

***SOLDADURA
SEMIAUTOMÁTICA
CON
GAS DE PROTECCIÓN
(MIG-MAG)***



Departamento de Formación
Lincoln-KD, S.A

SOLDEO MIG/MAG**INDICE**

	Pág
1. PRINCIPIOS DEL PROCESO	2
1.1 Descripción y denominaciones	2
1.2 Ventajas y limitaciones	3
2. EQUIPO DE SOLDEO	4
2.1 Fuente de energía	5
2.2 Sistema de alimentación de alambre	8
2.3 Pistola	12
2.4 Alimentación de gas protector y de agua de refrigeración.....	15
2.5 Panel de control.....	15
3. MODOS DE TRANSFERENCIA	16
3.1 Transferencia por cortocircuito.....	19
3.2 Transferencia globular.....	19
3.3 Transferencia por arco spray	20
3.4 Transferencia por arco pulsado	21
4. MATERIALES DE APORTACIÓN	23
5. GASES DE PROTECCIÓN	23
6. PARÁMETROS DE SOLDEO	24
6.1 Relación entre los parámetros.....	26
6.2 Extremo libre del alambre / electrodo	27
6.3 Velocidad de desplazamiento	27
6.4 Polaridad.....	27
6.5 Ángulo de inclinación de la pistola (Ángulo de desplazamiento).....	27
7. TÉCNICAS ESPECIALES	28
7.1 Soldeo por puntos.....	28
8. DEFECTOS TÍPICOS DE LA SOLDADURA	29
9. FALLOS EN EL EQUIPO MIG/MAG . CAUSAS Y CONSECUENCIAS	37
ANEXO : CLASIFICACIÓN DE LOS ALAMBRES SEGÚN NORMAS AWS Y EN	

1. PRINCIPIOS DEL PROCESO

1.1. Descripción y denominaciones

El soldeo por arco eléctrico con protección de gas, es un proceso de soldeo en el cual el calor necesario es generado por un arco que se establece entre un electrodo consumible y el metal que se va a soldar.

El electrodo es un alambre macizo, desnudo, que se alimenta de forma continua automáticamente y se convierte en el metal depositado según se consume.

El electrodo, arco, metal fundido y zonas adyacentes del metal base, quedan protegidas de la contaminación de los gases atmosféricos mediante una corriente de gas que se aporta por la tobera de la pistola, concéntricamente al alambre/electrodo.

El proceso está esquematizado en la figura 1.

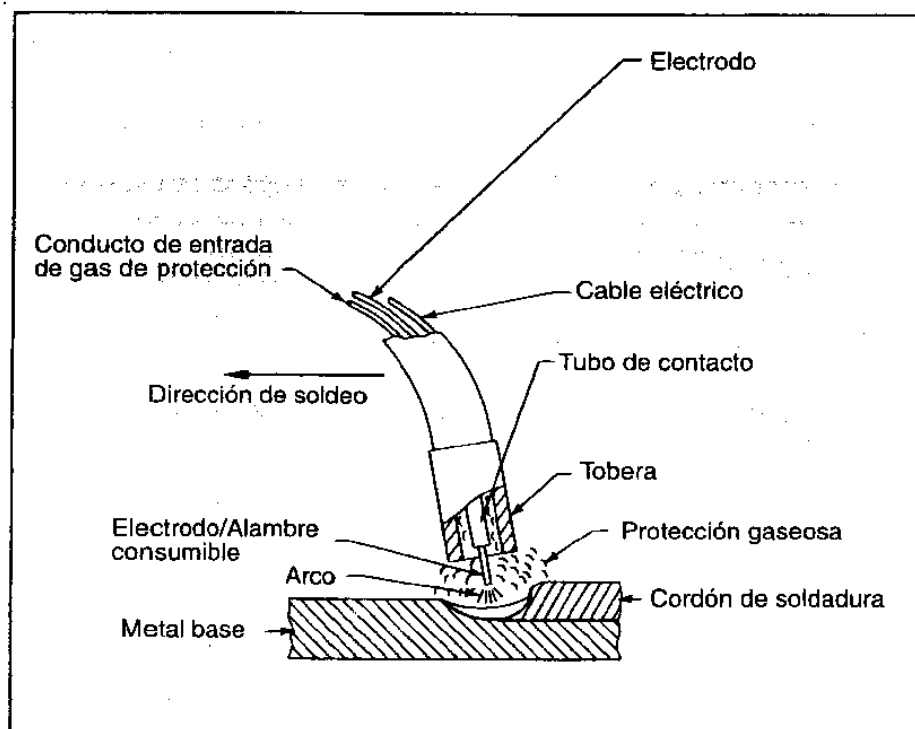


FIGURA 1 :SOLDEO POR ARCO CON GAS DE PROTECCIÓN

El proceso de soldeo por arco con gas se denomina también :

- **GMAW** Gas Metal Arc Welding (ANSI/AWS A3.0)
- **13** Soldeo por arco con gas (EN 24063)

Si se emplea un gas inerte como protección el proceso se denomina :

- **MIG** Metal Inert Gas (ANSI/AWS A3.0)
- **131** Soldeo por arco con gas inerte (EN 24063)

Si se utiliza un gas activo como protección el proceso se denomina :

- **MAG** Metal Active Gas (ANSI/AWS A3.0)
- **135** Soldeo por arco con gas activo (EN 24063)

Este proceso de soldeo puede ser automático o manual; al proceso manual se le denomina también semiautomático.

1.2 Ventajas y limitaciones

Ventajas

- Puede utilizarse para el soldeo de cualquier tipo de material.
- El electrodo es continuo, por lo que se aumenta la productividad al no tener que cambiar de electrodo y la tasa de deposición es más elevada. Se pueden conseguir velocidades de soldeo mucho más elevadas que con el electrodo recubierto (SMAW).
- Se puede realizar el soldeo en cualquier posición.
- Se pueden realizar soldaduras largas sin que existan empalmes entre cordones, evitando así las zonas de peligro de imperfecciones.
- No se requiere eliminar la escoria ya que no existe.

Limitaciones

- El equipo de soldeo es más costoso, complejo y menos transportable que el de SMAW.
- Es difícil de utilizar en espacios restringidos, requiere conducciones de gas y de agua de refrigeración, tuberías, botellas de gas de protección, por lo que no puede emplearse en lugares relativamente alejados de la fuente de energía.
- Es sensible al viento y a las corrientes de aire, por lo que su aplicación al aire libre es limitada.

2. EQUIPO DE SOLDEO

En la siguiente figura (figura 2) se puede ver el equipo de soldeo MIG/MAG que consiste básicamente en :

- Fuente de energía.
- Fuente de suministro de gas.
- Sistema de alimentación del alambre.
- Pistola (refrigerada por aire o por agua).
- Sistema de control.
- Carrete de alambre/electrodo.
- Sistema de regulación para el gas de protección.
- Sistema de circulación de agua de refrigeración para las pistolas refrigeradas por agua.
- Cables y tubos o mangueras.

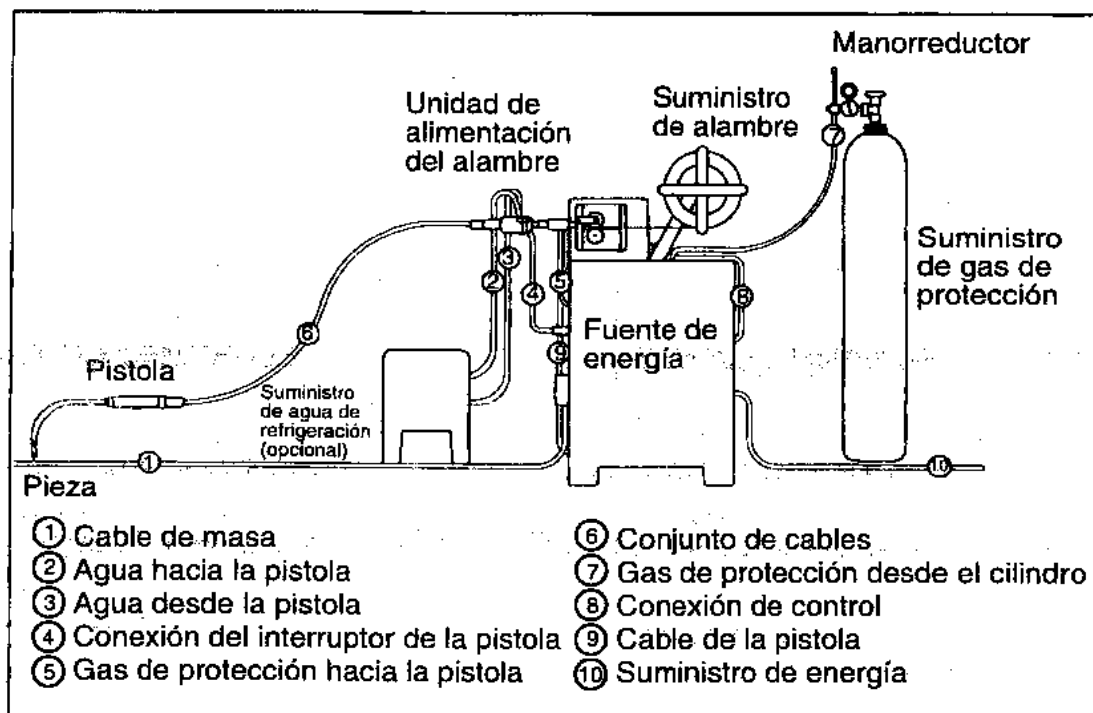


FIGURA 2. EQUIPO PARA EL SOLDEO MIG/MAG

2. 1. FUENTES DE ENERGÍA

La fuente de energía deberá ser capaz de funcionar a elevadas intensidades, generalmente menores de 500 A en el soldeo semiautomático y suministrar corriente continua.

La fuente de energía recomendada es una fuente de **tensión constante**, cuya curva característica sea como la indicada en la figura 3. Las fuentes de energía de intensidad constante sólo se podrían utilizar para el soldeo MIG/MAG si se emplea conjuntamente con un alimentador de velocidad variable y por tanto mucho más complejo.

Una cualidad importante de la curva característica de tensión constante es su pendiente o "slope". La pendiente de una fuente de energía de tensión constante es :

$$\text{PENDIENTE} = \frac{\text{Variación de tensión}}{\text{Variación de intensidad}} = \frac{\Delta V}{\Delta A}$$

Ejemplo:

$$\text{PENDIENTE} = \frac{\Delta V}{\Delta A} = \frac{38V - 28V}{200A - 100A}$$

$$\text{PENDIENTE} = \frac{10V}{100A} = \frac{1V}{10A}$$

que significa que por cada variación de la tensión en 1 voltio la intensidad varía en 10 amperios

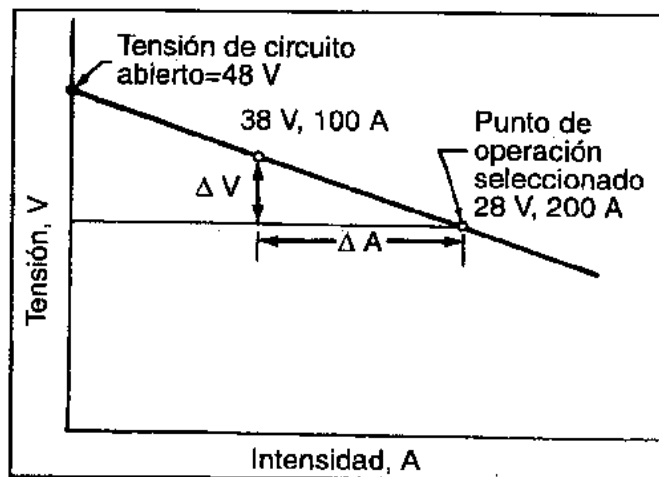


FIGURA 3. PENDIENTE O "SLOPE" DE LA CARACTERÍSTICA DE LA FUENTE DE SOLDEO

Para obtener una buena transferencia en "spray" es necesario que la pendiente de la curva sea la adecuada, que dependerá del material a soldar, por esta razón en algunas máquinas se puede ajustar la pendiente en función de la aplicación. En otras máquinas la pendiente es fija, estando programada para las aplicaciones más comunes.

Para variar las condiciones de soldeo, se podrá seleccionar la tensión deseada actuando sobre el mando de la máquina. Al variar la posición del mando, se están seleccionando diferentes curvas como indica la figura 4.

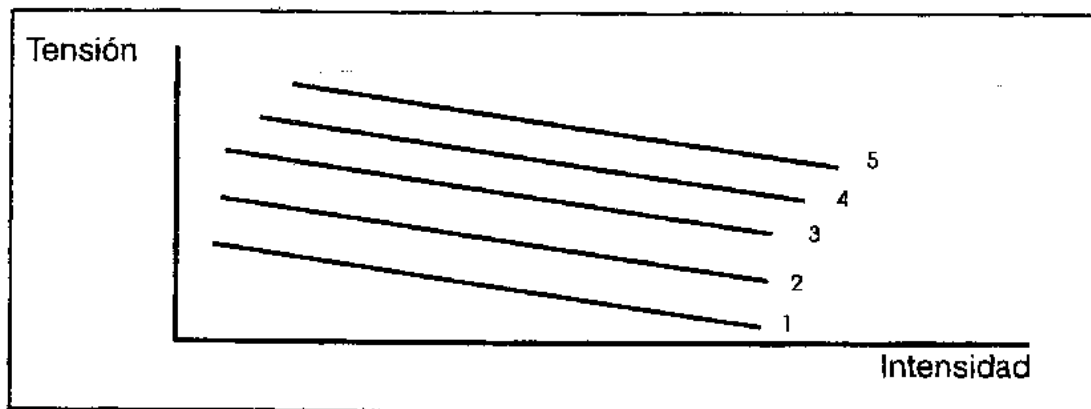


FIGURA 4. SELECCIÓN DE LAS CURVAS CARACTERÍSTICAS

Autorregulación del arco

Al tocar el alambre la pieza, la intensidad de cortocircuito que se origina es muy elevada, por lo cual el extremo del alambre se funde inmediatamente, estableciéndose un arco (cebado instantáneo) cuya longitud es función de la tensión elegida en la fuente de energía. Una vez cebado el arco entra en juego el **fenómeno de autorregulación**, suministrando la fuente la intensidad necesaria para fundir el alambre a medida que éste se suministra, manteniéndose la longitud de arco correspondiente a la regulación del voltaje elegida.

Si por cualquier causa la distancia entre la extremidad del alambre y la pieza aumenta, la tensión y la longitud del arco aumentarán pero, al mismo tiempo, la intensidad disminuirá por lo que la fusión será más lenta hasta que se restablezca la longitud y el voltaje inicial (figura 5). Lo contrario ocurre cuando la distancia entre el alambre y la pieza disminuye.

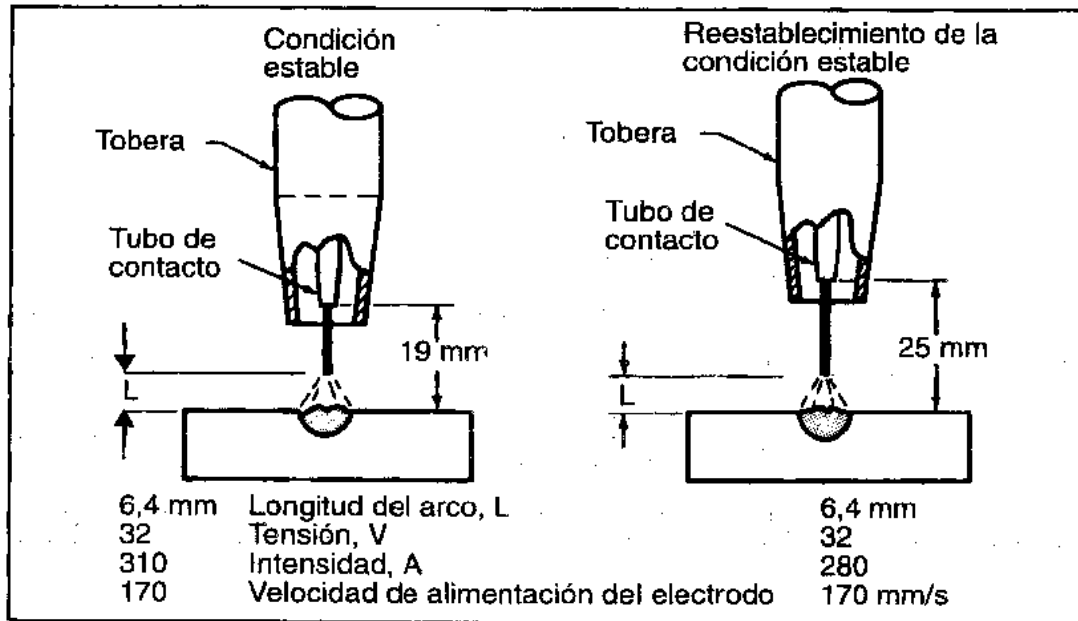


FIGURA 5. AUTORREGULACIÓN

El fenómeno de autorregulación es importante para garantizar la estabilidad del arco, pero otras variables son también importantes.

Composición interna de la fuente de energía

En la figura 6 podemos observar de forma esquemática el interior de una máquina de soldeo MIG/MAG, que está compuesta por :

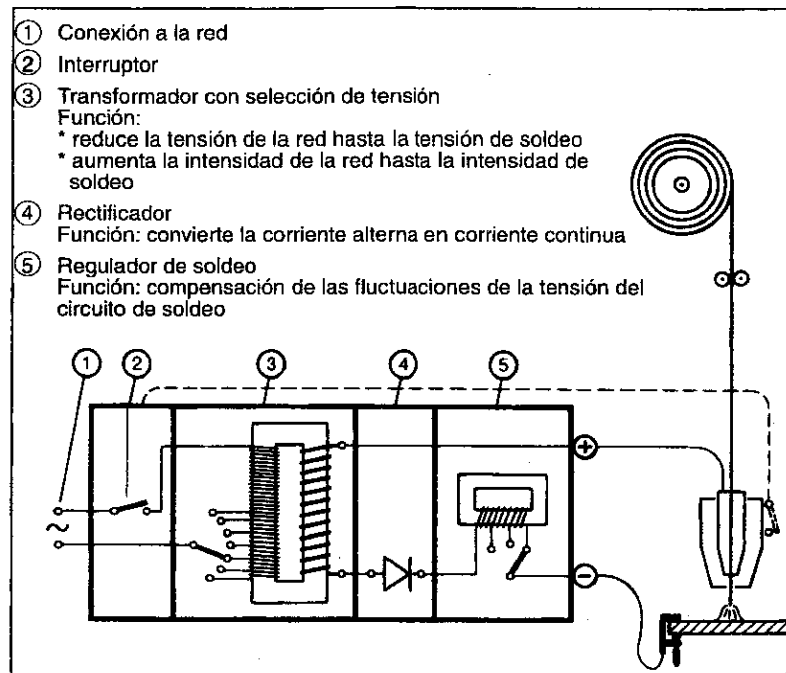
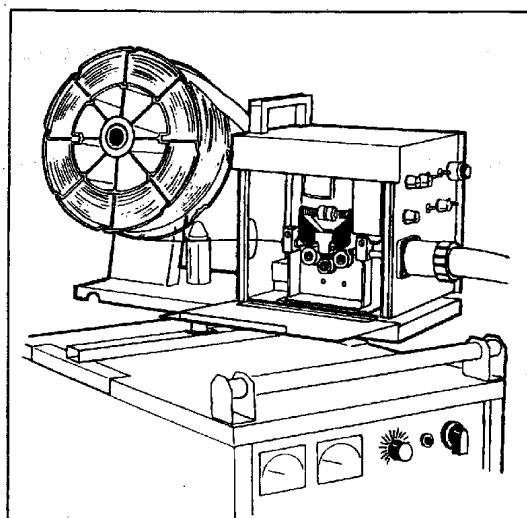


FIGURA 6. COMPONENTES DE LA FUENTE DE ENERGÍA

2.2 SISTEMA DE ALIMENTACIÓN DEL ALAMBRE

La unidad de alimentación del alambre/electrodo es el dispositivo que hace que el alambre pase por el tubo de contacto de la pistola para fundirse en el arco.



En la siguiente figura (fig.8) se representa una unidad de alimentación de alambre que consta de :

- 1 – Bobina de alambre, con el dispositivo para su colocación.
- 2 – Guía del alambre.
- 3 – Rodillo de arrastre
- 4 – Rodillo de presión o empujador
- 5 – Boquilla de salida del alambre

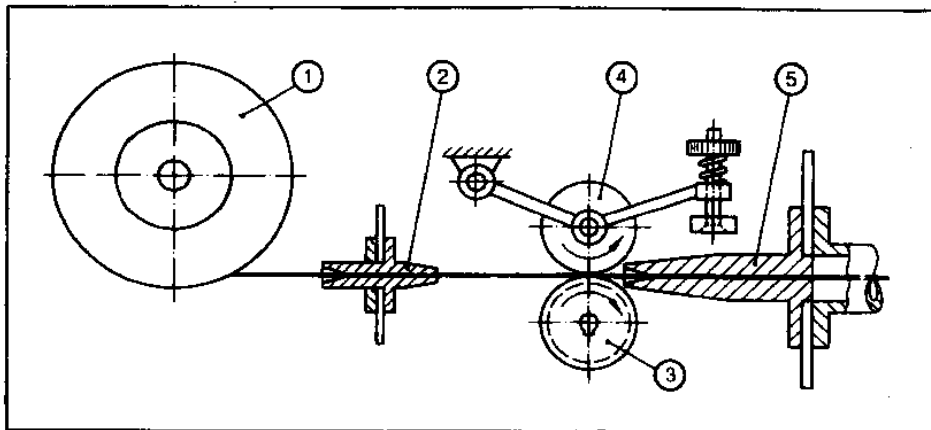


FIGURA 8. UNIDAD DE ALIMENTACIÓN DEL ALAMBRE

La unidad dispondrá de un sistema para variar la velocidad de avance del alambre, así como una válvula magnética para el paso del gas.

El alimentador del alambre va unido al rectificador por un conjunto de cables y tubos. Algunos alimentadores de alambres poseen solo una pareja de rodillos (fig. 8), mientras que otros poseen dos pares de rodillos que pueden tener el mismo motor o ser accionados por dos motores acoplados en serie.

En la siguiente figura (fig.9) se representa el alimentador de alambre con cuatro rodillos. Sus elementos son :

- 1 - Boquilla de alimentación del alambre
- 2 – Rodillos de arrastre
- 3 – Rodillos de presión o empujadores
- 4 – Guía de alambre
- 5 – Boquilla de salida del alambre

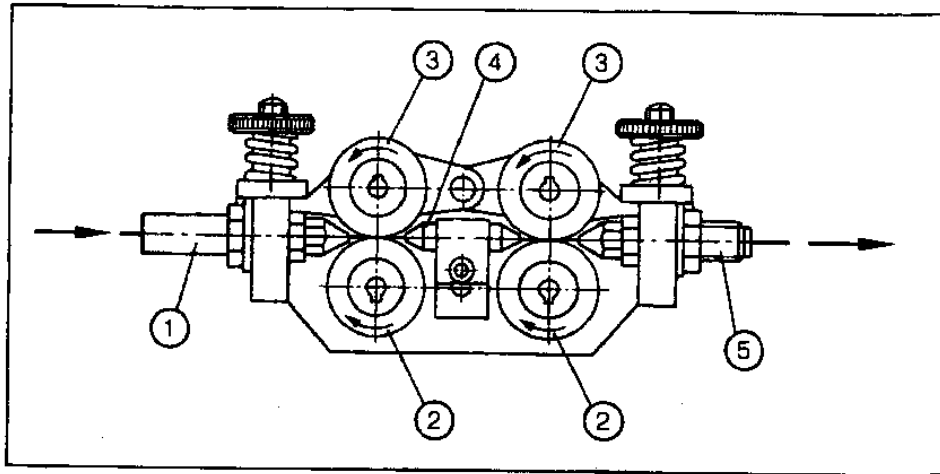


FIGURA 9. ALIMENTADOR DE ALAMBRE DE CUATRO RODILLOS

Antes de disponer el alambre en la unidad de alimentación es necesario asegurarse que todo el equipo es el apropiado para el diámetro del alambre seleccionado.

Para ajustar la presión de los rodillos se introduce el alambre hasta la tobera, se aumenta la presión hasta que los rodillos dejen de deslizarse y transporten el alambre.

La mayoría de los alimentadores son de **velocidad constante**, es decir, la velocidad es establecida antes de que comience el soldeo y permanece constante. La alimentación comienza o finaliza accionando un interruptor situado en la pistola. El arrastre del alambre ha de ser constante y sin deslizamientos en los rodillos de arrastre. Por lo general es necesario un sistema de frenado de la bobina de la cual se devana el alambre, para evitar su giro incontrolado. Los sistemas se diseñan de forma que la presión sobre el alambre pueda ser aumentada o disminuida según convenga.

Los sistemas de alimentación pueden ser de varios tipos :

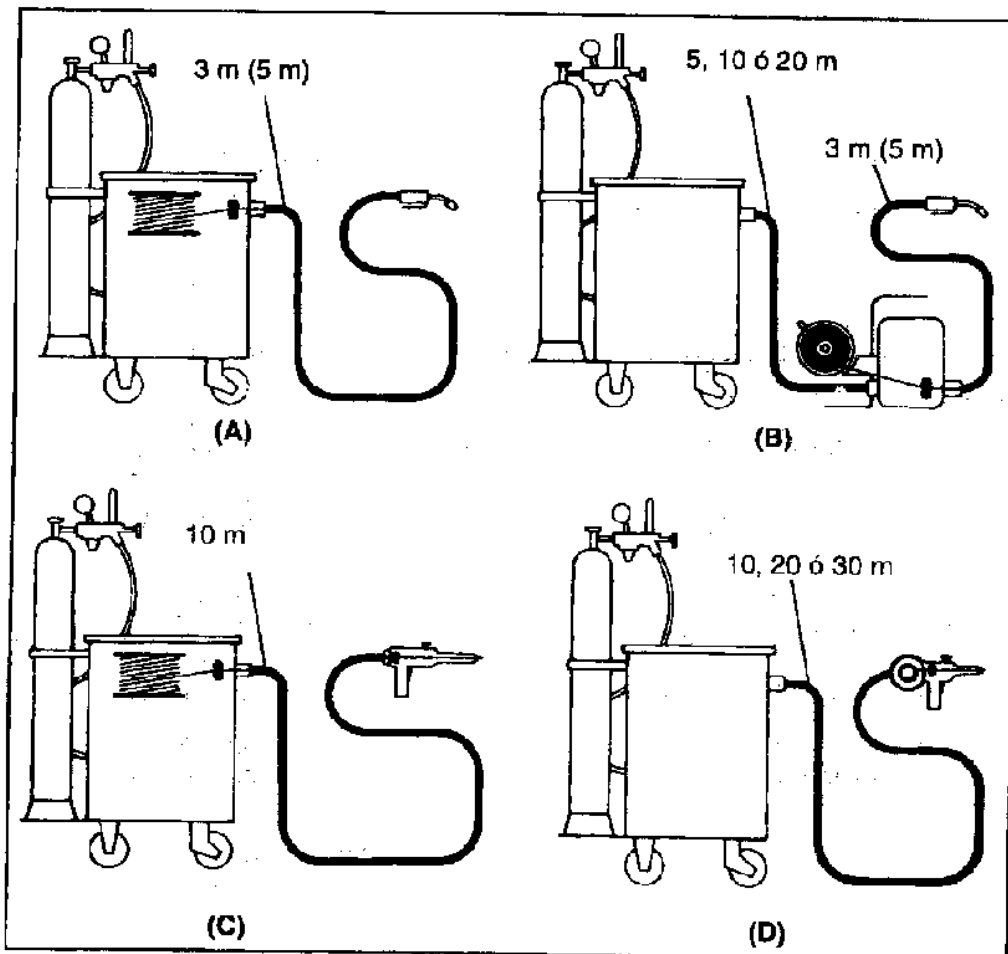
- De empuje (push)
- De arrastre (pull)
- Combinados de empuje-arrastre (o push-pull)

El tipo depende fundamentalmente del tamaño y composición del alambre utilizado y de la distancia entre el carrete del alambre y la pistola.

La mayoría de los sistemas son de empuje (figura 10 A y B) en los que el alambre es alimentado desde un carrete por medio de unos rodillos y es empujado a través de un conducto flexible al cual está unida la pistola. La longitud del conducto es generalmente hasta de 3 m, pudiendo ser en algunas ocasiones de hasta 5 m.

Cuando la distancia entre la fuente de energía y la pistola es muy grande puede ser difícil alimentar el hilo mediante el sistema de empuje, por lo que se recurre al sistema de arrastre. En este sistema la pistola está equipada con unos rodillos que tiran, o arrastran, el alambre a través de la funda (o tubo- guía), evitando los atascos que se pueden producir con el sistema de empuje, sin embargo este sistema es más costoso.

Si se combinan ambos sistemas se tienen un sistema de alimentación de “arrastre y empuje”. Este sistema se conoce también con el término inglés de “push-pull” en el que existen unos rodillos empujando a la salida de la bobina y otros tirando desde la pistola (figura 10 C).



- A): Incluida en la carcasa de la fuente de energía. Máquina compacta.
- B): Independiente.
- C): Unidad de arrastre-empuje (push-pull).
- D): Con bobina incorporada en la pistola.

FIGURA 10. UNIDAD DE ALIMENTACIÓN DE ALAMBRE

Conjunto fuente de energía – unidad de alimentación

La unidad de alimentación del alambre puede ser independiente (fig. 10 B) o estar incluida en la carcasa de la fuente de energía (fig. 10 A y C), denominadas normalmente máquinas compactas. Otra opción es emplear las pistolas con bobina incorporada (fig. 10 D).

En la figura 10 de la página anterior, se ha representado los diferentes tipos de equipos de soldeo.

Rodillos de arrastre

Los rodillos utilizados en MIG/MAG son normalmente como los de la figura 11 : uno es plano y el otro es con bisel. El bisel es en forma de V para materiales duros como el acero al carbono o el acero inoxidable. Para materiales blandos como el aluminio se emplean rodillos con bisel en forma de U. También pueden tener dos biseles o ser moleteados, no recomendándose estos últimos para el aluminio. También es imprescindible seleccionar el rodillo de acuerdo con el diámetro del alambre.

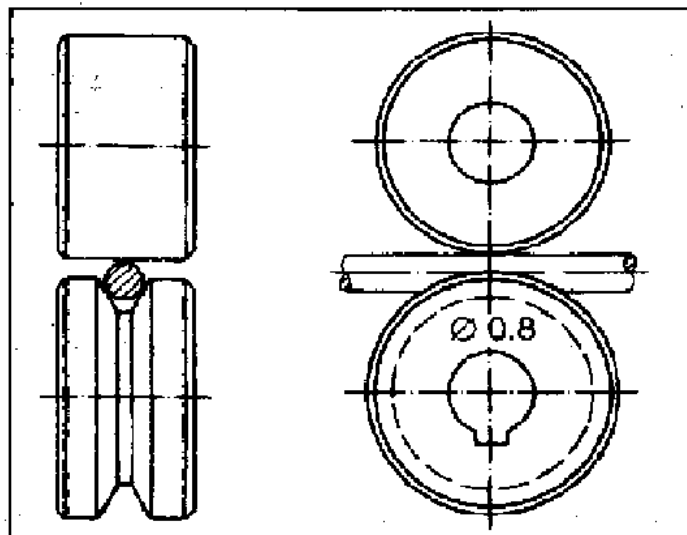


FIGURA 11. RODILLOS PARA EL SOLDEO MIG/MAG

2.3. PISTOLA

Las pistolas para el soldeo por arco con protección de gas son relativamente complejas. En primer lugar es necesario que el alambre se mueva a través de la pistola a una velocidad determinada y, en segundo lugar, la pistola debe estar diseñada para transmitir la corriente al alambre y dirigir el gas de protección. El método de refrigeración (agua o aire) y la localización de los controles de alimentación del alambre y del gas, añaden complejidad al diseño de las pistolas.

En la siguiente figura podemos observar de manera esquemática las principales partes de la pistola de soldeo.

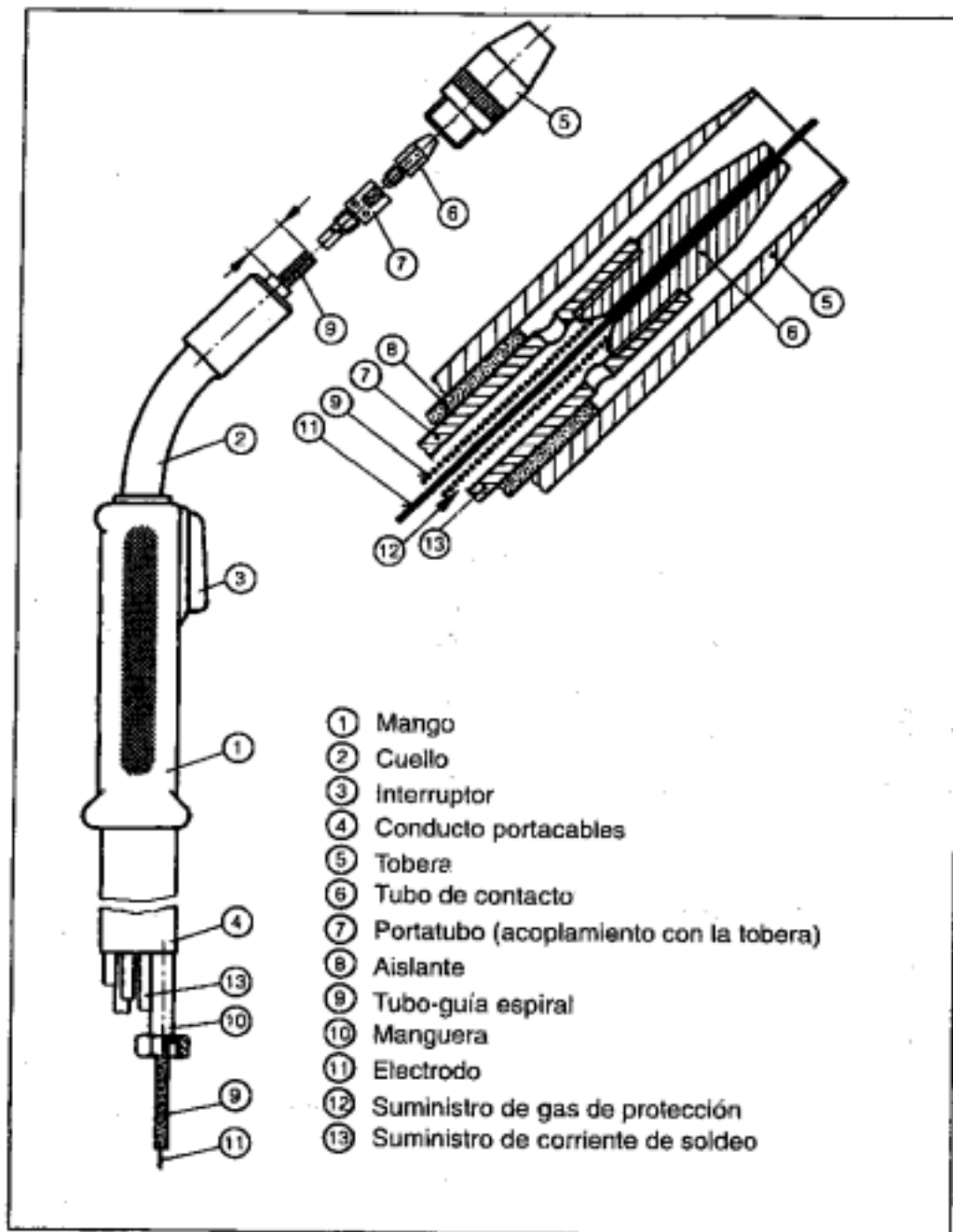


FIGURA 12. PISTOLA PARA EL SOLDEO MIG/MAG (ACERO AL CARBONO)

Los principales componentes de la pistola de soldeo MIG/MAG son :

- **Tubo de contacto** : Se encarga de guiar al electrodo a través de la tobera y hace el contacto eléctrico para suministrar la corriente al alambre; está conectado a la fuente de energía a través de los cables eléctricos. La posición del tubo de contacto respecto al final de la tobera puede variar en función del modo de transferencia; con transferencia en cortocircuito se situará a unos 2 mm de ésta o incluso por fuera, mientras que en transferencia en “spray” se situará a unos 5 mm. El tubo de contacto se reemplazará si el taladro se ha ensanchado por desgaste o si se ha atascado por proyecciones. Normalmente es de cobre o de alguna aleación de cobre. El libro de instrucciones de la pistola indicará el tamaño y tipo adecuado en función del diámetro y material del electrodo a utilizar.
- **Tobera** : Normalmente es de cobre y tiene un diámetro interior que oscila entre 9.5 y 22.25 mm (3/8 a 7/8 de pulgada) dependiendo del tamaño de la pistola.
- **Tubo – guía o funda del alambre/electrodo** : A través del cual el electrodo llega procedente, normalmente, de una bobina. Es muy importante el diámetro y material del tubo – guía del electrodo. Se utilizarán de acero en forma de espiral en el caso de materiales como el acero o el cobre, y serán de teflón o nylon para el magnesio o el aluminio, aunque también se emplearán para el acero inoxidable con el fin de no contaminar el electrodo.
- **Conducto de gas**
- **Cables eléctricos**
- **Interruptor** : La mayoría de las pistolas de manipulación manual tienen un gatillo que actúa como interruptor para comenzar o detener la alimentación del alambre.
- **Conductos para el agua de refrigeración** : (solo para pistolas refrigeradas por agua). Estas pistolas pueden utilizarse con intensidades hasta de 600 A.

La pistola puede ser de cuello curvado (cuello de cisne con un ángulo de 40° a 60°) o rectas; las de cuello de cisne suelen ser más flexibles y cómodas para el soldeo manual.

2.4. ALIMENTACIÓN DE GAS PROTECTOR Y DE AGUA DE REFRIGERACIÓN

Gas de protección

La alimentación de gas se hace desde la botella de gas que tiene en su salida un caudalímetro para poder graduar el caudal de gas de protección necesario en cada caso particular. El suministro de gas se puede realizar también desde una batería de botellas o desde un depósito.

Agua de refrigeración

Cuando se suelda con intensidades elevadas es preciso utilizar pistolas refrigeradas por agua, ya que la refrigeración de la pistola por el propio gas de protección sería insuficiente, para evitar que se produzcan daños o la inutilización de la pistola.

La alimentación del agua para tal refrigeración puede hacerse desde un simple grifo dispuesto cerca de la máquina de soldeo, o con un sistema de circuito cerrado.

Sea cual sea el sistema, es necesario un conducto de alimentación del agua que refrigere la pistola y otro de retorno, según el sistema adoptado. Como ocurría con el gas, existe una electroválvula para que el agua circule solamente en los momentos que se está soldando. Los conductos de agua también son flexibles y como los de gas, forman parte del conjunto de la pistola.

2.5. PANEL DE CONTROL

La mayoría de los parámetros de soldadura se pueden regular desde el panel de control ubicado en la fuente de energía o en la fuente de alimentación del alambre.

Las máquinas sinérgicas poseen un control interno que armoniza automáticamente todos los parámetros. El mando de control facilita al soldador el empleo de los programas, de forma que prefijando el tipo de alambre y de gas de protección selecciona automáticamente la intensidad y la velocidad de alimentación del alambre correctas.

En la figura 13 se presenta el panel de control de una máquina MIG/MAG de tipo compacta.

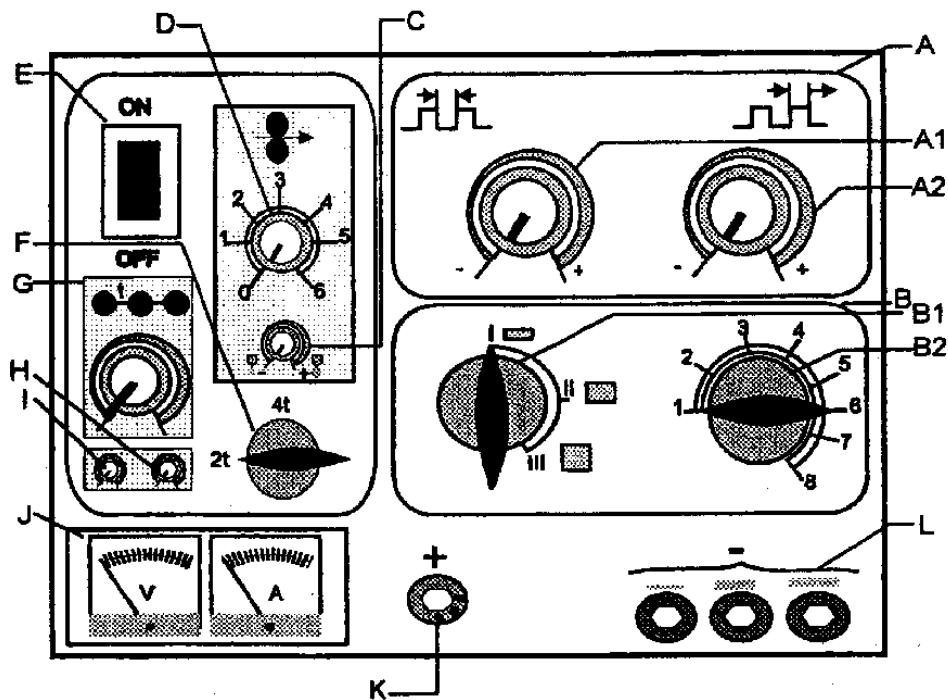


FIGURA 13. PANEL DE CONTROL DE UNA MÁQUINA COMPACTA

- A Arco pulsado
- A1 Selección del tiempo de la corriente de fondo
A2 Selección del tiempo de la corriente de pico
- B Selección de la tensión
- B1 Selector de escala
B2 Selector de tensión
- C Tiempo de postquemado (“burn back”). Se retrasa el corte de la corriente de soldeo durante un cierto tiempo de forma que el alambre “se quema” libremente formando una pequeña esfera que deberá ser lo más pequeña posible, por lo que el tiempo de postquemado debe ser el mínimo posible. De esta forma se evita que el alambre fundido llegue a tocar el tubo de contacto estropeándolo.
- D Selección de la velocidad de alimentación del alambre
- E Interruptor general
- F Control de tipo de ciclo

PANEL DE CONTROL DE UNA MÁQUINA COMPACTA (CONTINUACIÓN)

-2 t = 2 tiempos

2. Tiempo 1: Apretar interruptor de la pistola y mantener. Se pone en funcionamiento: gas de protección + alimentador del alambre + corriente.
3. Tiempo 2: Soltar el interruptor de la pistola. Deja de estar en funcionamiento: gas de protección + alimentación del alambre + corriente.

Se puede utilizar en el soldeo de estructuras pero no se recomienda cuando el nivel de calidad requerido sea elevado.

-4 t = 4 tiempos

- Tiempo 1 : Apretar interruptor de la pistola. Se pone en funcionamiento el gas de protección.
- Tiempo 2 : Soltar el interruptor de la pistola. Continúa saliendo el gas de protección y se pone en funcionamiento la alimentación del alambre y la corriente.
- Tiempo 3 : Apretar interruptor de la pistola. Deja de estar en funcionamiento la corriente y la alimentación del gas.
- Tiempo 4 : Soltar el interruptor de la pistola. Deja de salir el gas de protección.

Alto nivel de calidad gracias a la existencia de gas de protección previo y posterior al soldeo. El gas de protección previo al soldeo desplaza el aire que rodea a la zona a soldar y mejora la protección posterior, el gas de protección posterior protege el metal de soldadura mientras se enfría.

G Soldeo por puntos

H Movimiento lento del alambre. El alambre se alimenta a baja velocidad hasta que se establece el arco.

J Amperímetro y voltímetro.

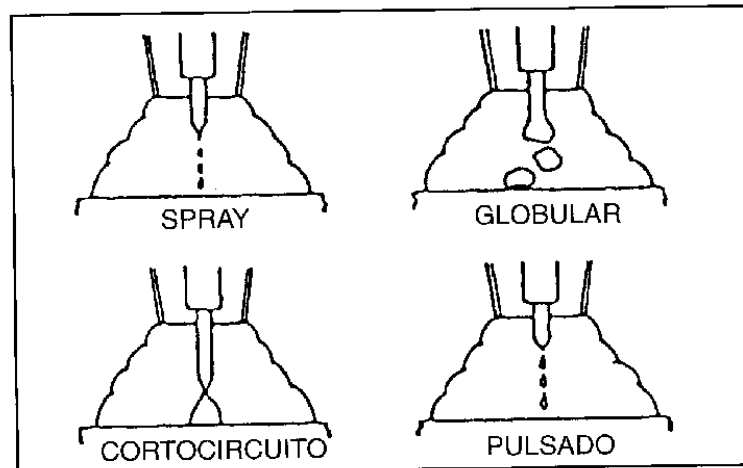
I Llenado de cráter. Se reduce la tensión y la intensidad de soldeo al final de la soldadura.

K Polo positivo (+) de la máquina, se conecta a la pistola.

L El polo negativo (-) puede tener varias tomas para introducir diferentes inductancias al circuito. La inductancia puede también estar regulada de forma continua con un potenciómetro. El cable de la pieza se suele conectar al negativo (-). La introducción de una cierta inductancia consigue un funcionamiento del arco de forma más suave y con menos proyecciones. La selección depende del diámetro del electrodo, normalmente a mayor diámetro mayor inductancia. La selección de la inductancia es útil sobre todo en transferencia cortocircuito.

3. MODOS DE TRANSFERENCIA

La transferencia del metal en el arco puede realizarse básicamente de cuatro formas :



En Cortocircuitos. El metal se transfiere del electrodo a la pieza cuando el electrodo contacta con el metal fundido depositado por soldadura.

Transferencia globular. En forma de grandes gotas de tamaño mayor que el alambre/electrodo que caen al baño de fusión por su propio peso.

Transferencia en spray. Se desprenden pequeñas gotas del alambre y se desplazan a través del arco hasta llegar a la pieza.

Transferencia por arco pulsado. Es un modo de transferencia tipo spray que se produce en impulsos regularmente espaciados, en lugar de suceder al azar como ocurre en el arco spray.

El tipo de transferencia depende del gas de protección y de la intensidad y tensión de soldeo.

3.1. TRANSFERENCIA POR CORTOCIRCUITO

Se produce por contacto del alambre con el metal depositado. Se obtiene este tipo de transferencia cuando la intensidad y la tensión de soldeo son bajas. Se utiliza este tipo de transferencia para el soldeo en posición vertical, bajo techo y para el soldeo de espesores delgados o cuando la separación en la raíz es excesiva. Los parámetros típicos oscilan entre los siguientes valores : voltaje 16 a 22 V, intensidad de 50 a 150 A. Se reconoce porque el arco es corto, suele haber proyecciones y hay un zumbido característico.

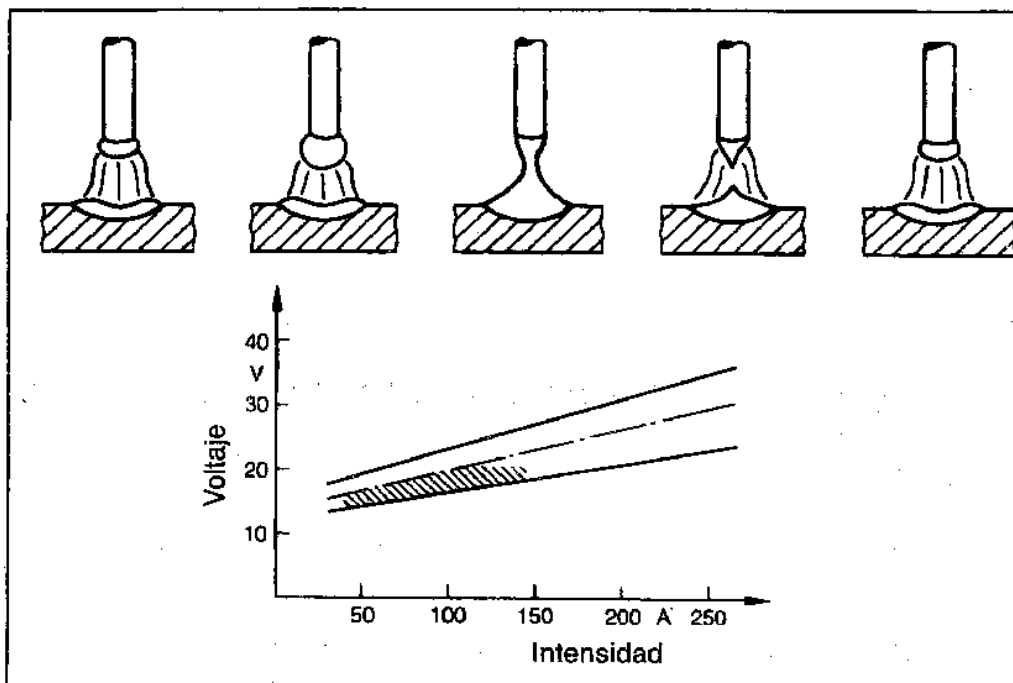


FIGURA 15. CICLO DE TRANSFERENCIA POR CORTOCIRCUITO

Este tipo de transferencia se obtiene más fácilmente con dióxido de carbono (CO_2)

3.2. TRANSFERENCIA GLOBULAR

La transferencia globular se caracteriza por la formación de una gota relativamente grande de metal fundido en el extremo del alambre. La gota se va formando hasta que cae el baño fundido por su propio peso. Este tipo de transferencia no suele tener aplicaciones tecnológicas por la dificultad de controlar adecuadamente el metal de aportación y porque suele provocar faltas de penetración y sobreespesores elevados. Los parámetros típicos son : voltaje de 20 a 35 V, intensidad de 70 a 255 A.

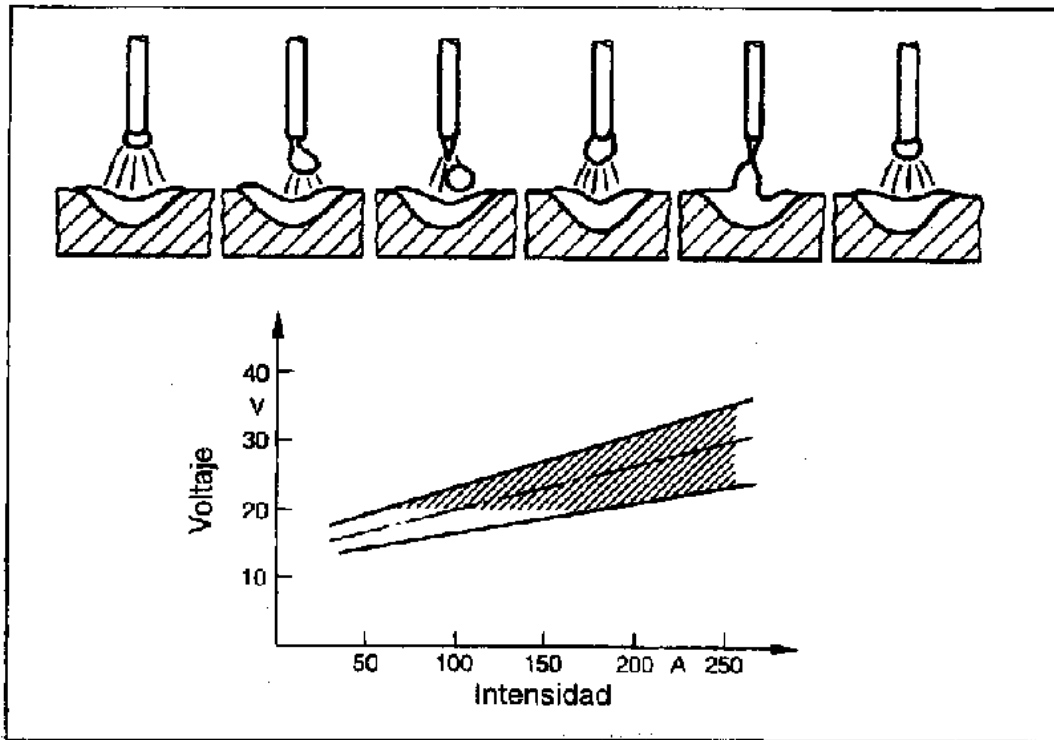


FIGURA 16. CICLO DE TRANSFERENCIA GLOBULAR

3.3. TRANSFERENCIA POR ARCO SPRAY

En este tipo de transferencia las gotas que se forman son iguales o menores que el diámetro del alambre electrodo y su transferencia se realiza desde el extremo del alambre al baño fundido en forma de una corriente axial de finas gotas (corriente centrada con respecto al alambre). Se obtiene este tipo de transferencia con altas intensidades y altos voltajes : intensidades de 150 a 500 A y voltajes de 24 a 40 V. Los gases inertes favorecen este tipo de transferencia.

La transferencia en spray se puede aplicar prácticamente a cualquier tipo de material base pero no se puede aplicar a espesores muy finos ya que la corriente de soldeo es muy alta. Con este tipo de transferencia se consiguen grandes tasas de deposición y rentabilidad en la soldadura.

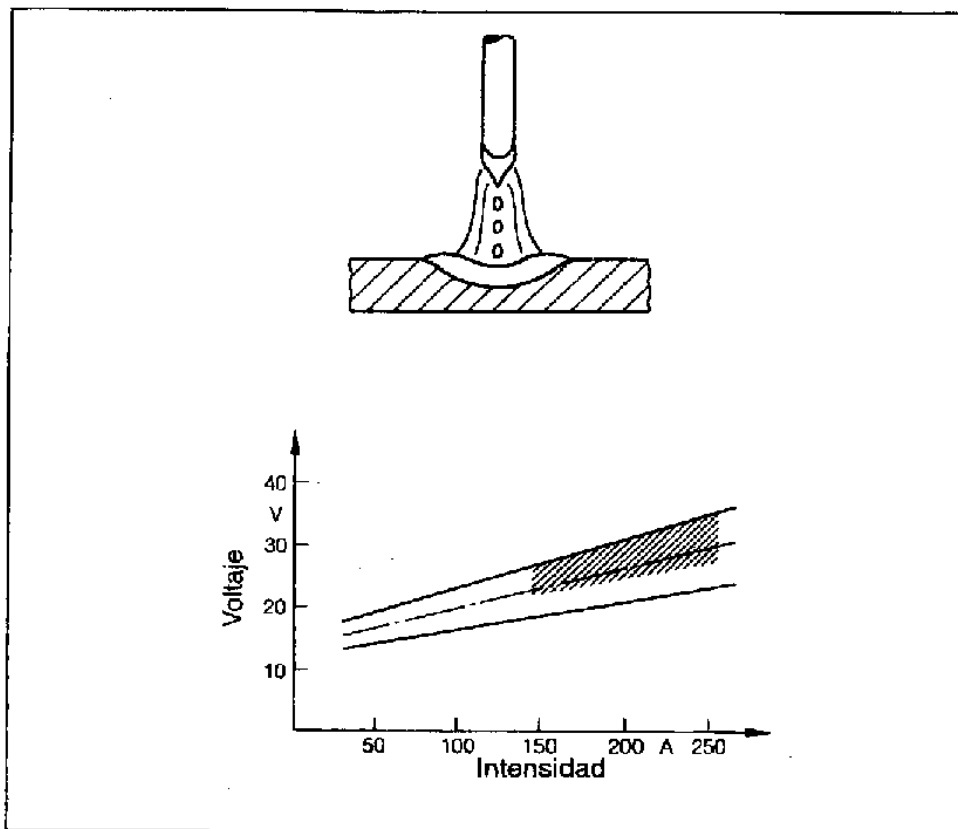


FIGURA 17. TRANSFERENCIA POR ARCO SPRAY

3.4. TRANSFERENCIA POR ARCO PULSADO

La transferencia por arco pulsado es una modalidad del tipo spray, que se produce por pulsos a intervalos regularmente espaciados, en lugar de suceder al azar como ocurre con el arco spray. Este tipo de transferencia se obtiene cuando se utiliza una corriente pulsada, que es la composición de una corriente de baja intensidad, que existe en todo momento (es constante) y se denomina **corriente de fondo o de base**, y un conjunto de pulsos de intensidad elevada denominada **corriente de pico**. La intensidad de fondo sirve para precalentar y acondicionar el alambre que va avanzando continuamente. La gota saltará al baño de fusión cuando se aplique una corriente de pico.

La ventaja fundamental de este método es la importante reducción de calor aplicado que se produce con respecto al método arco-spray, lo cual se traduce en la posibilidad de soldar en spray espesores menores, obtener menores deformaciones y soldar en todas las posiciones. Además se pueden utilizar diámetros de alambre mayores y se reducen las proyecciones.

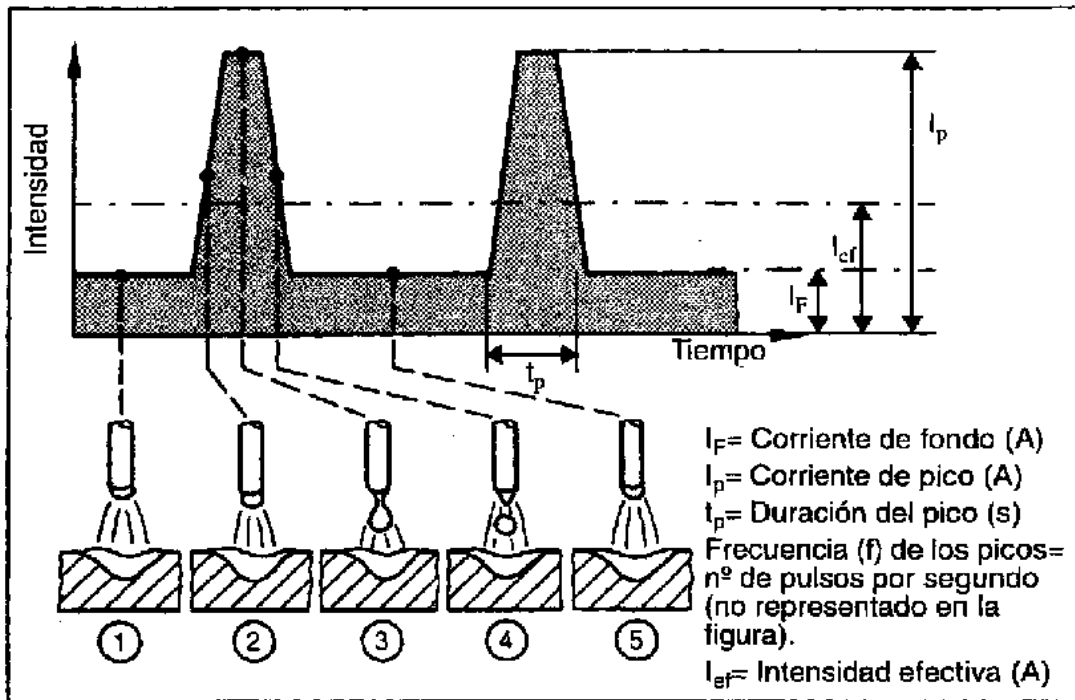


FIGURA 18. FORMA DE LA CORRIENTE DE SOLDEO EN LA TRANSFERENCIA POR ARCO PULSADO

Las mayores desventajas de las fuentes de energía de corriente pulsada son : el elevado coste del equipo, la dificultad de establecer los parámetros adecuados de soldeo debido al gran número de datos que hay que introducir y que sólo se pueden utilizar mezclas con bajo contenido en CO_2 (máximo un 18%).

En algunas fuentes de energía la corriente de fondo, la de pico y la duración del pulso están permanentemente establecidas, tan sólo se puede cambiar la frecuencia de los pulsos, de forma que a mayor frecuencia (mayor número de pulsos por segundo) mayor es la intensidad efectiva y la tasa de deposición.

Actualmente las fuentes de soldeo de corriente pulsada son de tipo sinérgico, lo que significa que el soldador sólo tiene que ajustar la velocidad de avance del alambre y los datos sobre el material de aportación, el gas de protección y el diámetro del electrodo. A partir de estos datos la fuente de corriente ajusta automáticamente los parámetros de soldeo idóneos.

4. MATERIALES DE APORTACIÓN

Los electrodos / alambres empleados son de diámetros pequeños (0.6, 0.8, 1.0, 1.2, 1.6, 2.0, 3.0 y 3.2 mm) y se suministran en bobinas para colocar directamente en los sistemas de alimentación. Para conseguir una alimentación suave y uniforme el alambre debe estar bobinado en capas perfectamente planas y es necesario que no esté tirante durante su suministro, sino que exista una cierta holgura entre la bobina y la vuelta que se está desenroscando. Al ser los alambres de pequeño diámetro y la intensidad de soldeo bastante elevada, la velocidad de alimentación del electrodo suele ser elevada del orden de 40 a 340 mm/s (2.4 a 20.4 m/min.) para la mayoría de los metales y de hasta 600 mm/s (236 m/min.) para las aleaciones de magnesio.

Dados sus pequeños diámetros la relación superficie / volumen es muy alta, por lo que pequeñas partículas de polvo, suciedad grasa, etc. pueden suponer una importante cantidad en relación con el volumen aportado, de aquí que sea de gran importancia la limpieza.

Los alambres de acero reciben a menudo un ligero recubrimiento de cobre que mejora el contacto eléctrico, la resistencia a la corrosión y disminuye el rozamiento con los distintos elementos del sistema de alimentación y la pistola.

El material de aportación es, en general, similar en composición química a la del metal base, variándose ligeramente para compensar las pérdidas producidas de los diferentes elementos durante el soldeo, o mejorar alguna característica del metal de aportación. En otras ocasiones se requieren cambios significativos o incluso la utilización de alambres de composición completamente diferente.

Cuando se varía el diámetro del alambre utilizado se debe cambiar el tubo guía, el tubo de contacto y ajustar los rodillos, o cambiarlos en caso de que no fueran adecuados para ese diámetro de alambre.

5. GASES DE PROTECCIÓN

El objetivo fundamental del gas de protección es la de proteger al metal fundido de la contaminación por la atmósfera circundante. Muchos otros factores afectan a la elección del gas de protección. Algunos de estos son :

4. Material a soldar
5. Modo de transferencia del metal de aportación
6. Penetración
7. Forma del cordón
8. Velocidad de soldeo
9. Precio del gas

Los gases más utilizados en el soldeo MIG/MAG son :

- CO₂ (dióxido de carbono)
- Ar (argón), He (helio) o Ar + He
- Ar + CO₂ o He + CO₂
- Ar + O₂ (1-10% de oxígeno)
- Ar + O₂ + CO₂
- Ar + He + CO₂
- Ar + He + CO₂ + O₂

El soldeo se denominará MAG cuando se utilicen gases activos (CO₂, O₂, y MIG cuando se utilicen los inertes (Ar, He).

En general, se utilizan los gases inertes para el soldeo de los materiales no féreos y aceros inoxidable, utilizándose el CO₂, puro solamente con los aceros al carbono; las mezclas de Ar + CO₂ y Ar + O₂ se aplican también al soldeo de aceros y en muchos casos para aceros inoxidable.

Cuando se utiliza CO₂ no se puede obtener una transferencia en spray nítida.

Una de las mezclas más utilizadas en el soldeo MAG es Ar + 8-10% de CO₂, utilizándose generalmente con transferencia en spray. Las mezclas de Ar + CO₂, con un porcentaje de éste último mayor o igual al 25%, se utilizan para transferencia por cortocircuito en el soldeo de aceros al carbono y de baja aleación. Con arco pulsado se utilizan mezclas de Ar + CO₂ (generalmente con un 5% de CO₂), o mezclas de Ar + He + CO₂ .

Con un caudal de gas muy bajo la cantidad de gas de protección es insuficiente. Con un caudal de gas muy alto puede haber turbulencias y formación de remolinos en el gas. El caudal de gas dependerá en gran medida del tipo de material base. Para obtener una buena protección, el ángulo de trabajo de la pistola no debe ser mayor de 10° a 20°. El tubo de contacto debe estar centrado en la boquilla y las proyecciones depositadas en la tobera de gas y en la boquilla de contacto deben retirarse regularmente.

6. PARÁMETROS DE SOLDEO

Los parámetros fundamentales que entran a formar parte de las características de soldeo, y por tanto de la calidad de soldadura, son :

- Tensión
- Velocidad de alimentación
- Longitud libre del alambre o “stick-out”
- Velocidad de desplazamiento
- Polaridad
- Ángulo de inclinación de la pistola
- Gas de protección

El conocimiento y control de estos parámetros es esencial para obtener soldaduras de calidad. Estas variables no son independientes ya que el cambio de una de ellas produce o implica el cambio de alguna de las otras.

6.1. RELACIÓN ENTRE LOS PARÁMETROS

La tensión se mide en voltios (V) y es regulable en la fuente de energía, o bien a distancia desde la unidad alimentadora de alambre. Se transmite de forma regular desde la fuente al alambre, sin embargo se distribuye entre la prolongación del alambre y el arco de un modo desigual. Aproximadamente el 90% de la energía se concentra en el arco y el 10% restante en el alambre (ver figura 19). Por tanto, cuanto mayor sea la longitud del arco mayor será la tensión.

La intensidad, sin embargo, está muy relacionada con la velocidad de alimentación del alambre, de forma que cuanto mayor es la velocidad de alimentación mayor es la intensidad. La tasa de deposición también está muy relacionada con la intensidad; cuanto mayor es la intensidad más rápidamente se producirá la fusión y, por tanto, la deposición. Se pueden establecer así las siguientes equivalencias:

Equivalente a:	
Intensidad	Velocidad de alimentación del alambre Velocidad de fusión
Tensión	Longitud del arco

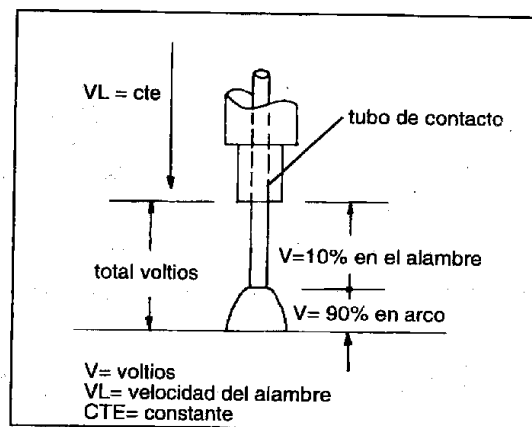


FIGURA 19. DISTRIBUCIÓN DE LA TENSIÓN EN EL ARCO ELÉCTRICO.
RELACIÓN ENTRE LA LONGITUD DEL ARCO Y LA TENSIÓN

6.2. EXTREMO LIBRE DEL ALAMBRE ELECTRODO ("STICK-OUT")

El extremo libre del alambre es la distancia desde el tubo de contacto hasta el extremo del alambre y está relacionada con la distancia entre el tubo de contacto y la pieza a soldar. Esta variable tiene suma importancia para el soldeo y en especial para la protección del baño de fusión.

Cuando aumenta el extremo libre del alambre la penetración se hace más débil y aumenta la cantidad de proyecciones. Éstas pueden interferir con la salida del gas de protección y una protección insuficiente puede provocar porosidad y contaminación excesiva.

La mayoría de los fabricantes recomiendan longitudes de 6 a 13 mm para transferencia por cortocircuito y de 13 a 25 mm para otros tipos de transferencia. Disminuyendo la longitud en transferencia por cortocircuito, aunque la tensión suministrada por la fuente de energía sea baja, se consigue buena penetración.

En la siguiente figura se ha representado la influencia de la variación de la distancia entre el tubo de contacto y la pieza.

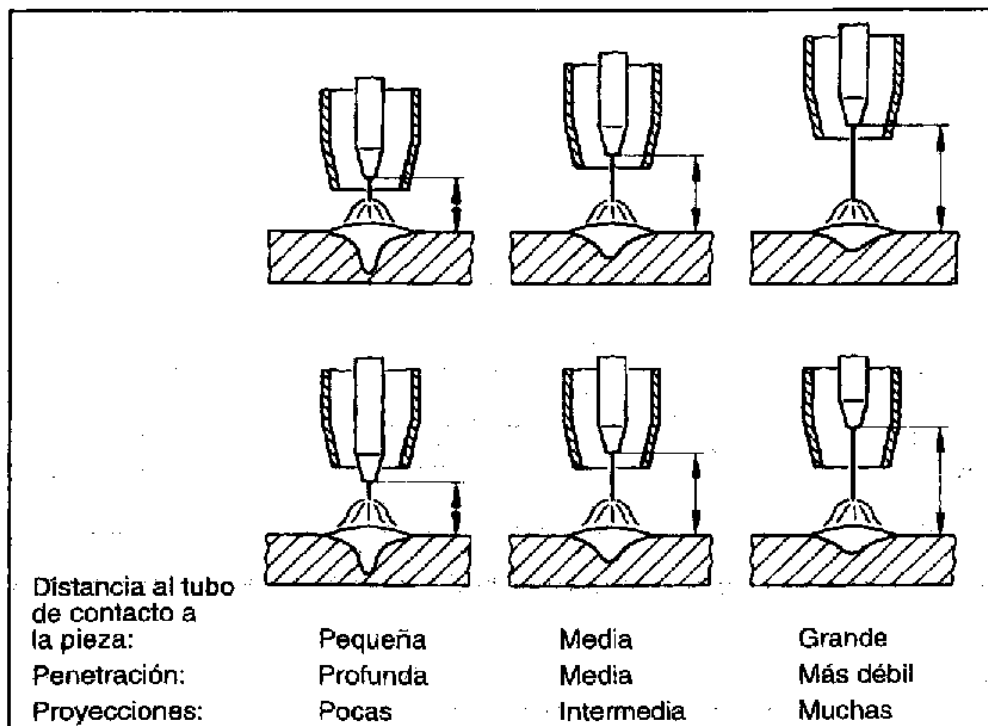


FIGURA 20. EFECTO DEL EXTREMO LIBRE DEL ALAMBRE MANTENIENDO CONSTANTES LA TENSIÓN Y LA VELOCIDAD DE ALIMENTACIÓN DEL ALAMBRE

6.3. VELOCIDAD DE DESPLAZAMIENTO

Si se mantienen todos los demás parámetros constantes, cuanto menor sea la velocidad de soldeo mayor será la penetración. Sin embargo una pistola se puede sobrecalentar si se suelda con intensidad alta y baja velocidad de soldeo. Una velocidad de soldeo alta producirá una soldadura muy irregular.

6.4. POLARIDAD

Para la mayoría de las aplicaciones del soldeo GMAW se utiliza la polaridad inversa (DC+) ya que se obtiene un arco estable, con una buena transferencia de metal de aportación, pocas proyecciones, un cordón de soldadura de buenas características y gran penetración.

La polaridad directa (DC-) casi no se utiliza porque, aunque la tasa de deposición es mayor, generalmente solo se consigue transferencia globular.

La corriente alterna no se utiliza en el soldeo MIG/MAG ya que el arco se hace inestable y tiende a extinguirse.

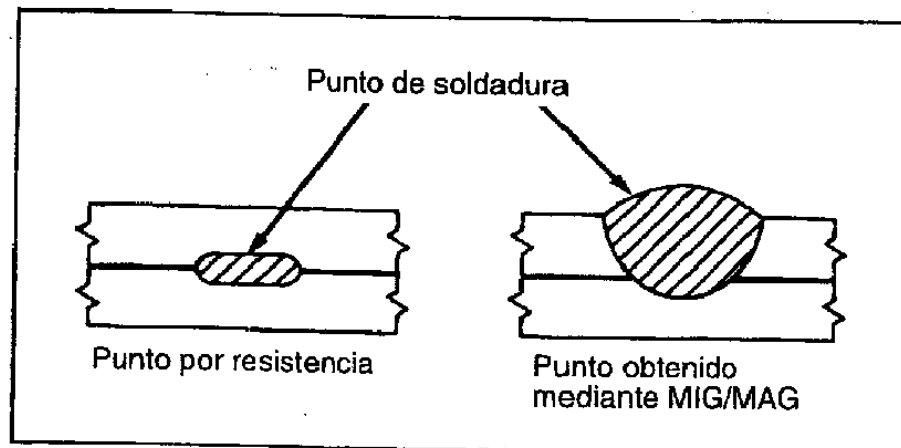
6.5. ÁNGULO DE INCLINACIÓN DE LA PISTOLA (ÁNGULO DE DESPLAZAMIENTO)

Cuando se utiliza la técnica de soldeo hacia delante disminuye la penetración y el cordón se hace más ancho y plano, por lo que se recomienda para el soldeo de pequeños espesores. La máxima penetración se obtiene con el soldeo hacia atrás con un ángulo de desplazamiento de 25°. Para la mayoría de las aplicaciones se utiliza el soldeo hacia atrás con un ángulo de desplazamiento de 5-15°. En el soldeo del aluminio, sin embargo, se suele preferir el soldeo hacia delante pues se mejora la acción limpiadora. Para el soldeo en ángulo (posición PB) se recomienda un ángulo de trabajo de 45°.

7. TÉCNICAS ESPECIALES

7.1 SOLDEO POR PUNTOS

Se pueden realizar soldaduras en forma de puntos discontinuos mediante soldeo MIG/MAG, similares a los obtenidos mediante el soldeo por resistencia, como se muestra en la siguiente figura.



El soldeo por puntos mediante MIG/MAG solo requiere tener acceso a una de las piezas que se van a unir, lo cual representa una ventaja respecto al soldeo por puntos por resistencia.

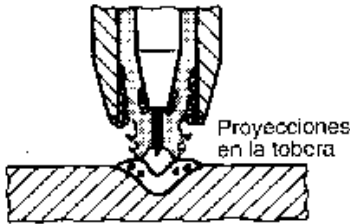
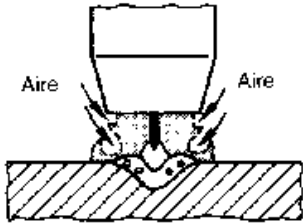
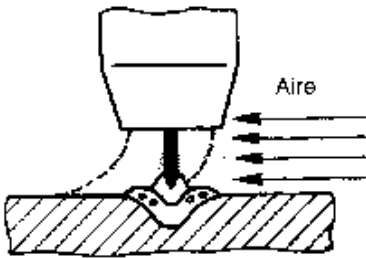
El soldeo por puntos mediante MIG/MAG tiene aplicación en la unión de chapas finas (en general hasta 5 mm) de acero, aluminio, acero inoxidable y algunas aleaciones de cobre.

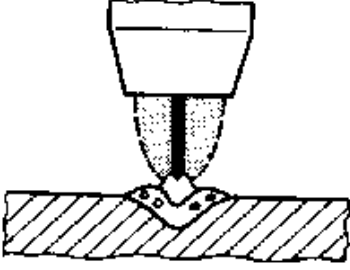
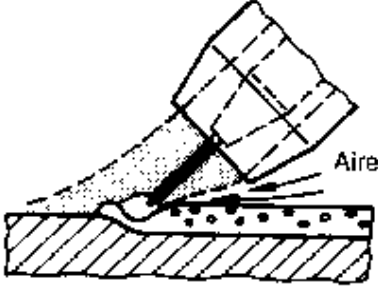
Para el soldeo por puntos se requieren algunas modificaciones del equipo de soldeo MIG/MAG convencional :

10. Toberas especiales, con huecos que permiten que el gas de protección salga de la tobera cuando ésta se presiona sobre la chapa a soldar.
11. Controladores de la velocidad de alimentación del alambre para regular el tiempo de soldeo y asegurar el rellenado de cráter, mediante la disminución progresiva de la corriente al final del soldeo.

Para realizar un punto de soldadura se sitúa la pistola sobre la pieza con la tobera presionando la pieza de menor espesor, en el caso de que sean de espesores diferentes, y se aprieta el gatillo de la pistola para iniciar el arco manteniéndose la pistola inmóvil hasta que se corta la corriente. El tiempo de soldeo debe de ser el suficiente para conseguir el soldeo de ambas chapas, suele ser de 0,3 a 1,7 segundos en el caso de espesores inferiores a 3 mm y de hasta 5 segundos para chapas de espesores mayores.

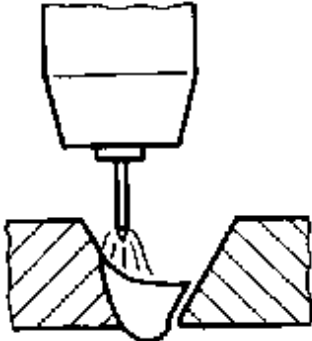
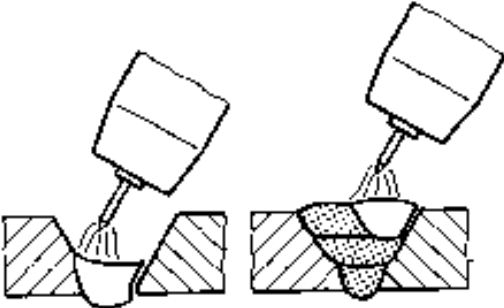
8. DEFECTOS TÍPICOS EN LAS SOLDADURAS

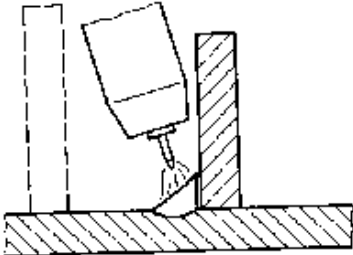
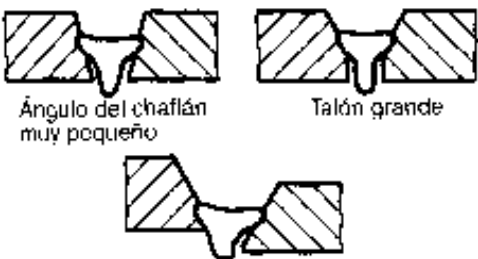



Defecto : Porosidad	
<p>Causa</p> <p>Caudal de gas bajo que produce una proyección defectuosa o proyecciones en la tobera que reduce la sección de ésta.</p> 	<p>Remedio</p> <p>Aumentar el caudal de gas de protección y retirar las proyecciones de la tobera. En el caso del CO2 situar calentadores entre la válvula de la botella y el manorreductor. En el caso de haberse atascado el manorreductor por hielo utilizar calentadores.</p>
<p>Caudal de gas alto. La turbulencia generada por el excesivo caudal permite que el aire se introduzca en el baño de fusión.</p> 	<p>Disminuir el caudal para eliminar la turbulencia.</p>
<p>Excesivas corrientes de viento.</p> 	<p>Proteger la zona de soldeo del viento</p>
<p>Material base contaminado.</p>	<p>Extremar la limpieza del material base.</p>

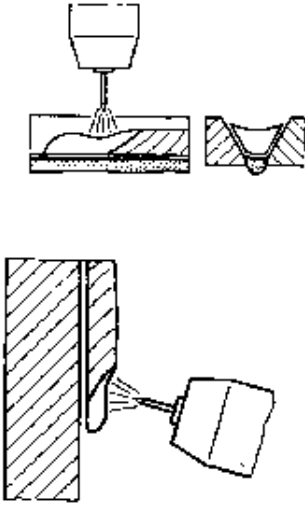

Defecto : Porosidad	
Causa	Remedio
Electrodo contaminado o sucio.	Utilizar exclusivamente electrodos limpios y secos.
Tensión muy elevada.	Disminuir la tensión.
Longitud visible (“extensión”) muy grande.	Acortar la extensión y determinar la tensión adecuada.
Insuficiente protección debida a una velocidad de soldeo elevada.	Reducir la velocidad.
Pistola demasiado separada de la pieza.	Acercar la pistola a la pieza. Mantener la pistola al final de la soldadura hasta que ésta se solidifique.
	
Ángulo de desplazamiento demasiado grande	Disminuir el ángulo de desplazamiento (situar la pistola más vertical).
	
Contaminación del gas de protección.	Utilizar gases de protección de gran calidad. Purgar las botellas (excepto las de hidrógeno y mezclas con hidrógeno) antes de conectarlos a las mangueras para eliminar la acumulación de polvo que pudiera existir.

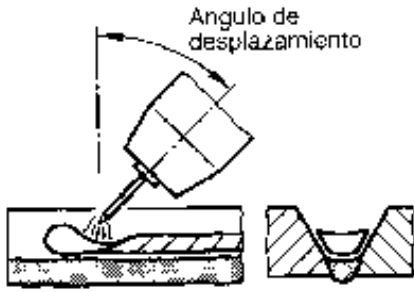
Defecto : Falta de fusión o de penetración

NOTA: El baño de fusión no aporta, por sí solo, la cantidad de calor suficiente para fundir el material base, solamente el calor aportado por el arco es capaz de hacerlo. Si el arco no llega a las caras o a la raíz de la unión se producirá la falta de fusión.

Causa	Remedio
<p>Parámetros de soldeo no adecuados.</p> <p>Manipulación de la pistola inadecuada.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Situación de la pistola asimétrica respecto a los lados del bisel. 	<p>Aumentar la tensión y la velocidad de alimentación del alambre.</p> <p>Reducir la velocidad de desplazamiento.</p> <p>Disminuir la “extensión”.</p> <p>Reducir la dimensión del alambre.</p> <p>Reducir el espesor de cada cordón de soldadura.</p> <p>Distribuir el calor del arco en forma simétrica respecto a ambas piezas.</p>
<ul style="list-style-type: none"> • Pistola con inclinación excesiva hacia un lado.  	<p>Mantener la inclinación correcta.</p>

Defecto : Falta de fusión o de penetración	
Causa	Remedio
<p>Falta de accesibilidad.</p> 	<p>Cambiar el diseño de la unión o elegir una boquilla de menor tamaño.</p>
<p>Diseño inapropiado de la unión.</p>  <p>Ángulo del chaflán muy pequeño</p> <p>Talón grande</p> <p>Desalineamiento</p>	<p>Reducir el desalineamiento. Aumentar la separación en la raíz. Reducir el talón. Aumentar el ángulo del chaflán.</p>
<p>Realizar el soldeo sobre cordones con sobreespesor excesivo.</p> 	<p>Eliminar el exceso de sobreespesor mediante amolado.</p>
<p>Empalme entre cordones defectuoso.</p> 	<p>Amolar el final del cordón anterior y cebar el arco antes del final del cordón.</p> 

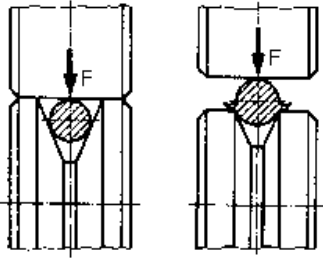
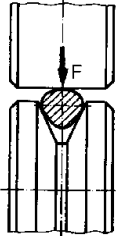
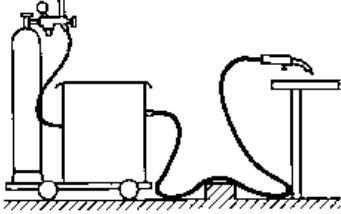
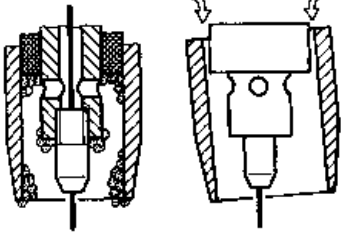
Defecto : Falta de fusión o penetración	
Causa	Remedio
<p>Superficies del chaflán sucias u oxidadas.</p> <p>Técnica de soldeo no adecuada.</p> <p>Cordones excesivamente anchos sin llegar a fundir el chaflán.</p>	<p>Limpiar, y decapar si fuera necesario, las superficies del chaflán.</p> <p>Cuando se realicen cordones con balanceo pararse momentáneamente en los extremos.</p> <p>Limitar la anchura del cordón, cuando el chaflán se ensanche se preferirá realizar 2 cordones estrechos a uno ancho.</p>
<p>El baño de fusión se adelanta al arco e impide la perfecta fusión de los bordes. Causas :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Velocidad de desplazamiento baja o tasa de deposición (velocidad de alimentación del alambre) demasiado alta. Este defecto puede ocurrir más fácilmente en la posición PG. 	<ul style="list-style-type: none"> • Reducir el espesor de cada cordón individual. Disminuir la velocidad de alimentación del alambre en vertical descendente.
	

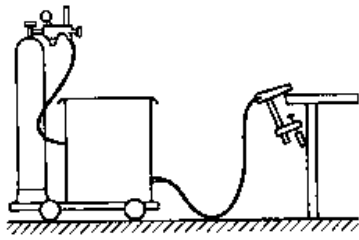
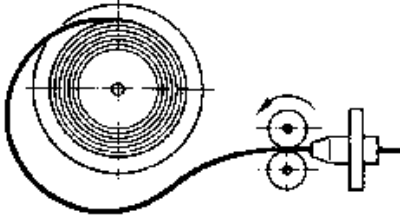
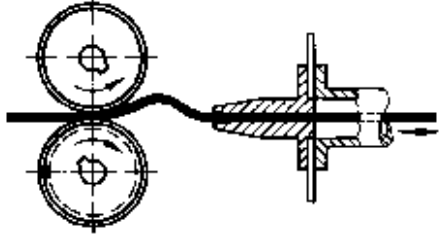
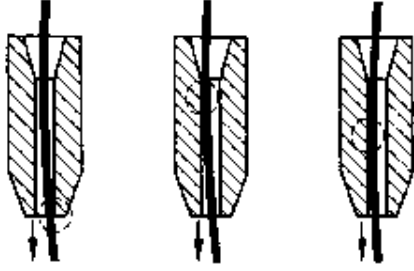
Defecto : Falta de fusión o de penetración	
<p style="text-align: center;">Causa</p> <p>Ángulo de desplazamiento demasiado grande</p> 	<p style="text-align: center;">Remedio</p> <p>Reducir el ángulo de desplazamiento.</p>
Defecto : Grietas	
<p style="text-align: center;">Causa</p> <p>Embridamiento excesivo.</p> <p>Electrodo inadecuado.</p> <p>Penetración excesiva respecto a la anchura del cordón.</p> <p>Aportación de calor demasiado elevada que causa deformaciones grandes.</p> <p>Tensiones residuales elevadas, enfriamiento rápido y grandes deformaciones.</p>	<p style="text-align: center;">Remedio</p> <p>Reducir el embridamiento. Precalentar. Utilizar un metal de aportación más dúctil. Realizar un martillado.</p> <p>Revisar la composición del alambre.</p> <p>Disminuir la velocidad de alimentación del alambre o aumentar la tensión.</p> <p>Reducir la tensión, la velocidad de alimentación del alambre o aumentar la velocidad de desplazamiento.</p> <p>Precalentar para reducir el nivel de las tensiones residuales, utilizar una secuencia de soldeo adecuada.</p>

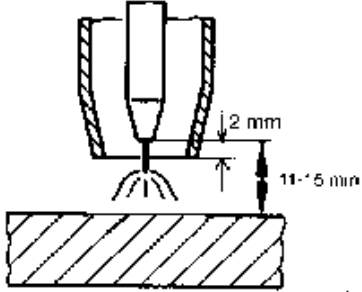
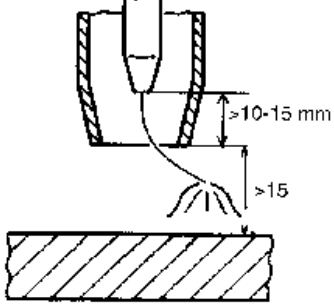
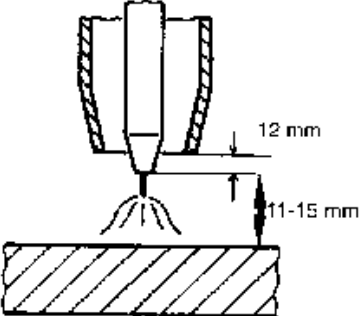
Defecto : Mordeduras	
Causa	Remedio
Tensión excesiva.	Disminuir la tensión.
Intensidad excesiva.	Reducir la velocidad de alimentación del alambre.
Movimiento lateral muy rápido.	Dar un movimiento lateral más lento y retener un poco a los lados del cordón.
Velocidad de desplazamiento excesiva.	Disminuir la velocidad de desplazamiento.
Pistola con inclinación excesiva.	Mantener la inclinación adecuada de la pistola.
Defecto : Proyecciones	
Causa	Remedio
Humedad en el gas.	Emplear gas de protección bien seco.
Arco demasiado largo	El arco debe tener una longitud de unos 3 mm.
Intensidad demasiado elevada.	Disminuir la velocidad de alimentación del alambre.
Tensión muy elevada.	Disminuir la tensión, con tensión alta las proyecciones son muy grandes.
Pistola al polo negativo.	Conectar la pistola en el polo positivo.
Extremo libre del alambre excesivo.	Disminuyendo la longitud libre de varilla disminuyen las proyecciones.
Velocidad de soldadura alta.	Seleccionar la velocidad adecuada.
Inclinación excesiva de la pistola.	Llevar la inclinación correcta.

Defecto : Agujeros	
Causa	Remedio
Intensidad muy elevada.	Disminuir la intensidad para evitar la perforación de la chapa.
Tensión de arco muy baja.	Aumentar la tensión y disminuirá la penetración.
Movimiento de desplazamiento muy lento.	Aumentar la velocidad de desplazamiento.
Bordes de las chapas muy separados.	Disminuir la separación entre los bordes.
Metal base muy caliente.	Dejar enfriar antes de depositar un nuevo cordón.
Defecto : Falta de espesor. Falta de material o relleno insuficiente del chaflán.	
Causa	Remedio
Velocidad excesiva.	Disminuir la velocidad de desplazamiento.
Defecto : Exceso de metal aportado	
Causa	Remedio
Diámetro de alambre demasiado grueso.	Utilizar alambre de menor diámetro.
Velocidad de desplazamiento muy lenta.	Aumentar la velocidad de desplazamiento.
Defecto : Cordón irregular	
Causa	Remedio
Intensidad excesiva	Disminuir la intensidad.
Tensión muy baja.	Aumentar la tensión.
Movimiento de avance irregular.	Dar a la pistola un movimiento de avance uniforme.
Avance irregular del alambre.	Dar más presión a las ruletas de arrastre del alambre. Cambiar las guías si están desgastadas. Cambiar el tubo de contacto si está desgastado o si tiene irregularidades en su interior.
Arco muy largo.	Disminuir la longitud del arco.
Excesiva inclinación de la pistola.	Colocar la pistola con la inclinación debida.

9. FALLOS EN EL EQUIPO MIG/MAG- CAUSAS Y CONSECUENCIAS

Componente	Causa del fallo
<p>Rodillos de la unidad de alimentación.</p> 	<p>Tamaño del perfil del rodillo demasiado grande o que se ha desgastado por el uso.</p> <p>Rodillo muy pequeño.</p>
<p>Presión del rodillo de alimentador de alambre.</p> 	<p>Presión de contacto demasiado ligera.</p> <p>Presión de contacto demasiado fuerte que produce excesivo rozamiento o deforma el alambre.</p>
<p>Mangueras</p> 	<p>Retorcimiento o doblado de las mangueras.</p>
<p>Boquilla</p> 	<p>Parcialmente obturada por las proyecciones.</p> <p>Holgura.</p>

Componente	Causa del fallo
<p data-bbox="197 277 424 309">Cable de la pieza.</p> 	<p data-bbox="801 277 1270 309">Limpieza inadecuada de la conexión.</p> <p data-bbox="801 344 1107 376">Holgura en la conexión.</p>
<p data-bbox="197 636 450 667">Bobina de alambre.</p> 	<p data-bbox="801 636 1101 667">Freno demasiado débil.</p> <p data-bbox="801 703 1107 734">Freno demasiado fuerte</p>
<p data-bbox="197 981 421 1012">Guía de alambre.</p> 	<p data-bbox="801 981 1353 1057">Distancia desde el rodillo alimentador muy grande o taladro muy grande.</p>
<p data-bbox="197 1326 421 1357">Tubo de contacto</p> 	<p data-bbox="801 1326 1318 1402">Tubo de contacto con taladro demasiado grande o desgastado por rozamiento.</p> <p data-bbox="801 1438 1031 1469">Tubo de contacto.</p> <p data-bbox="801 1505 1171 1536">Taladro demasiado pequeño.</p> <p data-bbox="801 1572 1369 1648">Tubo de contacto deteriorado por la excesiva tensión de soldeo.</p>

Componente	Causa del fallo
<p data-bbox="199 275 730 338">Situación CORRECTA DEL TUBO DE CONTACTO</p> <p data-bbox="199 376 432 409">Para cortocircuito.</p> 	<p data-bbox="805 275 1385 338">Tubo de contacto muy separado del extremo de la tobera.</p> <p data-bbox="978 376 1214 409">INCORRECTO</p> 
<p data-bbox="199 824 427 857">Para cortocircuito</p> 	
<p data-bbox="199 1330 336 1364">Para spray</p> 