

PROCESOS DE SOLDADURA

PROCESO SEMIAUTOMÁTICO DE SOLDADURA CON PROTECCIÓN GASEOSA (GMAW)

INTRODUCCIÓN

Este proceso ha sido desarrollado y comercialmente aplicado a partir del año 1948, aunque el concepto básico ya había sido introducido en el año 1920. Su primera utilización fue en la soldadura de materiales de aluminio, empleando gases de protección inertes, tales como el Argón y el Helio, de allí la designación original de éste proceso con las siglas MIG (Metal Inert Gas). Posteriormente se han introducido variaciones, principalmente el empleo de gases activos como el CO₂, haciendo su uso extensivo a materiales ferríticos.

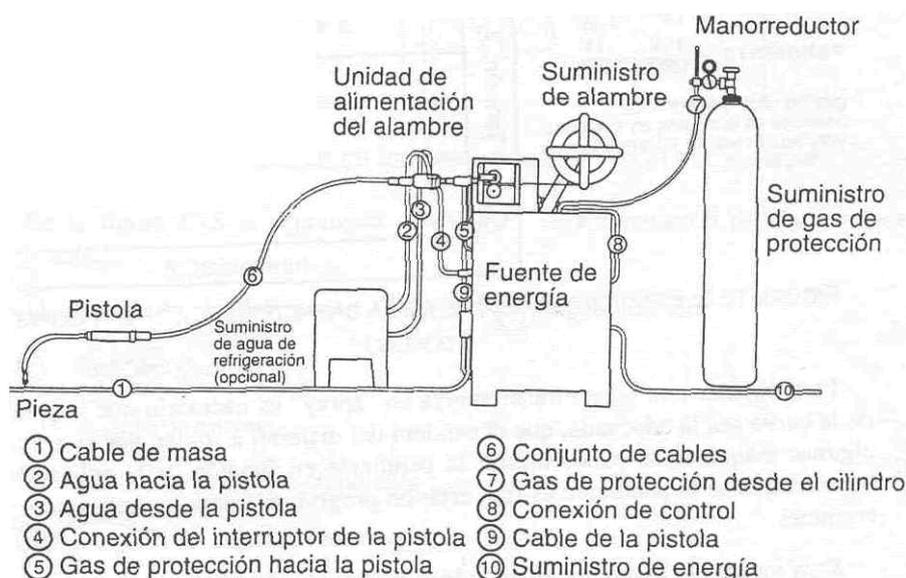
En la actualidad este proceso que también puede ser utilizado en forma automática, se aplica masivamente en la industria automotriz y en soldaduras de grandes producciones ya sean seriadas, o en procesos automatizados robotizados.

La versatilidad de este proceso permite ser aplicado casi a todo tipo de materiales y en algunos casos compite con el sistema convencional con electrodos revestidos en aquellos casos que se debe soldar en todas posiciones brindando un rendimiento sustancialmente mayor al del electrodo revestido.

COMPONENTES DEL EQUIPO

El proceso GMAW (Gas metal arc welding) básicamente está compuesto por:

- Fuente de poder (máquina de soldar)
- Alimentador de alambre (cabezal devanador)
- Torcha (en uno de los extremos esta la pistola)
- Fuente de gas protector (tubos con caudalímetro)



PRINCIPIOS DE OPERACIÓN

El electrodo consumible (alambre) proveniente del rollo que se encuentra montado en el cabezal es conducido a través de la torcha hasta la pistola en la cual se halla un pico donde se establece el contacto eléctrico y a través del cual se transfiere la corriente eléctrica al electrodo (alambre) en el preciso instante en que el alambre toca la pieza o metal base a soldar, se establece el arco eléctrico el cual se mantendrá encendido mientras se mantenga accionado el micro switch que accionó el devanador y originó la alimentación del alambre. El arco así formado, es protegido externamente por un gas que proviene de los tubos y es conducido por un conducto dentro de la torcha hasta salir por la tobera (busa) que posee la pistola en su extremo, rodeando el arco eléctrico como si fuera una copa, evitando de este modo que el O_2 y el N_2 del aire circundante entre en contacto con el metal fundido que atraviesa el arco.

Dado que el equipo autorregula la longitud de arco y la velocidad de deposición (fusión del alambre), el único control requerido por el operador es la posición de la torcha y velocidad de avance del arco eléctrico (soldadura); la longitud del arco y el amperaje ó velocidad de alimentación del alambre son automáticamente mantenidas.

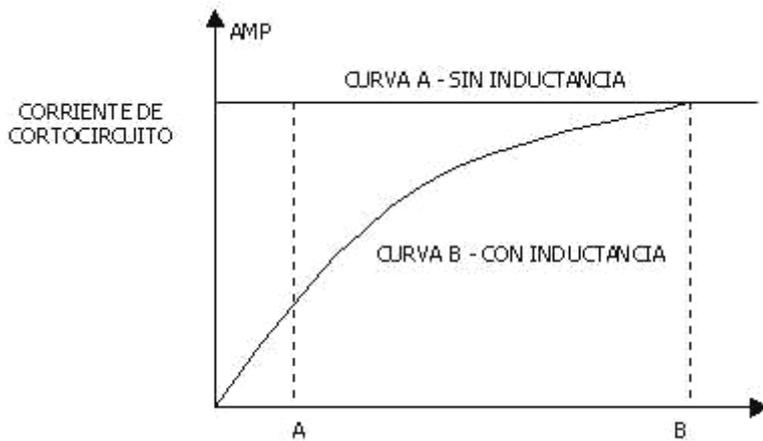
ASPECTOS OPERATIVOS DEL EQUIPO

Este sistema, a diferencia del convencional manual, posee 2 tipos de regulación:

- a) Velocidad de alimentación del alambre.
- b) Tensión de trabajo ó voltaje.

La regulación de la velocidad del alambre (indirectamente varia la corriente de soldadura) se efectúa desde el cabezal devanador, el cual también controla la electroválvula del gas protector.

La regulación de la tensión del arco, se realiza desde la fuente de poder o máquina de soldar, cuya tensión prefijada, se mantendrá constante mientras dure el ciclo de soldadura y por consiguiente, también lo será la longitud del arco eléctrico, independientemente de la velocidad de alimentación del alambre. Existe un tercer aspecto operativo que posee la fuente de poder, que es la INDUCTANCIA, la cual influye o afecta la configuración del cordón depositado, cuando se trabaja en transferencia por corto circuito, el aumento de la misma favorece a suavizar la transferencia de las gotas, o sea, minimizar las proyecciones o salpicaduras del metal. Cuando se opera en el modo de corto circuito, la gota se separa del electrodo por el efecto "Pinch" (es un fenómeno electromagnético de estricción) el cual se produce cuando la corriente alcanza el valor máximo de cortocircuito, como dicho ascenso se produce en forma violenta, el desprendimiento de la gota también es violenta, lo cual causa el chisporroteo antes mencionado. La acción de la inductancia, es precisamente, producir el retardo de dicho ascenso de la corriente, o sea, prolongar la duración del efecto de desprendimiento y con ello las proyecciones. La fig. muestra el efecto de la inductancia sobre la corriente.



En el punto (A) de la fig. , se tiene inductancia mínima y con efecto pinch máximo, este efecto conduce a que se obtenga

- mayor chisporroteo o salpicaduras
- cordón más convexo
- arco más frío
- mayor cantidad de corto circuitos por segundo
- Baño menos fluido

Todo lo contrario ocurre cuando se tiene el punto (B) de la fig. donde la inductancia es máxima y el efecto pinch es mínimo

FUENTES DE PODER

La fuente de poder es la encargada de suministrar la energía eléctrica necesaria para establecer el arco eléctrico.

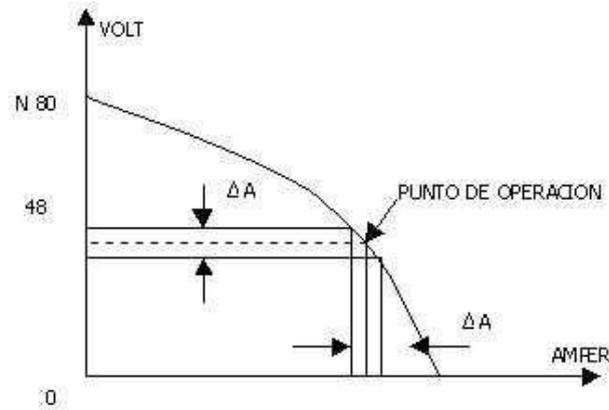
En la mayoría de las aplicaciones de éste proceso se emplea fuentes de corriente continua y polaridad inversa (positiva), por consiguiente el polo positivo va conectado a la torcha y el negativo a la pieza

Cuando se trabaja dentro de un taller o fábrica se emplean preferentemente fuentes estáticas (rectificadores), en cambio, si no se dispone de fuente de energía eléctrica, se emplean equipos rotativos generadores de corriente eléctrica, como ser, motosoldadoras

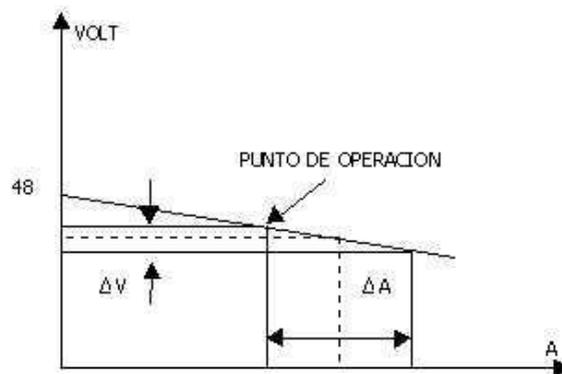
Dentro de las fuentes de poder, se distinguen 2 tipos que las caracterizan:

- Fuentes de corriente constante
- Fuentes de tensión constante

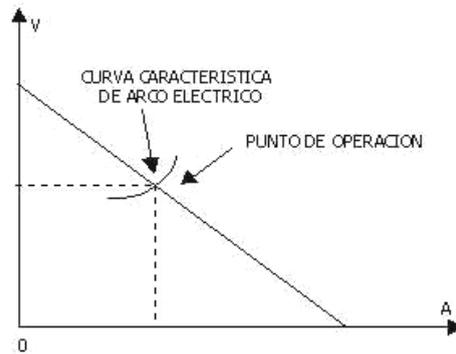
La fuente de corriente constante tiene la siguiente curva característica



En la curva de la fig. podemos observar que para grandes variaciones de la tensión del arco, prácticamente es despreciable la variación de la corriente eléctrica que atraviesa el arco. Este tipo de máquina es muy ventajosa para soldar en forma manual con electrodos revestidos, por cuanto las variaciones de la longitud del arco y por consiguiente la tensión, producida por la inestabilidad del pulso de la mano del soldador no afecta al cordón depositado, por cuanto éste es función del amperaje, y ya hemos visto que prácticamente no varía. Una fuente de tensión constante, tiene la siguiente curva característica.



En este caso se observa que para pequeñas variaciones de tensión (ΔV), se obtienen grandes variaciones de corriente (ΔA), este tipo de característica de la fuente, es particularmente ventajosa para ser empleada en procesos semiautomáticos o automáticos donde se tiene autorregulación del arco eléctrico, principalmente por brindar una rápida respuesta ante una alteración. Una fuente de tensión constante, posee varias curvas características con distintas pendientes. Para una transferencia por corto circuito la curva es la que indica la fig.

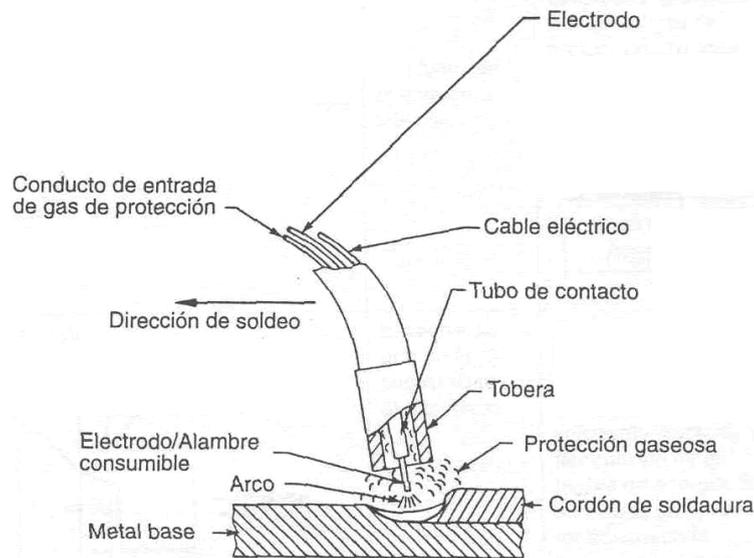


ESQUEMA TIPICO DE UN ARCO ELECTRICO

Los elementos básicos constituyentes de una torcha son:

- 1 - Pico de contacto y guía del alambre (Ver nota)
- 2 - Difusor de gas
- 3 - Conducto del alambre (tripa)
- 4 - Tobera de gas o busa
- 5 - Cable conductor de corriente
- 6 - Microswitch (para encendido motor devanador)
- 7 - Manguera conductora de gas
- 8 - Manguera de agua (si la torcha es refrigerada con agua)

La fig. representa el arco eléctrico de soldadura cuya torcha es enfriada por aire.



Nota: Es muy importante utilizar el pico de contacto adecuado al \varnothing del alambre que se emplea, por cuanto la eficiencia de transmisión de la corriente eléctrica al electrodo (alambre) depende de la superficie de contacto entre ambas partes. Además por ser también guía del alambre es importante el cuidado del desgaste del pico como consecuencia del rozamiento.

GASES UTILIZADOS

La razón de emplear gases para la protección del metal fundido que atraviesa el arco se debe a que la mayoría de los metales exhiben una fuerte tendencia a combinarse con el oxígeno, formando óxidos y en menor proporción con el nitrógeno, formando nitruros. El oxígeno también reacciona con el carbono formando óxido de carbono que es un gas. Estos productos que son el resultado de las reacciones con el O_2 y N_2 dan como resultado soldaduras deficientes o con defectos; tales como porosidades (que favorecen a la disminución de la resistencia por reducción de la sección de soldadura), y fragilización del metal por formación de óxidos y nitruros en el metal depositado.

La principal función (entre otras), del gas es desplazar o evitar que el aire circundante entre en contacto con el metal fundido. Sin embargo, el gas protector también tiene un pronunciado efecto sobre los siguientes aspectos.

- 1.- Característica del arco.
- 2 – Modo de transferencia del Metal
- 3 - Penetración y perfil del cordón de soldadura
- 4 – Velocidad de soldadura
- 5 - Tendencia al socavado
- 6 - Acción de limpieza

Los gases empleados en las soldaduras son:

- Argón (Ar)
- Dióxido de Carbono (CO_2)

Estos gases son utilizados ya sea separadamente (o sea individualmente), mezclados entre sí, o bien, combinados con oxígeno.

Los gases protectores y sus variantes (mezclas) son divididos en metalúrgicamente activo e inactivos o inertes.

Los gases inertes o inactivos son el Ar y He.

Los gases activos son CO_2 y mezclas con Argón.

El Argón es un gas monoatómico (un átomo por molécula) y es insoluble en el metal fundido, tiene una densidad relativa respecto del aire de 1,4; o sea, es un 38 % más pesado que el aire.

El potencial de ionización de éste gas es relativamente bajo, lo que resulta en una tensión de arco menor para una determinada longitud de arco. Por ser más pesado que el aire, resulta más efectiva la protección para cualquier caudal, dado su bajo potencial de ionización, se obtendrá menor calor para un determinado amperaje.

Por otra parte la conductividad térmica es baja; lo cual significa que el calor no se expande o transmite radialmente al arco, sino, por el contrario, se concentra en la columna central del arco donde se produce la transferencia de la energía y del metal, obteniendo una penetración no uniforme, tipo dedo (ver fig. 8)

El Helio, también es un gas monoatómico, solo que es más liviano que el Argón (es un 14% más liviano que el aire) lo que significa que para la protección del arco es

necesario disponer de un caudal 2 ó 3 veces mayor que con el Argón. Como contrapartida, el potencial de ionización es mayor lo que se traduce en una mayor tensión de arco por una longitud dada y consecuentemente se obtiene mayor energía calórica del arco para un dado amperaje.

Por otra parte, la mayor conductividad técnica del Helio permite obtener un arco mas abierto y con una penetración más uniforme.

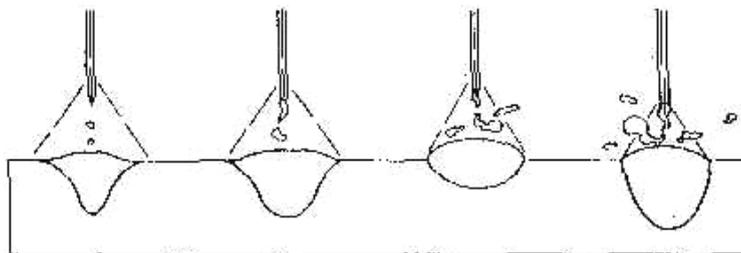
DIOXIDO DE CARBONO(CO₂)

Se trata de un gas activo, por cuanto participa metalúrgicamente por acción del arco eléctrico con los elementos provenientes del metal de aporte (alambre). La mayoría de los gases reactivos, no pueden ser empleados solos: para la protección del arco eléctrico, por ejemplo, el O₂, sin embargo el CO₂ es una excepción a dicha regla; su conductividad térmica es similar a la del helio, por lo qué forma del cordón se asemeja bastante al obtenido con el helio, pero cuya penetración es mayor respecto de los otros 2 gases inertes, principalmente soldando en el modo de transferencia en corto circuito. La explicación de este fenómeno reside fundamentalmente en el hecho que la recombinación del gas según la ecuación de equilibrio indicada a continuación,



se produce a temperaturas bajas del arco (próximo al metal base), siendo dicha recombinación exotérmica, o sea, con cesión de calor hacia la pieza que sumado al calor del arco permite fundir una mayor cantidad del metal base y consecuentemente penetrar más.

Debido al efecto oxidante del gas y para evitar su reacción con el Fe y formar óxidos que luego producen porosidad, se debe emplear alambres con elementos desoxidantes, tales como Si y Mn., cuya afinidad con el O₂ es mayor que la del Fe, formando compuestos a base de Si y Mn que por ser más livianos que el metal líquido; son reflowados hacia la superficie formando lagunas de silicatos.



MEZCLAS

A menudo se suele utilizar mezcla de gases que favorecen a una mejor característica operativa de la soldadura.

Las mezclas más comunes son:

- ARGON + HELIO
- ARGON + O₂
- ARGON + CO₂
- CO₂ + O₂

La mezcla de (Ar + He) produce, como resultado de la combinación de las propiedades que posee individualmente cada uno de los gases, un perfil del cordón de soldadura mas deseable (penetración y tamaño de forma parabólica)

En la transferencia por corto circuito, ésta mezcla es utilizada en la proporción de 60 a 90% de He, resto de Ar, para obtener una mayor penetración en el metal base, principalmente cuando se suelda acero inoxidable. La adición del CO₂ al Argón produce el mismo efecto que el Helio, solo que no puede ser aplicado a la soldadura de acero inoxidable por el efecto adverso que causaría en las propiedades mecánicas del metal depositado. El agregado de O₂ ó CO₂ en pequeñas proporciones al Ar, produce un apreciable cambio en las características de la acción del arco y la transferencia del metal. El porcentaje comúnmente oscila entre un 1 y 5 % de O₂ y aproximadamente 20/ 30% de CO₂

Cuando se suelda aceros ferríticos, el Argón puro no es utilizado como gas protector, debido a que el arco tiende a ser errático y no produce características operacionales satisfactorias.

La cantidad optima de adición de O₂ ó CO₂ al Argón dependerá de:

- Condición de la superficie (óxidos, escamas)
- Geometría de la junta.
- Posición de la soldadura y técnica
- Composición del metal base

Selección del Gas Protector

Una serie de factores deben ser tenido en consideración para la elección del gas protector mas adecuado, a saber:

- Proceso de soldadura
- Metal base
- Estabilidad del arco
- Tipo de transferencia
- Velocidad de soldadura
- Espesor del metal base
- Penetración
- Perfil del cordón
- Terminación superficial
- Defecto de soldadura

En la práctica los gases mas utilizados son:

CO₂: 100%

Ar/O₂: 98/2%

Ar/CO₂: 75/25%

Ar: 100%

Tipo Tipo de Gas	Aplicación
CO ₂	Trabajos en grandes espesores de acero al C. Transferencia globular Transferencia por corto circuito
Ar/O ₂	Trabajos de acero inoxidable y baja aleación Transferencia Spray
Ar/CO ₂	Trabajo en acero al carbono en espesores finos y medios principalmente al transferir por corto circuito
Ar	Principalmente aluminio

Modos de transferencia

Con este proceso se pueden obtener 3 modos de transferencia diferentes, a saber

- Transferencia por corto circuito
- Transferencia globular
- Transferencia Spray (gotas de lluvia)

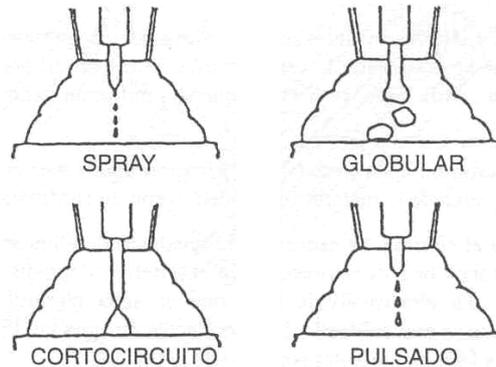
En la **transferencia por corto circuito**, todo el metal de aporte es transferido mientras el electrodo (alambre) permanece en contacto con el baño de metal fundido sobre la pieza, o sea, hay circulación de corriente eléctrica, pero sin arco. Se trata inherentemente de una transferencia de baja energía y consecuentemente de bajo aporte térmico.

La fig. que veremos mas adelante muestra esquemáticamente como se produce el fenómeno del efecto pinch sobre el extremo del electrodo durante el corto circuito y que finalmente origina el desprendimiento de la gota. Este efecto, dependiendo de los parámetros de soldadura y del tipo de gas utilizado se produce entre 50 y 200 veces por segundo.

La **transferencia globular** se obtiene únicamente cuando se utiliza el CO₂ como gas protector (también se consigue con He). En este modo, la transferencia del metal a través del arco, se produce forma de gotas irregulares cuyo tamaño es de aproximadamente 4 x \varnothing del electrodo, que al azar son transportadas a través del mismo hacia el metal base. Este tipo de transferencia produce mucho chisporroteo, dado que el CO₂ es por naturaleza inestable, generalmente inestables y es caracterizado por un sonido crepitoso del arco. La relativa estabilidad del arco con CO₂ puede ser establecida a elevados niveles de corriente.

La **transferencia spray**, se obtiene cuando se emplea el Argón como gas protector con un porcentaje mínimo del 80%. En Este modo de transferencia; el metal atraviesa el arco en forma de gotas finas de tamaño aproximadamente iguales al \varnothing del alambre o menores.

Las gotas son dirigidas axialmente en línea recta desde el electrodo hacia la pileta líquida. El plasma del arco adopta una forma cónica que produce un buen mojado de los flancos de la junta con una excelente apariencia del cordón depositado y con ausencia total de chisporroteo, pero la penetración es poca.



Aplicaciones

A continuación se da un cuadro orientativo de los 3 tipos de modos de transferencia, los parámetros a los cuales se obtiene los distintos modos, el gas empleado y la principal aplicación:

Tipos de transferencia	Gas Protector	Parámetros Volt Amper	Aplicación
Corto circuito	CO ₂ ó Argón/CO ₂	16/22 40/190	-Chapas finas 10mm -Padadas de raíz en cualquier espesor -Soldadura en todas posiciones
Globular	CO ₂	24/28 200/300	-Chapas medianas y gruesas 12mm -Aceros al carbono -Posición bajo mano solamente
Spray	Argón ó Argon/CO ₂	28/40 200/500	-Aceros inoxidables -Aluminio -Posición bajo mano solamente

Parámetros de soldadura

Definición: se define parámetros de soldadura, aquellas variables que al ser cambiadas o modificadas, alteran la configuración o forma del cordón depositado y además afectan las características del arco eléctrico.

Si bien son muchas las variables que de un modo u otro afectan en mayor o menor grado a la soldadura, tomaremos en consideración solamente aquellas variables eléctricas y operativas cuya modificación o cambio no implica la detención del proceso (como ser un cambio de gas ó de un \varnothing alambre por otro). Además dividiremos las

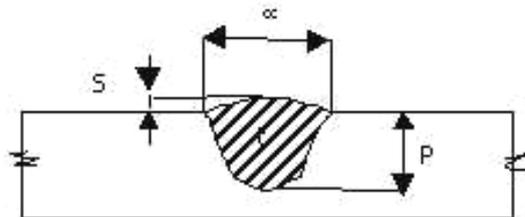
variables en dependientes e independientes de la mano del operador de soldadura, así se tiene:

Parámetros eléctricos (Independientes)	Corriente (Veloc. Alambre) Tensión Inductancia
Parámetros Operativos (Dependientes)	Velocidad de soldadura Inclinación de la torcha Salida ó extensión libre del alambre

Cuando se habla de variables dependientes, se refiere al hecho que mientras se está ejecutando la soldadura (o sea estando el arco encendido) el operador de soldadura puede variar a voluntad cualquiera de las 3 variables (velocidad de avance, inclinación de la torcha ó salida del alambre), sin que ello afecte las características propias del arco eléctrico que dependen de otros parámetros que hemos definido como independientes.

Influencia sobre el cordón de soldadura

Primeramente definimos las variables que determinan la configuración de un cordón de soldadura.



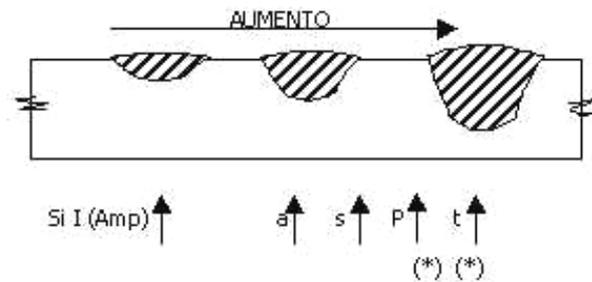
- a: ancho del cordón
- p: penetración
- s: sobreespesor
- t: tamaño del cordón

Veremos a continuación como los parámetros de soldadura afecta la forma del cordón cada uno de los parámetros de soldadura, haciendo variar uno por vez y manteniendo constante el resto de los mismos.

Comenzaremos en el mismo orden que arriba enumerado:

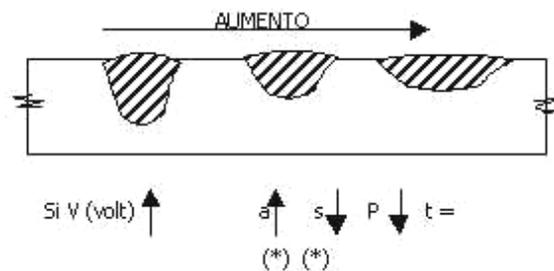
Corriente de soldadura o velocidad de alimentación del alambre

Estas 2 variables, son los que principalmente son controladas con la corriente



(*) Estas 2 variables, son las que se controlan principalmente con la corriente.

Tensión o voltaje del arco

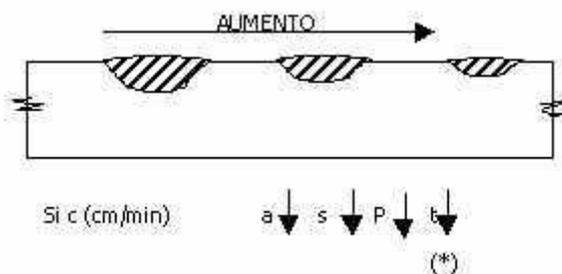


(*) La tensión se utiliza principalmente para controlar estas 2 variables. La variación de la tensión modula la forma del cordón, no agrega ni quita el metal aportado.

Inductancia

El comportamiento de este parámetro ya había sido descrito al comienzo de este curso, donde el aumento de esta hace variar la intensidad de corto circuito, la cual tiene influencia sobre el efecto PINCH.

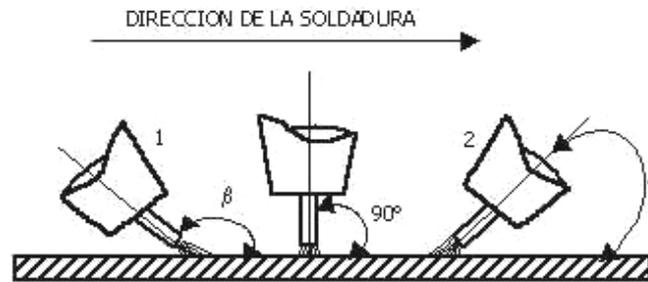
Velocidad del Arco (Soldadura)



(*) Esta es la variable que fundamentalmente es controlada con la velocidad.

Inclinación de la torcha

La torcha puede ser inclinada respecto del eje vertical de la forma como se indica



Siendo:

(α) el ángulo de inclinación en el sentido del avance

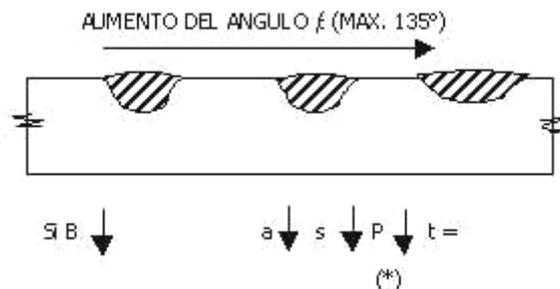
(β) el ángulo de inclinación en el sentido opuesto al avance

Luego definimos:

Pos 1 para $\beta > 90^\circ$ técnica por empuje

Pos 2 para $\alpha < 90^\circ$ técnica por arrastre

(*) Esta es la variable que fundamentalmente se controla con el de inclinación de la torcha.

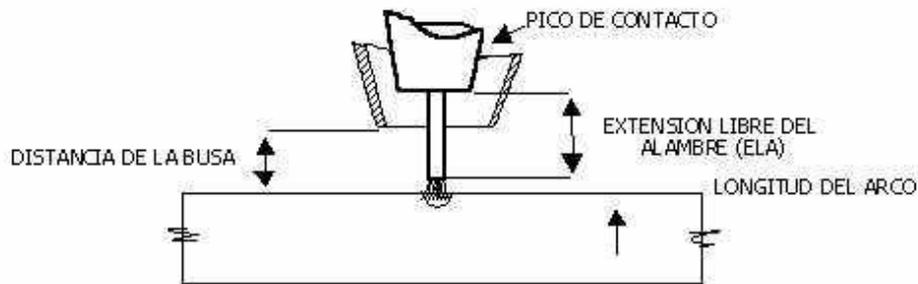


(*) Con la inclinación de la torcha, se controla principalmente la penetración de la soldadura y en segundo lugar el ancho del cordón.

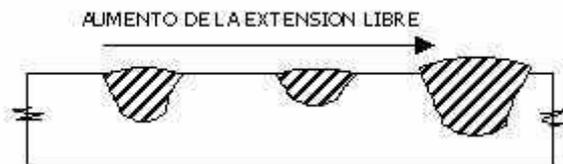
Por lo general la técnica mas usual es la de EMPUJE cuando se suelda con éste proceso.

Extensión libre del alambre

Se define como extensión libre o salida del alambre a la distancia que media entre el pico de contacto y el extremo donde se establece el arco eléctrico en el alambre.



Modificando dicha distancia, se obtiene el siguiente efecto sobre el cordón depositado.



(*) Esta es la variable que principalmente se controla con el (ELA), y en menor escala la penetración.

Según sea el modo de transferencia empleado se utiliza la siguiente ELA.

Parámetros Eléctricos de la soldadura

A continuación se da una tabla de los valores de amperaje y voltaje recomendados para diferentes \varnothing de alambre y modos de transferencia.

Modos \varnothing mm	Corto Circuito		Globular		Spray	
	A	V	A	V	A	V
0,8	50/130	14/18	110/150	18/22	140/180	23/28
1,0	70/160	16/19	130/200	18/24	180/250	24/30
1,2	120/200	17/20	170/250	19/26	220/320	25/32
1,6	150/200	18/21	200/300	22/28	260/390	26/32

En el caso particular del modo por corto circuito, veremos como influye el gas protector sobre los parámetros eléctricos para cada uno de los valores extremos del rango del amperaje

Gas \varnothing mm	Argón/ CO_2		CO_2 (100%)	
	A	V	A	V
0,9	40	14-16	40	16-18
	170	17-22	170	19-24
1,2	110	17-19	110	19-21
	250	20-23	250	22-25

Selección del \varnothing del alambre

No existe una regla precisa que permita seleccionar con exactitud que \varnothing de alambre es el mas adecuado para un determinado tipo de trabajo. Fundamentalmente, el criterio

de selección esta basado en la experiencia adquirida con el uso del proceso semiautomático.

Sin embargo como guía orientativa, se pueden tomar en cuenta para la selección de un determinado \varnothing de alambre, los siguientes aspectos ó pautas.

- 1- La velocidad de fusión es una función de la densidad de corriente. Si 2 alambres de diferentes \varnothing son operados con igual intensidad de corriente, el menor de los 2 tendrá una velocidad de fusión mayor.
- 2- La penetración también es función de la densidad de corriente, luego a $< \varnothing, P <$
- 3- \varnothing mayores de alambre, depositan cordones más anchos bajo idénticas condiciones de velocidad de soldadura y configuración de la junta.
- 4- El espesor del metal base, afecta la elección del \varnothing de alambre, por ejemplo, para soldar espesor fino (láminas) de espesor $\approx 0,8$ mm. usualmente se emplean \varnothing de 0,7 mm., también puede utilizarse en espesores de hasta 2 mm. En la medida en que aumenta el espesor del metal base se deberá aumentar el \varnothing de alambre.
- 5- Cuando se requiera efectuar soldaduras en posición vertical generalmente se emplean alambres de $\varnothing 0,9$ a $\varnothing 1,1$ mm.

Defectos

Falta de fusión - Poros - Socavaciones.

Soldadura Semiautomática con alambre tubular

Básicamente, el principio de funcionamiento del sistema con alambre tubular, es igual al descrito con alambre sólido.

La diferencia fundamental entre un alambre sólido y el tubular, es que este último, se halla internamente revestido con un fundente que desarrolla un sistema de escoria, cuya función principal en la soldadura es la de proteger el metal depositado durante el enfriamiento y la de combinarse con ciertos elementos indeseables y eliminarlos, produciendo de este modo una transferencia suave, con pocas salpicaduras y buena apariencia del cordón. La otra función del fundente; es la de establecer un sistema de aleaciones cuya finalidad es la de proveer un medio de adición de elementos a la pileta líquida. Ambos sistemas (escoria y aleaciones) interactúan entre si, aunque sus funciones son diferentes.

Principalmente, con éstos los alambres, lo que se obtiene es una eficiencia o rendimiento (cantidad de metal depositado en la en la unidad de tiempo) mucho mayor. Por otra parte, se obtienen mejores propiedades físicas (principalmente impacto) que con los alambres sólidos.

