



TECNOLOGÍA EN SOLDADURA

**Polígono Industrial Can Sedó
08292 Esparreguera
Tel: (34) 93 7774162
Fax: (34) 93 7774203
www.sunarc.com**

SOLDADURA MIG-MAG

FABRICA DE CONTROLES Y EQUIPOS DE SOLDADURA

**SOLDADURA AL ARCO
SOLDADURA POR RESISTENCIA
SOLDADURA PLASMA
CORTE POR PLASMA
CONTROLES ELECTRÓNICOS
UNIDADES DE REFRIGERACIÓN**

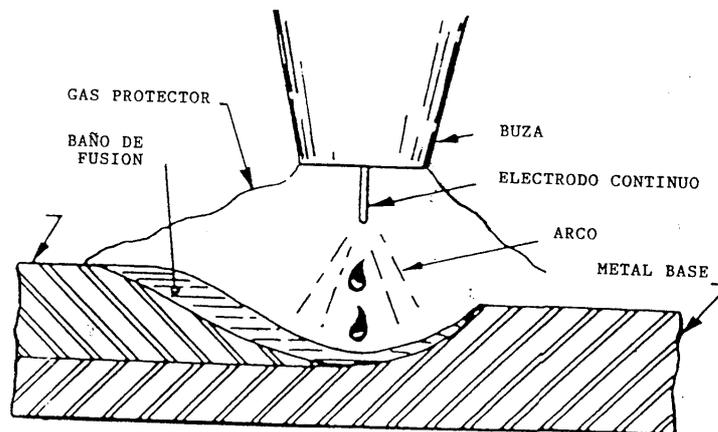
Índice

1. Principios del proceso	3
1.1. Descripción del proceso de soldadura MIG/MAG	3
1.2. Influencia de los distintos parámetros	3
1.3. Transferencia del metal	4
1.3.1. Transferencia por cortocircuito	4
1.3.2. Transferencia globular	5
1.3.3. Transferencia por arco pulsado	5
2. Productos de aporte	6
2.1. Hilos o alambres de soldadura	6
2.2. Gases de protección	6
2.2.1 Soldadura MIG	6
2.2.2. Soldadura MAG	7
2.2.3. Selección del gas de protección	8
3. Constitución de un equipo de soldadura	8
3.1. Transformador	8
3.2. Rectificador	9
3.3. Inductancia	9
3.4. Unidad alimentada de hilo	10
3.5. Circuito de gas protector	10
3.6. Antorcha de soldadura	10
3.7. Control electrónico	11
3.8. Circuito de refrigeración (eventualmente)	11
3.9. Factor de marcha	11
4. Curvas características	12
4.1. Característica estática	12
4.2. Característica dinámica	13
4.3. Autorregulación.	13
5. Efectos de la regulación de parámetros	14
5.1. Variación de la tensión	15
5.2. Variación de la velocidad de avance de hilo	15
6. Secuencia en un equipo de soldadura	16
6.1. Secuencia 2t	16
6.2. Secuencia 4t	17
7. Método operatorio de la soldadura MIG/MAG	17
7.1. Método operatorio	18
7.2. Consejos prácticos de soldadura	18

1. PRINCIPIOS DEL PROCESO.

1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE SOLDADURA MIG/MAG.

La soldadura por arco bajo gas protector con electrodo consumible es un proceso en el que el arco se establece entre un electrodo de hilo continuo y la pieza a soldar, estando protegido de la atmósfera circundante por un gas inerte (proceso MIG) o por un gas activo (proceso MAG). En la siguiente figura se indican los elementos más importantes que intervienen en el proceso:



El proceso puede ser:

- **SEMIAUTOMÁTICO:** La tensión de arco, la velocidad de alimentación del hilo, la intensidad de soldadura y el caudal de gas se regulan previamente. El avance de la antorcha de soldadura se realiza manualmente.
- **AUTOMÁTICO:** Todos los parámetros, incluso la velocidad de soldadura, se regulan previamente, y su aplicación en el proceso es de forma automática.
- **ROBOTIZADO:** Todos los parámetros de soldeo, así como las coordenadas de localización de la junta a soldar, se programan mediante una unidad específica para este fin. La soldadura la efectúa un robot al ejecutar esta programación.

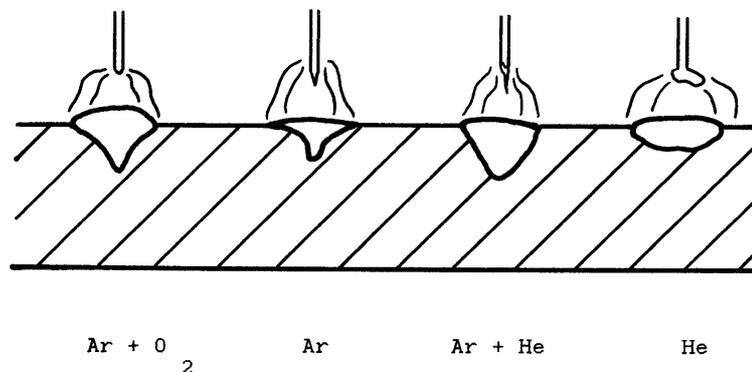
Este tipo de soldadura se utiliza principalmente para soldar aceros de bajo y medio contenido de carbono, así como para soldar acero inoxidable, aluminio y otros metales no férricos y tratamientos de recargue.

Produce soldaduras de gran calidad en artículos para la industria del automóvil, calderería y recipientes a presión o estructura metálica en general, construcción de buques y un gran número de otras aplicaciones, día a día en aumento.

1.2. INFLUENCIA DE LOS DISTINTOS PARÁMETROS.

El comportamiento del arco, la forma de transferencia del metal a través de éste, la penetración, la forma del cordón,... están condicionados por la conjunción de una serie de parámetros entre los que destacan:

- POLARIDAD: afecta a la forma de transferencia, penetración, velocidad de fusión del hilo,... Normalmente se trabaja con polaridad inversa o positiva, es decir, la pieza al negativo y el alambre de soldadura al positivo. En este punto, es interesante comentar el hecho de que ya que los electrones viajan del polo negativo al positivo, es este último el que se calienta más, - concretamente el polo positivo se calienta un 65% más que el negativo. Esta condición podría ser particularmente útil para aquellos trabajos donde se requiera un mayor aporte térmico en la pieza que en el hilo de soldadura, lo que se conseguiría empleando la polaridad directa o negativa.
- Del mismo modo, y debido a la circulación de electrones del polo negativo al positivo, se origina una propiedad especialmente importante: el arco muestra afinidad por dispersar las películas de óxido y otros materiales refractarios en el polo negativo. Así, pues, en todos aquellos casos de soldadura de metales que forman óxidos refractarios, se hace imprescindible la conexión de la polaridad inversa o positiva (negativo en la pieza), con la finalidad de aprovechar precisamente la acción limpiadora del arco
- TENSIÓN DE ARCO: este parámetro resulta determinante en la forma de transferencia del metal a la pieza, tal y como se verá en el siguiente apartado.
- VELOCIDAD DE ALIMENTACIÓN DE HILO: en esta técnica no se regula previamente la intensidad de soldadura, sino que es el ajuste de la velocidad de alimentación del hilo el que provoca la variación de la intensidad gracias al fenómeno de la autorregulación.
- NATURALEZA DEL GAS: presenta una notable influencia sobre la forma de transferencia del metal, penetración, aspecto del cordón, proyecciones,... En la siguiente figura se muestran las formas de los cordones y las penetraciones típicas de este proceso, en función del tipo de gas:



1.3. TRANSFERENCIA DEL METAL.

Existen distintas formas de transferencia del metal en el arco, dependientes todas ellas de los valores de los parámetros de tensión e intensidad. Se detallan en apartados siguientes.

1.3.1. TRANSFERENCIA POR CORTOCIRCUITO.

En esta forma de transferencia, el hilo se funde formando una gota que se va alargando hasta el momento en que toca el metal de base, y a causa de la tensión superficial se corta la unión con el hilo. En el momento de establecer contacto con el metal de base se produce un cortocircuito, aumenta en gran medida la intensidad y como consecuencia, las fuerzas axiales rompen el cuello de la gota y simultáneamente se reanuda el arco.

Para que un arco se comporte de esta forma, deben cumplirse una serie de condiciones:

- Utilización de polaridad inversa o positiva.
- Tensión y densidad de corriente bajas.
- Gas de protección CO₂ o mezclas de Ar/CO₂ .

Con este tipo de arco se sueldan piezas de reducidos espesores, porque la energía aportada es pequeña en relación con otro tipo de transferencias. Es ideal para soldaduras en vertical, en cornisa y bajo techo, porque el baño de fusión es reducido y fácil de controlar.

1.3.2. TRANSFERENCIA GLOBULAR.

Cuando se opera con este tipo de arco, el hilo se va fundiendo por su extremo a través de gotas gruesas de un diámetro hasta tres veces mayor que el del electrodo. Al mismo tiempo, se observa como las gotas a punto de desprenderse van oscilando de un lado hacia otro. Como puede deducirse, la transferencia del metal es dificultosa, y, por tanto, el arco inestable, de poca penetración, y se producen numerosas proyecciones.

Se trata de un método que no se utiliza en la práctica, pero que puede aparecer cuando se efectúa el reglaje de un equipo de soldadura.

El arco suele comportarse de esta forma cuando hay valores grandes de tensión y bajos de intensidad, o también cuando se utiliza polaridad directa o negativa.

1.3.3. TRANSFERENCIA POR PULVERIZACIÓN AXIAL.

En este caso la transferencia se realiza en forma de gotas muy finas que se depositan sobre el metal base de forma ininterrumpida, similar a una pulverización por spray, de ahí que se conozca también este método por Arco spray. Se caracteriza por un cono de proyección muy luminoso y por un zumbido característico.

Para que un arco se comporte de esta manera, es necesario que:

- Se utilice polaridad inversa o positiva.
- El gas de protección sea Ar o mezcla de Ar con algo de O₂ o de Ar con CO₂ .
- Exista una tensión de arco relativamente elevada y una densidad de corriente también elevada.

El efecto de la utilización de la polaridad positiva se traduce en una enérgica acción limpiadora sobre el baño de fusión, que resulta particularmente útil en la soldadura de metales que producen óxidos pesados y difíciles de reducir, como el Aluminio o el Magnesio.

La penetración que se consigue es buena, por lo que se recomienda para soldar piezas de grueso espesor. Como inconveniente, cabe destacar que el baño de fusión resulta relativamente grande y fluido, por lo que no se controla con facilidad en posiciones difíciles.

1.3.4. TRANSFERENCIA POR ARCO PULSADO.

En este tipo de transferencia, se combina la superposición de dos corrientes, una ininterrumpida y de débil intensidad (llamada de base) cuyo objetivo es proporcionar al hilo la energía calorífica para mantener el arco encendido y otra constituida por una sucesión de pulsaciones a una determinada frecuencia. Cada pulsación eleva la intensidad a un valor suficiente que hace fundir una gota del mismo diámetro que el diámetro del hilo que se está utilizando. Esta gota se desprende antes de que el extremo del hilo llegue a hacer contacto con el metal base, como consecuencia de las fuerzas internas que actúan. De esta manera se elimina en su totalidad las proyecciones, tan características de otros tipos de transferencia.

Además, se consigue una gran penetración debido a la elevada intensidad durante la pulsación, y sin embargo, la energía media empleada es inferior que utilizando MIG/MAG convencional, lo que repercute en una menor deformación de la pieza.

2. PRODUCTOS DE APORTE.

2.1. HILOS O ALAMBRES DE SOLDADURA.

En la soldadura MIG/MAG, el electrodo consiste en un hilo macizo o tubular continuo de diámetro que oscila entre 0,8 y 1,6 mm. Los diámetros comerciales son 0,8; 1,0; 1,2; y 1,6 mm, aunque no es extraño encontrarse en grandes empresas con el empleo de diámetros diferentes a estos, y que han sido hechos fabricar a requerimiento expreso. En ciertos casos de soldeo con fuerte intensidad, se emplea hilo de 2,4 mm de diámetro.

Debido a la potencia relativamente elevada empleada en la soldadura bajo gas protector, la penetración del material en el metal de base es también alta. La penetración está pues, en relación directa con el espesor del material de base y con el diámetro del hilo utilizado. El efecto de la elección de un diámetro de hilo muy grande, es decir, que exija para su fusión una potencia también elevada, producirá una penetración excesivamente grande, y por esta causa se puede llegar a atravesar o perforar la pieza a soldar. Por contra, un hilo de diámetro demasiado pequeño, que no admite más que una potencia limitada, dará una penetración poco profunda, y en muchos casos una resistencia mecánica insuficiente.

Se presenta arrollado por capas en bobinas de diversos tamaños. El hilo suele estar recubierto de cobre para favorecer el contacto eléctrico con la boquilla, disminuir rozamientos y protegerlo de la oxidación.

En general, la composición del hilo macizo suele ser similar a la del material base; no obstante, para su elección, debe tenerse en cuenta la naturaleza del gas protector, por lo que se debe seleccionar la pareja hilo-gas a conciencia. Por ejemplo, cuando se suelda con CO₂ existe el riesgo de formación de poros. Con objeto de evitarlos, conviene que el hilo posea una cierta cantidad de elementos desoxidantes, como el Silicio y el Manganeso, que reaccionan con el oxígeno procedente de la disociación del CO₂ y producen óxido de silicio y óxido de manganeso, que se eliminan en forma de escoria muy ligera.

Los hilos tubulares van rellenos normalmente con un polvo metálico o con flux, o incluso con ambos. El relleno con polvo metálico, aparte de que puede aportar algún elemento de aleación, mejora el rendimiento gravimétrico del hilo.

2.2. GASES DE PROTECCIÓN.

En la soldadura MIG (Metal Inert Gas), el gas que actúa como protección es inerte, es decir, que no actúa de manera activa en el propio proceso, y por tanto, muy estable. En contrapartida, en la soldadura MAG (Metal Activ Gas), el gas de protección se comporta como un gas inerte a efectos de contaminación de la soldadura, pero, sin embargo, interviene termodinámicamente en ella. En efecto, en las zonas de alta temperatura del arco, el gas se descompone absorbiendo calor, y se recompone inmediatamente en la base del arco devolviendo esta energía en forma de calor.

2.2.1. SOLDADURA MIG.

De los seis gases inertes existentes (argón, helio, neón, criptón, xenón y radón) el argón es el más empleado en Europa, mientras que es el Helio el que se utiliza en Estados Unidos.

El argón se ioniza fácilmente, de manera que la tensión del arco bajo argón es sensiblemente inferior que bajo helio.

El argón puro solo se utiliza en la soldadura del aluminio, el cobre, el níquel o el titanio. Si se aplica al acero, se producen mordeduras y cordones de contorno irregular.

La soldadura con gas helio produce cordones más anchos y con una penetración menor que cuando se suelda con argón.

Existe otro tipo de mezcla de argón con cantidades inferiores al 5% de oxígeno que no modifica el carácter de inerte de la mezcla y que mejora la capacidad de "mojado", es decir, la penetración, ensanchando la parte inferior del cordón, y todo esto debido a que el oxígeno actúa sobre la tensión superficial de la gota.

2.2.2. SOLDADURA MAG.

Tal y como se ha comentado anteriormente, el gas protector empleado en soldadura MAG es un gas activo, o sea, que interviene en el arco de forma más o menos decisiva. A continuación se detallan algunos de los gases más comúnmente empleados:

- CO₂

Es un gas incoloro, inodoro y de sabor picante, una vez y media más pesado que el aire. Se obtiene industrialmente por la combustión del carbón o compuestos del carbono, en exceso de oxígeno o de aire.

Se trata de un gas de carácter oxidante que a elevada temperatura del arco tiende a disociarse de acuerdo con la siguiente reacción:

- EN EL ARCO:



Y, en la recomposición:

- EN LA BASE:



El oxígeno resultante de la disociación es particularmente activo. Se combina con el carbono del acero para dar de nuevo CO, con lo que se produce un empobrecimiento en carbono si no se utiliza un hilo con suficiente contenido de elementos desoxidantes como el silicio y el manganeso y la cantidad adecuada de carbono. Si la densidad de corriente es elevada, provoca una mayor disociación del oxígeno convirtiéndole en más activo todavía.

El carácter oxidante de la atmósfera de dióxido de carbono obliga a utilizar hilos de aporte ricos en elementos desoxidantes. No se debe utilizar en la soldadura de aceros al Cr-Mo por el riesgo de oxidación del cromo tanto del metal de base como del aportado en el hilo, ni en la de los aceros inoxidable austeníticos, pues favorecerla la formación de carburos de cromo con la consiguiente pérdida de resistencia a la corrosión.

Con cantidades de dióxido de carbono inferiores al 99,0% es inevitable la porosidad. Las soldaduras solo estarán exentas de poros si la pureza del dióxido de carbono es superior al 99,85% y el nitrógeno y el hidrógeno son inferiores cada uno a 0,05%.

Es un gas mucho más barato que el argón, capaz de conseguir penetraciones mucho más profundas y anchas en el fondo del cordón, lo que mejora su contorno. Además reduce el riesgo de mordeduras y faltas de fusión.

Su principal inconveniente estriba en que produce arcos relativamente enérgicos y que, por tanto, provocan un gran número de proyecciones.

Es el único gas que puede utilizarse individualmente como atmósfera protectora en la soldadura de acero al carbono. Su elevada conductividad térmica en relación con el argón producirá en sus mezclas con éste un incremento en la penetración.

- Ar + CO₂:

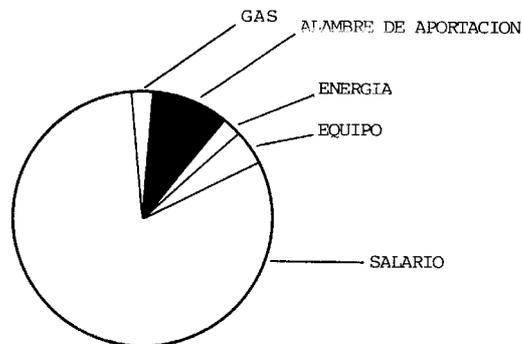
Se suelen utilizar estas mezclas con cantidades de dióxido de carbono que van del 15 al 25%. Con esta mezcla se consigue una mejor visibilidad del baño, un arco más suave, con menor turbulencias, un baño de fusión más frío, un mejor aspecto del cordón, menos proyecciones, y una mayor estabilidad del arco.

El único inconveniente de la mezcla es de tipo económico. Sin embargo, hay que comparar la incidencia del valor del gas en el coste final de la soldadura y por otra parte, la mejora del factor de marcha y la obtención de mejores características mecánicas en la unión soldada.

2.2.3. SELECCIÓN DEL GAS DE PROTECCIÓN.

El usuario puede ensayar diversos tipos de gas y mezclas de gases con diferentes proporciones de cada uno de ellos, hasta conseguir los mejores resultados de acuerdo con los equipos de soldeo e hilos de aporte disponibles.

La estructura de coste de la soldadura terminada es aproximadamente la que se indica en la siguiente figura, por lo que el coste del gas puede llegar a ser irrelevante frente a otros factores, en especial la mano de obra:



3. CONSTITUCIÓN DE UN EQUIPO DE SOLDADURA MIG/MAG.

Se indican a continuación los elementos más importantes que forman parte de un equipo de soldadura MIG/MAG.

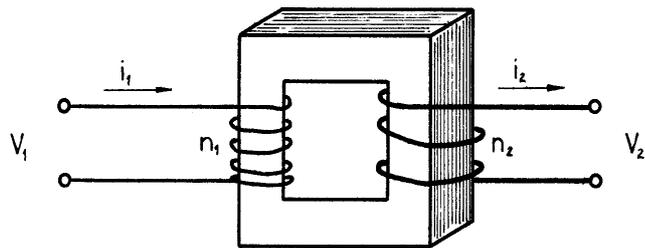
3.1. TRANSFORMADOR.

El transformador es el elemento encargado de reducir la tensión alterna proveniente de red en otra que la haga apta para la soldadura, siguiendo una serie de condiciones eléctricas que se detallarán en apartados sucesivos.

Fundamentalmente, un transformador consta de un núcleo formado por chapas magnéticas apiladas en cuyas columnas se devanan dos bobinas. La primera de ellas, que va a constituir el circuito primario consta de un número de espiras superior a la segunda, y, además, de sección inferior a ésta. La segunda, por consiguiente, que constituye el circuito secundario, tendrá menos espiras y de mayor sección.

En la siguiente figura se muestra la constitución básica de un transformador monofásico. Conviene tener en cuenta que si el transformador es trifásico, son tres los pares de bobinas que se hallarán presentes:

El principio de funcionamiento es el siguiente: cuando circula una corriente alterna por el circuito primario, se forma un flujo magnético que circula por el interior del núcleo formado, recuérdese, por chapas magnéticas, con el objetivo de favorecer precisamente este flujo.



El flujo magnético, a su vez, induce en el circuito secundario una tensión que es proporcional a la tensión aplicada al primario, con un coeficiente de proporcionalidad dado por el cociente entre el número de espiras secundarias y el número de espiras primarias, es decir:

$$V_2 = V_1 \frac{N_2}{N_1}$$

Donde:

- V1 : Tensión aplicada al primario
- V2 : Tensión inducida en el secundario
- N1 : Número de espiras primarias
- N2 : Número de espiras secundarias

Es interesante tener en cuenta que los detalles de construcción de los transformadores pueden influir en gran medida sobre las características de soldadura.

3.2. RECTIFICADOR.

La misión de un rectificador es la de convertir la tensión alterna en continua, imprescindible para poder soldar en proceso MIG/MAG.

Está constituido por un número variable de semiconductores de potencia, concretamente de diodos de silicio, soportados en aletas de aluminio con objeto de aumentar su refrigeración.

3.3. INDUCTANCIA.

La inductancia tiene como objeto el alisamiento de la corriente de soldadura, lo que da como resultado una disminución de las proyecciones, o, lo que es lo mismo, una mayor estabilidad en la soldadura. Dado que la inductancia limita el crecimiento brusco de la intensidad cada vez que se produce un cortocircuito, durante el cebado del arco, y puesto que el hilo está frío, puede darse el caso de que la intensidad no sea suficiente para aportar la energía necesaria para fundir el hilo, lo que repercutiría en un deficiente cebado. Es por ello que si el equipo de soldadura consta de una inductancia de valor inductivo elevado, estará dotado también de algún sistema que elimine este efecto durante el instante inicial.

Fundamentalmente, la inductancia está formada por un núcleo en el que están arrolladas algunas espiras por las que circulará la corriente de soldadura.

3.4. UNIDAD ALIMENTADORA DE HILO.

Su misión consiste en proporcionar al hilo de soldadura la velocidad constante que precisa mediante un motor, generalmente de corriente continua.

La velocidad puede ser regulada por el operario mediante un botón accesible al exterior, desde valores que van de 0 a 25 m/min. En la mayoría de los equipos, la regulación de velocidad se consigue a través de un control electrónico.

El sistema de arrastre está formado por uno o dos rodillos de arrastre que trabajan contra otros rodillos de presión. Los rodillos de arrastre pueden estar moleteados o ranurados. Los moleteados facilitan el arrastre en gran medida, pero presentan el inconveniente de que arrancan al hilo partículas de cobre de su capa exterior, lo que puede provocar defectos de alimentación.

El cuidado y mantenimiento de los rodillos es muy importante, ya que determina la uniformidad de la velocidad de alimentación del hilo, y esta velocidad, controla, a su vez, la corriente de soldadura.

El rodillo de presión debe estar ajustado correctamente, ya que una presión excesiva podría producir deformaciones en el hilo, con las consiguientes dificultades en su alimentación y deslizamiento a través del tubo de contacto.

Una presión insuficiente originaría deslizamiento de los rodillos, lo que provocaría irregularidades en la velocidad de alimentación y, por tanto, fluctuaciones de corriente.

3.5. CIRCUITO DE GAS PROTECTOR.

El gas protector circula desde la bombona a la zona de soldadura a través de un conducto de gas y la propia antorcha de soldadura. A la salida de la botella debe incorporarse un manorreductor-caudalímetro que permita la regulación de gas para suministrar en todo momento el caudal adecuado a las condiciones de soldadura y a la vez, proporcionar una lectura directa de la presión del gas en la botella y del caudal que se está utilizando en la soldadura.

Una electroválvula accionada por un control electrónico, abre o cierra el paso del gas en el momento adecuado.

Según las condiciones de trabajo o exposición del mismo a corrientes de aire, deberá regularse la soldadura con un mayor o menor caudal de gas. Igualmente, debe tenerse en cuenta que cuanto mayor es la distancia entre buza y metal base, mayor deberá ser el caudal para garantizar la protección suficiente.

Cuando se utilicen gases con mezcla de argón, debe evitarse los caudales de gas elevados, puesto que de otra forma se corre el peligro de porosidad provocado por turbulencias en el propio gas. Como norma general debe utilizarse un caudal en litros minuto igual a diez veces el diámetro del hilo.

3.6. ANTORCHA DE SOLDADURA.

La antorcha de soldadura, y el conjunto de cables que a ella van unidos, conducen el hilo, la corriente de soldadura y el gas de protección a la zona del arco.

Para corrientes elevadas, generalmente superiores a 300 A, se utilizan antorchas refrigeradas por agua, y, por tanto, deben ir conectadas además a un sistema de refrigeración adicional.

Todo este conjunto de conductos forma la manguera de la antorcha, y va protegida por un tubo de goma. La pistola de la antorcha va provista de un pulsador para el mando a distancia del equipo.

En la punta de la pistola van acopladas una buza exterior que canaliza el gas a la zona de soldadura y una boquilla interior, denominada tubo de contacto, que proporciona el necesario contacto eléctrico a la punta del alambre para realizar el arco de soldadura.

El soldador guía el arco y controla la soldadura desde la empuñadura de la pistola. La distancia entre la punta final del tubo de contacto y el extremo del hilo es controlada por el operario ya que depende de la mayor o menor altura con que lleva la pistola, pero la longitud del arco propiamente dicha se controla automáticamente mediante la tensión a que está regulada la máquina y la velocidad del hilo.

3.7. CONTROL ELECTRÓNICO.

Cada vez son más los equipos que incorporan la tecnología de estado sólido para el control de velocidad y la secuencia de la máquina. Presentan la gran ventaja de garantizar una vida útil del equipo prácticamente ilimitada, en comparación con los elementos electromecánicos que por su constitución sufren de un gran desgaste.

3.8. CIRCUITO DE REFRIGERACION (OPCIONAL).

El circuito de refrigeración (cuando el equipo dispone de él), tiene como misión refrigerar la antorcha de soldadura.

Suele estar formado por un circuito cerrado de agua, parte del cual es la propia antorcha de soldadura. El agua es impulsada hasta la pistola por una electrobomba. A través del otro conducto de la antorcha el agua retorna a un radiador cuyo objeto es disipar la energía calorífica que el agua ha absorbido durante el recorrido por la antorcha. A la salida del radiador, el agua se almacena en un depósito, del cual se nutre la electrobomba.

3.9. FACTOR DE MARCHA.

Todo equipo está diseñado para suministrar una intensidad nominal de soldadura de forma continua. En el ensayo de calentamiento, la temperatura que alcanzan los distintos componentes del equipo debe estabilizarse al cabo de un tiempo de funcionamiento a la intensidad nominal, puesto que de lo contrario, los aislamientos o los semiconductores pueden presentar deterioros irreversibles.

Sin embargo, en soldadura, a excepción de instalaciones robotizadas, no es posible trabajar de forma continuada, ya que existen tiempos de preparación, cambios de hilo, y de botellas de gas, descanso del operario,... Es por ello, que cuando se habla de equipos de soldadura, es preciso especificar lo que se denomina factor de marcha.

Se llama FACTOR DE MARCHA al cociente entre el tiempo de soldadura y el tiempo total de duración del trabajo. En los tiempos de parada del equipo, tiene lugar su enfriamiento, lo que permite que la temperatura se estabilice dentro de una pequeña gama de valores, siempre inferior a la temperatura límite en el interior del equipo.

La expresión que determina la intensidad I' a un determinado factor de marcha FM' en función de otra intensidad I a un factor de marcha FM conocidos, se indica a continuación:

$$I_{FM'} = I_{FM} \cdot \sqrt{\frac{FM}{FM'}}$$

EJEMPLO:

Calcular las intensidades al 45% y al 100% de un equipo en cuya placa de características lleva especificada la notación: 500 A al 60%.

a) Intensidad al 100%:

$$I_{100\%} = I_{60\%} \cdot \sqrt{\frac{60}{100}} \quad \rightarrow \quad I_{100\%} = 387 \text{ A}$$

b) Intensidad al 45%

b.1.) En función de la notación de la placa de características:

$$I_{45\%} = I_{60\%} \cdot \sqrt{\frac{60}{45}} \quad \rightarrow \quad I_{45\%} = 577 \text{ A}$$

b.2.) En función de la intensidad al 100% calculada en a):

$$I_{45\%} = I_{100\%} \cdot \sqrt{\frac{100}{45}} \quad \rightarrow \quad I_{45\%} = 577 \text{ A}$$

Puede comprobarse que, efectivamente son iguales.

NOTA: Deberá tenerse en cuenta que todos los equipos a partir de un cierto límite, no serán capaces de proporcionar más intensidad de la que se le solicite.

4.- CURVAS CARACTERÍSTICAS.

A la hora de estudiar un equipo de soldadura, resulta de gran ayuda la definición sus dos curvas características: estática y dinámica.

4.1. CARACTERÍSTICA ESTÁTICA.

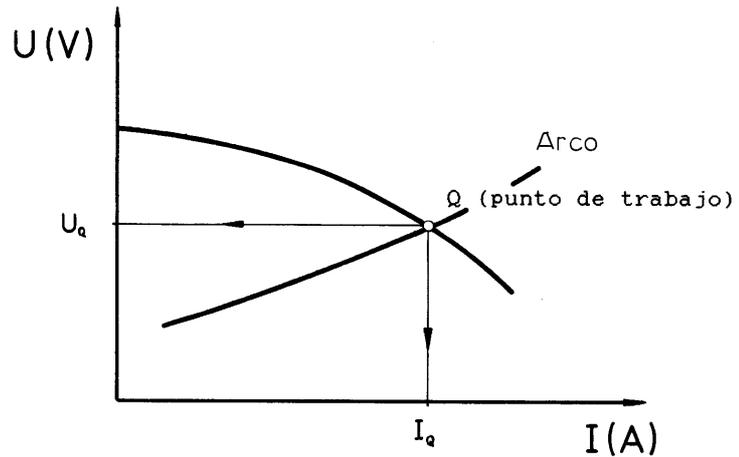
En la característica estática se representa gráficamente la evolución de la tensión en función de la intensidad.

En la soldadura MIG/MAG, la característica debe ser lo más horizontal posible, es decir, que presente muy poca caída de tensión a medida que crece la intensidad de soldadura.

Si en el mismo gráfico se superpone la característica de arco correspondiente a una determinada longitud de arco, la intersección de esta curva con la característica estática proporciona el punto de trabajo Q, determinante de los valores de tensión e intensidad en un momento concreto:

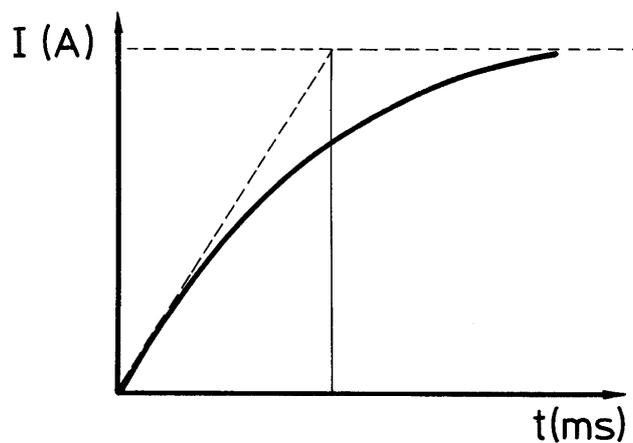
4.2 CARACTERÍSTICA DINÁMICA.

La característica dinámica es la relación entre los valores instantáneos de la tensión y de la intensidad cuando se produce una situación transitoria o de desequilibrio del arco, como puede suceder en el cebado inicial o bien en el cortocircuito que se



Gráficamente se representa mediante la variación de la intensidad en función del tiempo en el momento de producirse el desequilibrio:

Puesto que el circuito formado por el equipo y el arco de soldadura es de tipo inductivo-resistivo, la intensidad instantánea viene determinada por la expresión:



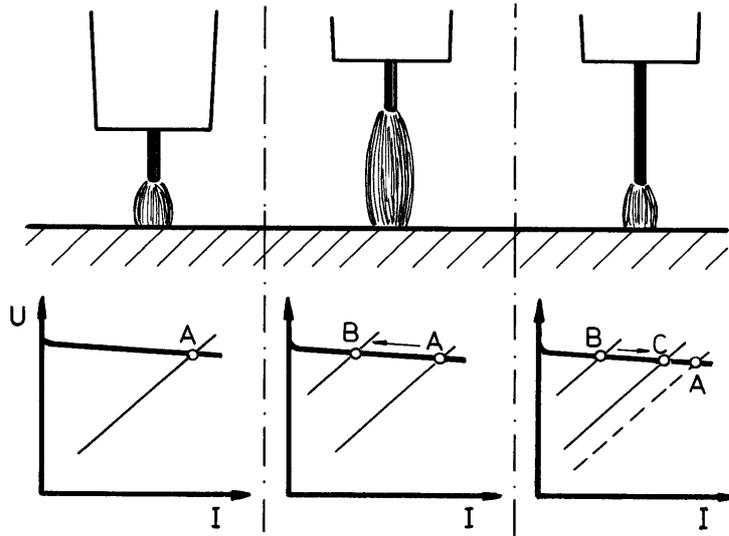
$$i = I \cdot (1 - e^{-t/T})$$

Donde $T = L/R$, es la constante de tiempo del circuito, que depende principalmente del equipo y determina la velocidad de aumento de la corriente al producirse el desequilibrio.

4.3. AUTORREGULACIÓN.

En el proceso de soldadura concurren varios factores, algunos de ellos que son fijos una vez predeterminados en la máquina tales como la tensión en vacío y la velocidad de avance de hilo, y otros que dependen exclusivamente del soldador, como puede ser la distancia entre la pistola y el metal base (distancia libre de hilo). Si la máquina no tuviera en sus propias características de un sistema que compensara las variaciones que el operario introduce en este último factor, resultaría imposible la operación de soldadura. Esta característica es la autorregulación.

Para estudiar el fenómeno, supóngase un equipo de soldadura que está soldando con unos determinados parámetros de tensión e intensidad definidos por un punto de trabajo A. Si en cualquier momento del trabajo el soldador retira ligeramente la pistola de la pieza, es decir, aumenta momentáneamente la distancia del hilo, se produce de forma inmediata un alargamiento del arco de soldadura. Esto se traduce en un aumento de tensión y una disminución de la intensidad. De esta forma, se habrá pasado a trabajar a un punto de trabajo B, definido por estos nuevos valores de tensión e intensidad, tal y como se muestra en el gráfico siguiente:



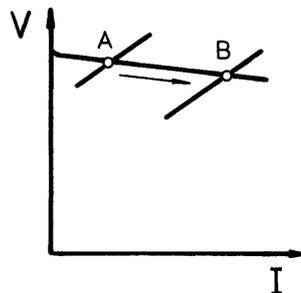
Sin embargo, dado que la velocidad de avance de hilo permanece igual, la disminución de intensidad producirá una falta de fusión del hilo, lo que provocará que el arco se vaya acortando y que el punto de trabajo se empiece a desplazar de B en sentido hacia A hasta que se llegue a restablecer el equilibrio entre la energía necesaria para fundir el hilo y la energía que proporciona el equipo.

Este nuevo equilibrio no se producirá en el punto A del inicio, sino en un nuevo punto C, situado entre B y A. Al estar ahora la pistola más alejada de la pieza, hay una mayor cantidad de hilo por el que pasa la corriente y, por tanto, esta misma corriente proporcionará un calentamiento supletorio de este hilo que hará posible su fusión con menos intensidad de la que se necesitaba en el punto A inicial.

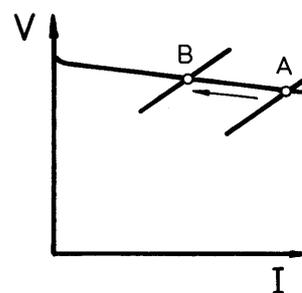
Se observa, pues, que el proceso de autorregulación permite al operario trabajar de forma descansada y que el resultado de la soldadura es independiente de pequeñas variaciones de la altura de la pistola, pero no (claro está) de cambios notables.

5. EFECTOS DE LA REGULACIÓN DE PARÁMETROS.

De todos los parámetros que intervienen en la soldadura con hilo continuo bajo atmósfera de gas protector, solo dos son normalmente regulables en un equipo: la tensión y la velocidad de hilo.



Aumento velocidad de hilo



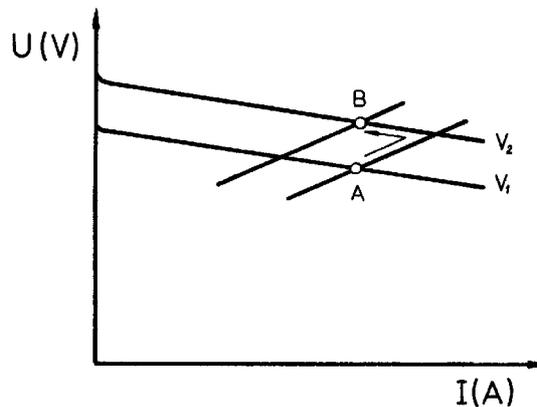
Dismunición velocidad de hilo

5.1. VARIACIÓN DE LA TENSIÓN.

Supóngase que se está operando en un punto de trabajo A estable, con unos parámetros determinados de tensión e intensidad. Si, en estas condiciones, se aumenta la tensión de salida del equipo mediante el control externo correspondiente, el arco tenderá a desplazarse momentáneamente a lo largo de la curva característica del arco, hasta encontrar un nuevo punto de trabajo que será resultado de la intersección de ésta con la nueva curva característica estática.

Este nuevo punto se caracterizará por una mayor tensión y, a la vez, una mayor corriente de soldadura, es decir, por una mayor energía total aportada por la máquina.

Como la velocidad de hilo ha permanecido invariable, faltaría suministro de material para absorber esta mayor energía aportada, con lo que, automáticamente, el arco se irá alargando, y, por tanto, el punto de trabajo desplazando dentro de la nueva característica estática, por efecto de estar trabajando con otra nueva característica de arco. Será el punto de trabajo B.



Respecto al punto A, este nuevo punto B se caracterizará siempre por una superior tensión de soldadura, pero no siempre una superior intensidad. Con ello se demuestra que no es una variación de tensión la que provoca un cambio de intensidad. En efecto, para que haya cambios sustanciales en la corriente de soldadura, debe actuarse sobre el control de velocidad de hilo.

5.2. VARIACIÓN DE LA VELOCIDAD DE AVANCE DE HILO.

Una vez más, supóngase que se está trabajando en un punto de equilibrio A, con unos determinados parámetros de tensión e intensidad.

Si, en estas condiciones, se aumenta la velocidad de salida de hilo, se acorta la longitud de arco, y, por tanto, disminuye el valor de la tensión. El punto de trabajo pasa a ser B, tal y como se muestra en el siguiente gráfico, con un gran aumento de la intensidad:

En este momento, se restablecerá de forma automática el equilibrio entre la mayor energía que aporta la máquina y la mayor cantidad de material que ahora debe fundirse.

Del mismo modo, una disminución de la velocidad de hilo provoca un nuevo estado de las características de soldadura, que puede resumirse como de considerable disminución de la corriente de soldadura y un ligero aumento de la tensión de arco.

Puede observarse, pues, que dentro de los límites que permite la autorregulación, para cada tensión en vacío del equipo, el verdadero factor responsable de la intensidad de soldadura no es la regulación de la tensión del equipo, sino de la velocidad de avance de hilo.

6. SECUENCIA DE UN EQUIPO DE SOLDADURA.

La secuencia de un equipo de soldadura MIG/MAG es controlada por un circuito electrónico que activa secuencialmente los elementos de la máquina: corriente de soldadura, salida de gas, velocidad de hilo,...

En todo diagrama de secuencia se pueden distinguir los siguientes tiempos:

a) TIEMPO DE PRE-GAS: es el tiempo que transcurre desde que se da la orden de inicio de soldadura y comienza propiamente ésta. Durante estos instantes, fluye gas hacia la zona a soldar, con el fin de crear la atmósfera protectora necesaria para el inicio del arco.

d) AVANCE LENTO DE HILO: Un control de avance lento de hilo (slope) es incorporado en algunos equipos con el objeto de mejorar el cebado del arco. En efecto, cuando el hilo se encuentra frío, necesita una energía superior en relación con el volumen aportado para que éste pueda fundirse. En este caso, se mejora el cebado aportando un volumen inferior, de manera que la relación energía/volumen sea la óptima.

b) TIEMPO DE RETARDO DE CORRIENTE: es el tiempo que existe entre que se da la orden de desactivación de soldadura y el final real de ésta. Se trata de un tiempo absolutamente necesario para que el hilo no quede enganchado al metal base. Se le conoce también con el nombre de Burn-back.

c) TIEMPO DE POST-GAS: A veces, es preciso proteger el final de soldadura mediante gas, con objeto de evitar porosidades. De esta manera, el post-gas asegura una protección total desde la extinción del arco hasta que la parte final del cordón ha descendido de temperatura considerablemente.

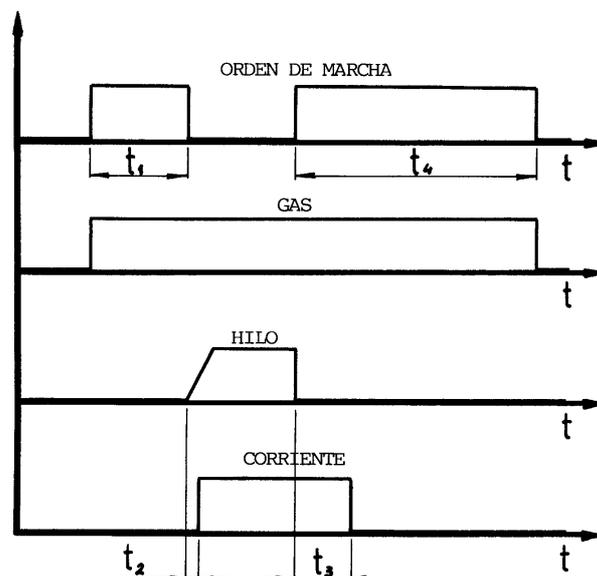
NOTA: No todos los equipos disponen de estos ajustes; además, muchos de ellos, aunque se hallen en su interior, no son ajustables por el usuario, sino que vienen pre-programados por el fabricante.

En equipos algo más sofisticados, se ha ido incorporando últimamente un mando que permite seleccionar al usuario lo que se conoce con el nombre de "DOS TIEMPOS/CUATRO TIEMPOS", es decir, 2t/4t. En los apartados siguientes, se muestra el diagrama de secuencia de cada uno de los modos de secuencia indicados.

6.1. SECUENCIA 2t.

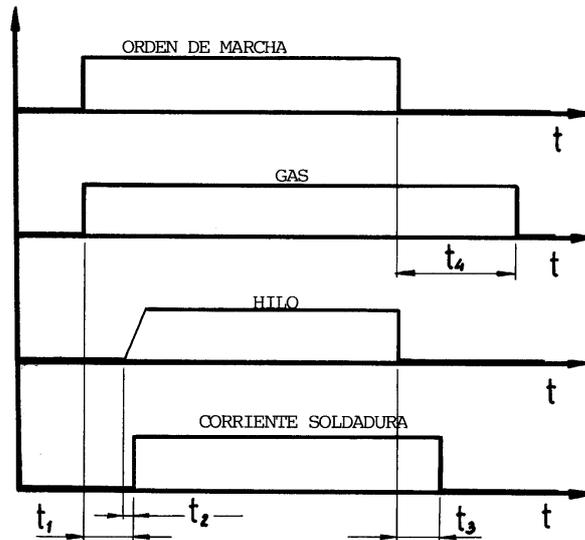
En este modo de secuencia, se da la orden de inicio de soldadura, y el equipo inicia ésta conforme a los tiempos que se han seleccionado o que ya vienen pre-programados en su interior. El diagrama de secuencia es el siguiente:

- t1: Pre-gas
- t2: Tiempo desde que el hilo empieza a avanzar hasta que efectúa contacto al metal base
- t3: Burn-back (Retardo de corriente)
- t4: Post-gas



6.2. SECUENCIA 4t.

En modo de secuencia 4t el soldador controla en todo momento los tiempos de pre-gas y post-gas. El diagrama es el siguiente:



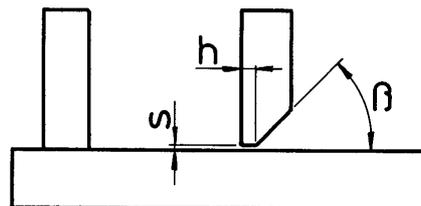
7. MÉTODO OPERATORIO DE LA SOLDADURA MIG/MAG.

El procedimiento de soldadura bajo gas protector, bien en su forma semiautomática bien en su forma automática, aún cuando tenga fundamentos similares al de la soldadura con electrodo revestido, presenta también unas características particulares, especialmente en el método operatorio, y, como consecuencia de ello, también en cuanto a separación y preparación de los bordes a soldar.

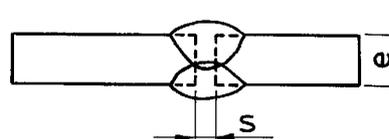
A continuación se muestran los diversos tipos de preparación de los bordes en la soldadura bajo gas protector:

SOLDADURA A TOPE DE BORDES RECTOS

$$\begin{aligned} s &= 2-3 \text{ mm} \\ \beta &= 50^\circ \\ h &= 1,5-3 \text{ mm} \end{aligned}$$

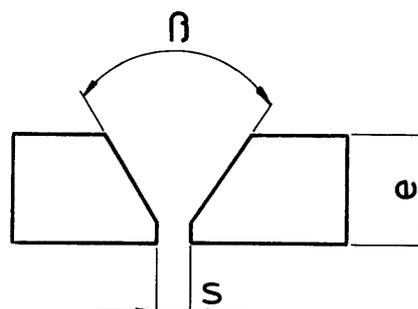


$$\text{Para } e < 10 \text{ mm, } s = \frac{e}{2}$$



SOLDADURA DE CHAFLÁN EN "V"

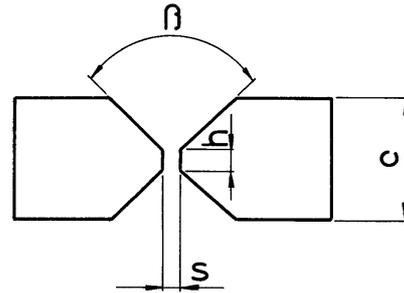
$$\begin{aligned} e &= 5-12 \text{ mm} \\ \beta &= 50-60^\circ \\ s &= 1,5-3 \text{ mm} \\ h &= 1,5-3 \text{ mm} \end{aligned}$$



SOLDADURA DE CHAFLÁN EN "X"

SOLDADURA EN RINCÓN O ÁNGULO

$e > 12 \text{ mm}$
 $\beta = 50-60^\circ$
 $s = 2-3 \text{ mm}$
 $h = 2-3 \text{ mm}$



7.1. MÉTODO OPERATORIO.

La pistola de soldadura debe mantenerse en una posición correcta para que el gas proteja de forma conveniente el baño de fusión. En este procedimiento la ejecución de la soldadura puede realizarse de derecha a izquierda o de izquierda a derecha. En el primer caso se obtiene una gran velocidad de soldadura y poco espesor de cordón, a la vez que un mejor aspecto de la obra ya ejecutada; en el segundo caso, se obtiene una soldadura en general más abultada. Es por este motivo que de forma normal se indica habitualmente que la correcta posición es de derecha a izquierda.

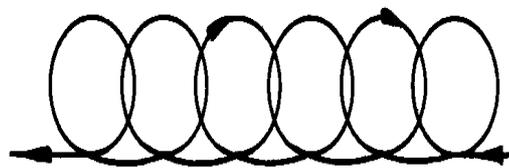
La inclinación de la antorcha respecto a la vertical será aproximadamente de unos 10° , no siendo recomendable su utilización para inclinaciones superiores a los 20° .

La longitud libre de hilo deberá estar comprendida entre 8 y 20 mm. Dentro de este amplio margen de distancia de hilo, deberá tenerse en cuenta el concepto especificado en el apartado de autorregulación. Además, si la longitud libre de hilo es demasiado pequeña, será difícil la observación del baño de fusión y la buza se llenará de proyecciones. Con ello se conseguirá que el gas salga con dificultad, acarreado las típicas consecuencias de formación de porosidades. Si, por el contrario, la longitud libre de hilo es excesiva, se calentará éste en demasía y la protección del gas será deficiente, con lo que la consecuencia final será, una vez más, la formación de porosidades.

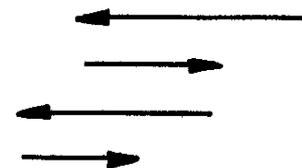
El movimiento de la pistola al ejecutar soldaduras planas, puede ser:

b) MOVIMIENTO LINEAL: es el preferido para realizar cordones de raíz en planchas de poco espesor.

c) MOVIMIENTO CIRCULAR: es el adecuado para evitar penetraciones muy grandes cuando hay grandes separaciones entre los bordes de las chapas y deben realizarse cordones anchos. También es adecuado para realizar cordones de raíz en ángulos de mediano espesor.



d) MOVIMIENTO A IMPULSOS: el movimiento hacia adelante y hacia atrás se utiliza cuando se quiere realizar un cordón fino y, sin embargo, con una gran penetración, cuando existe pequeña separación entre los bordes a soldar; también se emplea en cordones de ángulo en los que no haya que aportar grandes cantidades de material. Este movimiento de avance y retroceso de la pistola de soldadura se realiza en general de manera que el avance sea rápido y el retroceso lento.



- e) **MOVIMIENTO PENDULAR:** *es el adecuado cuando debe realizarse un cordón muy ancho. Se emplea preferentemente para realizar las últimas pasadas en las soldaduras que requieren varias de ellas. También es el más indicado en soldaduras de rincón que necesiten una gran aportación de material.*



7.2. CONSEJOS PRÁCTICOS DE SOLDADURA.

En la soldadura de uniones en rincón se recomienda siempre que sea posible soldar con el ángulo posicionado, con lo que se consigue una mejor uniformidad en la penetración del cordón, un inmejorable aspecto del mismo, y, en general, una disminución de los riesgos de defectos de la soldadura.

La soldadura vertical puede realizarse en ascendente o descendente.

Dada la superior penetración de este sistema de soldadura respecto al del electrodo, se aconseja generalmente soldar en vertical descendente, obteniéndose una suficiente penetración y un aumento en la velocidad de avance de la antorcha, además de un buen aspecto del cordón.

En vertical descendente los movimientos de soldadura pueden ser:

- a) **MOVIMIENTO RECTILÍNEO:** se aplica generalmente en el soldeo de chapas finas y de cordón de raíz en chapas gruesas.
- b) **MOVIMIENTO EN ZIG-ZAG:** apto para soldaduras de chapas medias y gruesas, y para soldaduras en pasadas superiores a la de raíz. El movimiento en zig-zag debe realizarse con rapidez para evitar descolgamientos del material fundido.

En vertical ascendente pueden aplicarse los mismos movimientos que en vertical descendente y, además, en el caso de tener que realizar cordones gruesos de una sola pasada, se aconseja emplear el sistema circular o triangular.

Tanto en vertical ascendente como en descendente, la soldadura pendular debe realizarse reteniendo el movimiento en los extremos de la pasada y de forma rápida en el centro para que el cordón resulte plano y no se produzcan mordeduras.

Para la soldadura en cornisa se utiliza el movimiento lineal en el caso de soldaduras de chapas finas. Si se trata de chapas gruesas, el movimiento lineal, al tenerse que realizar con escasa velocidad de avance, tiende a producir cordones descolgados de material; por tanto, para obtener un cordón más uniforme, se empleará el movimiento circular. Además, la longitud de arco debe ser corta, al igual que en la soldadura vertical.

La soldadura bajo techo por el procedimiento MIG/MAG no presenta dificultades técnicas de ejecución, pero debe huirse de ella siempre que sea posible, puesto que tubo de contacto y buza presentan tendencia a obstruirse debido a que las proyecciones de soldadura se depositan en su interior en mayor grado. El operario debe estar muy pendiente de la limpieza de la buza, o, en caso contrario, aparecerán con gran frecuencia defectos en el cordón por insuficiente aportación de gas protector o deficiente distribución de éste.