.

Los electrodos han tenido cambios importantes, ya que hay una amplia variedad para calidad de acero, entre la cuales se puede elegir el que sea similar según sea la composición del metal depositado; se diferencian entre sí por el tipo de revestimiento, características y velocidad de soldadura y calidad del material depositado, así se obtiene una soldadura correcta y de bajo costo.

# 1. SOLDADURA POR ARCO ELÉCTRICO

## 1.1 . Principio

La AWS define una soldadura como una coalescencia localizada de metal, en donde esa conglutinación se produce por el calentamiento a temperaturas adecuadas con o sin la aplicación de presión y con o sin la utilización de metal de aporte. El metal de aporte solo se puede emplear si éste y el metal base son compatibles (en términos de la estructura cristalina) y si existe un contacto átomo a átomo (que es posible si las superficies están limpias y libres de material extraño) o un metal de aporte que sea diferente a los de base, pero que se fusione con ellos. Siempre que se funde el metal base, se tiene una mezcla de los metales base y de aporte. También es posible que se produzca un efecto calorífico en la estructura o propiedades del metal base próximo a la soldadura.

A veces, el metal base contiene impurezas que entran en la soldadura o son alterados en forma adversa por el proceso y su esfuerzo. El metal de aporte puede tener un punto de fusión aproximadamente igual al de los metales base. La base del diseño de ranuras para soldar es proveer una forma y tamaño de abertura que permita una deposición firme del metal de aporte y la penetración total, si se desea, en determinadas condiciones y con máxima economía.

La AWS permite, en general, los mismos valores de esfuerzo para las soldaduras a tope que los que son aplicables al metal base. El empleo de estos

esfuerzos en la soldadura se acepta con base en el uso de los metales base y los metales de aporte establecidos.

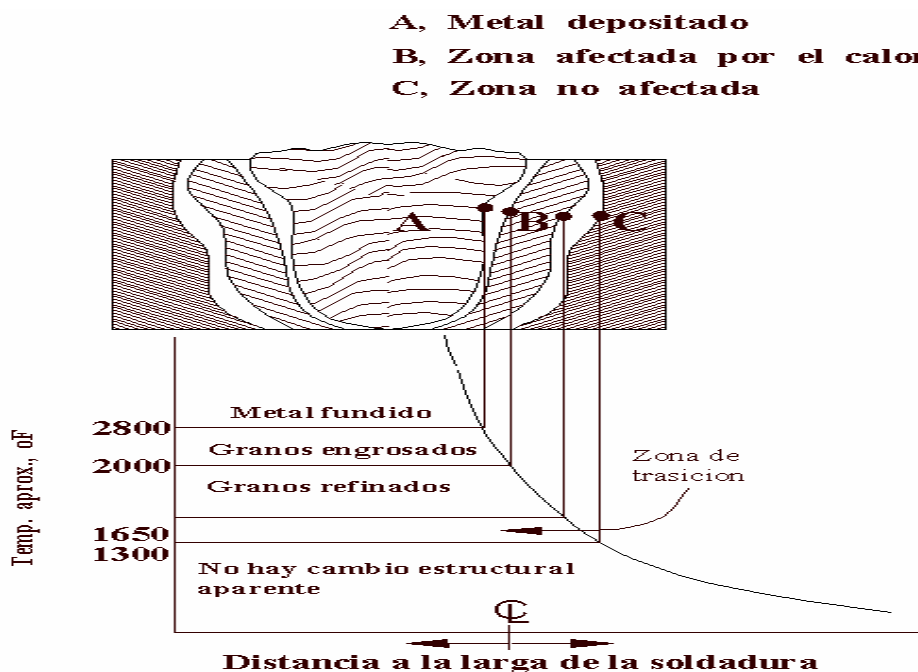
## **1.2 . Metalurgia de la soldadura**

El calor de la soldadura afecta a la micro estructura y composición, tanto de la soldadura como del metal base, causa expansión y contracción y deja tensiones en el metal. Es necesario saber lo que sucede en el metal cuando se suelda para comprender la operación de soldadura.

En la figura 1, se muestra una sección transversal de una soldadura típica enfriada. La masa central, indicada por la letra A, está constituida por el metal fundido. Tiene una estructura ramificada característica del fundido. Cuando el metal se solidifica, se enfría desde el exterior hacia adentro y los cristales crecen hacia el centro. Con una aleación ocurre cierta segregación de los constituyentes. La unión de las ramificaciones en el centro es débil, aunque no lo es tanto en un metal dúctil como el acero, como en otro frágil como el hierro colado. El enfriamiento lento o el recocido posterior mejoran la homogeneidad y fuerza.

En una soldadura, el metal base adyacente al metal fundido se calienta arriba de la temperatura crítica. Esto se ve en la zona B de la figura 1. El acero así calentado se recrystaliza en austenita alrededor de muchos núcleos y forma granos pequeños. Los granos crecen a temperaturas más altas y la estructura se vuelve basta. El metal más cercano al charco de metal fundido llega al punto de fusión y se vuelve muy burdo. La estructura es más fina mientras más alejada esté del centro. Más allá, en la zona C, no cambia el metal base.

Figura 1. **Temperaturas logradas y estructura resultante en una soldadura típica en acero.**



Fuente: Lawrence E. Doyle. **Materiales y procesos de manufactura para ingenieros.** Pag. 418.

### 1.3 . Criterio para el rendimiento de la soldadura

La soldadura por arco eléctrico se hace con más eficiencia al utilizar tanta corriente como lo permitan el trabajo y el equipo. Una corriente intensa significa que el metal se funde con más rapidez, la penetración es más profunda y se requieren menos pasadas. Se obtiene penetración profunda con un arco corto si se da una caída baja de voltaje. Una regla común es que la longitud del arco no debe exceder al diámetro del alambre del electrodo. Todo esto permite una tasa más alta de producción. Las limitaciones son impuestas por la pieza de trabajo, la capacidad del equipo de soldadura y el electrodo. Un ejemplo común de una limitación debida a la

pieza de trabajo es que no se pueden soldar hojas delgadas con un arco demasiado intenso, pues se quemarían y dañarían.

#### **1.4 . Condiciones esenciales para soldar correctamente**

En este proceso son muchos los factores que influyen en la calidad de la soldadura, como la elección del diámetro correcto del electrodo, la longitud del arco, el ángulo del electrodo, la corriente apropiada, la velocidad de soldadura adecuada, etc.

A continuación se da una explicación de la importancia que tienen los factores arriba mencionado en la ejecución de una soldadura:

- Diámetro correcto del electrodo: es muy importante escoger el diámetro correcto del electrodo y tomar en cuenta factores tales como preparación de la junta, espesor del material base, posición de la soldadura y capacidad del electrodo para soportar una corriente alta sin dañar el material que se va a depositar y sus propiedades de eficiencia.
- Longitud del arco: la longitud del arco es directamente proporcional al voltaje y se pueden considerar 7 volts por cada milímetro del arco. Por ejemplo, si se necesita un arco de 3mm se utilizarán 21 volts ( $7 \text{ volts} * 3 \text{ mm} = 21 \text{ volts}$ ).

La separación (longitud) entre la pieza que se va a soldar y el electrodo debe ser aproximadamente igual al diámetro del electrodo, por ejemplo: un electrodo de 1/8" deberá tener una longitud del arco de 1/8".

- Corriente apropiada: en soldadura el amperaje se elegirá con base en el tipo de junta, espesor del material base, posición de la junta soldar y diámetro del

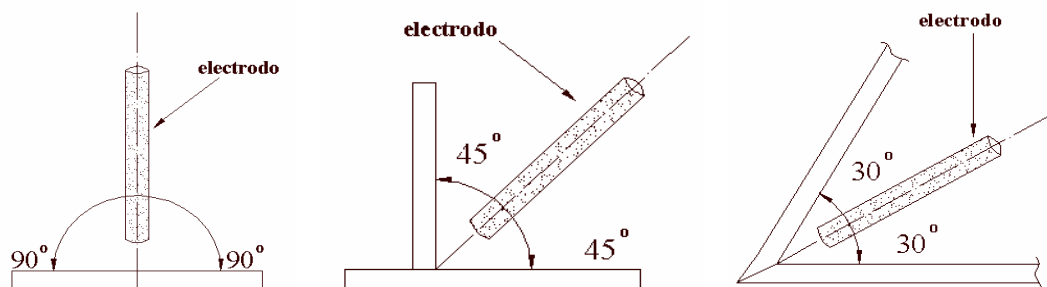
electrodo. Normalmente, para el ajuste del amperaje se consideran tantos amperios como milésimas de pulgada tenga el diámetro del electrodo. Por ejemplo, para un electrodo de 1/8" de diámetro (que son 125 milésimas de pulgada) se pueden utilizar 125 amperes.

- Velocidad de avance correcta: cuando en soldadura se usa una velocidad excesiva, el baño no tiene el tiempo necesario para formar una fusión homogénea con el material base, esto da lugar a una falta de fusión y también se impide que los gases e impurezas se disuelvan, quedándose aprisionados al enfriarse; el cordón toma una forma muy estrecha con bordes puntiagudos.

Si se usa una velocidad muy lenta, el cordón quedara abultado y con ribetes rectos.

- Angulo del electrodo: otra norma muy importante que se debe respetar en soldadura, particularmente en soldadura de ángulo y juntas con biseles, es mantener el ángulo correcto del electrodo. En soldaduras de ángulo, el electrodo se debe colocar en el bisector con una inclinación de  $45^\circ$  con relación al vertical; en uniones de juntas a tope, con o sin bisel, el electrodo se debe mantener perpendicular a la línea de soldadura con el cuidado de que forme un ángulo de  $90^\circ$  (véase la figura 2)

Figura 2. **Ángulo del electrodo transversal al cordón**





### **1.5 . Aplicaciones de la soldadura con arco eléctrico**

En las operaciones de manufactura se utilizá con amplitud el proceso de unión de piezas denominado soldadura. El hecho de que un gran número de estructuras y elementos confiables y seguros, en cuya fabricación se emplea soldadura, estén en uso en la actualidad comprueba que se ha tenido éxito en este campo.

Generalmente, para fabricar piezas soldadas se fija o sujeta en determinada posición a un conjunto de elementos cortados y preparados según configuraciones particulares, antes de proceder a soldar entre sí las diversas partes. En el caso de elementos de maquinaria generales la mayor parte de juntas soldadas son del tipo filete o cordón de entalle, aunque las del tipo de tope se utilizan mucho en la construcción de recipientes de presión.

Por su versatilidad, de la soldadura eléctrica se aplica en calderas, tuberías, recipientes a presión, tanques, miembros estructurales de edificios y de puentes, en la aviación, partes de automóviles y es el medio de unir algunas partes de la mayoría de productos fabricados en la actualidad.

Las tres consideraciones básicas que determinan el tipo de unión por utilizar son:

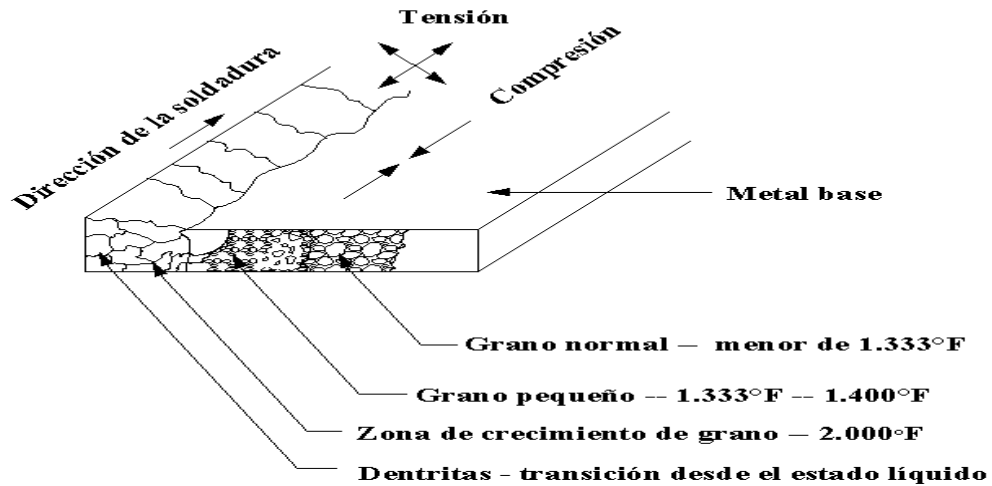
1. El tipo de carga que va a ser soportada por la soldadura (tensión o compresión).
2. La naturaleza de la carga (estable, de impacto, etc).
3. Los costos de preparación previa o posterior a la aplicación de la soldadura.

### **1.6 . Control de calidad de la soldadura**

El calentamiento y el enfriamiento causan expansión y contracción en varios diferentes lugares conforme se hace la soldadura a lo largo de una junta. El metal de

la unión es más caliente y tiende a encogerse más al enfriarse que el resto de las piezas en ambos lados. Sin embargo, a lo largo el encogimiento se ve restringido por el metal adyacente a la junta que puede exceder el punto de rendimiento del material, esto hace que algunas fibras paralelas del metal base se compriman ligeramente. Si las piezas que se sueldan están sujetas por un accesorio o por la estructura a la que pertenecen, la contracción del metal cuando se enfría en la zona de soldadura induce tensiones en cualquier dirección, con lo cual causa con ello agrietamiento. Incluso, si éste no ocurre, las tensiones residuales pueden deteriorar significativamente la resistencia a la fatiga y es común que causen alabeamiento, en especial cuando quedan desequilibradas por el maquinado posterior.

Figura 3. **Temperaturas logradas y estructura resultante en una soldadura típica en acero.**



Fuente: Herman W. Pollack. **Máquinas, herramientas y manejo de materiales.** Pag. 101

### 1.7 . Costos de soldadura

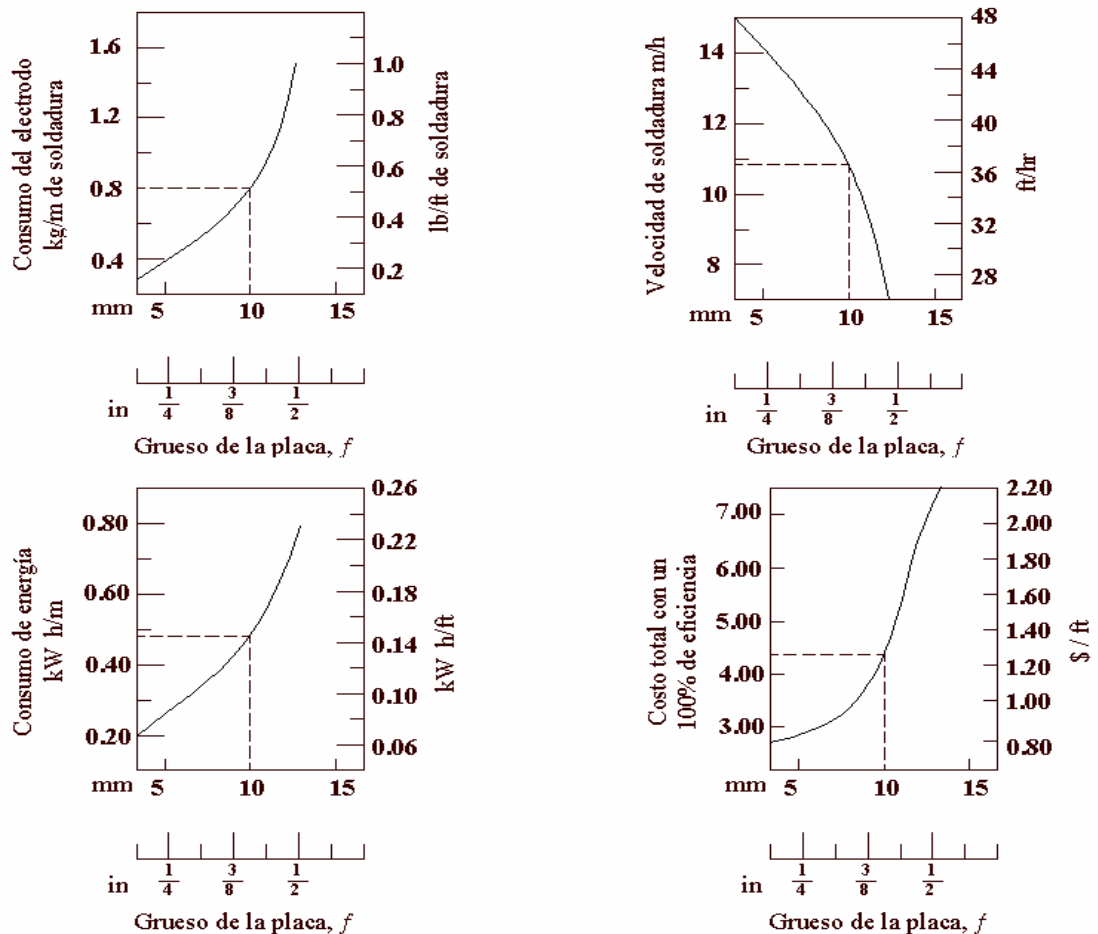
El costo de los conjuntos de piezas soldadas incluye cierto número de conceptos.

Entre éstos se encuentran los costos del material, el maquinado antes y después de la soldadura, el forjado, formado, acabado, adaptación, posicionado, soldado, inspección, tratamiento térmico y eliminación de la rebaba.

Los elementos de costo que se encuentran en las operaciones de soldadura son: (1) mano de obra y gastos generales; (2) electrodos, fundente o gas; (3) energía o combustible; (4) depreciación y mantenimiento del equipo. No todos se encuentran en todas las operaciones y suelen aparecer en diferentes proporciones.

Las curvas que aparecen en la figura 4, muestran las cantidades típicas de electrodos unitarios y consumo de energía, las velocidades de soldadura y los costos para varios tamaños de juntas de tope planas.

Figura 4. Diagrama de rendimiento de la soldadura manual con arco.



## **2. ELECTRODOS**

### **2.1 . Electroodos protegidos**

El desarrollo de electrodos recubiertos con fundente, capaces de producir soldaduras con propiedades físicas que igualen o sobrepasen las del metal de base, ha convertido a la soldadura de arco en el proceso de soldadura más generalizado.

Antes del desarrollo del electrodo recubierto, los gases atmosféricos que rodeaban la zona de soldadura de alta temperatura, formaban óxidos y nitruros con el metal de la soldadura. En general, los óxidos tienen baja resistencia a la tensión, y baja ductilidad, por lo cual tienden a reducir las propiedades normales de los metales de base. Los materiales de recubrimiento de los electrodos permiten lograr en forma automática una acción de limpieza y desoxidante en el cráter fundido. Al arder el recubrimiento en el arco, libera una atmósfera gaseosa, inerte, que protege el extremo fundido del electrodo, a la vez que protege la fosa de soldadura fundida. Esta atmósfera impide que el oxígeno y el nitrógeno perjudiciales se pongan en contacto con el área fundida de soldadura, en tanto que el residuo de recubrimiento quemado forma una escoria para cubrir el metal de soldadura depositado. Esta escoria también aísla a la soldadura del oxígeno y el nitrógeno, ya que se ha enfriado hasta una temperatura en la que ya no se forman óxidos y nitruros. Adicionalmente, la escoria hace que sea más lento el enfriamiento, con lo que se obtiene una soldadura más dúctil.

Además de estos beneficios, se logran otras ventajas con los electrodos recubiertos. El recubrimiento mejora el aspecto de la soldadura, hace más fácil el salto

del arco, ayuda a mantener éste, regula la profundidad de penetración, reduce el chisporroteo, mejora la calidad de la soldadura a los rayos x y a veces, agrega agentes de aleación al metal de la soldadura o restaura elementos perdidos. La escoria que deja el recubrimiento no sólo protege el cordón de soldadura, sino que también ayuda a darle forma. Además, se ha agregado hierro pulverizado al recubrimiento de muchos de los tipos básicos de electrodos. Bajo el intenso calor del arco, el polvo de hierro se convierte en acero, y aporta metal al depósito de soldadura. Cuando se agrega en cantidades relativamente grandes, aumenta apreciablemente la velocidad de aplicación de la soldadura, y mejora el aspecto de ésta. El recubrimiento del electrodo sirve también de aislante al alambre que constituye el núcleo del electrodo. Afecta a la longitud del arco y al voltaje de trabajo, y controla la posición de aplicación de la soldadura en la que puede usarse el electrodo.

## **2.2 . Electrodos según A.W.S**

En términos generales, el fundente de los electrodos – soldaduras de clasificación AWS, comprendido entre los 6010, 6011, 6012 y 6013, está fabricado a base de celulosa y otros ingredientes. Básicamente la diferencia entre estos electrodos está en la penetración y el tipo de corriente con que se deben usar. Entre mayor sea el contenido de celulosa en un fundente, mayor será la penetración.

La numeración de los electrodos según la clasificación AWS tiene que ver directamente con sus características de aplicación, tipo de corriente con que se deben usar, así como el tipo de depósito. Se dará un ejemplo del significado de la numeración AWS tomando en cuenta como un electrodo cuya numeración conste de cuatro cifras:

AWS 6010

60: significa un mínimo de resistencia de 43,60 a 53,50 kg/cm<sup>2</sup> (60.00 libras por pulgada cuadrada.)

1: significa la posibilidad de aplicación que, en este caso, es en todas las posiciones.

0: significa alta penetración y que se debe aplicar únicamente con polaridad invertida y corriente continua.

Significado del penúltimo número:

1: toda posición

2: posición plana y horizontal

3: sólo soldable en posición plana

Significado del último número:

0: alta penetración: para soldar únicamente con C.C. en corriente invertida (celulosa y sodio).

1: alta penetración: para soldar en C.A. – C.C., polaridad invertida (celulosa y potasio).

2: mediana penetración: para soldar en C.A y C.C., polaridad directa y polaridad invertida (titanio y sodio).

3: ligera penetración: acabado terso para aplicarse con C.A – C.C., directa o invertida (titanio y potasio).

4: penetración mediana: (polvo de hierro y titanio), polaridad directa o invertida.

5: bajo hidrógeno y sodio: para soldar en C.C., polaridad invertida.

6: bajo hidrógeno y potasio: para soldar en C.A. – C.C., polaridad invertida

7: bajo hidrógeno, polvo de hierro, óxido de hierro: para soldar con C.C., polaridad directa.

8: bajo hidrógeno y polvo de hierro: Para soldar con C.C., polaridad invertida o con C.A.

### **2.3 . Electrodo y su utilización**

Varios factores deben tomarse en consideración para seleccionar apropiadamente un electrodo, éstos son: (1) el recubrimiento; (2) la composición del núcleo; y (3) el diámetro del núcleo. Los factores anteriores están influidos por la posición y preparación de las piezas, la corriente, el espesor de las piezas, la profundidad de penetración de la soldadura terminada y las propiedades físicas deseadas. Existen tres tipos básicos de electrodos: desnudos, con fundente y recubiertos.

Los electrodos desnudos, figura 5, pueden emplearse para soldar hierro o aceros de bajo contenido de carbono, pero deben utilizarse únicamente con polaridad directa. Para obtener mejores condiciones de soldadura puede adicionarse un recubrimiento de fundente y materiales escoriadores. El fundente evita la formación de óxidos y remueve los óxidos ya formados.

La mayoría de las soldaduras se ejecutan con electrodos recubiertos. En la figura 6, se representa en operación a un electrodo recubierto. La barra o metal de aportación está recubierta con un material compuesto. Al producirse el arco, se forma un baño de metal líquido. El calor intenso generado también funde al electrodo, el que se mezcla con el baño del metal base. El recubrimiento, que se funde a temperatura más elevada que el núcleo, forma con las impurezas una escoria que solidifica sobre el cordón constituyendo un recubrimiento protector sobre la soldadura terminada. También hay un desprendimiento gaseoso que forma una atmósfera que protege al metal fundido del nitrógeno y el oxígeno existentes en la atmósfera.

En la figura 6, puede apreciarse que el recubrimiento se funde después que el núcleo, así forma una capucha o conducto en el extremo del electrodo. Èste protege al extremo del electrodo de la atmosfera.

Los recubrimientos también se utilizan para producir atmósferas gaseosas que protegen a la soldadura. A los recubrimientos se añaden estabilizadores que ayudan a evitar el salpicado. Se incluyen óxido de titanio o compuestos potásicos para incrementar la velocidad de fusión del metal base y lograr así una penetración mayor. Para formar la escoria se emplea óxido de titanio o fluoruro de calcio; como desoxidante, se adicionan ferro manganeso. Además, al recubrimiento pueden agregarse elementos de aleación y endurecedores.

En la figura 7, se ilustran varias soldaduras producidas con corrientes muy bajas y muy elevadas, arcos largos y cortos, y velocidades muy rápidas y lentas. La última fotografía corresponde a una soldadura realizada correctamente.

Figura 5. Soldeo con electrodo desnudo



Fuente: Herman W. Pollack. Máquinas, herramientas y manejo de materiales. Pag. 108

Figura 6. Soldeo con electrodo recubierto

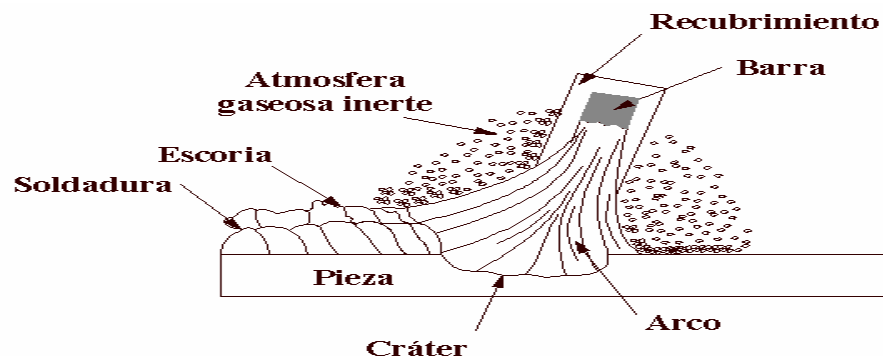




Figura 7. Variables que influyen en la soldadura por arco eléctrico.

	Corriente muy baja		Corriente muy elevada				
Apilamiento excesivo de metal de aportación	Salpique excesivo que debe limpiarse	Arco muy largo (voltaje muy elevado)	Cordón muy irregular con poca penetración	Cordón muy pequeño, con contorno, irregular	Cordón muy apilamiento excesivo de metal de aportación	Cordón uniforme y bien formado	
La penetración del cordón es escasa.	Las socavaduras en los bordes debilitan la unión.	El metal de la soldadura no fue protegido apropiadamente.	La soldadura no es suficientemente fuerte.	No hay metal de aportación suficiente en la sección transversal.	Traslape sin penetración en los extremos.	No hay socavaduras o apilamiento en los traslapes.	
Avance lento.	Deposito irregular.	Soldadura ineficiente	Excesivo consumo de tiempo.	Excesivo consumo de tiempo.	Excesivo consumo de tiempo.	Sección transversal uniforme.	
Desperdicio de electrodos y de tiempo productivo	Desperdicio de electrodos y de tiempo productivo	Desperdicio de electrodos y de tiempo productivo	Desperdicio de electrodos y de tiempo productivo	Desperdicio de electrodos y de tiempo productivo	Desperdicio de electrodos y de tiempo productivo	Desperdicio de electrodos y de tiempo productivo	

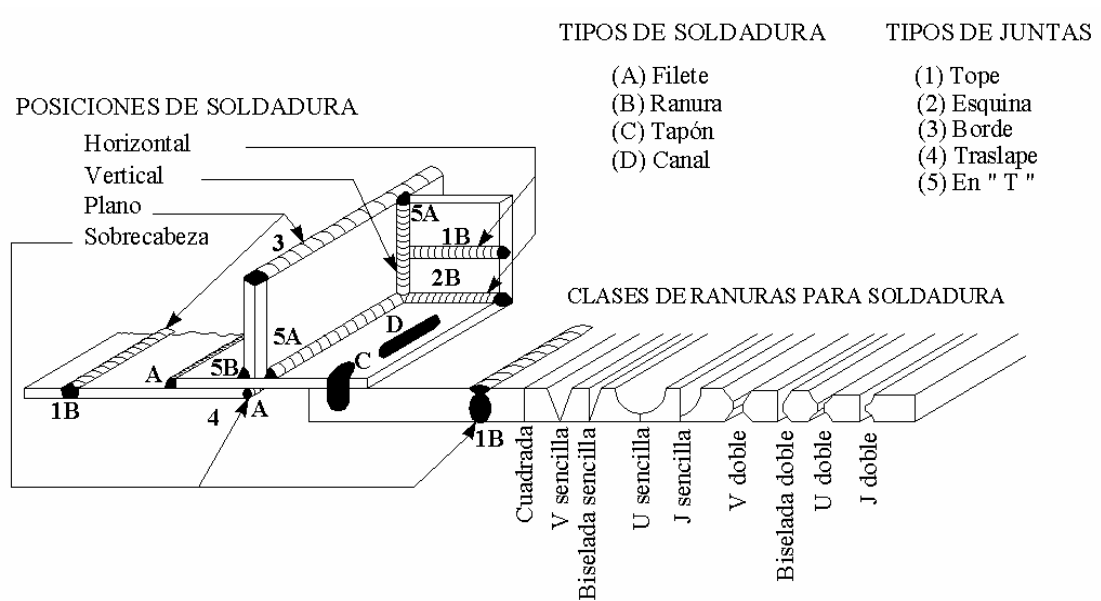
## **2.4. Funciones principales del revestimiento**

- 1) Actúa como limpiador y desoxidante del material base durante la soldadura.
- 2) Actúa como estabilizador del arco eléctrico y disminuye el chisporroteo.
- 3) Influye directamente en la penetración del cordón de soldadura.
- 4) Rompe las tensiones superficiales de las gotas del metal de aporte, lo cual permite que éstas se amalgamen homogéneamente con el material base.
- 5) Forma una capa de escoria que protege el cordón de soldadura caliente de la oxidación.
- 6) Evita el rápido enfriamiento del cordón de soldadura, gracias a la protección de la capa de escoria.
- 7) Permite, por medio de elementos adicionales, obtener un cordón de soldadura que características especiales.
- 8) Influye en la cantidad de aportación del material de soldadura.

## **2.5. Juntas soldadas y sus símbolos**

En la figura 8, se presentan las juntas o uniones soldadas más comunes, cada una tiene varios elementos. Éstos son el tipo de junta o unión, el tipo de soldadura y la preparación para la soldadura. Los elementos se pueden juntar en varias formas, por ejemplo, una junta traslapada puede ser retenida por un filete o chaflán, un tapón o una soldadura de ranura, una junta en “T” por un filete. La naturaleza de la junta depende de la clase y tamaño del material, del proceso y de la fuerza o resistencia que se requieren. Los materiales de menos de 0.25 mm (0.010 in) de grueso normalmente se traslapan; los materiales comunes frecuentemente se sueldan al tope. Las uniones o juntas al tope se usan para los aceros de alta resistencia debido a que se inspeccionan con mayor facilidad e implican patrones más sencillos de tensión o resistencia que los traslapes.

Figura 8. Tipos de juntas soldadas



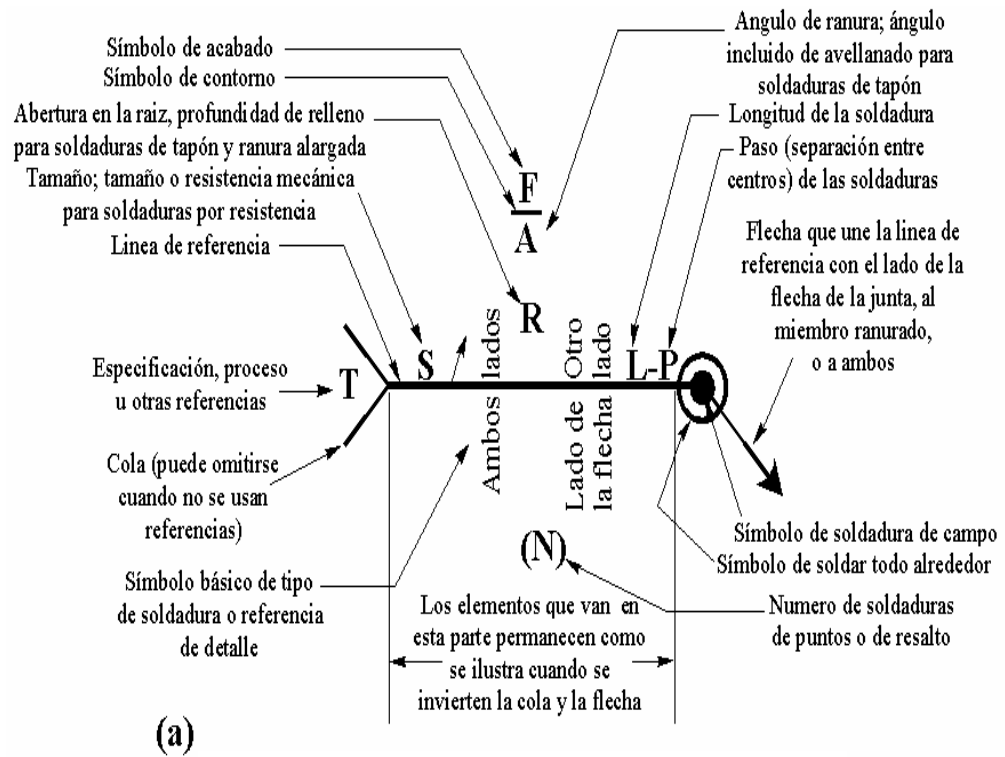
Fuente: Lawrence E. Doyle. **Materiales y procesos de manufactura para ingenieros.** Pág 416

- Elementos de un símbolo de soldadura: el símbolo de soldadura completo está formado por los siguientes elementos, o por el número de éstos que resulte necesario: línea de referencia con flecha, símbolos básicos de soldadura (weld symbols), las dimensiones y otros datos; símbolos suplementarios; símbolos de acabado; y la cola, la cual contiene especificaciones, el proceso y otras referencias. La información que se transmite por medio del símbolo de soldadura [Figura 9(a)] se lee así con facilidad y precisión, con lo cual resultan innecesarias las notas descriptivas largas.

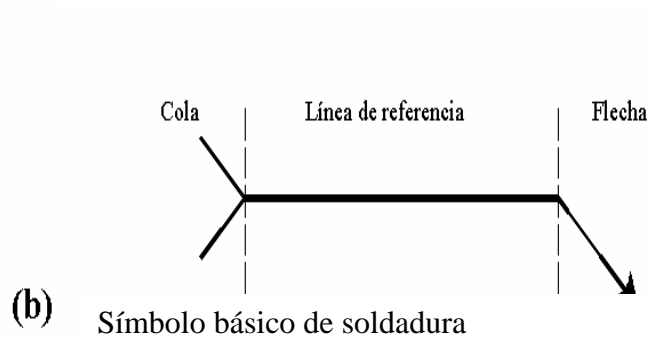
La línea de referencia de un símbolo de soldadura es la línea [Figura 9(b)] representada en un plano horizontal y unida a una cola y una flecha. La línea de referencia es la base de cada símbolo simplificado, y proporciona la

orientación y la localización estándar de los elementos de un símbolo de soldadura. Las posiciones de la cola y la flecha pueden intercambiarse, pero los elementos del símbolo están siempre en la misma posición en la línea de referencia.

Figura 9. Flecha de soldadura.



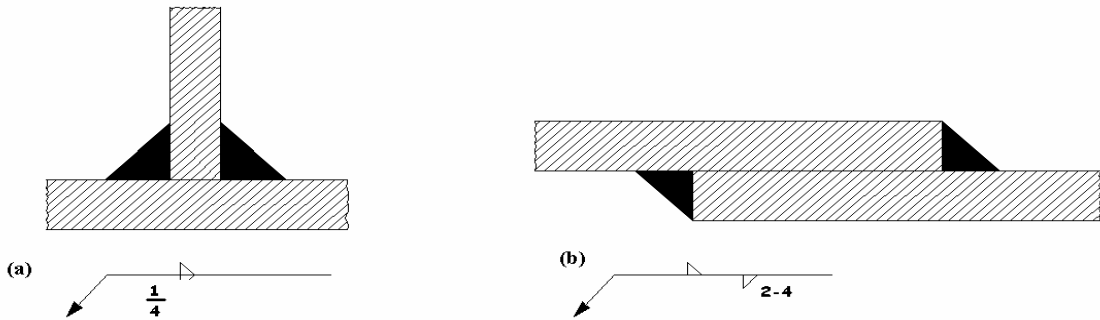
(a) Símbolo completo de soldadura



(b) Símbolo básico de soldadura

Fuente: **Welding Handbook**. 6ª, ed., 1968, sección 1. p. 1.8.

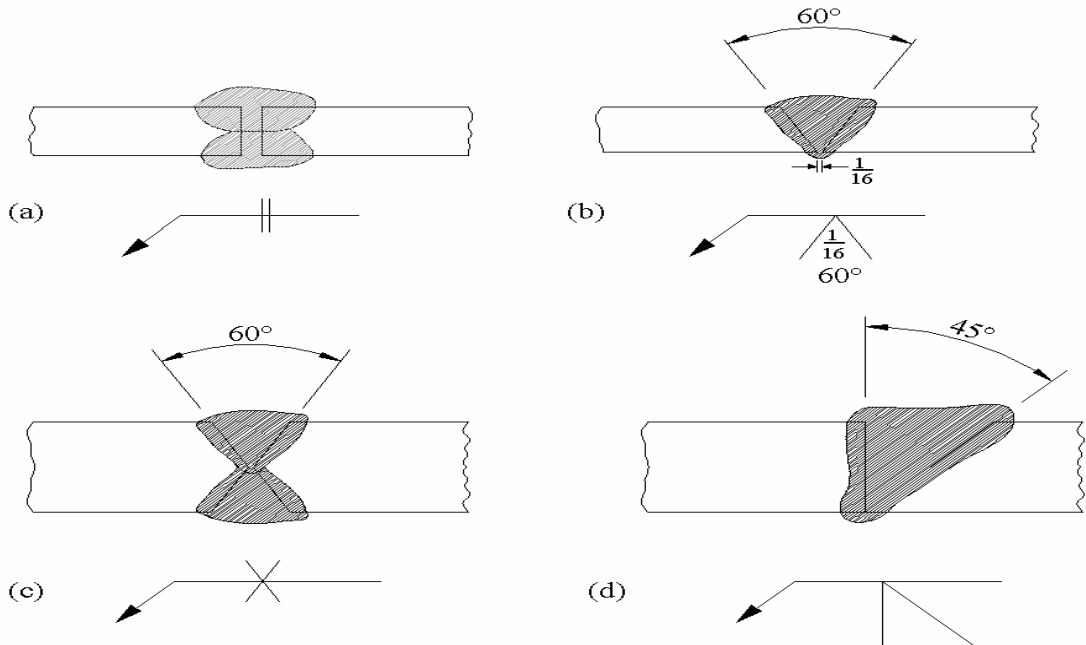
Figura 10. Soldaduras de filete (o de entalle)



Fuente: Joseph Edward Shigley. **Diseño en Ingeniería Mecánica.** Pág 328

a) Junta en T. La fracción indica el tamaño de la base del filete; la flecha debe apuntar sólo hacia una de las soldaduras, cuando ambos lados sean los mismos. b) Junta a traslape. El símbolo indica que las soldaduras son intermitentes y están desplazadas 2 pulg., con una distancia de 4 pulg. entre centros.

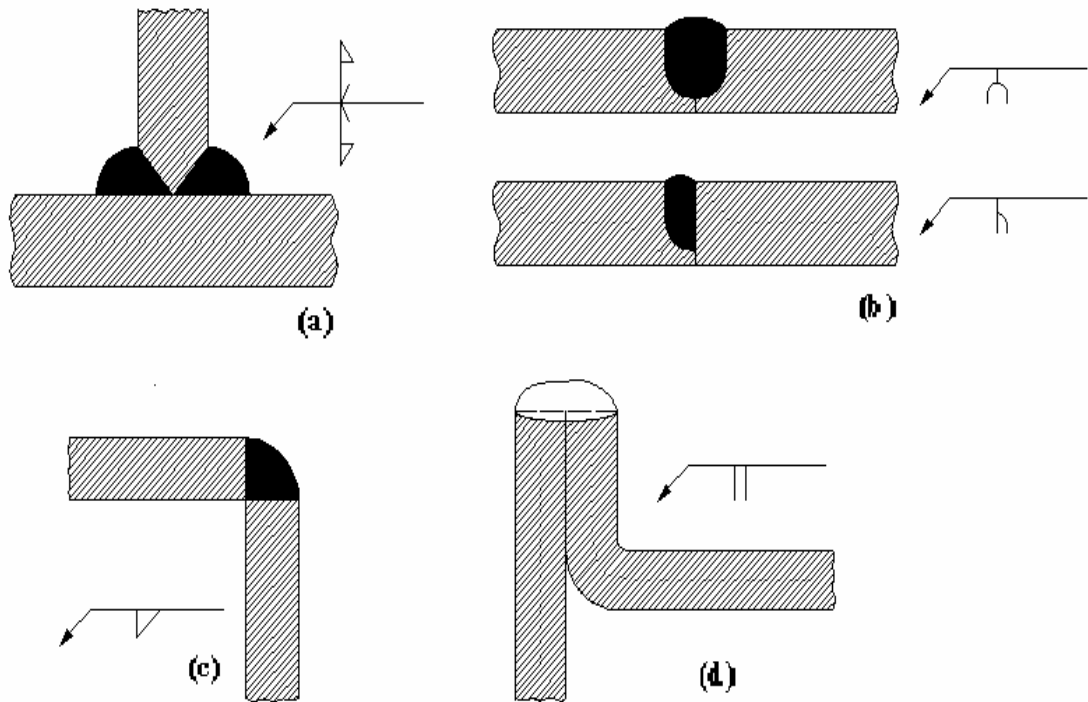
Figura 11. Soldaduras a tope (o de ranura)



Fuente: Joseph Edward Shigley, **Diseño en Ingeniería Mecánica.** Pág 328

a) Con extremos planos, soldadura por ambos lados de la junta; b) con ranura en V sencilla, bisel doble a  $60^\circ$  y apertura en la raíz de  $\frac{1}{16}$  pulg., c) con ranura en doble V (o en X), bisel doble a  $60^\circ$ ; d) con ranura en media V. bisel sencillo a  $45^\circ$ .

Figura 12. Tipos especiales de juntas y ranuras



Fuente: Joseph Edward Shigley. **Diseño en Ingeniería Mecánica.** Pág 328

- a) Junta en T para placas gruesas.
- b) Ranuras en U y en J para placas de espesor grande. c) Junta en esquina (o en L); puede llevar otro cordón de soldadura interior para mayor resistencia, pero no se debe emplear para cargas pesadas.
- d) Junta de bordes, para lámina y cargas ligeras.

## 2.6 . Soplo de arco

Unas de las causas que produce el efecto del soplo de arco es que al circular corriente por el electrodo y el aire (o los gases) en una pieza, ya que éstos son buenos conductores eléctricos, forman un puente que da origen a un campo electromagnético. También se puede originar un campo magnético (y con el soplo de arco) cuando un soldador enrolla parte del cable de trabajo arriba de la pieza que suelda. Las causas y el origen del soplo del arco son tantos que no es posible mencionar todos.

- Indicaciones para controlar el soplado del arco: un buen remedio para controlar el efecto del arco puede ser una buena conexión a tierra con la pieza de trabajo o inclinar el electrodo y efectuar el avance de soldadura en el sentido de la desviación del arco, cuidando de mantenerlo muy corto.

La mejor opción entre todas las que se mencionan (si es posible) es cambiar la corriente continua a corriente alterna que, como se sabe, no da lugar a soplo de arco.

## **2.7 . Cebado de arco**

Para el encendido del arco se debe observar antes si el extremo del electrodo no está recubierto por el revestimiento; si es así, basta frotar con una superficie rugosa lo suficiente para remover el recubrimiento de la punta del electrodo y dejar descubierto el alambre o núcleo.

El encendido del arco se consigue al poner levemente en contacto la punta del electrodo (una vez conectado al porta electrodo) con la pieza que se va a soldar. Se forma un cortocircuito e instantáneamente se cebará el electrodo entre 1 mm y 3 mm, y este momento se puede iniciar la operación de soldadura con el cuidado de que la distancia entre la pieza y el electrodo se mantenga sin variación.

Si el arco es muy corto no hay calor suficiente para fundir el metal base y el electrodo se pegará con frecuencia a la pieza, esto producirá cordones altos con ondulaciones irregulares y falta de fusión con inclusiones de escoria y porosidad (bolsa de gas). Normalmente, la distancia entre la pieza y el electrodo no debe ser superior al diámetro de éste.

Una correcta longitud del arco es particularmente importante en las soldaduras vertical, sobre cabeza y horizontal.

## **2.8 . Terminación de los electrodos**

Un electrodo se debe consumir hasta que quede una longitud de 40-50 mm (1 ½ a 2”), acortarlo más es contraproducente, porque cuando se llega a fundir la zona en que el revestimiento disminuye de espesor, el metal aportado se queda sin protección y puede afectar en forma adversa la calidad de la soldadura. Por lo contrario, si se dejan las colillas muy largas, con el tiempo se provoca un gasto bastante grande a la empresa. Las colillas no se deben tirar al piso, sino colocarlas en un recipiente metálico.

## **2.9 . Causas y soluciones a los problemas más comunes en las soldaduras**

Soldaduras porosas

Origen

1. Arco corto, con la excepción de los electrodos de bajo nitrógeno e inoxidable.
2. Insuficiente tiempo de permanencia del baño.
3. Metal base defectuoso.
4. Electrodo defectuosos.

Solución

1. Verificar las impurezas existentes en el metal base.
2. Mantener el baño fundido el tiempo suficiente para permitir escapar los gases.
3. Utilizar el valor apropiado para la corriente



4. Repasar la soldadura para eliminar los poros.
5. Utilizar los electrodos apropiados para el trabajo.
6. Emplear un arco mayor.

#### Poca penetración

##### Origen

1. Velocidad excesiva.
2. Arco muy largo.
3. La corriente es muy baja.
4. La preparación es defectuosa.

##### Solución

1. Utilizar la corriente suficiente para obtener lentamente la penetración deseada.
2. Calcular correctamente la penetración del electrodo.
3. Seleccionar el electrodo en concordancia con el tamaño del cordón.
4. Dejar el espacio libre apropiado en la parte inferior de la soldadura.

#### Alabeo

##### Origen

1. Contracción del metal en la soldadura.
2. Sujeción defectuosa de las partes.
3. Preparación defectuosa.
4. Sobre calentamiento de la unión.

##### Solución

1. Martillar las aristas de la unión antes de soldar
2. Soldar rápidamente.
3. Evitar la separación excesiva de las partes.
4. Sujetar apropiadamente las partes; soportar hasta el enfriamiento.
5. Seguir las recomendaciones para la ejecución de buenas soldaduras.

6. Utilizar electrodos de velocidad elevada y penetración moderadas.

#### Socavaduras

##### Origen

1. Manipulación defectuosa del electrodo.
2. Utilización inapropiada del electrodo.
3. Corriente es muy elevada.

##### Solución

1. Uniformar en la ejecución de las soldaduras a tope el desplazamiento lateral del electrodo.
2. Evitar la utilización de un electrodo supremamente largo.
3. Evitar el desplazamiento lateral excesivo.
4. Utilizar una corriente moderada; soldar lentamente.
5. Sostener el electrodo a la distancia apropiada y segura del plano vertical durante la ejecución de soldaduras horizontales de filete.

#### Soldaduras fracturadas

##### Origen

1. El electrodo no es apropiado.
2. No están balanceados los tamaños de la soldadura y las partes.
3. Soldaduras defectuosas.
4. Preparación defectuosa.
5. Uniones rígidas.

##### Solución

1. Diseñar la estructura y el procedimiento de soldadura en tal forma que se eliminen las uniones rígidas.
2. Calentar las partes antes de soldar.
3. Evitar las soldaduras continuas.

4. Dejar libres los extremos para permitirles desplazarse, tanto como lo requieran.
5. Adecuar la fusión.
6. El tamaño de la soldadura debe compadecerse con el tamaño de las partes.
7. Dar a las uniones un espacio libre apropiado y uniforme.
8. Cuidar que el amperaje de trabajo sea tan bajo como sea posible.

#### Apariencia no agradable

##### Origen

1. Electrodo defectuosos.
2. Sobrecalentamiento.
3. Utilización inapropiada de los electrodos.
4. El arco y la corriente no son apropiados.

##### Solución

1. Utilizar una técnica apropiada.
2. Evitar el sobrecalentamiento.
3. Uniformar el desplazamiento lateral del electrodo.
4. Evitar las corrientes muy elevadas.

#### Soldaduras frágiles

##### Origen

1. El electrodo no es apropiado.
2. El precalentamiento resultó defectuoso.
3. El metal se endurece al aire.

##### Solución

1. Precalentar hasta una temperatura comprendida entre 300 y 500°F, cuando suelde acero al medio carbono o ciertos aceros aleados.
2. Hacer los cordones en varias pasadas.

3. Hacer un recocido después de soldar.
4. Utilizar electrodos inoxidables o de bajo hidrógeno para incrementar la ductilidad de la soldadura.

### Salpique

#### Origen

1. Soplo del arco.
2. Corriente demasiado elevada.
3. El arco es muy largo.
4. Los electrodos están defectuosos.

#### Solución

1. Desengrasar las partes en el área de la soldadura.
2. Ajustar el valor de la corriente al requerido.
3. Utilizar la longitud de arco apropiada.
4. Disminuir el soplo del arco.
5. Escoger los electrodos apropiados.

### Esfuerzos residuales en la soldadura

#### Origen

1. Soldaduras defectuosas.
2. Procedimiento incorrecto.
3. Uniones rígidas.

#### Solución

1. Permitir el desplazamiento libre de las partes.
2. Reducir las pasadas al mínimo posible.
3. Martillar los depósitos.
4. Recoger de acuerdo con el espesor de la soldadura.
5. Desplazar las partes ligeramente durante la soldadura para reducir los esfuerzos.

## **2.10 . Electroodos de bajo hidrógeno**

En términos generales, se puede definir a los electrodos de bajo hidrógeno como aquellos en cuya zona de aplicación forman una atmósfera con bajo contenido de hidrógeno.

### **2.10.1. Ventajas de los electrodos de bajo hidrógeno**

1. Son formadores de escoria alcalina con un bajo contenido de hidrógeno.
2. Se obtiene soldadura sin rajaduras o poros.
3. Su depósito afina el grano.
4. Mejor elasticidad y mayor resistencia.
5. Se puede aplicar con mayor rango de amperaje sin producir socavaciones.
6. Producen cordones uniformes con un mayor depósito de soldadura.
7. Poco calentamiento del electrodo al soldar.
8. Auto ajusta la longitud del arco.
9. Evita el exceso del chisporroteo.
10. Buena estabilidad del arco en soldadura.

### **2.10.2. Cuidado que se debe tener con los electrodos de bajo hidrógeno**

1. Una vez que se sacan de su envase original se deben conservar en un horno apropiado.
2. Sacar del horno cantidades pequeñas.
3. No dejar los electrodos en lugares húmedos donde puedan absorber humedad.
4. No utilizar electrodos a los que les falte el revestimiento.
5. No utilizar el arco largo.
6. Secar las partes húmedas antes de soldar.

## **3. SOLDADURA POR GAS (S.O.A.)**

### **3.1 . Principio**

Se realiza quemando un gas combustible con aire y oxígeno en una llama concentrada de alta temperatura. Como sucede con otros métodos de soldadura, el propósito de la llama es calentar y fundir el metal base y el de aporte de una junta. La mayoría de la soldadura por gas ha sido reemplazada por la soldadura con resistencia y de arco eléctrico que son más rápidas, pero la soldadura con gas aún tiene usos importantes. Sus temperaturas son más bajas y controlables, lo que es necesario para un trabajo delicado, como hojas de metal y tuberías. Se pueden soldar la mayoría de los materiales comunes. El equipo es poco costoso, adaptable, normalmente portátil y sirve adecuadamente en muchos trabajos y talleres generales de reparaciones.

### **3.2 . Gases combustibles**

El acetileno es el hidrocarburo más importante en la industria de la soldadura. Han ganado aceptación las nuevas mezclas estabilizadas de metilacetileno – propadieno, conocido como MAPP. Otros gases combustibles comerciales son el hidrógeno, el propano, el butano, el gas natural y el gas para iluminación fabricado, así como el cloro quemado con hidrógeno.

El acetileno produce temperaturas más altas que otros gases, porque contiene más carbono disponible y libera calor cuando sus componentes (C y H) se disocian para combinarse con el oxígeno y arder. La mayoría de los otros gases combustibles, como el propano, absorbe algo del calor resultante de la combustión cuando se disocian sus elementos.

El acetileno es incoloro y tiene un olor dulzón que para muchos es detestable. Se genera industrialmente por medio de una reacción controlada de carburo de calcio en agua. El carburo de calcio es una sustancia gris parecida a la piedra que se hace al fundir piedra caliza y coque en un horno eléctrico. El gas puede fabricarse en una planta central y comprimirse introduciendo en cilindros para su distribución, o bien puede generarse según las necesidades del cliente.

La desventaja principal del acetileno es que es peligroso si no se maneja con cuidado. La ley obliga a que el acetileno libre esté limitado a presiones de 100 a 140 kPa (15 a 20 psi) debido a que explota a más de 170 kPa (25 psi) y, algunas veces, debajo de esa cifra. Sin embargo, es posible almacenarlo con seguridad a 1.4 Mpa (200 psi) si se disuelve en acetona. Un tanque o cilindro de acero para almacenar acetileno es empaquetado con un 80% de material poroso, como el asbesto, la madera de balsa, carbón de leña, tierra con infusorios, fibra de seda, o lana de ceiba (capoc).

El empaque se satura totalmente con acetona que puede absorber el acetileno hasta 25 veces su volumen por atmósfera de presión. Se hace que el gas se cargue en el cilindro y se saque para usarlo por medio de una válvula que está en la parte superior del cilindro. Se suministran tapones fusibles de seguridad para aliviar la presión si se expone al fuego. Como medida de seguridad, al usarlos se vacían los tanques a una velocidad que no exceda 1/5 tanque/hr.

Para lograr temperaturas más elevadas, los gases combustibles se queman con oxígeno puro comercial. Para propósitos industriales, se extrae el oxígeno por licuefacción del aire y se distribuye en cilindros de acero a una presión de 14 Mpa (2000 psi).

Para obtener temperaturas de llama debajo de 1980°C (3600°F) el hidrógeno se quema junto con oxígeno, lo que resulta ventajoso para hojas delgadas de metal y

materiales que deban sobrecalentarse. Para lograr soldaduras de buena calidad libres de óxido se hace que la flama sea ligeramente reductora. El hidrógeno se almacena en cilindros de hasta 14 Mpa (2000 psi) de presión.

Tabla I. **Tabla de gases de combustibles de uso común**

GAS	PODER CALORÍFICO (BTU POR PIE CUBICO)	TEMPERATURA DE LA LLAMA CON OXIGENO (GRADOS F)
Acetileno	1433	6300
Butano	2999	5300
MAPP ®	2406	6000
Metano	914	5000
Gas natural	1200	4600
Propano	2309	5300

Fuente: Henry Horwitz. **Soldadura, aplicaciones y práctica.** Pág 98

### **3.3. Medidas de seguridad**

1. Nunca utilizar cilindros de gas comprimido para soportar la pieza de trabajo que se estén soldando o cortando, y nunca utilizar dichos cilindros como rodillos.
2. Nunca efectuar trabajos de soldadura o de corte en presencia de gases o vapores inflamables (por ejemplo de gasolina).



3. Utilizar siempre un gas inerte o no inflamable, como el argón, el helio, el bióxido de carbono, el nitrógeno, o el vapor de agua, para purgar cualquier tambor, recipiente o estructura hueca que se sospeche haya contenido una sustancia inflamable o explosiva, antes de soldarlos, calentarlos, cortarlos, o aplicarles soldadura fuerte.
4. Ventilar siempre por taladrado o punzonado de agujeros (según resulte apropiado) cualesquiera huecos estructurales, recipientes encamisados o piezas fundidas, de los que se sospeche que estén huecos, antes de comenzar cualquier trabajo de soldadura, calentamiento o aplicación de soldadura fuerte. Los gases se dilatan al calentarse.
5. Dejar siempre los cilindros de oxígeno y acetileno fuera de tanques o de otras zonas confinadas.
6. Nunca, en ningunas circunstancias, permitir que se agregue, ni siquiera una pequeña parte de una carga extra de carburo, a una carga de agua en un generador de acetileno.
7. Nunca intentar pasar gas de un cilindro a otro.
8. Nunca mezclar gases en un cilindro.
9. Nunca utilizar un cilindro que tenga fugas de gas.

Para prevenir retrocesos de llama (el que la llama vaya de punta del soplete hacia el cilindro) hay que utilizar siempre válvulas de retención contra inversión o contrapresión, en los cilindros, en los generadores y, cuando sea posible, en el mango del soplete.

### **3.4. Equipo de protección personal**

Siempre use gafas con vidrios filtrantes adecuados cuando trabaje con soplete. Al soldar con arco use también un protector del calor o un casco con lentes filtrantes

adecuados. Use gafas contra llama, con protectores laterales, y unos lentes apropiados en todo momento, aun cuando estén ajustados los controles. Las gafas y los cascos protegen los ojos de las chispas y fragmentos de escoria volantes, así como también de la luz intensa y los rayos perjudiciales de la llama del arco. También ayudan a ver mejor la pieza de trabajo. (Véase figura. 13)

Use guantes y mandiles de cuero, así como zapatos adecuados y de más ropa de protección. (Véase figura. 14)

Mantenga seco y libre de aceite el equipo de protección, y tenga cuidado de que su ropa no se enaceite, de que sus bolsillos no contengan cerillos ni encendedores para cigarrillos, y de que sus puños no estén abiertos y listos para recibir chispas o escoria caliente.

Figura 13. **Equipo de protección**

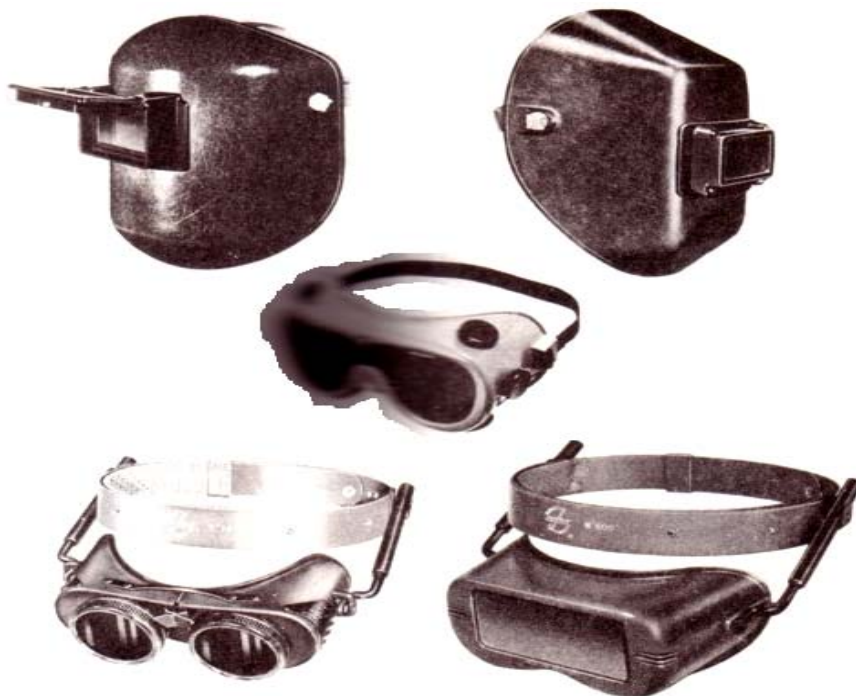
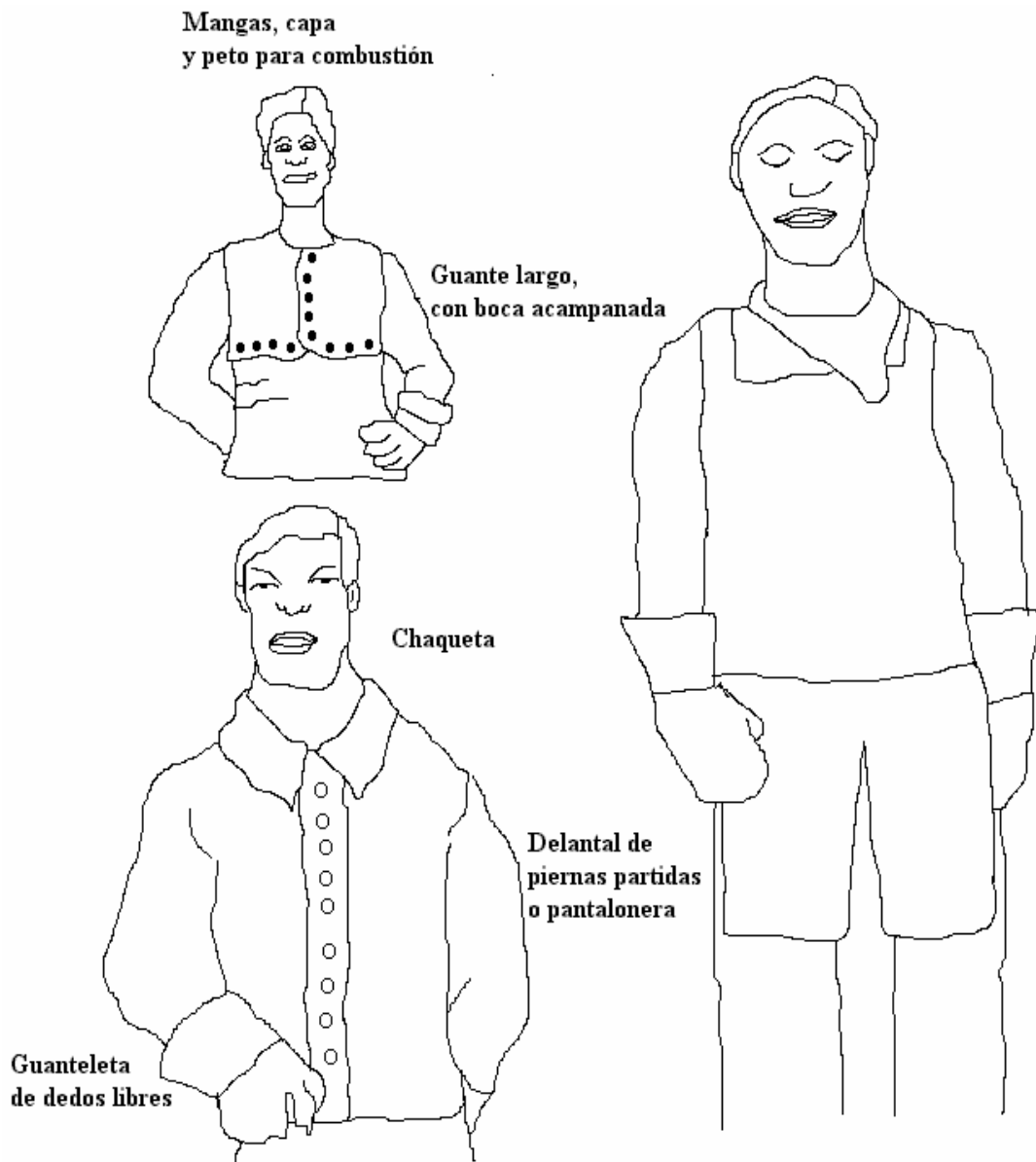


Figura 14. **Ropa de protección.**



Fuente: Henry Horwitz. **Soldadura, aplicaciones y práctica.** Pág 287

### **3.5 . Área de trabajo segura**

Al soldar o cortar cerca de materiales combustibles deben tomarse precauciones especiales, para asegurarse de que las chispas o la escoria caliente que salte de las operaciones de corte, en particular, no se pongan en contacto con el material combustible, para iniciar un incendio. El material combustible debe moverse, alejándolo a una distancia segura, por lo menos unos 11 metros, si no puede moverse la pieza de trabajo que ha de soldarse o cortarse. Cuando resulte impráctica la relocalización, deben protegerse los materiales combustibles con cubiertas a prueba de llamas, o de lo contrario protegerse con guardas de metal o de asbesto, o con cortinas. Deben retirarse sobre el piso las orillas de las cubiertas, para impedir que las chispas pasen por debajo de aquéllas.

Cuando sea necesario hacer soldadura o corte en las cercanías de construcciones de madera, o en lugares en los que no pueden eliminarse los materiales combustibles, debe contarse en el sitio con un equipo de protección contra incendios que llene los requisitos adecuados para el tipo de incendio que pueda producirse.

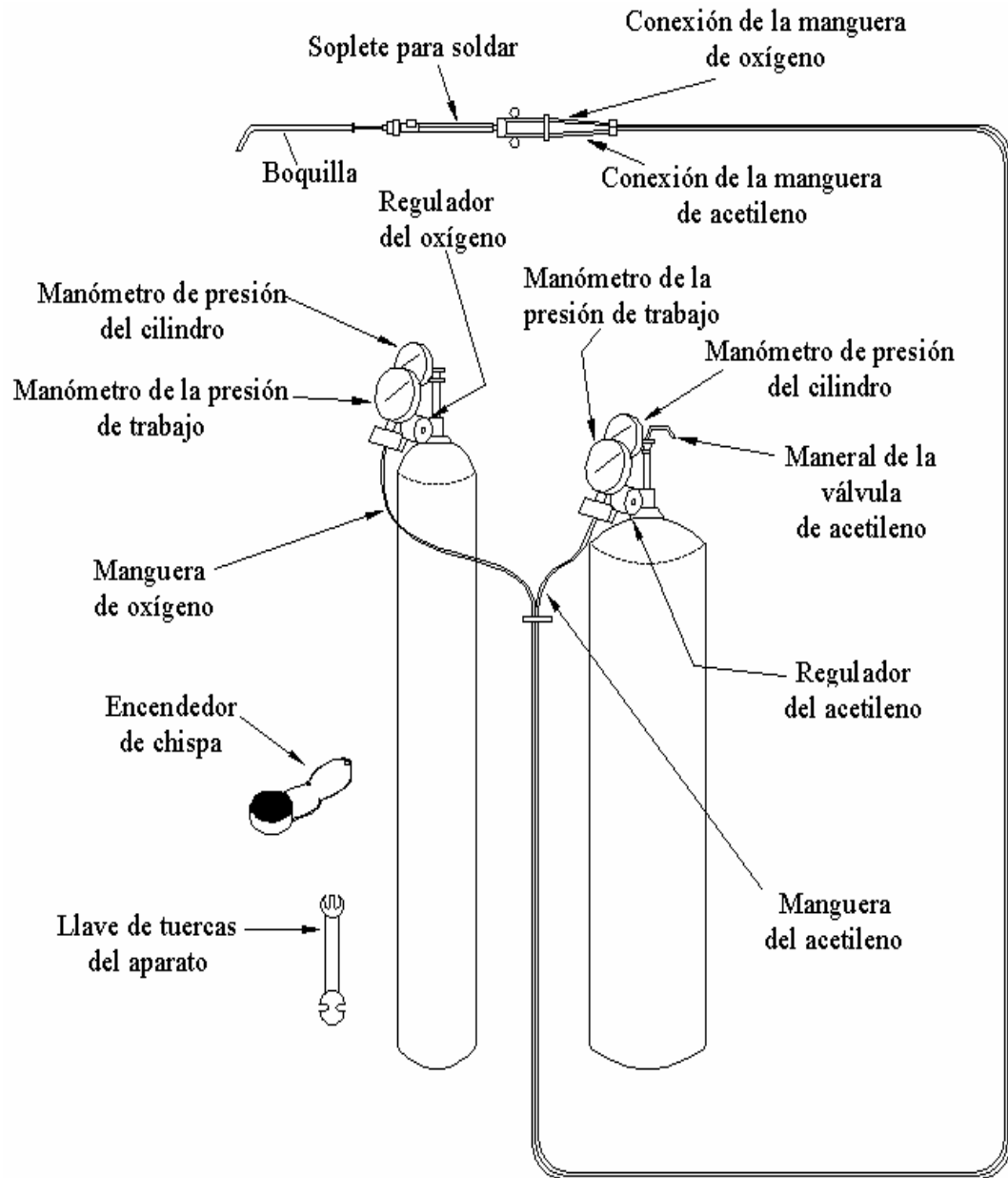
### **3.6. Instalación de equipo**

El equipo, las herramientas y los materiales que se requieren son: un equipo de soldadura como el que se muestra en la Figura 15., y un balde con agua jabonosa.

- 1.** Ensamble el equipo para encenderlo:
  - a.** Sujetar el cilindro en posición vertical.
  - b.** Girar el cilindro de acetileno de manera que la boca de su válvula apunte en dirección contraria a la del cilindro de oxígeno.
  - c.** Quitar las tapas de protección

- d.** Golpear levemente las válvulas de cada cilindro para eliminar la suciedad de las boquillas.
- e.** Conectar el regulador de oxígeno al cilindro de oxígeno.
- f.** Conectar el regulador de acetileno al cilindro de acetileno.
- g.** Conectar la manguera del acetileno al regulador de acetileno.
- h.** Conectar la manguera de oxígeno al regulador de oxígeno.
- i.** Conectar el soplete a las mangueras de oxígeno y acetileno.
- j.** Atornillar la punta al cuerpo del soplete.
- k.** Atornillar el tornillo de ajuste, girándolo en sentido contrario al de las manecillas del reloj, en ambos reguladores, el de oxígeno y el de acetileno.
- l.** Abrir completamente la válvula del cilindro de oxígeno.
- m.** Abrir media vuelta la válvula del cilindro de acetileno.
- n.** Girar el tornillo de ajuste de los reguladores de presión de gas en el sentido de rotación de las manecillas del reloj, hasta que aparezca indicada en las escalas de los manómetros la presión correcta.
- o.** Comprobar que no haya fugas en las conexiones de los accesorios, usando agua jabonosa.

Figura 15. **Equipo completo para soldadura oxiacetilénica.**

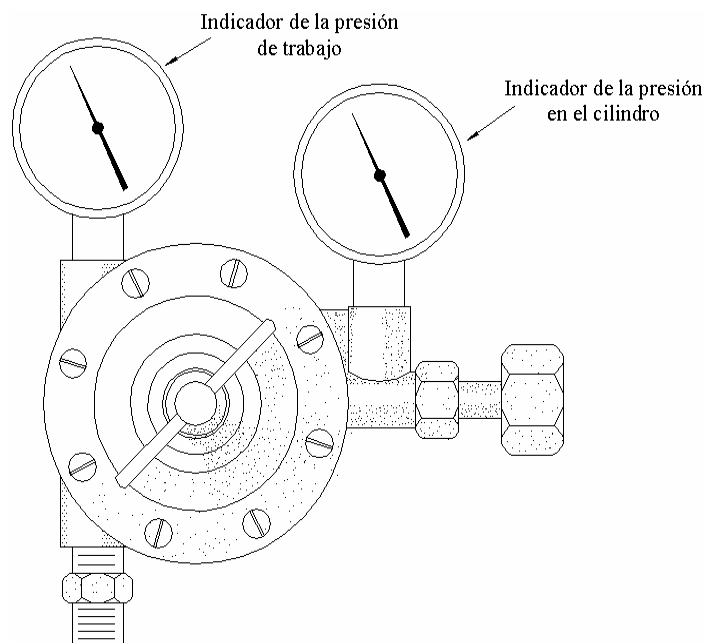


### 3.7. Instalación de reguladores

Los reguladores que se ven en la figura 16, o válvulas automáticas de reducción, deben usarse sólo con gases para los que están diseñados y marcados. Deben usarse únicamente para los intervalos de presión y gasto indicados en la literatura del fabricante. Precaución: nunca intente una conexión de regulador o cilindro que no se pueda hacer con facilidad. Si no puede hacerse, salvo forzándola, probablemente no es la conexión correcta, o bien sus partes necesitan limpiarse o repararse.

Los reguladores cumplen dos funciones básicas: 1) reducen la presión del cilindro a un nivel aceptable para los sopletes, y 2) mantienen una presión constante en el soplete. Los reguladores más comunes son los de oxígeno y los de acetileno. Los reguladores de oxígeno son con frecuencia verdes (como las mangueras de oxígeno) y tienen roscas derechas. Los reguladores de acetileno son a menudo de color rojo y son de rosca izquierda.

Figura 16. **Regulador de presión.**



Fuente: Henry Horwitz. **Soldadura, aplicaciones y práctica.** Pág 135

- **Conexión de los reguladores**

abrir lentamente la válvula del cilindro para purgar cualquier suciedad, luego cerrarla. Conectar el regulador, apretando firmemente las conexiones, luego conectar las mangueras a los reguladores y asegurar.

### **3.8. Colocación del soplete**

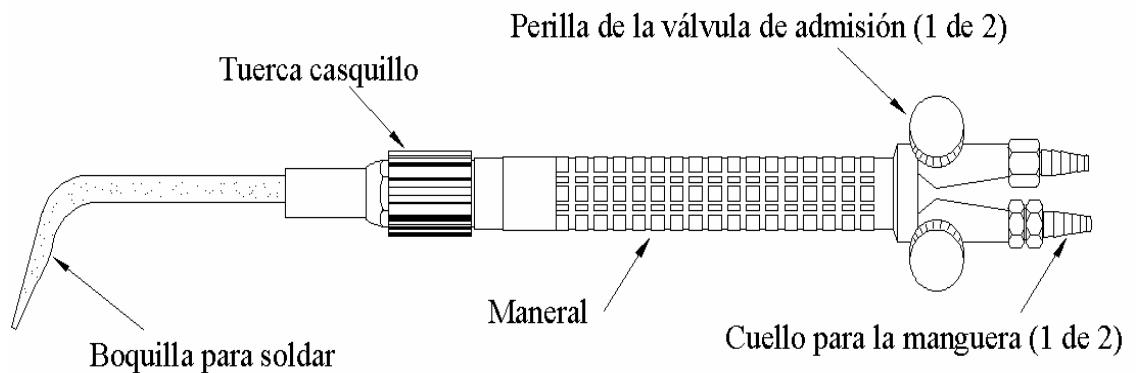
El soplete es la parte más importante del equipo de soldadura con gas. El soplete mezcla y controla el paso de los gases, para producir la llama requerida. Un soplete está formado por un cuerpo con dos válvulas de admisión, una cámara mezcladora y una boquilla. Uno de los extremos de la manguera verde del oxígeno está conectado a una de las válvulas de admisión, con conexiones derechas, y el otro extremo está conectado al regulador de oxígeno, con conexiones derechas. Uno de los extremos de la manguera roja de gas combustible está conectado a la otra válvula de admisión con conexiones izquierdas (generalmente, con una ranura a su alrededor) y el otro extremo está conectado en la misma forma al regulador del gas combustible. Las mangueras de oxígeno y de gas combustible siempre trabajan de esta manera.

- **Colocación del soplete**

conectar la manguera de acetileno (roja o amarilla) a la válvula del soplete marcada “Gas”, y la manguera de oxígeno (verde o blanca) a la válvula del soplete marcada “Ox”. Cerrar ambas válvulas antes de abrir los cilindros.



Figura 17. **Soplete típico para soldar.**



Fuente: Henry Horwitz. **Soldadura, aplicaciones y práctica.** Pág 133

### 3.9. Cebado de válvulas

- Aflojar el tornillo de ajuste, girándolo en sentido contrario al de las manecillas del reloj, en ambos reguladores, el de oxígeno y el de acetileno.
- Abrir completamente la válvula del cilindro de oxígeno.
- Abrir media vuelta la válvula del cilindro de acetileno.
- Girar el tornillo de ajuste de los reguladores de presión de gas en el sentido de rotación de las manecillas del reloj, hasta que aparezca indicada en las escalas de los manómetros la presión correcta.
- Comprobar que no haya fugas en las conexiones de los accesorios, usando agua jabonosa.

### 3.10. Instalación de boquillas

Atornillar la punta al cuerpo del soplete o sacar la tuerca del aditamento de corte. Colocar la boquilla en la tuerca, apretando ésta firmemente en su lugar, utilizando la llave múltiple.

### **3.11. Encendido de soplete**

- 1) Abrir las válvulas de los cilindros, acetileno 1 ½ vuelta y oxígeno total lentamente para las presiones del trabajo.
- 2) Abrir la válvula de admisión del acetileno del soplete y con el tornillo regulador de presión de trabajo, dar la presión deseada. Cerrar la válvula nuevamente.
- 3) Abrir la válvula de admisión del oxígeno del soplete y con el tornillo regulador de presión, hasta la presión deseada. Cerrar la válvula nuevamente.

#### **Encendiendo el soplete**

- a) Abrir la válvula del acetileno aproximadamente, ¼ de vuelta y encender con el chispero. Luego, abrir la válvula del oxígeno lentamente y empezar a ajustar a la llama deseada.
  - Neutra
  - Carburizante
  - Oxidante
  - Neutra

#### **Apagando el soplete**

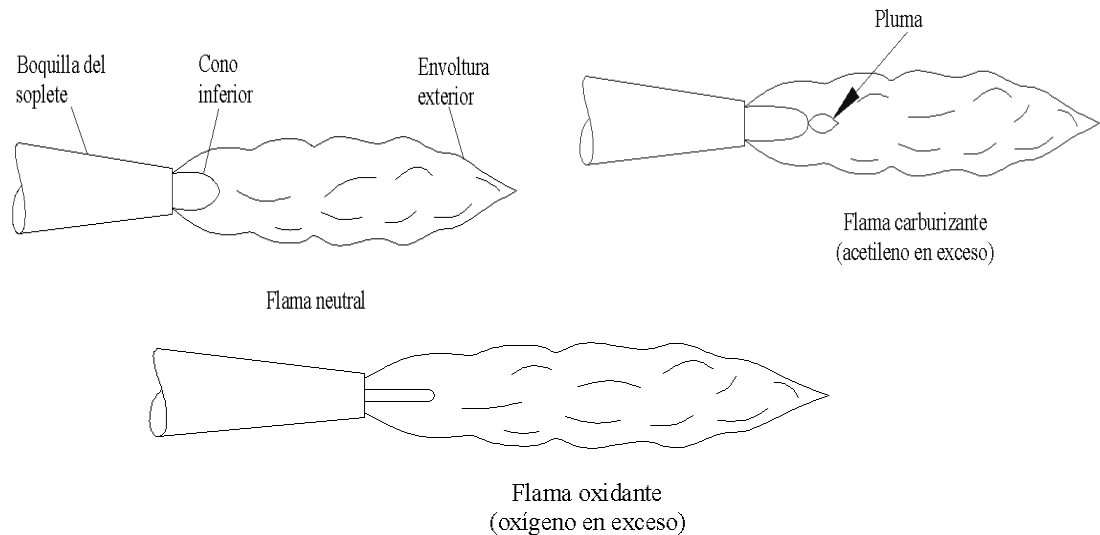
- a) Cerrar la válvula de admisión, primero acetileno, luego oxígeno.
- b) Cerrar las válvulas de los cilindros.
- c) Abrir las válvulas de acetileno y oxígeno para liberar presiones.
- d) Liberar los tornillos reguladores de presión.
- e) Guardar el equipo utilizado.

### 3.12. Tipo de llamas

Son dos los tipos de llama que se aplican en la industria de la soldadura: la premezclada y la de mezcla en boquilla. En la premezclada, que es la que más se utiliza en la soldadura manual, el gas combustible y el oxígeno se mezclan en la cámara del soplete y, por lo general, quedan completamente mezclados antes de que tenga lugar la combustión en la boquilla. Este tipo de llama es azul o casi invisible. Las llamas mezcladas en boquilla o chiflón se producen al contar con pasos separados para el combustible y el oxígeno, sin cámara mezcladora, y logrando que la combustión y la mezcla ocurran inmediatamente fuera de la boquilla. Estas llamas son generalmente, largas y amarillentas. Las llamas mezcladas en boquilla o chiflón son, llamas radiadoras de calor, y se usan a menudo en hornos industriales, en tanto que las llamas premezcladas concentran el calor en un cono con la muy elevada temperatura necesaria para soldar.

Como se ve en la figura 18, una flama oxidante, que resulta de una mezcla con más oxígeno que acetileno, es la más caliente. Sin embargo, el exceso de oxígeno oxida el metal de la soldadura y puede no ser práctico en algunos casos. Las llamas carburizantes resultan de una mezcla de más acetileno que oxígeno y se emplean, a veces, para agregar carbón al metal de la soldadura. Las llamas neutras resultan de proporciones iguales de oxígeno y acetileno, y son las que se usan más comúnmente en la soldadura general.

Figura 18. **Tipos de llamas de oxiacetileno.**



Fuente: Henry Horwitz. **Soldadura, aplicaciones y práctica.** Pág 139

### 3.13. Varillas para soldar

Las varillas o alambres para soldadura con gas son varillas de acero que no tienen recubrimiento alguno. La operación de soldadura se determina solamente por la composición de las varillas y la llama de soldar que se utiliza. Se describen a continuación en forma breve las diversas clases de varillas para soldadura con gas.

Las varillas de soldadura de la Clase RG65 se emplean para la soldadura oxiacetilénica de aceros al carbono y aceros de bajo contenido de aleación con resistencias comprendidas en el intervalo de 65,000 a 75,000 lb/pulg.<sup>2</sup> Se utilizan en lámina, plancha, tubos y ductos. Cuando se usa un análisis de aleación del metal base por alguna propiedad específica, como la resistencia al flujo plástico o a la corrosión, el análisis del metal de aporte debe corresponder con el análisis de aleación del metal

base. Las varillas de soldadura de la Clase RG65 son de acero de bajo contenido de aleación.

Las varillas de soldadura de la Clase RG60 se emplean para soldadura oxiacetilénica de aceros al carbono comprendidos en el intervalo de resistencia de 50,000 a 65,000 lb/pulg.<sup>2</sup> y para soldar hierro dulce. También pueden usarse para aceros de bajo contenido de aleación que caiga en este intervalo. Estas son varillas de uso general para soldadura con gas, de resistencia media y buena ductilidad, que se emplean más comúnmente para la soldadura de tuberías de acero al carbono para plantas de fuerza, tuberías de proceso y en otras condiciones de servicio pesado.

Las varillas de soldadura de la Clase RG45 son de acero simple con bajo contenido de carbono. La mayoría de las varillas de esta clase son de la siguiente composición nominal: carbono, 0.07% máximo; manganeso, 0.25% máximo; fósforo y azufre, cada uno 0.04% máximo; silicio, 0.08% máximo. Estas varillas son para uso general, y pueden usarse para soldar hierro dulce.

## 4. OPERACIÓN DE SOLDADURA CON GAS

### 4.1 . Corte oxiacetilénico

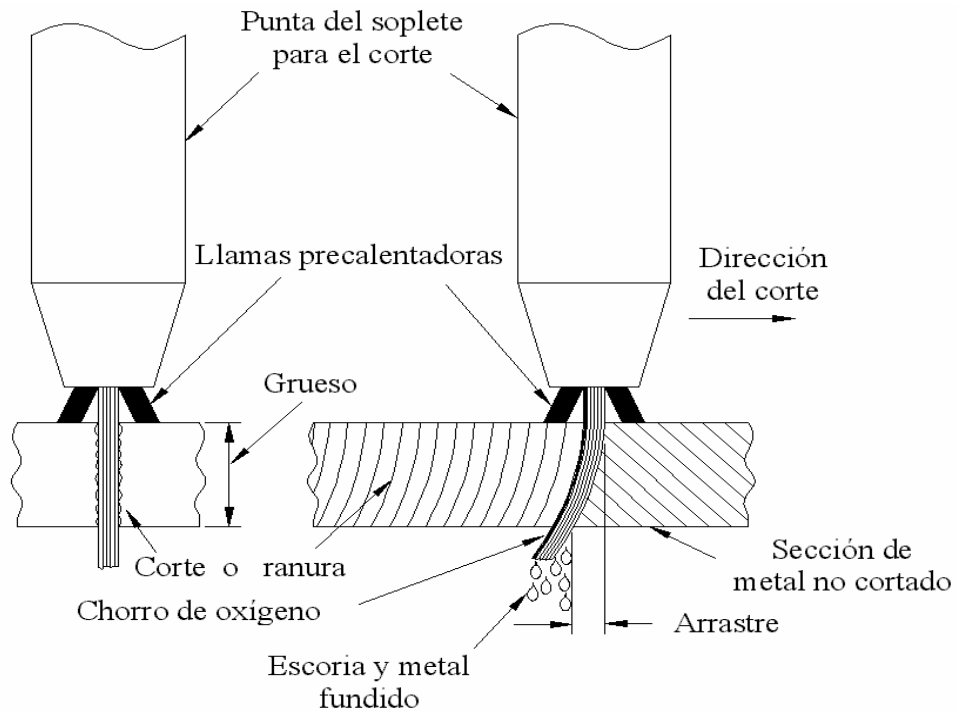
Dos tipos de corte de metales estrechamente relacionados con la soldadura son importantes en la industria de fabricaciones metalmeccánica y en cualesquiera otras. El más importante es el corte con oxígeno, el otro es el corte con arco.

El corte con oxígeno se basa en la oxidación rápida y exotérmica del hierro cuando se calienta a alrededor de 1500°F (816°C) en presencia de oxígeno. Por lo tanto, el proceso sólo se puede emplear con metales ferrosos, en especial, productos de acero, como lámina, placa, barras, perfiles, tubos normales y tubería especial, piezas forjadas y fundidas y con productos de hierro forjado. En lugar de utilizar un soplete de soldadura, se conecta a las mangueras del gas un soplete para corte y se aumenta la presión del suministro de oxígeno. En la punta del soplete para corte hay una pieza anular con orificios pequeños para la llama de precalentamiento y un orificio central para el chorro de oxígeno, en la forma mostrada en la fig. 19. Cuando el acero se ha calentado lo necesario, se abre la válvula de oxígeno, con lo que se “quema” un corte limpio y estrecho, conforme avanza el soplete. Para el precalentamiento, se suelen emplear oxígeno y acetileno; otros gases combustibles son hidrógeno, propano, gas natural, gas licuado del petróleo o gases de mezclas patentadas. El proceso de corte con oxígeno se emplea mucho para partir, desbastar y preparar cantos de placas para soldar, eliminar metal, y escoplear. En la tabla. II, se presentan datos de operación para el corte con oxiacetileno.

El volumen de oxígeno (en pies cúbicos por hora a 1 atm y a 70°F) requerido para cortar una sección gruesa es entre 80 y 120 veces el espesor, medido en pulgadas.

La presión de suministro depende del tamaño del orificio para corte; en orificios pequeños, la presión es más alta. El volumen de gas combustible para precalentamiento es entre 10 y 15% del flujo de oxígeno para corte. En secciones gruesas, la finalidad es lograr buenos cortes de “caída” limpia y la velocidad del corte es secundaria.

Figura 19. **Principios del corte a la flama.**



Fuente: Lawrence E. Doyle. **Materiales y procesos de manufactura para ingenieros.** Pág 429

Tabla II. **Corte con oxiacetileno**

Esesor, pulg	1/4	1/2	1	2	4	6	8	10
Velocidad, pulg/min, a mano	16-18	12-14.5	8-12	5-7	4-5	3-4	2.5-3.5	2-3
Velocidad, pulg/min, con máquina	20-26	17-22	14-18	10-13	7-9	5-7	4-6	3-4
Consumo de oxígeno, pie <sup>3</sup> /h	50-90	90-125	130-200	200-300	300-400	400-500	500-650	700-1 000

Fuente: Marks. **Manual del ingeniero mecánico.** 2do Tomo, 9a Edición.

## **4.2 . Pasos para corte**

Se requiere un alto grado de habilidad para lograr el mejor desempeño en el cortado a la flama. Para que la clase de corte de material sea la adecuada, es preciso seleccionar y regular la presión del gas y del oxígeno, la posición del soplete, la intensidad del precalentamiento, la velocidad del corte y el tipo de boquilla. Lo mismo se puede decir con respecto al grueso de la pieza de trabajo, la forma de la trayectoria del corte y del acabado y la exactitud requeridos al costo más bajo posible para los gases y el tiempo. El precalentamiento inicial tiende a abrir un agujero en el metal, por lo que el cortado comienza lejos de la línea de corte y lo normal es que sea en un borde exterior de la placa en donde el encendido es rápido.

- **Costos del corte a la flama**

Los elementos principales que integran el costo de operación del corte a la flama son (1) costo de mano de obra y gastos generales y (2) costo del gas. Estos se basan en el tiempo requerido para realizar un trabajo. Entre ellos se incluyen, generalmente, el tiempo de preparación, ajuste y desmonte. El tiempo de corte se calcula al dividir la longitud del corte entre la velocidad con que se realiza el mismo.

## **4.3 . Defectos y soluciones**

Problemas:

- Chasquidos constantes en boquilla de soldadura.
- Llama no claramente definida, uniforme o dispareja.
- Regulador que no mantiene presión de trabajo constante.
- Chasquidos constantes en la boquilla de corte.



- Escape alrededor de la válvula de regulación del soplete.
- Dificultad para encender.
- Cambio de llama al cortar.

Posibles causas:

- La boquilla es operada con llama muy pequeña.
- Boquilla demasiado grande.
- Demasiado pegado al trabajo.
- Boquilla sucia.
- Asiento defectuoso.
- Boquilla demasiado suelta.
- Asiento gastado.
- Tuerca de la válvula suelta.
- Demasiada presión.
- Válvula de regulación de oxígeno en el mango del soplete demasiado cerrada.
- Cilindro de oxígeno casi vacío.

Soluciones:

- Aumentar presiones.
- Usar un tamaño de boquilla inmediatamente inferior.
- Alejar un poco más la boquilla del área de trabajo.
- Enviar el regulador a reparar.
- Apretar la tuerca de boquilla
- Reemplazar la boquilla.
- Ajustar la tuerca.
- Abrir la válvula de oxígeno del mango.
- Reemplazar el cilindro por uno lleno.

## **5. SOLDADURA EN TUBERÍA**

### **5.1. Líneas de transmisión en tubería**

Los métodos de soldadura que se usan para estas tuberías son, generalmente, tres: el sistema de soldadura eléctrica manual (con electrodo recubierto), el sistema Mig., y el arco sumergido.

La elección de uno o dos sistemas de soldadura para la unión de las tuberías depende de algunos factores importantes como son: cantidad de uniones de la tubería que se va a soldar, diámetro de las mismas y condiciones de trabajo. Por dar una idea, se puede decir que en obras donde hay necesidad de soldar grandes extensiones de tuberías de gran diámetro, el uso del arco sumergido con plantas de doble junta es muy costeable, con un excelente rango de producción, ya que en estas plantas se pueden unir dos o tres tramos de tubería, con gran velocidad, inspeccionarlos con rayos X y enviarlos a las líneas en los derechos de vía, con un ahorro considerable de tiempo en alineación y soldadura de posición. Las soldaduras de posición de estos tramos son, generalmente, hechas con el sistema Mig.

Las soldaduras de uniones de tuberías de pequeño y mediano diámetro, se ejecutan con el sistema de soldadura eléctrica manual o con el sistema Mig.

### **5.2. Calidad de acero de tubería**

La calidad del acero de tuberías de uso en estas construcciones, se basa en la composición química y en las propiedades mecánicas de las mismas. El API (American Petroleum Institute) por ejemplo, designa las tuberías de acero al carbón

para la industria petrolera, de acuerdo con la composición química, y en base a las propiedades mecánicas, dividiéndolos en cuatro especificaciones distintas. Es decir:

1. – 5L
2. – 5LS
3. – 5LU
4. – 5LX

Esta designación, consiste en la superfijación seguida por el grado del tubo correspondiente, tal como el ejemplo que se muestra a continuación:

5 L = al grado A 25 clase 1; 5 L = al grado 25 clase 2, o la 5 LS = al grado X 46, etc.

### **5.3. Preparación de las uniones**

La preparación de una junta es un factor muy importante, para la soldadura de una tubería, de ella depende en buena parte la obtención de un cordón sano y de buena penetración, en especial cuando la unión soldada debe cumplir con rigurosos requisitos de calidad. En la preparación de los biseles, por ejemplo, con corte de llama con oxigas, generalmente, no se obtienen las tolerancias requeridas, aunque estos pueden venir ajustados posteriormente con operaciones de esmerilado, de manera que para obtener resultados satisfactorios se recomienda el biselado por medio de maquinado.

Las uniones se preparan comúnmente con un chaflán de 60° (hay normas que piden 75°).

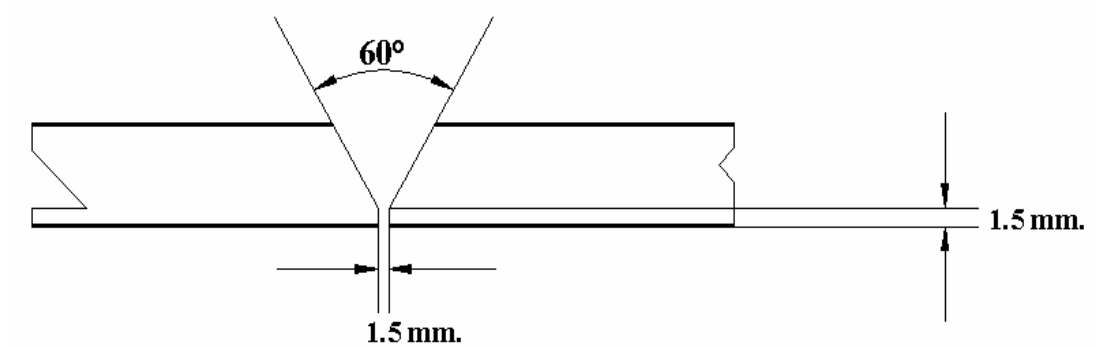
Tabla III. **Aceros API, composición química, propiedades mecánicas, y electrodos recomendados**

Aceros API, composición química, propiedades mecánicas, y electrodos recomendados

Aplicación de la especificación	Grado API del tubo	Composición química en % máx.								Res. punto cedente mínimo	Res. mín. a la tensión	Electrodo recomendado
		<i>C</i>	<i>Mn</i>	<i>P</i>	<i>S</i>	<i>Si</i>	<i>Cb</i>	<i>Va</i>	<i>Ti</i>			
5 L	Grado A25 Clase I	.21	.60	.45	.06	—	—	—	—	25	45	E - 6010
5 L	Grado A25 Clase II (1)	.21	.60	.80	.06	—	—	—	—	25	45	E - 6010
5 L 5LS	Grado A	.22	.90	.04	.05	—	—	—	—	30	48	E - 6010
5 I 5LS	Grado B	.27	1.15	.04	.05	—	—	—	—	35	60	E - 6010
5 LX, 5 LS	X42	.28	1.25	.04	.05	—	—	—	—	42	60	E - 6010
5 LX, 5LS	X46	.30	1.35	.04	.05	—	—	—	—	46	63	E - 7010
5 LX, 5 LS	X52	.30	1.35	.04	.05	—	—	—	—	52	66	E - 7010
5 LX, 5 LS	X56	.26	1.35	.04	.05	—	.005	.02	.03	56	71	E - 8010
5 LX, 5LS	X60	.26	1.35	.04	.05	—	.005	.02	.03	60	75	E - 8010
5 LX, 5LS	X65	.26	1.40	.04	.05	—	.005	.02	—	65	77	E - 8010
5 LX, 5LS	X70	.23	1.60	.04	.05	—	—	—	—	70	82	E - 9010
5 LU	X80	.23	1.40	.04	.05	.35	—	—	—	80	95	E - 10010
5 LU	X100	.26	1.40	.04	.05	.35	—	—	—	100	100	E - 11010

(1)E| Grado A25 clase II, es tubería de acero de grado resforzado.

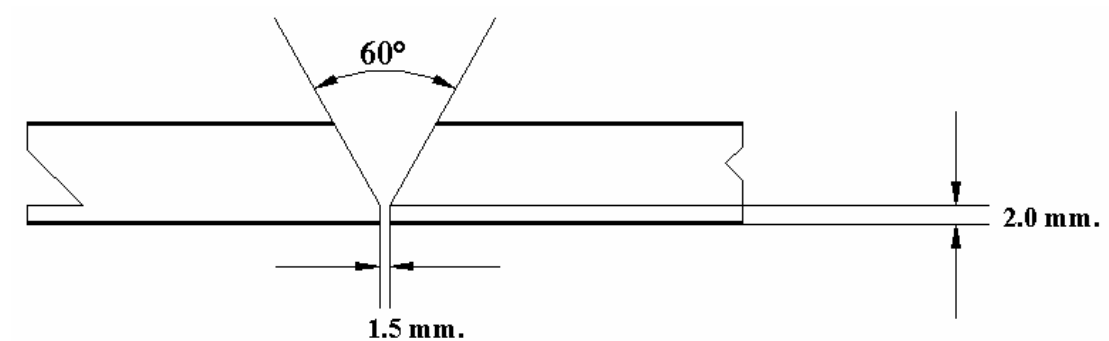
Figura 20. **Unión típica de tuberías recomendada para el cordón de fondeo con Electrodo E – 6010 de 1/8" Ø.**



Fuente: Massimo Vladimiro Pierda C. **Manual de soldadura eléctrica**, Vol. III. Pág 200

Para soldaduras de tuberías de diámetro superior de 300 mm. la preparación de la unión recomendada es como se presenta en la siguiente figura.

Figura 21. **Unión de tubería recomendada para diámetros de tuberías superiores a los 300 mm., para recibir el cordón de fondeo con electrodos E – 6010, de 1/8", o 5/32" de Ø.**



Fuente: Massimo Vladimiro Pierda C. **Manual de soldadura eléctrica**, Vol. III. Pág 200

Antes de empezar cualquier operación de soldadura, la garganta de la unión debe estar limpia de aceite, grasa u otra suciedad que pueda contaminar el metal que se va a soldar.

Las tuberías de alta resistencia con alto contenido de carbono y manganeso, deben tomarse bien en consideración antes de soldarlas durante bajas temperaturas, ya que en condiciones de temperatura ambiental baja se hace necesario el precalentamiento completo de la unión antes de la soldadura. Estas recomendaciones son generalmente integradas en las especificaciones de las obras en construcción, las cuales se refieren a determinados códigos.

#### **5.4. Electrodo para tubería**

Como se observo en la Tabla III, las recomendaciones de los electrodos para tuberías son del tipo celulósico. Estos electrodos contienen el 35% de celulosa en su revestimiento, que en el arco de soldadura es transformado en gas protector bajo alta presión, mismo que proporciona un arco potente y de alta penetración. Estas características hacen que el electrodo celulósico sea insustituible en la aplicación de cordones de fondeo, y recomendado para la aplicación de los cordones de relleno y acabado.

Se debe también mencionar que muchos usuarios de la soldadura acostumbran combinar el uso de los electrodos celulósicos con los de bajo hidrógeno, es decir, el pase de fondeo con electrodos celulósicos, y pases siguientes con los de bajo hidrógeno, debido a los altos rangos de aportación del material de soldadura y la excelente presentación del cordón.



## **6. HIERRO COLADO**

### **6.1. Soldadura en el hierro colado**

Cuando una pieza de hierro colado se rompe, la mayoría de las veces se puede reparar con soldadura tomando las necesarias precauciones. Cuando se habla de hierro colado se hace referencia al hierro colado ordinario o hierro colado gris, por ser el que más se emplea. La soldadura del hierro colado se puede hacer con dos métodos, en caliente o en frío.

El método en caliente permite obtener una soldadura con una estructura, homogénea con el metal base y casi ideal, pero con el inconveniente de tener que realizarse en condiciones especiales que obligan a una preparación costosa:

1. Para el calentamiento
2. Para la ejecución de la soldadura (soldador muy calificado).
3. Para conseguir un enfriamiento muy lento que se debe realizar en horno o en condiciones similares.

En soldadura con biselados angostos o largos, hay que implantar métodos de preparación adecuados y bastante complicados como:

- a) Preparación de la junta. Debe ser adecuada al espesor del material, tipo de bisel y angulación correcta de la garganta.
- b) El material de aporte, sea en varilla o electrodo, debe tener una alta aleación de silicio por ser de fácil maquinación.
- c) La temperatura de soldadura se debe mantener constantemente a 700°C, y durante la operación de soldadura o enfriamiento la pieza debe estar en una



zona exenta de corrientes de aire que puedan perjudicar la estabilidad de la temperatura y, en consecuencia, la calidad del trabajo.

- d) La temperatura no puede, en absoluto, exceder los 750°C. porque la temperatura crítica de la mayoría de los hierros colados es 760°C. aprox. (punto en que se producen los cambios).
- e) Si la soldadura se ejecuta con el proceso oxiacetilénico el tipo de llama que se adopte será neutra o ligeramente carburante.

Soldadura de hierro colado con electrodos de acero. Los electrodos de acero con recubrimiento suave que se usan en el proceso con arco protegido producen una buena y dúctil soldadura.

También en esta operación el soldador debe estar bien calificado para garantizar buenos resultados. (existen en el comercio electrodos de acero extra suave que no necesitan precalentamiento para su uso).

Cuando la superficie del metal que se va a soldar está totalmente limpia es necesario precalentarla y mantenerla a una temperatura por arriba de los 260°C durante el tiempo que dure la operación de soldadura, y dejarla enfriar muy lentamente al término de la misma hasta conseguir la temperatura ambiente.

Dicho método es rápido y económico y de buenos resultados, pero de pobre maquinabilidad.

Es aconsejable depositar el metal de aporte en la unión con filetes cuidando de no exceder el ancho del cordón.

El método muy costoso y complicado de la soldadura del hierro colado en caliente y las exigencias, ha llevado a las casas especializadas en la fabricación de

electrodos a estudiar otros métodos más simples para aplicar la soldadura y que ofrezcan calidad, seguridad y economía.

## **6.2. Detalle del hierro colado**

- Hierro colado gris: el hierro colado ordinario es una aleación de hierro carbono, con un porcentaje de carbono del 2% al 4.3% y con contenidos variables de silicio, manganeso y azufre. Si además de estos elementos, tiene otros en cantidad suficiente para producir sensibles modificaciones en sus propiedades físicas, como níquel, molibdeno y cromo, entonces, toma el nombre de hierro colado aleado.
- Silicio: el silicio es el elemento que favorece la formación de grafito a expensas de la cementita. Si el porcentaje de los componentes es constante y el contenido de silicio es mayor (máx. 3%), el hierro colado gris varía normalmente entre 1.5 y 3%.
- Manganeso, fósforo y azufre: dichos elementos no tienen influencia decisiva en la formación del grafito, aun cuando se debe tomar en cuenta su indudable influencia en las características del hierro colado.
- Hierros colados maleables: toman dicho nombre porque en el tratamiento térmico adquieren mayor capacidad de deformación y se obtienen por medio de un recocido prolongado del hierro colado blanco.

- Hierro colado esferoidal (dúctil): la ductilidad del hierro colado esferoidal es mayor que la del hierro colado gris y se obtienen por la adición del magnesio en el hierro colado líquido que transforma el grafito laminar en esferoidal.
- Hierro colado blanco: forma parte de este grupo el tipo de hierro colado en que el carbono está totalmente combinado formando cementito; está exento de grafito y de aquí su color blanco. El hierro colado blanco es frágil y difícilmente maquinable y su soldadura prácticamente imposible.
- Hierro colado aleado: aparte de los tipos ya mencionados que son los más usados, existen otros tipos de hierro colado para aplicaciones especiales, como: hierros colados templados con alma de hierro, colado gris y superficie de hierro colado blanco con las propiedades de ser resistentes al desgaste; los hierros colados con alto contenido de silicio al 7% son resistentes al calor, y los del 12-17% resistentes a los ácidos y a la corrosión, etc. etc.

### **6.3. Electrodo para la soldadura del hierro colado**

- Electrodo de hierro colado

Permiten obtener soldaduras con estructuras homogéneas con el metal base, pero tienen el inconveniente de que su uso debe ser en condiciones especiales que obligan a una preparación costosa:

- A. Para el calentamiento.
- B. Para la ejecución de la soldadura; el soldador debe ser calificado.
- C. Para conseguir un enfriamiento muy lento, que se debe realizar en horno o en condiciones similares.

Estos electrodos no son adecuados para la soldadura en frío.

- Electrodo de acero suave

También de estos electrodos se habló antes por su recubrimiento suave. Es un metal de aporte que produce una buena y dúctil soldadura. En la operación de soldadura la pieza debe estar a una temperatura superior a 260°C, estables todo el tiempo que dure la operación de soldadura. El enfriamiento debe ser muy lento hasta llegar a la temperatura ambiente. El soldador debe ser muy capacitado para este proceso. Dicho método da buenos resultados pero deja un depósito de pobre maquinabilidad.

- Electrodo de acero extra suave

Forma parte del núcleo de electrodos de acero extra suave y son los que se han venido usando con más frecuencia. Para su uso, por lo general no se necesita el precalentamiento de la pieza. El uso de dicho electrodo se limita a las reparaciones de piezas poco delicadas y que no necesiten maquinado posterior (soldaduras no maquinables).

- Electrodo de acero inoxidable

Son los electrodos por el proceso de soldadura en frío los que más se usan en la actualidad por sus propiedades polivalentes en la soldadura, aleaciones de cobre y níquel, hierro colado gris, acero fundido, hierro colado modular, etc. Permite obtener condiciones de trabajo sencillas, rápidas y económicas sin necesidad de desmontar las piezas porque se pueden trabajar en todas las posiciones.

- Electrodo de bronce

La ventaja principal de este tipo de electrodos es su punto de fusión, más bajo que la fundición, de manera que se puede efectuar la soldadura con menor calor y, en consecuencia, hay una reducción de las tensiones térmicas que, en muchos casos, es necesario tomar precauciones para reducirlas.

El empleo principal de estos electrodos es para unir hierro colado gris con aleaciones de cobre y, en muchos casos, en que la diferencia de color del depósito no tenga importancia. Para el uso de este tipo de electrodo se aconseja una pequeña precalentada de la pieza que se va a soldar.

- Electrodo a base de níquel

Son electrodos con el poder grafitizante del níquel que ayuda a la formación del hierro colado gris, aun cuando la velocidad de enfriamiento es rápida.

Sin lugar a dudas, es el tipo de electrodo que más se usa en la soldadura del hierro colado gris, ya que por sus propiedades permite un trabajo rápido, económico sin precalentamiento y sin necesidad de desmontar la pieza que se va a soldar. El metal depositado de dichos electrodos, como las zonas de transiciones, son maquinables.

#### **6.4. Recomendaciones para la soldadura en hierro colado**

Aunque el hierro fundido tiene un alto contenido de carbono y es un tanto quebradizo y rígido, se puede soldar con éxito si se toman las precauciones necesarias.

Las condiciones óptimas para la soldadura incluyen:

1. Una ranura para soldar lo bastante grande para permitir el manejo del electrodo o del soplete y la varilla. La ranura debe estar limpia y sin aceite, grasa ni cualquier material extraño.
2. El precalentamiento adecuado, según sea el proceso de soldadura que se va a emplear, el tipo de hierro fundido y el tamaño y la forma de la pieza. La temperatura de precalentamiento se debe mantener todo el tiempo durante la soldadura.
3. La aplicación de calor suficiente para tener buena soldadura pero no al grado de sobrecalentar el metal, es decir, la temperatura para soldar se debe mantener lo más baja para que resulte práctico.
4. El enfriamiento lento después de soldar. El hierro gris se puede encerrar en aislamiento, cal o vermiculita.

### **6.5. Precalentamiento de materiales ferrosos y no ferrosos**

El precalentamiento tiene dos finalidades:

1. Reducir la rapidez del enfriamiento en las inmediaciones de la soldadura para reducir la fragilización, que produce una reacción indeseable para el esfuerzo por contracción en la soldadura y en la maquinabilidad.
2. Reducir los esfuerzos desiguales por expansión en el material relativamente frágil durante el calentamiento, así como un esfuerzo desigual por

contracción durante el enfriamiento. Si las piezas que se sueldan no tienen restricciones, el precalentamiento local puede resultar satisfactorio. Si las piezas están restringidas, puede ser difícil estimar el efecto de los esfuerzos por calentamiento y enfriamiento. Salvo que se pueda idear un programa especial de precalentamiento, la mejor regla general es precalentar con uniformidad toda la pieza fundida.

En la soldadura con arco, hay que evitar formar el arco fuera de la ranura, pues estos arcos producen puntos duros que no son maquinables y pueden ocasionar grietas. La soldadura con gas con varilla de hierro fundido es más lenta que la de arco, pero permite un mejor control del calor, debido a que la llama de gas tiene temperatura más baja.

3. En materiales no ferrosos el precalentamiento se aplica para compensar los efectos de la conductividad térmica, mientras que en otros, se usa para aliviar las tensiones de enfriamiento, y prevenir agrietamiento en el cordón de soldadura y zona de transición.

## **7. SOLDADURA DE ARCO METÁLICO CON PROTECCIÓN DE GAS (G.M.A.W)**

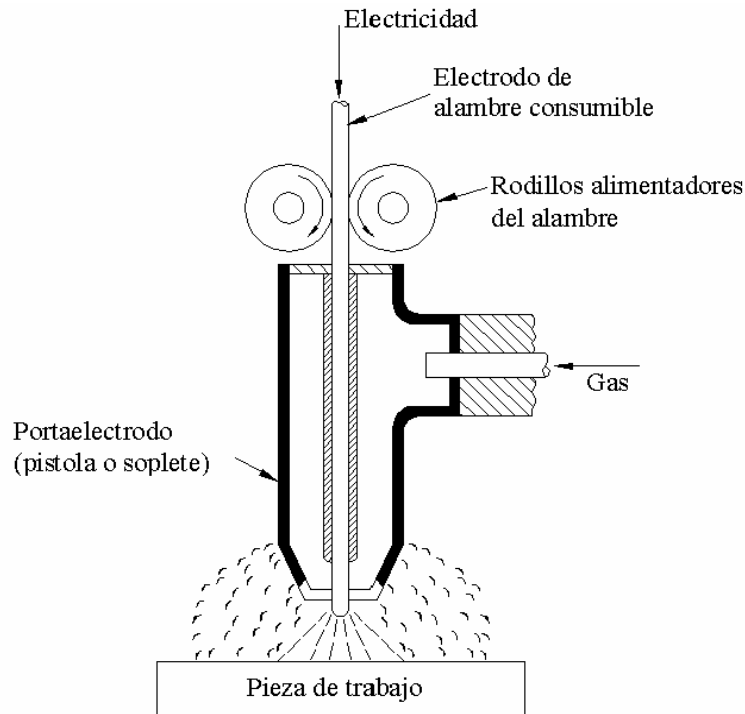
### **7.1. Principio**

La soldadura con arco eléctrico metálico con gas, llamada GMAW (Gas, Metal Arc Welding), se hace alimentando un alambre a través de la cabeza de soldadura para que actúe como el electrodo y suministre metal de aporte según se muestra en la figura 22. Se utilizan gases inertes para los trabajos críticos, pero el dióxido de carbono, que es más barato, se ha vuelto muy popular para una gran variedad de operaciones de producción. El dióxido de carbono no respalda bien al arco. Un remedio consiste en mantener un arco corto y tomar medidas para limitar automáticamente la corriente durante los frecuentes períodos de corto circuito. El dióxido de carbono también se disocia en monóxido de carbono y oxígeno y deben añadirse desoxidantes para proteger la soldadura.

Una forma del proceso utiliza alambre con núcleo de fundente, que contiene estabilizadores de arco y desoxidizantes. Otra variante del proceso se llama soldadura por micro alambre y alimenta alambres tan pequeños como 0.75 mm. (0.030 in) de diámetro a altas velocidades, el alambre se precalienta bien y la corriente se concentra en la soldadura. La GMAW es rápida, versátil y se aplica para las soldaduras semiautomáticas en todas las posiciones.



Figura 22. Soldadura con arco-metal y gas.



Fuente: Lawrence E. Doyle. **Materiales y procesos de manufactura para ingenieros.** Pág 383

## 7.2. Precauciones eléctricas

En el proceso de soldadura GMAW, los peligros de riesgos eléctricos son mucho menores que los que se tiene con la soldadura con electrodo recubierto. En el primer proceso los rangos de voltaje en circuito abierto, normalmente están dentro de un límite de un mínimo de 20 voltios y un máximo de 30 voltios, mientras que con el electrodo recubierto el rango de voltaje es suficientemente alto y puede llegar hasta un máximo de 90 voltios.

Conviene recordar que siempre hay que respetar las normas siguientes en la operación de un equipo de Soldadura GMAW.

- Voltajes de circuito abierto

Evitar voltaje de circuito, recordar siempre que en condiciones adversas, rangos menores de 100 voltios pueden ser dañinos. Por condiciones adversas se puede mencionar cuando un soldador tiene guantes mojados o trabajan afuera del taller y en piezas o piso húmedo.

- Conexión en tierra del equipo

La fuente de poder y gabinete de la máquina de soldar, antes de empezar cualquier operación de soldadura, debe ser conectada en tierra, así se evitarán peligrosos toques accidentales.

- Cables de soldar sobrecargados o pelados

Todos los cables deben tener la sección adecuada (calibre correcto). Los cables pelados y con los conductores de corriente expuestos, son enemigos peligrosos de shock, cortocircuito, y fuego.

- Humedad

Nunca debe dejar el equipo de soldadura expuesto a humedad. Recuerde que la humedad es peligrosa, el equipo, el área de trabajo y la pieza por soldar deben estar secas.

### **7.3. Precauciones con gases comprimidos**

En el proceso GMAW se deben utilizar exclusivamente, cilindros que cumplan con las especificaciones y exigencias que imponen los institutos que dictan las normas

para envases y almacenamiento de los gases comprimidos. Por tanto, todos los cilindros deben cargarse y tratar según las normas de manipulación de los gases comprimidos. En soldaduras los cilindros deben asegurarse debidamente a los equipos de soldar, de manera que no puedan caerse. Además, los cilindros no se deben tirar al suelo, estar expuestos por largo tiempo al sol, utilizarlos como rodillos, ponerlos en contacto con circuitos, o manejarlos en forma que pueda representar un peligro.

Nunca usar lubricantes en las conexiones del gas; debe quedar estrictamente prohibido colgar los materiales de soldadura arriba de los reguladores (flujómetros).

#### **7.4. Operación de limpieza de la soldadura**

Es de norma en las especificaciones de calidad que antes de aplicar cordones de soldadura, sobre una unión, ésta debe estar completamente limpia de óxido, grasas e impurezas para evitar la contaminación de la soldadura en su desarrollo, y la formación de defectos indeseables y peligrosos.

Existen varios métodos de uso para la limpieza de las piezas a soldar (cada país tiene el suyo) uno de estos métodos, y se puede decir que es uno de los más usados, es el método de limpieza por medio de tricloroetileno. Las recomendaciones de uso con esta sustancia son: cuando se efectúan limpiezas de uniones por soldar con tricloroetileno, dicha operación debe efectuarse lejos de las fuentes de soldadura, ya que las emanaciones provenientes de estas operaciones pueden descomponerse al contacto cercano del calor y rayos del arco eléctrico que puedan provocar olores irritantes e inflamatorios muy molestos.

## **7.5. Ventilación**

Todos los procesos de soldadura en cantidad mayor o menor producen humos tóxicos para el soldador. Normalmente se reconoce que un soldador en sus labores debe tener una ventilación natural de 10,000 pies cúbicos de aire libre. Cuando un soldador trabaja en lugares cerrados debe tener una circulación adecuada de aire para evitar la acumulación de materiales tóxicos y deficiencias de oxígeno. La acumulación de gas tóxico es provocada por los elementos usados para la protección del arco de soldadura. La deficiencia del oxígeno en parte es provocada por el encendido del arco de soldadura que quema el oxígeno, por tanto, en los interiores y en los espacios reducidos se debe emplear regeneradores de aire, es decir, extractores de aire.

Además, soldaduras que utilizan mezclas de gas compuestas de 75% de argón y 25% Co<sub>2</sub>, o de mezclas más ricas en argón no son más dañinas que las utilizadas para soldaduras con Co<sub>2</sub>.

## **7.6. Equipo de protección personal**

En soldadura GMAW normalmente se utiliza el mismo equipo de protección que se emplea para los demás procesos de soldadura con arco eléctrico, por tanto, un soldador debe respetar los siguientes puntos:

- Utilizar para la protección del cuerpo pecheras, mangas largas, polainas y guantes de cuero o carnaza, a fin de evitar quemaduras que resultan de la intensa fuerza de las radiaciones de la luz del arco, y de las salpicaduras de soldadura. También la cabeza debe protegerse de las salpicaduras, con gorra o capucha.
- Utilizar caretas con cristales, con el tono de lente adecuado, según la fuerza luminosa del arco.

- Usar lentes de seguridad para hacer cualquier operación de limpieza.
- Antes de empezar una operación de soldadura, hay que cerciorarse de que el area de trabajo sea protegida con cortinas de lona o asbesto, y que esté pintada con pintura antirreflejante.
- Cuando se trata en posiciones difíciles e incómodas usar tapones para impedir la entrada de gotitas incandescentes del metal de soldadura en las orejas.

### **7.7. Equipo**

El equipo de soldadura en el proceso de soldadura Gas Metal Arc Welding está formado por:

- 1) Una fuente de poder de potencial constante
- 2) Unidad de control que, normalmente, es un cuerpo separado de la fuente de poder, y puede ser o no integrado con la fuente de alimentación.
- 3) Fuente de alimentación con un sistema de conducción del alambre electrodo que lo jala y lo empuja a través de un maneral.
- 4) Equipo de gas protector, que puede ser estacionario (sistema automático), o colocado en el equipo de soldadura (sistema semiautomático).

El proceso de soldadura de arco metálico con protección de gas puede ser semiautomático o automático.

### **7.8. Fuentes de poder**

Las fuentes de poder en este proceso deben ser de corriente continua (generadores de C.C.) o de corriente directa (transformador – rectificador). La

capacidad de estas fuentes de poder depende del rango de amperaje requerido y pueden variar entre un mínimo de 20 hasta un máximo de 1200 amperes.

### **7.9. Equipo semiautomático**

En la actualidad, existen equipos semiautomáticos para cumplir con todas las necesidades de producción, desde un pequeño taller hasta una gran industria, y dependiendo del tipo de producto que ellos manufacturan pueden escoger el equipo adecuado. Los principales componentes de un equipo de soldadura semiautomático “sencillo” son:

- Fuente de poder
- Unidad de control
- Unidad de alimentación del alambre
- Maneral
- Gas de protección
- Alambre electrodo

### **7.10. Equipo automático**

El uso de equipos de soldadura automáticos en la industria de la construcción, está sujeto hoy día a un severo estudio de selección de métodos.

La selección y especificación de los equipos de soldadura para cualquier empresa, es un tema complejo que está influido por muchos factores variables, y por este motivo las compañías especializadas en la construcción de maquinaria y materiales de soldadura, trabajan arduamente para proporcionar a las industrias de la construcción equipos y materiales que se puedan adoptar por uno o varios métodos de aplicación de la soldadura.

### 7.11. Gases de protección

El proceso de soldadura de arco metálico con protección de gas, al igual que otros procesos de soldadura, necesita una capa protectora para proteger el área de los agentes contaminantes de atmósfera, en este caso, la capa de protección la proporciona el gas.

En la naturaleza existen sólo seis gases inertes y éstos son:

- Helio
- Argón
- Neón
- Kriptón
- Radón
- Xenón

De ellos, sólo el helio y el argón son importantes en soldadura, y esto se debe a que son los únicos gases nobles que se pueden obtener por licuefacción y destilación del aire en cantidades considerables, y son completamente inertes.

El  $\text{CO}_2$  (dióxido de carbono) es un gas reactivo, y es usado como protección en soldaduras de materiales ferrosos. El  $\text{CO}_2$  está formado por moléculas, mientras que el argón y helio son formados por átomos simples. Cada molécula está compuesta de un átomo de carbono y dos átomos de oxígeno.

Ahora también es bueno aclarar que, como norma, no es recomendable el uso directo de gases reactivos como protección; sin embargo el  $\text{CO}_2$  (dióxido de carbono) es el único sobresaliente, y puede ser usado solo (a diferencia del oxígeno y nitrógeno) o en forma de mezcla, para soldar una extensa variedad de aceros al carbón y de baja aleación, mientras que el oxígeno y nitrógeno son recomendados como aditivos para el

control de la penetración en aquellas aplicaciones especiales, donde su presencia no cause defectos que puedan influir en la calidad del cordón de soldadura.

### **7.12. Características del helio y el argón**

- Helio

Este gas, como ya se sabe, tiene una conductibilidad térmica más alta que el argón (a igual corriente, voltaje, y tamaño del arco), esta diferencia hace que el helio sea preferido para aquellas aplicaciones de alta conductibilidad de calor como son soldaduras de cobre, aluminio, y metales de grueso espesor.

- Argón

La característica de este gas protector es su peso atómico de 39.948, aproximadamente diez veces más pesado que el aire; este factor permite al argón tener un flujo más efectivo de gas debido en gran parte a su peso, que tiende a formar una cubierta protectora sobre la zona de soldadura después de haber salido de la boquilla.

La soldadura hecha con protección de gas argón, generalmente, tiene la característica del cordón con más penetración al centro que en las orillas, y es preferido en soldadura de materiales de poco espesor y materiales de baja conductibilidad térmica, porque produce una energía del arco más baja que el helio. Ahora bien, con el uso de cualquier gas de protección o mezcla en soldadura, la forma transversal del cordón y la penetración están influidas por otro factor muy importante, que es el uso de la polaridad (figura 19).



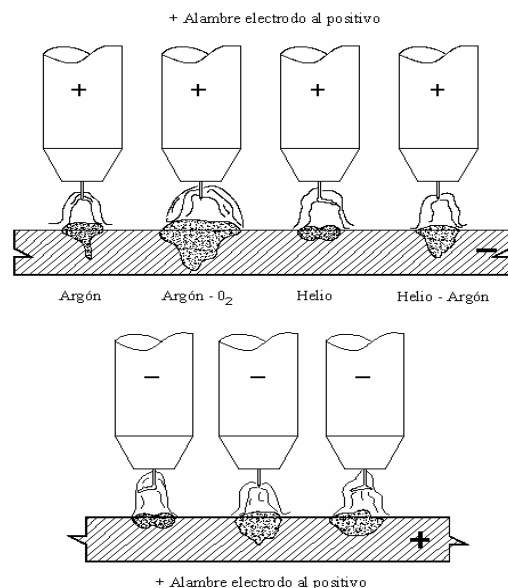
### 7.13. Selección de los gases de protección

La selección del gas en el proceso de soldadura de arco metálico con protección de gas depende de varios factores:

- Tipo del material por soldar
- Espesor de la unión por soldar
- Requerimiento de calidad
- Factores metalúrgicos

En síntesis, se recordará una vez más que los gases inertes, argón y helio, o la mezcla de ambos se usa para soldar materiales no ferrosos, mientras que el dióxido de carbono, argón – oxígeno; argón – dióxido de carbono; argón – helio – dióxido de carbono, se usan para soldar materiales ferrosos.

Figura 23. **Forma de cordón – contorno y penetración con distintos gases de protección**



**NOTA:** En soldadura GMAW, la forma geométrica del cordón, y la penetración están influenciados por la polaridad, esto con cualquiera que sea el gas de protección que se vaya a usar. Por tanto, el uso del electrodo al polo positivo, es mucho más aceptable que el electrodo al negativo.

Fuente: Massimo Vladimiro Pierda C. **Manual de soldadura eléctrica.** Vol. III. Pág 106

#### **7.14. Materiales**

En el proceso GMAW, los materiales que se usan son alambre electrodo y gas de protección, los dos influyen en la calidad de cordón de soldadura y determinan las propiedades químico – mecánicas del material depositado.

#### **7.15. Material de aporte**

En el proceso de soldadura de arco metálico con protección de gas, igual que en todos los demás métodos, la selección del material de aporte correcto es de vital importancia para obtener cordones de soldadura de alta calidad.

¿Cómo se puede llegar a seleccionar el material de aporte correcto? Es muy simple, las casas clasificadoras europeas y americanas que expiden las normas para la aplicación del material de aporte y especificaciones de soldadura, proporcionan la selección correcta de un alambre electrodo, por medio de letras, números e índices adicionales. Por medio de esta clasificación se puede conocer:

- Tipo de alambre electrodo
- Composición química del metal depositado
- Propiedades mecánicas del metal depositado

#### **7.16. Tipo y diámetro de alambre correcto**

El diámetro del electrodo y su composición determinan el rango correcto de amperaje. La combinación de estos factores es muy importante, ya que junto con el

tipo de unión, espesor de la misma y posición de soldadura, influyen en la calidad y costo del material depositado.

Respecto de la calidad, se puede decir que el cordón de soldadura puede ser afectado por el uso incorrecto de la combinación, diámetro de alambre electrodo – amperaje.

Por el contrario, si se aplica la combinación correcta para la soldadura de determinada unión, y con la misma combinación se quiere soldar otro tipo de junta de mayor espesor y achaflanada, se afectará el factor tiempo de aplicación, pues se necesitará más tiempo para rellenar la junta, mientras que si se aumenta el diámetro del alambre y el rango de corriente se puede obtener la unión de soldadura con mucho menor tiempo.

### **7.17. Corriente apropiada**

Como en todos los procesos de soldadura, el amperaje se elige con base en:

- a) Tipo de unión
- b) Espesor del material base
- c) Posición de la junta por soldar
- d) Tipo del material base
- e) Diámetro del alambre electrodo

De acuerdo con el tipo de trabajo la corriente se disminuirá o se aumentará; es decir, para espesores de material delgado, menor amperaje, mientras que para materiales de grueso espesor se usará amperajes más altos.

Dicha regla se aplicará también para la posición de soldadura, los cordones que se aplican en posición vertical (ascendente), deben tener menores intensidades que la aplicación de soldadura en posición plana.

Hay que recordar que la corriente de soldadura es el factor de primordial importancia en la penetración de un cordón de soldadura. Si aumenta o disminuye el amperaje, lógicamente, aumenta o disminuye la penetración de la soldadura.

### **7.18. Voltaje correcto**

La longitud del arco es directamente proporcional al voltaje. Los factores que afectan la operación del arco, en el proceso de soldadura eléctrica manual (con electrodo recubierto), también afectan al arco en el proceso de soldadura GMAW, porque el voltaje es el potencial eléctrico existente entre la pieza del trabajo y la punta del alambre electrodo durante el derretimiento. Durante la soldadura se puede variar el voltaje, variando la longitud del arco.

Si durante la soldadura no se mantiene una correcta longitud del arco, se obtendrá los siguientes defectos:

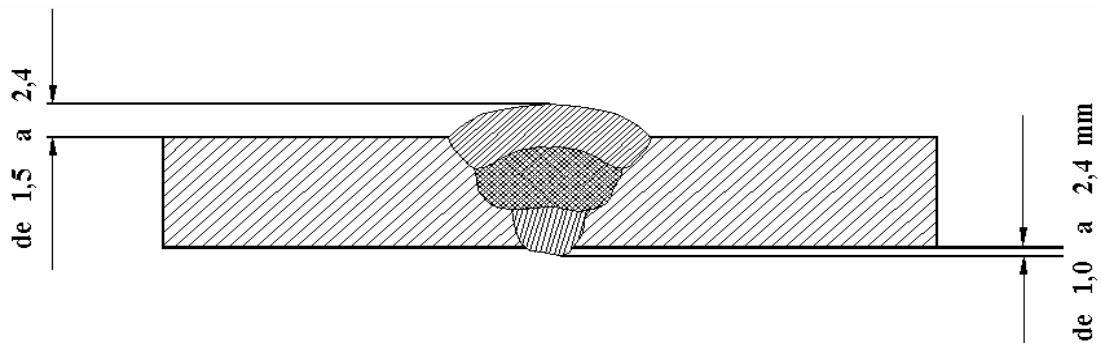
Demasiada longitud del arco produce aumento del ancho del cordón e irregularidad en la geometría del mismo, salpicaduras, porosidades, falta de penetración, etc.

El uso de una longitud del arco demasiado reducida produce falta de penetración, chisporroteo excesivo, irregularidad geométrica del cordón de soldadura, refuerzo excesivo, faltas de fusión, etc.

### 7.19. Refuerzos de soldadura

Es la porción de material de depósito que sobresale parcialmente de la superficie del material base, al final de una operación de cierre de la garganta de una ranura, como resultado de un cordón de vista o acabado (figura 24).

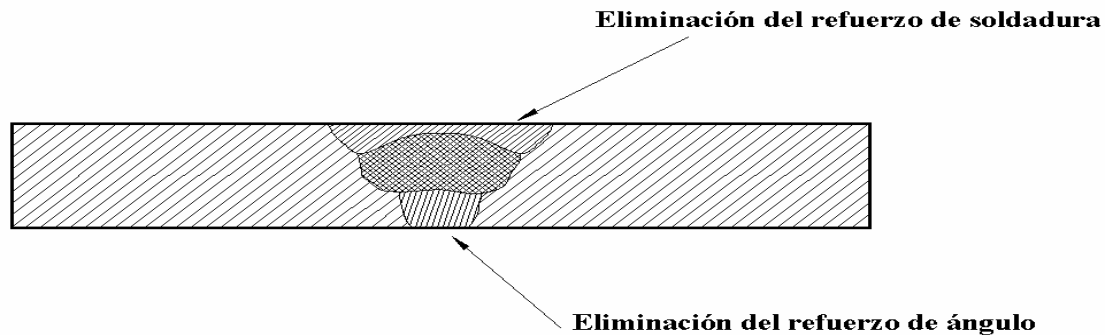
Figura 24. **Refuerzo de soldadura.**



Fuente: Massimo Vladimiro Pierda C. **Manual de soldadura eléctrica**. Vol. IV. Pág 216

Las limitaciones impuestas por el refuerzo de soldadura deben estar dentro de un límite de 1.5 y 2.4 mm. a todo lo largo de la unión. También por este refuerzo, en algunas construcciones especiales, se rebaja a ras el cordón de vista en la misma forma del refuerzo de ángulo (figura 25).

Figura 25. **Refuerzo de soldadura maquinado.**



Fuente: Massimo Vladimiro Pierda C. **Manual de soldadura eléctrica**, Vol. IV. Pág 217

### 7.20. Defectos y como corregirlos

En el proceso de soldadura de arco metálico con protección de gas, para obtener soldaduras que cumplan con los requisitos de calidad, se debe tener los conocimientos necesarios para controlar adecuadamente el procedimiento de soldadura en su desarrollo.

A continuación, se presenta una serie de defectos que, a menudo, se encuentran en la industria de la construcción, y que a veces proporcionan dolores de cabeza en las líneas de producción por las piezas que vienen rechazadas por el departamento de control de calidad.

- Porosidad o rajaduras en el cráter

Una de las causas principales de defectos en cráter, es la falta de limpieza en el metal base, y se puede llamar “Enfermedad”, porque es contraída la mayoría de las veces, por culpa del egoísmo del hombre, y por su objetivo incorrecto. A veces lo produce la incapacidad de reducir tiempos de producción, descuida lo que cree “tiempos muertos”, como son la limpieza de la unión (de los bordes cuando son en escuadra), de la cascarilla de fundición, herrumbre, pintura, aceite, etcétera. No calcula que este ahorro de tiempo (si así lo quieren llamar), se anulará por completo, y con muchos más gastos, cuando un soldador deberá encargarse de la reparación de la soldadura.

- Excesiva penetración – perforaciones

Una penetración excesiva en una unión de soldadura, puede producirse por una concentración excesiva de calor en el área de soldadura causado por un exceso de corriente, velocidad de avance de la soldadura muy lenta y ángulo

operacional del depósito impropio. Las medidas correctivas para evitar estos defectos son:

- Reducir el amperaje.
- Aumentar la velocidad de avance de la soldadura.
- Cambiar el ángulo longitudinal de arrastre por el de empuje, que es de menos penetración.

Las perforaciones

Durante la aplicación de la soldadura (o desfondamiento) puede ocurrir, por una mala preparación de la junta, demasiada separación de la raíz o exceso de corriente (amperaje).

Las correcciones por este caso pueden ser:

- Aumentar un poco la separación entre la boquilla y la pieza de trabajo durante la soldadura.
- Reducir el amperaje.
- Aumentar un poco la velocidad de avance de la soldadura.
- Aplicar un movimiento del depósito, un poco más ancho con el ángulo operativo longitudinal de empuje.

- Porosidad en superficie e interior del cordón

La causa más probable de porosidades en la superficie e interior de un cordón de soldadura, por lo general es la contaminación de la atmósfera y puede ser causada por lo siguiente:

- Desviación del gas de protección por corriente de aire: cuando la pieza esta expuesta a corrientes de aire, se debe proteger el arco de soldadura con una pantalla. El peligro más grande para la contaminación de una soldadura bajo proceso, es la falta de abastecimiento del flujo de gas en el charco de soldadura.
- Flujo de gas protección bajo: en este caso la medida correctiva será llevar la presión del gas a los valores normales indicados; la presión de salida del gas no siempre es igual. La presión de salida del gas, está en relación al tipo del metal por soldar, tipo de unión y, por supuesto, al tipo de gas y posición de soldadura.
- Sistema de conducción del gas defectuoso o tupido: esto puede suceder, por un mal uso del equipo por ejemplo:
  - Líneas defectuosas.
  - Líneas de gas o mangueras rotas.
  - Boquilla tupida debido a las salpicaduras, esto es una de las mayores causas de defectos. Se debe revisar continuamente si la boquilla está limpia.

- Falta de penetración

La falta de penetración, por lo general, es el resultado de una aportación de calor muy baja en el área de soldadura. Estos defectos se pueden eliminar con el uso de una de las siguientes formas correctivas:



- Aumentar el amperaje
- Reducir un poco el avance de la soldadura
- Reducir un poco la distancia entre la boquilla y la pieza de trabajo
- Llevar un ángulo de arrastre de más o menos 20°

### **7.21. Pre calentamiento de materiales ferrosos y no ferrosos en la soldadura**

El pre calentamiento es la aplicación de una determinada cantidad de calor al metal base, inmediatamente antes de una operación de soldadura. La cantidad de calor del pre calentamiento, se rige estrictamente por el tipo del metal base, espesor del metal base, temperatura ambiente, método de soldadura y procedimiento.

- **En metales ferrosos**

El propósito primario del pre calentamiento es para retardar la velocidad de enfriamiento de la unión después de la soldadura. Un lento enfriamiento de la unión soldada, ayudará a prevenir la formación de factores indeseables como son: fragilidad, endurecimiento y sensibilidad al agrietamiento.

- **En metales no ferrosos**

El pre calentamiento se aplica para compensar los efectos de la conductividad térmica, mientras que en otros se usa para aliviar las tensiones de enfriamiento y prevenir agrietamiento en el cordón de soldadura y zona de transición.

Es más indicativo presentar a la atención del lector una tabla típica del pre calentamiento de uso en varios metales.

Tabla IV. Tabla típica del precalentamiento en uso por varios metales.

TIPO DE METAL	PRECALENTAMIENTO MINIMO Y MAXIMO
ACERO DE BAJO CARBONO	Temperatura ambiente (1)
ACERO DE MEDIANO CARBONO	110-280° C.
ACERO DE ALTO CARBONO	260-310° C.
ACERO AL NIQUEL DE BAJA ALEACIÓN (En espesores menos de 6 mm.)	Temperatura ambiente
ACEROS CON CONTENIDO DE CARBONO (Menos de 20 %)	90-150° C.
ACEROS CON CONTENIDO DE CARBONO (de 20 a 35 %)	310-420° C.
ACEROS CON MAS DE 35 % DE CARBONO	475-590° C.
ACEROS AL MANGANESO DE BAJA ALEACIÓN	200-310° C.
ACEROS AL CROMO DE BAJA ALEACIÓN	Temperatura ambiente
ACEROS AL MOLIBDENO DE BAJA ALEACIÓN (Con contenido de Carbono menos de 15 %)	Temperatura ambiente
ACEROS AL MOLIBDENO DE BAJA ALEACIÓN (Con contenido de carbono sobre el 15 %)	200-310° C.
ACEROS DE BAJA ALEACIÓN (Alta resistencia)	65-150° C.
ACEROS INOXIDABLE FERRITICO	65-255° C.
ACERO INOXIDABLE MARTENSITICO	65-310° C.
ACERO INOXIDABLE AUSTENITICO	Temperatura ambiente
HIERRO COLADO	260-590° C.
COBRE Y ALEACIONES DE COBRE	260-420° C.
NIQUEL Y ALEACIONES DE NIQUEL	Temperatura ambiente
ALUMINIO Y ALEACIONES DE ALUMINIO	Temperatura ambiente (2)
ALEACIONES DE MAGNESIO	Temperatura ambiente (3)

**NOTAS:**

- (1) Requiere precalentamiento sobre los 110° C. en piezas de grande espesor para soldadura de grandes uniones, y para remover condensaciones de agua del material.
- (2) Requiere precalentamiento sobre 145° C. en grandes secciones para compensar el alta conductividad térmica del aluminio.
- (3) Requiere precalentamiento entre 260-400° C. para soldadura de grandes espesores y grandes uniones.

**NOTA IMPORTANTE:** Nunca se aplique soldadura cuando la pieza está por debajo de 18° C. Para obtener resultados de buena calidad en un cordón, la temperatura del material base inmediatamente antes de aplicar la soldadura debe de estar por arriba de los 21° C.

## CONCLUSIONES

1. La soldadura por arco eléctrico tiene dentro de sus limitaciones, la pieza de trabajo, la capacidad del equipo y la calidad del electrodo.
2. Es importante el control de calidad de la soldadura eléctrica por los fenómenos indeseables del calentamiento de la pieza.
3. La simbología de la soldadura es importante conocerla para un mejor aprovechamiento del tiempo y trabajo.
4. En el proceso G.M.A.W., el gas de protección es fundamental y depende de factores como material, tipo de unión, factores metalúrgicos y requisitos de calidad.
5. No importa el método de soldadura utilizado, la selección del material de aporte es fundamental para obtener cordones de soldadura de calidad y presentación.
6. Cuando es necesario, se aplica precalentamiento a los metales ferrosos y no ferrosos para evitar complicaciones posteriores.

## RECOMENDACIONES

1. Los electrodos más recomendados para soldar tuberías son los celulósicos.
2. Por las características de fragilidad y de reja que tiene el hierro colado es necesario el precalentamiento, al igual que el enfriamiento gradual para evitar efectos negativos, indeseables como alabeo, cristalización, agrietamiento.
3. La soldadura oxiacetilénica mantiene su vigencia, por su bajo costo y su aplicación en la industria tiene un extenso campo.
4. Es conveniente el adecuado conocimiento del equipo y su manejo correcto en la soldadura oxiacetilénica, para evitar accidentes..
5. En el proceso G.M.A.W., es fundamental utilizar cilindros que cumplan con las especificaciones y requisitos del fabricante, por seguridad.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Massimo Vladimiro Pierda C. **Manual de soldadura eléctrica.**  
(México: Editorial Limusa, S.A. de C.V, Volumen III, 1992) pp. 125-128, 131-134, 153-198, 200-265.
2. Massimo Vladimiro Pierda C. **Manual de soldadura eléctrica.**  
(México: Editorial Limusa, S.A. de C.V, Volumen I, 1992)  
pp. 14-21, 99-108, 140-142, 227-229.
3. Lawrence E. Doyle. **Materiales y procesos de manufactura para ingenieros.**  
(3ed. México: Editorial Prentice-Hall, Hispanoamérica. S.A. 1985) pp. 375-378, 409-432.
4. Marks. **Manual del ingeniero mecánico.** (9ed. México: Editorial McGRAW-HILL, Interamericana de México, S.A. DE C.V. Tomo II, 1995)  
pp. 13-35, 13-41 13-42, 13-50.
5. Herman W. Pollack. **Máquinas, herramientas y manejo de materiales.**  
(Madrid: Editorial Prentice-Hall, Internacional. 1982)  
pp. 108-109, 112-116.
6. Joseph Edward Shigley. **Diseño en ingeniería mecánica.**  
(2ed. México: Editorial McGRAW-HILL de México, 1979)  
pp. 328.
7. Henry Horwitz, P.E. **Soldadura: aplicaciones y práctica.**  
(México: Editorial Alfaomega, S.A. de C.V. 1990)  
pp. 60, 98, 134, 138, 208-288, 392-397.

## BIBLIOGRAFÍA

- 1) Koellhoffer, Leonard. **Manual de soldadura**. 4ed. México: Editorial Limusa S.A. de C.V, 2002.
- 2) Molera Solá, Pere. **Soldadura industrial: clases y aplicaciones**. España: Editorial Marcombo, 1992.
- 3) Piñero Calderón, Juan José. **Soldadura eléctrica por contacto**. La Habana: Ministerio de Educación, 1982.
- 4) Rossi, Boniface E. **La soldadura y sus aplicaciones**. Barcelona: Editorial Reverte, S.A., 1950.
- 5) Ruíz Mijarez, A. **Soldadura por gas**. México: Editorial Alfaomega S.A. de C.V., 1991.