

# **UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA.**

**FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA, MINERA Y METALURGICA**



**PROCESO DE SOLDADURA MIG-MAG (GMAW)**

**INFORME DE SUFICIENCIA**

**PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO METALURGISTA.**

**PRESENTADO POR:**

**FELIPE HERBERT MEDINA MORE**

**LIMA-PERU**

**2009**

## **RESUMEN.**

Tratar de resumir este trabajo en algunas líneas ha sido un poco complicado debido a la diversidad de información relativa a el proceso de soldadura MIG-MAG , por eso con la finalidad de poder hacerlo ligero lo he separado en diversos capítulos; iniciando por la descripción o marco teórico (necesario desde mi punto de vista) del proceso de soldadura, así como las principales variables que gobiernan a este proceso y lo hace uno de los más usados en la industria de fabricación metálica principalmente, al final se describe los usos y aplicaciones (relacionados principalmente con los metales más comunes usados, llámese acero al carbono, acero inoxidable y aluminio principalmente). Así como cualquier parte final tenemos las conclusiones más resaltantes y el apoyo bibliográfico en el cual se basa este trabajo.

Cabe indicar que el trabajo de sustentación presentado aquí se basa solamente en el proceso MIG-MAG (GMAW de sus siglas en inglés) se ha omitido la mención del proceso de alambre tubular (FCAW de sus siglas en inglés) por tratarse según la AWS de otro proceso de soldadura (con lo cual estoy de acuerdo).

## INDICE

INTRODUCCION .....	1
CAPITULO I. FUNDAMENTOS DEL PROCESO GMAW .....	3
1.1 Principios de operación .....	3
1.2 Mecanismos de transferencia metálica.....	6
1.2.1 Transferencia por cortocircuito .....	7
1.2.2 Transferencia por arco globular.....	14
1.2.3. Transferencia por arco largo (spray) .....	16
1.2.4. Transferencia por arco pulsado.....	21
CAPITULO II. VARIABLES DEL PROCESO. SELECCIÓN.....	25
2.1 Corriente de soldadura .....	26
2.2 Polaridad.....	28
2.3. Voltaje de arco.....	29
2.4. Velocidad de soldeo .....	31
2.5. Longitud de alambre o extensión del electrodo .....	31
2.6. Orientación del alambre.....	32
2.7. Posición de soldadura .....	33
CAPITULO III. INSTALACION MIG-MAG (GMAW) .....	36
3.1 Pistola de soldar o torcha .....	37
3.1.1. Pistolas para soldadura manual .....	37
3.1.2. Pistolas para soldadura automática.....	41
3.2. Alimentador de alambre.....	42
3.3. Control .....	44
3.4. Fuentes de poder.....	45
3.4.1. Voltaje .....	49
3.4.2. Slope .....	49

3.4.3. Inductancia .....	51
CAPITULO IV. GASES DE PROTECCION .....	53
4.1. Factores que afectan la elección del gas de protección adecuado.....	54
4.2. Argón, Helio y sus mezclas.....	55
4.3. Adiciones de oxígeno y CO <sub>2</sub> al He y Ar. Transferencia por arco largo (spray) .....	59
4.4. Adiciones de oxígeno y CO <sub>2</sub> al He y Ar. Transferencia por cortocircuito .....	45
4.5. Dióxido de carbono.....	67
4.6. Mezclas de Ar/CO <sub>2</sub> /H <sub>2</sub> y Ar/He/CO <sub>2</sub> /He.....	68
CAPITULO V. CONSUMIBLES.....	73
5.1. Alambres tubulares.....	75
5.1.1. Soldadura con alambres tubulares sin flux interno.....	75
5.1.2. Soldadura con alambre tubular con flux interno .....	77
5.2. Designación de los alambres de acuerdo con la AWS .....	81
CAPITULO VI. DEFECTOS E IMPERFECCIONES EN EL PROCESO GMAW .....	84
CAPITULO VII. COMPARACION ENTRE PROCESOS: GMAW VS SMAW .....	98
CONCLUSIONES .....	104
BIBLIOGRAFIA.....	107
APENDICE 1.....	108
APENDICE 1.....	109

## INTRODUCCIÓN.

La soldadura eléctrica por arco metálico con protección de gas (GMAW) proceso más conocido por las siglas MIG ó MAG, es un proceso de soldadura en el cual el calor necesario para la soldadura 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 sólido 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 un flujo de gas que se aporta por la boquilla del soplete, concéntricamente al electrodo (Figura 1).

El inicio del proceso MIG (Gas Metal Arc Welding) es 1920 pero no fue desarrollado comercialmente hasta 1948. Cuando se desarrolló esta técnica, se consideró que era un proceso fundamentalmente de alta

densidad de corriente, pequeño diámetro del metal de aporte y utilización de gas inerte como protección. Fue introducido para la soldadura del aluminio y se utilizó inicialmente con Argón, gas inerte de aquí la denominación MIG (Metal Inert Gas). Desde entonces, se han realizado diversos desarrollos asociados con la aplicación del proceso. Por una parte, el gas Argón pareció caro para la soldadura de aceros, por lo que se utilizó  $\text{CO}_2$  como gas protector, denominándose entonces el proceso MAG (Metal Active Gas). Posteriormente fueron introduciéndose otros gases como Helio y mezclas Ar-  $\text{CO}_2$ , Ar- $\text{O}_2$ , Ar-  $\text{CO}_2$ - $\text{O}_2$ , Ar-He, etc. Por otra parte, se desarrollaron las características de los arcos para los diversos gases y sus combinaciones, lo cual llevó a operar con menores densidades de corriente, transferencia del metal con arco corto, utilización de corriente pulsada, etc.

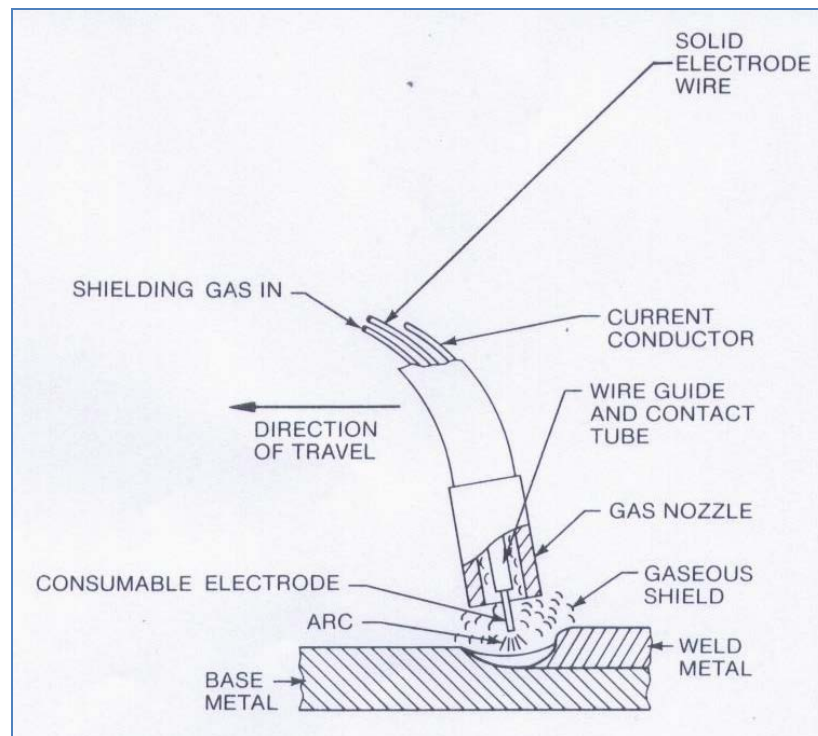
Es conveniente tener en cuenta que aunque se mencione MIG, cuando se utiliza un gas de protección activo, debe entenderse como MAG y que en este proceso, al electrodo a veces se le denomina, alambre o hilo y al soplete, pistola.

## **CAPITULO I**

### **FUNDAMENTOS DEL PROCESO.**

#### **1.1. PRINCIPIOS DE OPERACION.**

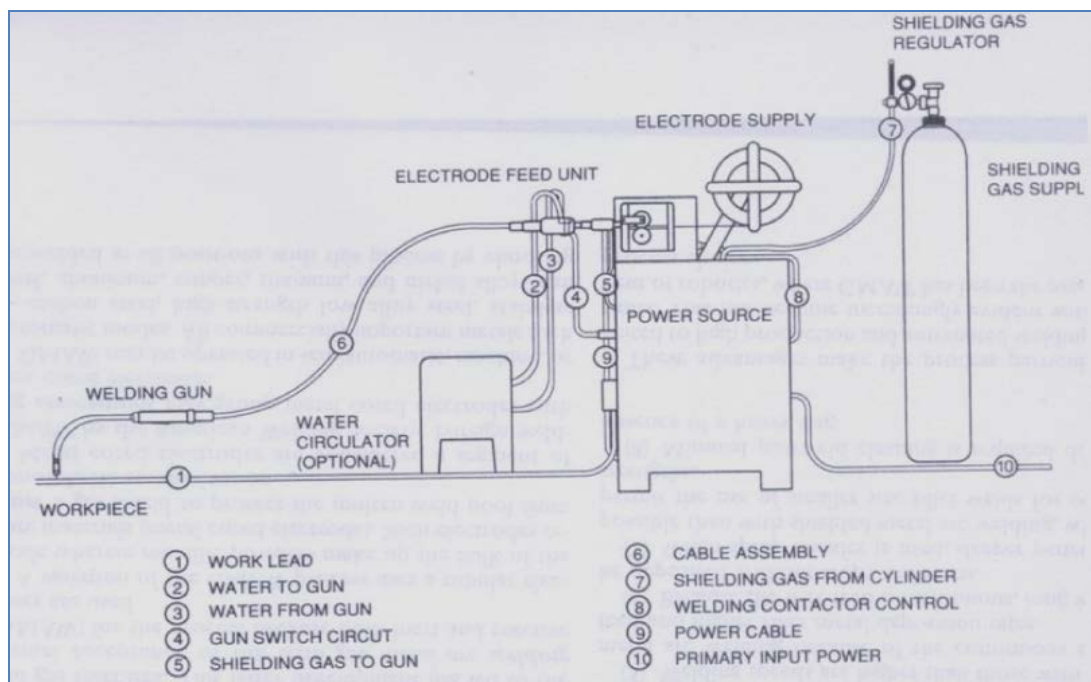
El proceso GMAW incorpora la alimentación automática de un electrodo continuo consumible que es protegido por una fuente externa gaseosa. Este proceso se ilustra en la Figura 1. Después de los ajustes finales por el operador, el equipo proporciona la auto-regulación automática de las características eléctricas del arco. Sin embargo, los únicos ajustes manuales requeridos por el soldador para la operación semiautomática son la velocidad de soldeo, la dirección de soldeo y la posición de la pistola. Dado el equipo y parámetros adecuados, se mantienen automáticamente la longitud de arco y la corriente (velocidad de alimentación de alambre).



**Fig. 1. Proceso de soldadura GMAW.**

El equipo requerido para GMAW se muestra en la Figura 2. Los equipos componentes básicos son la pistola de soldeo (torcha) y su cable de alimentación, alimentador de alambre, fuente de poder y el balón de gas de protección.





**Fig. 2. Diagrama del equipo GMAW.**

La pistola guía el alambre consumible y conduce a su vez a la corriente eléctrica y al gas de protección, proveyendo así la energía para estabilizar y mantener el arco y fundir el electrodo así como dar la protección necesaria del ambiente atmosférico. Se usa la combinación de alimentador de alambre y fuente de poder para lograr la deseable autorregulación del arco eléctrico. Esta regulación comúnmente consiste en una fuente de poder de potencial (voltaje) constante (proveyendo esencialmente una característica curva plana voltaje-amperaje) en trabajando en suma con un alimentador de alambre de velocidad constante. Alternativamente, una fuente de poder de corriente constante provee una curva descendente voltaje-amperaje, el alimentador en este caso en controlador del voltaje de arco.

Con la combinación potencial constante/velocidad de alimentación

constante, un cambio en la posición de la torcha causa un cambio en la corriente de soldadura que coincide exactamente con el cambio la extensión del electrodo (stick-out), así la longitud de arco se corrige. Por ejemplo, un incremento en el stick-out producido por un alejamiento de la torcha reduce la corriente de salida de la fuente de poder, manteniendo de este modo la misma resistencia calórica en el electrodo. En el sistema alternativo, la auto es el resultado de fluctuaciones de arco la cual el alimentador de alambre propiamente ajusta (cambia la velocidad de alimentación).

## **1.2.- MECANISMOS DE TRANSFERENCIA METALICA.**

La transferencia del metal desde el electrodo hasta la pieza puede realizarse básicamente de dos formas. En primer lugar, pueden desprenderse gotas del electrodo y moverse a través del arco hasta llegar a la pieza. En segundo, las gotas de metal también puede transferirse del electrodo a la pieza cuando el electrodo contacta con el metal fundido depositado por soldadura.

Los tipos de transferencia son:

1. Arco corto o cortocircuito.
2. Globular.
3. Arco largo o arco spray.
4. Arco pulsado.

El tipo de transferencia, con desprendimiento de gotas o por contacto y su tamaño, están determinadas por un cierto número de factores. Los que tienen un mayor grado de influencia son los siguientes:

1. Tipo y magnitud de la Intensidad de soldadura.
2. Diámetro y composición del electrodo.
3. La longitud (extensión) del electrodo entre la punta de contacto y el arco.
4. Longitud de arco o voltaje.
5. La composición del gas de protección.

La transferencia por “vuelo” de gotas desde el electrodo a la pieza puede ser por arco globular, arco largo, arco pulsado y arco largo de elevada intensidad.

### **1.2.1.-Transferencia por Cortocircuito (GMAW-S).**

Es una variación del proceso en la que el electrodo se deposita durante los sucesivos cortocircuitos. La transferencia de metal tiene lugar cuando el electrodo entra en contacto con el metal base. En este tipo de transferencia la relación entre la velocidad de fusión del electrodo y su velocidad de alimentación dentro de la zona de soldadura hace que se alterne de modo intermitente el arco eléctrico y el cortocircuito entre el electrodo y el metal base.

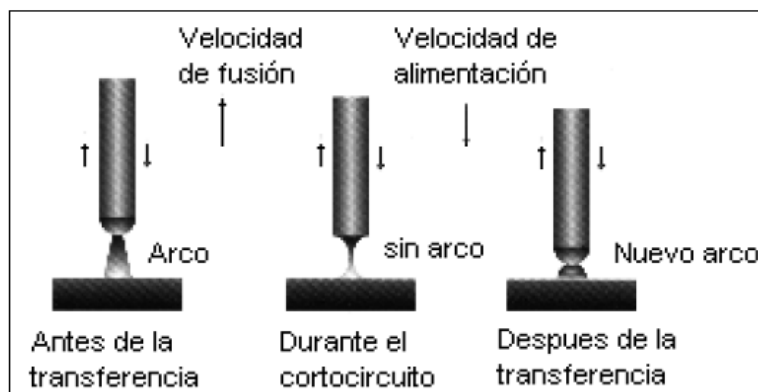


Fig. 3. Relación de la velocidad contra la velocidad de alimentación.

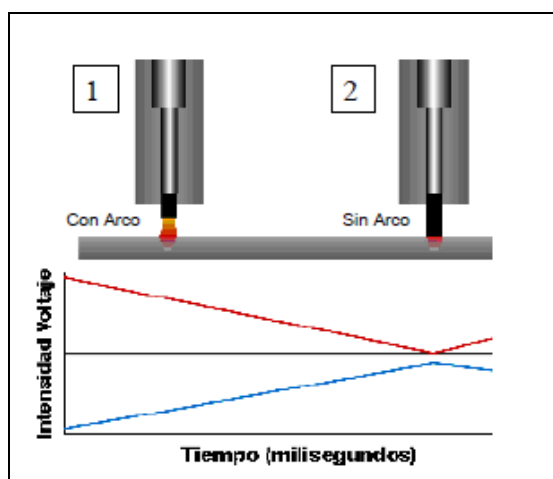


Fig. 4. Intensidad de voltaje vs tiempo.

## CICLO DE CORTOCIRCUITO

El electrodo que es alimentado a una velocidad constante, que supera a la velocidad de fusión. Cuando el alambre toca el metal base, se produce el cortocircuito y durante este tiempo no hay arco, la intensidad comienza a fluir a través del alambre y a elevarse, produciéndose el calentamiento del alambre hasta un estado plástico. En este momento, el alambre comienza a estrangularse debido a la fuerza “pinch” originado por la fuerza

electromagnética. Dependiendo del nivel de intensidad y la fuerza “pinch” se forma la gota que se transfiere al baño de fusión, estableciéndose de nuevo el arco (Figura 3 y 4).

La transferencia por arco corto se obtiene con bajos niveles de intensidad. En la Tabla 1 se muestran los rangos de Intensidad típicos; como vemos el rango se extiende claramente por debajo de la Intensidad de transición globular-arco largo mostrada en la Tabla 2. La transferencia de metal del electrodo a la pieza se produce únicamente durante el periodo en que están en contacto, esto sucede entre 60 a 150 veces por segundo.

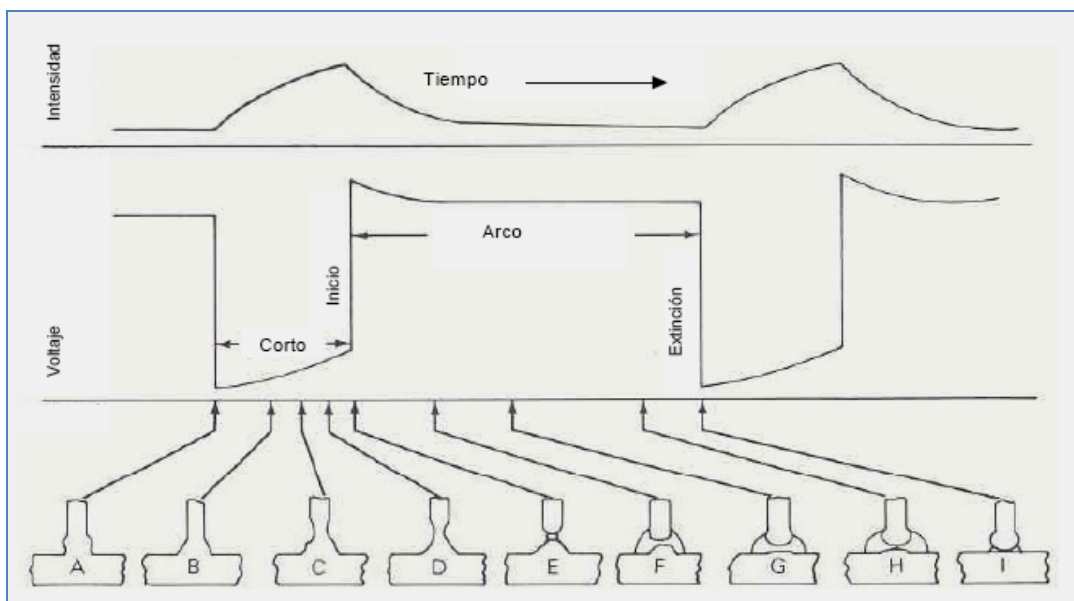
La secuencia más detallada de la transferencia de metal y los correspondientes cambios en intensidad y voltaje se muestran en la Figura 4. Cuando el electrodo toca la pieza (A), la intensidad comienza a aumentar. Este aumento continuaría si no se formara un arco, como se muestra en el punto (E). La velocidad de aumento de la intensidad debe ser lo bastante alta como para mantener fundida la punta del electrodo hasta que se transfiere el metal. La velocidad de aumento se controla ajustando la inductancia (puede verse más adelante) de la fuente de alimentación. Su efecto es retardar o acelerar la subida de la intensidad al intercalar más o menos inductancia en el circuito de soldadura. Variando por tanto los tiempos de cortocircuito y de arco, se puede regular el calor aportado a la pieza y el tamaño del baño fundido. El valor de la inductancia requerida depende tanto de la resistencia eléctrica como de la

temperatura de fusión del electrodo.

**Tabla 1. Márgenes de intensidad típica en soldadura MAG con transferencia cortocircuito en aceros al carbono.**

Diámetro de Electrodo		INTENSIDAD (Amperios)			
Pulgadas	Mm.	Posición plana		Posición vertical y techo	
		Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
0,030	0,8	50	150	50	125
0,035	0,9	75	175	75	150
0,045	1,2	100	225	100	175

A continuación el extremo del alambre se funde, formando un pequeño glóbulo de metal líquido que se mueve hacia la pieza, tomando la forma mostrada en (H). Cuando el metal entra en contacto con la pieza se forma un cortocircuito. En este momento, la transferencia se realiza por gravedad y tensión superficial, y el arco está extinguido (A, B y C). Finalmente, el puente de metal fundido se rompe por el efecto de la “fuerza “pinch” originado por la fuerza electromagnética. La fuerza “pinch” está controlada por la fuente de alimentación. En ese momento se rompe el contacto eléctrico y se restablece el arco (E), con lo que se cierra el ciclo.



**Fig. 5. Esquema de la Transferencia por Cortocircuito**

Este modo de transferencia se emplea en un gran número de aplicaciones, y está especialmente indicado para:

1. La soldadura de espesores delgados dado que su aporte térmico es bajo y para “puentear” preparaciones con huelgos excesivos.
2. Soldadura en todas las posiciones.

La soldadura de espesores gruesos, se emplea con menos frecuencia, con este tipo de transferencia, y hay que tener precaución para seleccionar los parámetros y la técnica apropiada para asegurar la fusión requerida.

Resumen de características:

- 1) Bajos voltajes e intensidades.
- 2) Diámetros de alambre pequeños.

- 3) Input térmico pequeño.
- 4) Pequeño baño de fusión.
- 5) Soldadura de espesores delgados y con preparaciones con separaciones amplias.
- 6) Soldadura en todas las posiciones.
- 7) Soldadura de preparaciones con separaciones amplias.
- 8) Pequeños valores de deposición de alambre.
- 9) Pocas deformaciones.

Para ajustar un arco corto, debe procederse al ajuste de la velocidad de alimentación de alambre, de acuerdo con la penetración necesaria, el ajuste fino del voltaje debe hacerse de modo que el sonido sea suave y regular y la longitud de alambre debe controlarse con cuidado ya que afecta considerablemente a la intensidad. Con un alambre de 0,9 mm, 80-90 A y 15-16 V, la longitud de alambre debe ser alrededor de 10 mm. Con un alambre de 1,2 mm, 225-235 A y 20-22 V, la "longitud de alambre" debe ser alrededor de 15 - 18 mm. Si el arco es inestable, el motivo fundamental es que la longitud de alambre es demasiado larga o el voltaje es demasiado elevado. Las proyecciones se pueden mantener bajas, seleccionando un gas apropiado.

Si el equipo lo permite, en la transferencia por arco corto, hay dos variables, la pendiente y la inductancia, (que pueden verse más adelante) que pueden ayudar. La pendiente, que es ajustable en algunos equipos bien sea



externamente o con conexiones internas. La Figura 28 muestra que la curva con más pendiente, limitará la máxima intensidad que el equipo puede suministrar. Esto es una ayuda cuando se suelda con arco corto a bajas intensidades y sobre espesores delgados. Si la mayoría de los trabajos se realizan con arco corto, entonces sería aconsejable, si el equipo dispone de ello, cambiar la conexión interna a la pendiente apropiada.

Un equipo con control de inductancia es más fácil para usar con arco corto. Como se muestra en la Figura 34, añadiendo inductancia baja la velocidad a la que se eleva la intensidad. Con este control de la inductancia, después de que la velocidad de alimentación de alambre y el voltaje estén ajustados, la inductancia debe incrementarse hasta el punto donde el metal comienza a transferirse suavemente. Incrementando la inductancia, la intensidad se eleva a una velocidad inferior y está a un nivel mas bajo, cuando el ciclo comienza otra vez, que si no hubiera inductancia en el circuito. Limitando la intensidad de corto, se reduce una transferencia de metal dura y explosiva. La mayoría de la soldadura con arco corto, se realiza con alambre de 0,8 -1,0 ó 1,2mm de diámetro. Diámetros más elevados, necesitan una intensidad demasiado elevada para la mayoría de las aplicaciones.

Los gases y mezclas con los que se puede soldar con arco corto van desde el Ar-8%CO<sub>2</sub> pasando por el Ar-25%CO<sub>2</sub> hasta el CO<sub>2</sub> y las mezclas Ar-CO<sub>2</sub>-O<sub>2</sub>. Para bajas intensidades el CO<sub>2</sub> es algunas veces una buena opción, el arco es mas caliente que con una mezcla de argón y a bajos

niveles de intensidad, no hay muchas proyecciones. Para incrementar las velocidades de deposición y las velocidades de soldadura, las mezclas Ar-25%CO<sub>2</sub>, Ar-15%CO<sub>2</sub> o un Ar-8%CO<sub>2</sub> usualmente darán mejores resultados y con menos proyecciones. Reduciendo la cantidad de CO<sub>2</sub> el baño se hace menos fluido y más fácil de controlar. La posibilidad de traspasar también se reduce. Sobre espesores delgados, los gases con más bajos contenidos de CO<sub>2</sub> trabajan mejor, disminuyendo la posibilidad de traspasar y permitiendo intensidades y velocidades de soldadura más elevadas. Para la soldadura de metales aleados como el acero inoxidable, se añade a veces helio para incrementar el input térmico a bajas velocidades de deposición.

### **1.2.2.-Transferencia por Arco Globular.**

La transferencia globular se caracteriza por la formación de una gota relativamente grande de metal fundido en el extremo del electrodo (Figuras 6,7 y 8). Esta gota se va formando y sosteniendo por la tensión superficial. El arco está saltando continuamente entre la parte de la gota que está más próxima al metal, donde solo es necesario un voltaje mínimo para sustentar el arco (Figura 8). Cuando la fuerza de gravedad supera a la fuerza de tensión superficial, la gota cae, golpea en el metal base, salpicando y produciéndose las salpicaduras que salen del baño y caen al metal base. A diferencia de la transferencia con arco corto, hay arco eléctrico la mayor parte del tiempo.

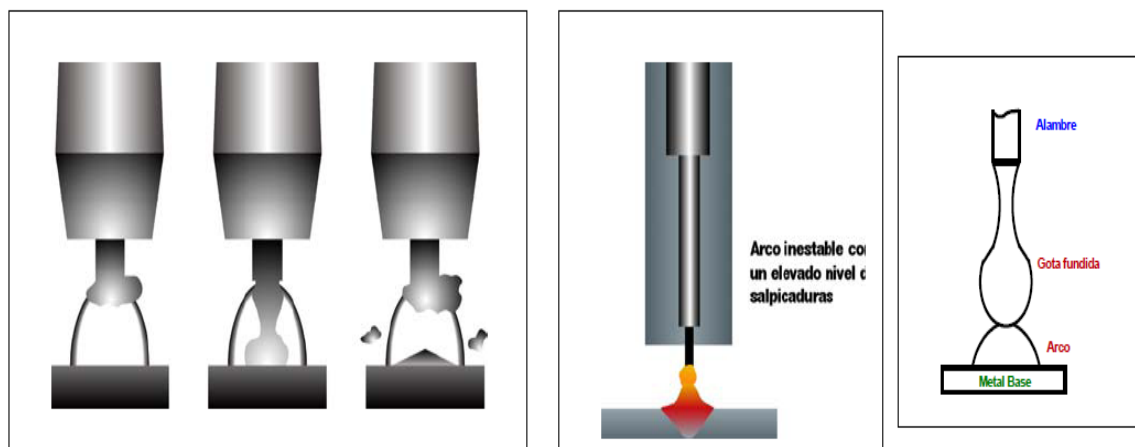


FIG. 6, 7 Y 8. Transferencia por arco globular.

Este modo de transferencia tiene lugar cuando el ajuste de voltaje y de intensidad excede a los del arco corto. Además de arco corto este es el único tipo de transferencia que puede obtenerse cuando se emplea el CO<sub>2</sub> como gas de protección. Con el CO<sub>2</sub> la transferencia de las gotas no se dirigen axialmente a través del arco.

Cuando se está empleando una mezcla de argón como Ar-CO<sub>2</sub>-O<sub>2</sub>, Ar-CO<sub>2</sub>, o Ar-O<sub>2</sub>, la transferencia globular se obtiene cuando el voltaje o la intensidad están por debajo del rango del arco largo.

La transferencia globular se caracteriza por dar lugar a un gran tamaño de gota del orden de 2 a 4 veces más grande que el diámetro del alambre. La transferencia globular no es usualmente empleada debido a la baja eficiencia del proceso. Es el tipo de transferencia que produce más salpicaduras. Dependiendo del rango de intensidad, gas de protección y el ajuste del

equipo de soldadura, la transferencia globular puede producir hasta un 10-15% del metal soldado de salpicaduras. Debido a la falta de eficiencia del proceso, se obtienen velocidades de soldadura o de tamaño de cordón inferiores a los obtenidos con arco corto o largo con similares velocidades de alimentación de alambre.

### 1.2.3.-Transferencia por Arco Largo (Spray).

En la transferencia por arco largo o transferencia spray, el extremo del alambre se afila, las gotas son iguales o menores que el diámetro de alambre, y su transferencia se realiza desde el extremo del alambre al baño fundido en forma de una corriente axial de gotas finas, de cientos por segundo (Figuras 9 y 10). Las gotas saltan una a continuación de otra, pero no están interconectadas.

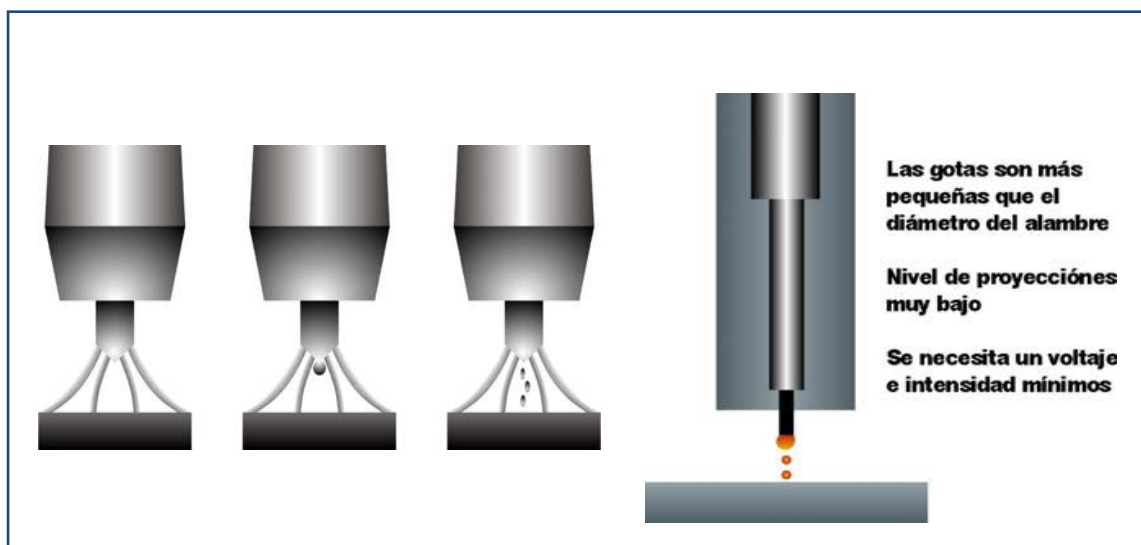


FIG. 9 Y 10 Transferencia por arco largo (spray).

Debido al afilado del extremo del alambre, la densidad de corriente (amps/mm<sup>2</sup>) y la fuerza Pinch son muy elevados. Esto hace que las gotas sean más pequeñas que el diámetro de alambre. Las gotas son aceleradas por el campo magnético en vez de transferirse por gravedad como en el arco globular y son absorbidas dentro del baño de fusión en vez de salpicar.

La transferencia por arco largo, donde realmente tiene ventajas es en espesores gruesos y posición horizontal y en cornisa. Todos los aceros (al carbono e inoxidable) y la mayoría de los otros metales, pueden soldarse con arco largo.

Resumen de características:

- Input térmico elevado.
- Grandes baños de fusión.
- Soldadura de espesores gruesos.
- Soldadura en horizontal.
- Mayor distorsión.
- Menos salpicaduras.
- Elevados valores de deposición de alambre.

Los gases empleados para arco largo tienen un contenido inferior de gases activos (CO<sub>2</sub> y O<sub>2</sub>) que los empleados para arco corto. La mayoría contienen 85-90% de argón, siendo normalmente el resto de los

componentes, CO<sub>2</sub> y O<sub>2</sub> y en algunas ocasiones, pueden contener pequeñas cantidades de helio, para incrementar la energía del arco, y de hidrógeno (aceros inoxidable austeníticos).

La transferencia por arco largo es un proceso limpio y de elevada eficiencia. Se pueden emplear todos los diámetros de alambre. Para la mayoría de las aplicaciones en el rango de intensidades de 175 a 500 A, son adecuados los alambres desde 0,9 a 1,6 mm. De diámetro. Cuando el equipo está ajustado correctamente, no hay apenas salpicaduras y el 97-98 % del alambre de soldadura es depositado en el baño de fusión.

**TABLA 2. INTENSIDADES DE TRANSICIÓN DE ARCO GLOBULAR A ARCO LARGO.**

Tipo de Alambre	Diámetro de alambre		Gas de protección	Intensidad mínima para Corto Circuito (Amp)
	Pulg.	mm.		
Acero al carbono (ER70S-3 ó ER70S-6)	0.023	0,4	98% Argón / 2% O <sub>2</sub>	135
	0.030	0,8	98% Argón / 2% O <sub>2</sub>	150
	0.035	0,9	98% Argón / 2% O <sub>2</sub>	165
	0.045	1,2	98% Argón / 2% O <sub>2</sub>	220
	0.062	1,6	98% Argón / 2% O <sub>2</sub>	275
	0.035	0,9	95% Argón / 5% O <sub>2</sub>	155
	0.045	1,2	95% Argón / 5% O <sub>2</sub>	200
	0.062	1,6	95% Argón / 5% O <sub>2</sub>	265
	0.035	0,9	92% Argón / 8% O <sub>2</sub>	175
	0.045	1,2	92% Argón / 8% O <sub>2</sub>	225
	0.062	1,6	92% Argón / 8% O <sub>2</sub>	290
	0.035	0,9	85% Argón / 15% O <sub>2</sub>	180
	0.045	1,2	85% Argón / 15% O <sub>2</sub>	240

	0.062	1,6	85% Argón / 15% O <sub>2</sub>	295
	0.035	0,9	80% Argón / 20% O <sub>2</sub>	195
	0.045	1,2	80% Argón / 20% O <sub>2</sub>	255
	0.062	1,6	80% Argón / 20% O <sub>2</sub>	345
Acero inoxidable austenítico	0.035	0,9	99% Argón / 1% O <sub>2</sub>	150
	0.045	1,2	99% Argón / 1% O <sub>2</sub>	195
	0.062	1,6	99% Argón / 1% O <sub>2</sub>	265
	0.035	0,9	Argón / Helio / CO <sub>2</sub>	160
	0.045	1,2	Argón / Helio / CO <sub>2</sub>	205
	0.062	1,6	Argón/Helio/CO <sub>2</sub>	280
	0.035	0,9	Argón / Hidrogeno /	145
	0.045	1,2	Argón / Hidrogeno /	185
Aluminio	0.030	0,8	Argón	95
	0.047	1,2	Argón	135
	0.062	1,6	Argón	180
Cobre	0.035	0,9	Argón	180
	0.045	1,2	Argón	210
	0.062	1,6	Argón	310
Bronce al silicio	0.035	0,9	Argón	165
	0.045	1,2	Argón	205
	0.062	1,6	Argón	270

### Intensidad de Transición.

Con una gas de protección con al menos 15-20% de CO<sub>2</sub> (dependiendo del equipo) y unas adecuados parámetros de soldadura, el tipo de transferencia puede cambiarse de globular a arco largo. Esto sucede siempre que se supere unos valores de intensidad y voltaje mínimos que dependen del gas del diámetro y composición química del alambre. A esta intensidad mínima

se le llama Intensidad crítica o de Transición de arco globular a arco largo (Tabla 2). Para acero al carbono e inoxidable, el rango de voltajes oscila entre 24V, para los diámetros pequeños con Ar-O<sub>2</sub> y hasta 30V para mezclas con helio. Para comenzar el ajuste, se puede empezar con 26-27 V. En las Figuras 10 y 11 puede observarse los rangos para soldadura con arco largo para los gases Ar-5%O<sub>2</sub> y Ar-8%CO<sub>2</sub>.

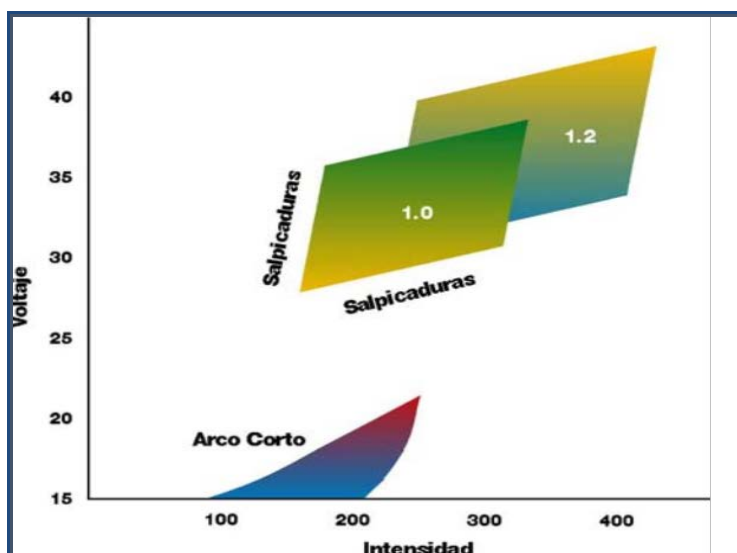


FIG. 11. Rangos de Transferencia por Arco Largo para Ar-5%O<sub>2</sub> con alambre de 1.0 1.2mm de diámetro.



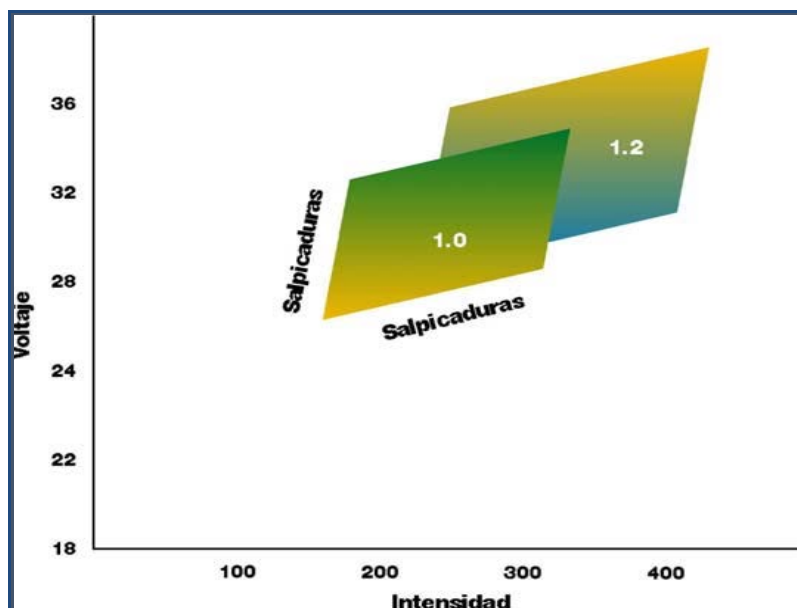


FIG. 12. Rangos de Transferencia por arco largo para la mezcla Ar-8%CO<sub>2</sub> y con los alambres 1.0 y 1.2mm de diámetro.

#### 1.2.4.-Transferencia por Arco Pulsado (Spray Pulsado).

La transferencia por arco pulsado (Figura 13) se realiza mediante arco largo, pero que se produce en pulsos a intervalos regularmente espaciados en lugar de suceder al azar, como ocurre en la transferencia por arco largo.



FIG.13. Transferencia por spray pulsado.

En la Figura 14 puede observarse un gráfico de onda cuadrada de Intensidad–Tiempo. La intensidad superior se llama intensidad “pico” y la intensidad baja de la onda cuadrada se llama intensidad “base” o “fondo”. Esta intensidad, normalmente 20-40A, sirve para mantener el arco y precalentar el electrodo que va avanzando continuamente. Cuando la intensidad se eleva a la intensidad “pico”, se transfiere una gota en arco largo.

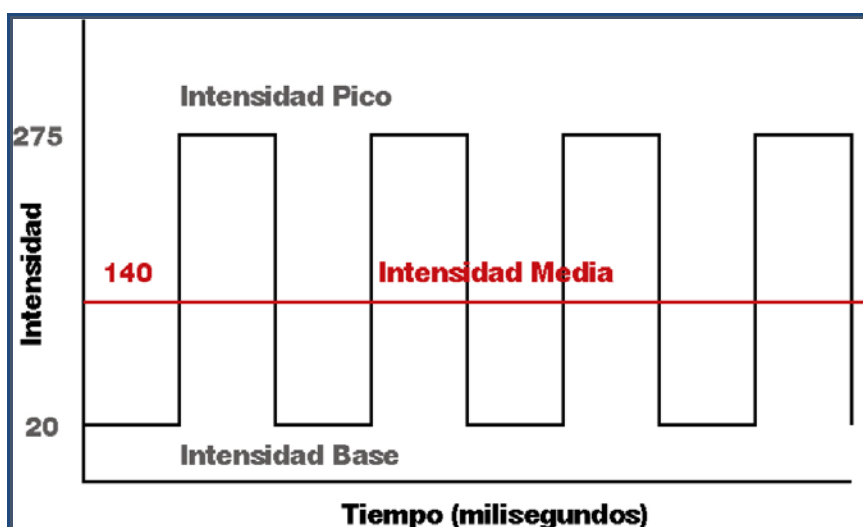


FIG. 14. Intensidad de Onda vs tiempo de transferencia por arco pulsado.

El resultado neto es producir una transferencia que combina el bajo input térmico asociado con la transferencia por Arco Corto, con la limpieza, sin salpicaduras, y buena penetración asociada a la transferencia por Arco Largo. Esto permitirá soldar secciones inferiores a 3 mm sin proyecciones, obtener menores deformaciones, y soldar en todas las posiciones.

Como se produce una intensidad “pico” elevada, se pueden utilizar grandes diámetros con bajas velocidades de deposición. El diámetro de 1,2 mm se podrá utilizar en vez de 0,8 o 1,0 mm, con lo que se pueden reducir costos y también reducir los problemas de alimentación de alambre asociados a los pequeños diámetros de alambre.

Los equipos inverter pulsados, con una mayor velocidad de subida de la intensidad, pueden reducir la cantidad de humos asociada con la soldadura MIG con elevada intensidad. Parte de los humos están originados por el sobrecalentamiento del alambre. La rápida subida de la intensidad, reduce el sobrecalentamiento y reduce la velocidad de generación de humos.

**Tabla 3. Rangos de intensidad mínimos en MIG con arco pulsado.**

Diámetro de electrodo		Intensidad, Amperios		
		Aluminio 4043 (1)	Acero Inoxidable AISI 308 (2)	Magnesio AZ61A (1)
Pulg.	mm.			
0.030	0.8	48-80	55-130	--

0.040	1.0	--	--	65-100
0.045	1.14	--	90-180	--
3/64	1.2	75-130	--	75-100
1/16	1.6	90-250	110-250	100-250
3/32	2.4	150-300	--	225-375

(1) Con gas Argón

(2) Con 98% Argón - 2% Oxígeno

## **CAPITULO II.**

### **VARIABLES DEL PROCESO. SELECCIÓN**

Algunas de las variables que ejercen más influencia en el proceso son:

1. Corriente de soldadura (Velocidad de alimentación del electrodo).
2. Polaridad
3. Voltaje de arco (longitud de arco)
4. Velocidad de soldadura
5. Longitud de alambre (Extensión de electrodo)
6. Orientación de alambre (Ángulo guía)
7. Posición de soldadura
8. Diámetro de electrodo
9. Composición del Gas de Protección y Ratio de Flujo.

## 2.1.- Corriente de Soldadura.

Manteniendo las otras variables constantes, la intensidad varía de forma lineal con la velocidad de alimentación del alambre en el rango inferior de intensidades. Para intensidades elevadas se pierde la proporcionalidad, debido probablemente al aumento de resistencia del circuito por calentamiento en la extensión del electrodo. Como puede apreciarse en la Figuras 15 y 16, cuando se incrementa el diámetro del alambre, manteniendo la misma velocidad de alimentación, es necesaria una mayor intensidad. Esta relación entre la velocidad de alimentación y la intensidad está afectada por la diferente composición química del alambre, puntos de fusión y resistividad de cada metal. Manteniendo constante las otras variables, un incremento de la intensidad tendrá como resultado:

- Un incremento en la profundidad y anchura de la penetración.
- Un incremento en la velocidad de deposición.
- Un incremento en la dimensión del cordón de soldadura.

Las curvas pueden ser representadas aproximadamente por la ecuación:

$$WFS: aI + bLI^2$$

Donde

*WFS* Velocidad de alimentación de electrodo, plg/min. (mm/s).

*a* constante de proporcionalidad para calentamiento de ánodo o cátodo. Esta

magnitud es dependiente sobre la polaridad, composición, y otros factores, plg./

(min. A).

b constante de proporcionalidad para resistencia calentamiento eléctrico,  $\text{min}^{-1} \text{A}^2$  ( $\text{s}^{-1}$

$\text{A}^2$ ).

L Extensión de electrodo o stick out, plg. (mm).

I Corriente de soldadura, A

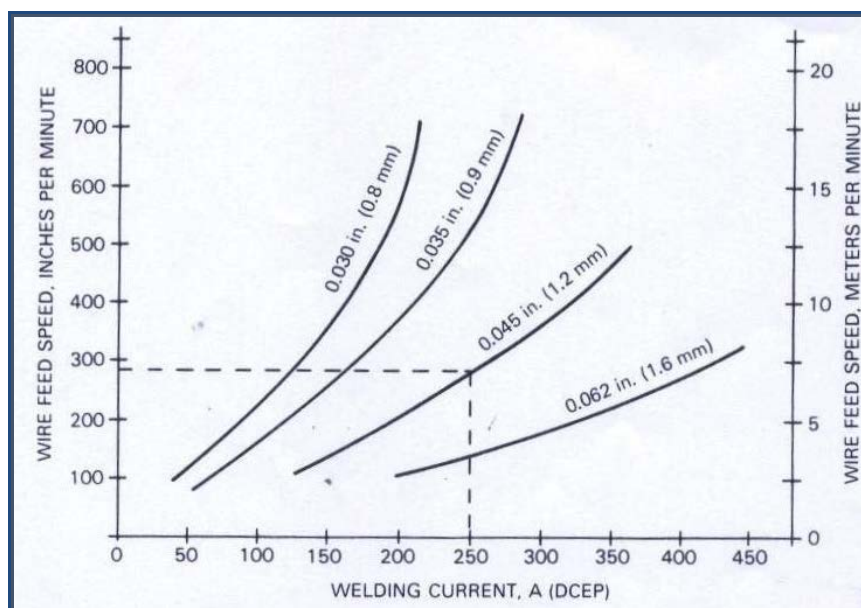


FIG. 15. Curva Amperaje vs Velocidad de alimentación para el acero al carbono.

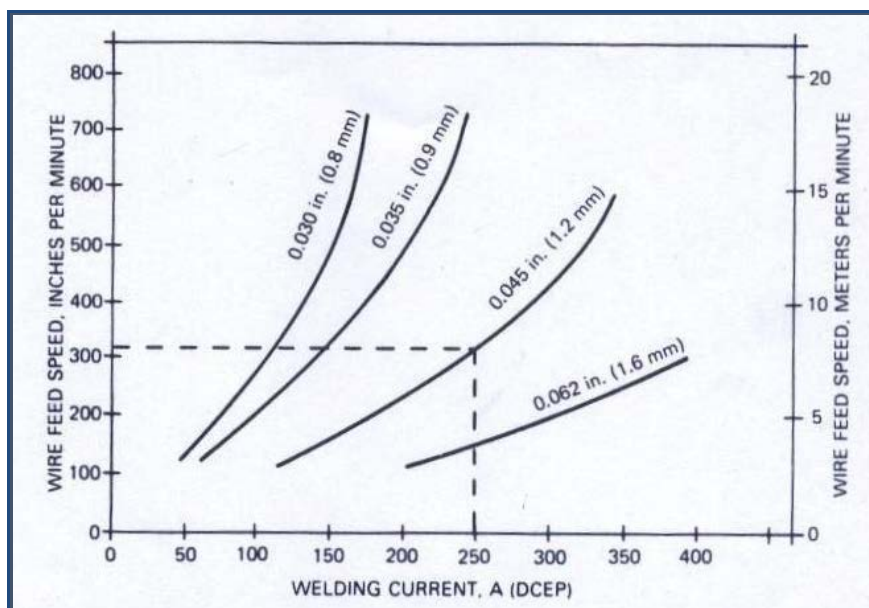


FIG. 16. Curva Amperaje vs Velocidad de alimentación para el inoxidable serie 300.

## 2.2.- Polaridad

La polaridad se utiliza para definir la conexión eléctrica del soplete con relación a los polos de una fuente de alimentación de corriente continua. Cuando el soplete está conectado al polo negativo, la polaridad se define como corriente continua electrodo negativo (CCPN) o polaridad directa (CCPD) (Figura 17).

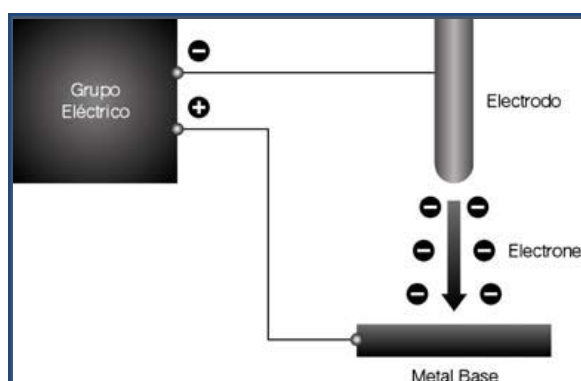


FIG. 17. Conexión CCPN ó CCPD.



Cuando el soplete está conectado al polo positivo, la polaridad se define como corriente continua electrodo positivo (CCPP) o polaridad invertida (CCPI) (Figura 18).

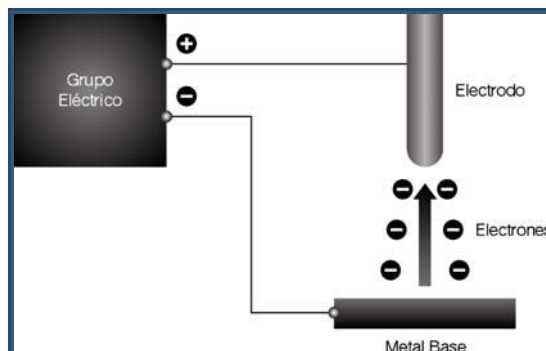


FIG. 18. Conexión (CCPP) ó (CCPI).

La mayoría de las aplicaciones MIG utilizan corriente continua polaridad invertida (CCPI). Con esta conexión, se puede obtener para un amplio rango de intensidades, un arco estable, unas transferencias de metal suaves, bajas proyecciones y unos cordones con buenas características y con la penetración adecuada.

### 2.3.- Voltaje de arco (Longitud de Arco).

El voltaje de arco y la longitud de arco (Figura 19), son términos diferentes, pero que están relacionados. Un aumento o disminución del voltaje del arco, producirá un aumento o disminución proporcional de la longitud del arco. Pero el voltaje del arco no solo depende de la longitud del arco, también

depende de otras variables como gas de protección, composición y diámetro de alambre. Cuando se incrementa la longitud de arco, la superficie cubierta por este en la pieza será mayor, produciendo una zona fundida más amplia, menos profunda y con un cordón mas plano y más ancho que un arco más corto, en el cual el calor y la energía están más concentrados. Los voltajes demasiado altos (arcos muy largos) ocasionan mala protección e inestabilidad, dando origen a porosidad, proyecciones y mordeduras cuando se cubre más superficie con el arco de la que corresponde a la cantidad de material aportado. Los voltajes demasiado bajos dan lugar a zonas fundidas muy pequeñas, cordones estrechos y con sobrecordón.

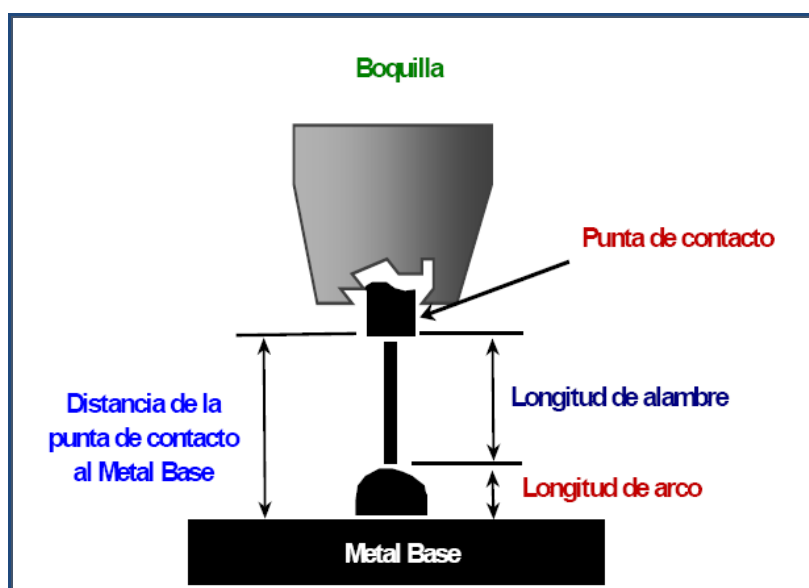


FIG. 19. Terminología GMAW.

#### **2.4.- Velocidad de soldadura.**

Es la velocidad lineal a la cual el arco se mueve a lo largo de la unión. Manteniendo constante el resto de las variables, la penetración es máxima para unos valores intermedios de la velocidad de soldadura. Cuando ésta es baja, la cantidad de material aportado y el calor por unidad de longitud de cordón, aumentan. Sin embargo, a muy bajas velocidades, la penetración disminuye porque el arco incide sobre un baño fundido de tamaño grande en lugar de hacerlo sobre el material base. Cuando se incrementa la velocidad, la energía por unidad de longitud de soldadura transmitida al metal base por el arco, es inicialmente incrementada, ya que el arco actúa más directamente sobre el metal base. Si la velocidad sigue incrementando, menos energía por unidad de longitud se transmitirá al metal base. Cuando la velocidad de soldadura llega a ser mayor que la idónea, disminuye el tamaño del cordón, inclusive pudiendo ser menor la penetración, y pueden provocarse mordeduras al no disponerse de suficiente material de relleno.

#### **2.5.- Longitud de alambre o Extensión del electrodo.**

Es la distancia entre el extremo de la punta de contacto y el extremo del alambre (Figura 19). Al aumentar la longitud de alambre, aumentará la resistencia eléctrica y se elevará la temperatura del alambre. Este precalentamiento hará que el alambre necesite menos intensidad para fundirse, y que se produzca, un pequeño incremento de la velocidad de

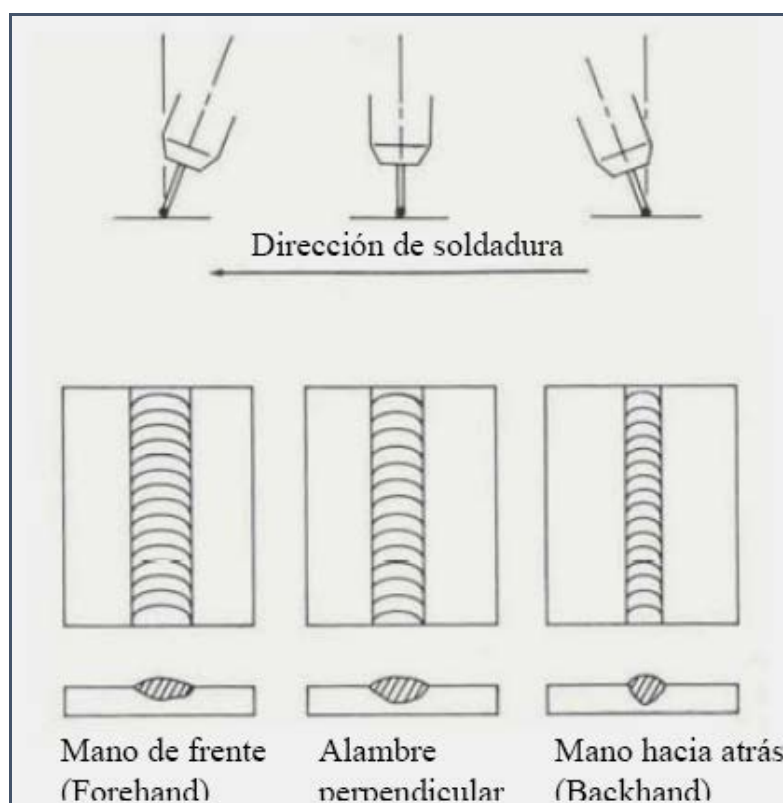
fusión del alambre y originar un exceso de material aportado. El incremento de la resistencia eléctrica del alambre, producirá una mayor caída del voltaje desde la punta de contacto al metal base. A esto responderá el equipo disminuyendo la intensidad, que reducirá la velocidad de fusión del alambre y que disminuirá la longitud de arco. Así, a menos que haya un incremento del voltaje desde el equipo de soldadura, el alambre se depositará en un cordón estrecho y con sobrecordón. En el extremo, puede incluso hacerse insuficiente el grado de protección del gas (debido a la distancia de la boquilla) y producirse porosidad. Esta variable también tiene influencia en el modo de transferencia que se establece. A igualdad del resto de parámetros, la transferencia con arco corto, se obtendrá para las menores longitudes de alambre. Son longitudes aceptables entre 6 y 13 mm para arco corto y de 13 a 25 mm para globular o largo.

## **2.6.- Orientación del alambre.**

Como en todos los procesos de soldadura, la orientación del alambre con respecto a la dirección de avance al soldar, afecta al tipo de cordón y a la penetración. La orientación del alambre afecta al tipo de cordón y a la penetración en mayor medida que el voltaje del arco o la velocidad de soldadura.

Cuando el electrodo apunta en dirección opuesta a la de soldadura, se denomina mano hacia atrás con un ángulo de arrastre. Cuando el electrodo apunta en la dirección de la soldadura, se denomina mano hacia delante

con un ángulo de empuje. En la Figura 20 puede observarse como afecta la orientación del alambre sobre la anchura y la penetración.



**FIG. 20.** Efecto de la posición del electrodo sobre la penetración y el tipo de cordón.

En la soldadura en ángulo en posición cornisa, el alambre debe posicionarse a  $45^\circ$  de la parte vertical.

## 2.7- Posición de Soldadura.

La mayor parte de las soldaduras realizadas con arco largo son hechas a tope en posición horizontal, mientras que puede utilizarse el arco corto y el arco pulsado para todas las posiciones. Las soldaduras en ángulo

realizadas con arco largo en posición plana tienen mejor aspecto, pies iguales y con menos tendencia a dejar mordeduras que las soldaduras realizadas en posición cornisa.

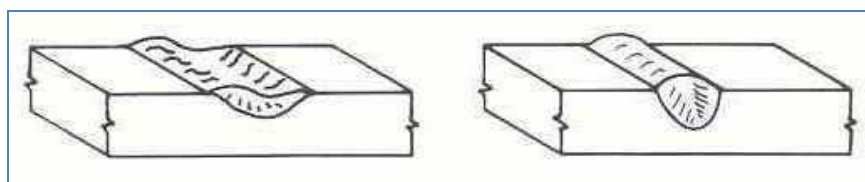
Para la soldadura vertical y techo se utiliza normalmente con arco corto o pulsado y con los más pequeños diámetros de alambre. El bajo input, permite enfriarse al baño rápidamente. Se suele utilizar la soldadura en posición vertical descendente para soldar espesores delgados.

Cuando la soldadura se realiza en posición horizontal, la inclinación del eje de la soldadura respecto al plano horizontal tendrá influencia en el tipo de cordón, penetración y velocidad de soldadura. En la soldadura circunferencial en posición plana, donde la pieza a soldar gira debajo del soplete, se posiciona el soplete dejando una inclinación respecto del centro.

En la soldadura en vertical descendente (Figura 21 A), el baño tiende a fluir hacia el alambre y precalienta el metal base. Cuando el ángulo de inclinación se incrementa, la penetración disminuye y la anchura del cordón se incrementa.

En la soldadura vertical ascendente (Figura 21B), la fuerza de la gravedad motiva que el baño de fusión fluya hacia atrás y se retrase del alambre. Los bordes de la soldadura pierden metal que se deposita en el centro. Cuando el ángulo de inclinación se incrementa, el refuerzo y la

penetración se incrementa y la anchura de la soldadura disminuye. Los efectos son exactamente los opuestos a los producidos para vertical descendente. Cuando se emplean intensidades elevadas, el máximo ángulo utilizable decrece.



**(A) Vertical descendente**

**(B) Vertical ascendente**

**FIG. 21. Efecto de la posición de soldadura sobre el tipo de cordón.**

### **CAPITULO III.**

## **INSTALACIÓN MIG-MAG (GMAW)**

El proceso MIG (GMAW), puede utilizarse de forma semiautomática y automática. Una instalación estará formada por:

1. Pistola de Soldar (Sin refrigerar o refrigerado por agua)
2. Alimentador de alambre
3. Control
4. Fuente de Alimentación o Grupo de Energía
5. Suministro de gas con regulación
6. Alambre consumible
7. Cables y mangueras de conexión
8. Circuito de refrigeración de agua



### 3.1- Pistola de soldar o Torcha.

Las pistolas para soldadura MIG son considerablemente más complejas que los empleados para la soldadura con electrodo revestido. En primer lugar es necesario que el alambre se mueva a través del soplete a una velocidad predeterminada y en segundo, el soplete debe ser diseñado para transmitir la intensidad al electrodo y dirigir el gas de protección. El método de refrigeración, con agua o aire (sólo con el gas de protección), y la localización de los controles de alimentación del electrodo y gases de protección, añaden complejidad al diseño de las pistolas.

#### 3.1.1.- Pistolas para soldadura manual

Son los que se utilizan para la denominada soldadura semiautomática. Pueden tener refrigeración por aire (sólo con el gas de protección) o por agua. Los elementos más importantes de este tipo de soplete son: Boquilla de gas, punta de contacto, conducto de alimentación o guía, cable de energía, mangueras de gas y agua e interruptor.

- **Boquilla de gas.** La boquilla dirige el flujo de gas de protección hacia la zona de soldadura. Es normalmente de cobre o cobre – berilio y tiene un diámetro interior que oscila entre 10 y 20 mm, dependiendo del tamaño del soplete. Un caudal adecuado es importante para la protección del metal soldado de la contaminación atmosférica. Debe

seleccionarse la boquilla adecuada para cada aplicación, las boquillas de diámetros mayores deben utilizarse para elevadas intensidades y grandes baños de fusión y las de menor diámetro para intensidades bajas y arco corto. Para soldadura por puntos las boquillas están diseñadas de modo que permitan la salida del gas cuando esta presionadas contra el metal base.

- **Punta de contacto.** Es uno de los elementos más económicos de una instalación MIG y sin embargo, utilizar la adecuada y sustituirla cuando esté “gastada” es de gran importancia para evitar problemas con la alimentación del alambre y de contacto eléctrico. Es de cobre o aleaciones de cobre, transfiere la intensidad de soldadura al alambre y dirige este hacia el metal base. La punta de contacto está conectada eléctricamente al grupo por el cable de energía. La parte interior de la punta de contacto debe tener una superficie lisa para que el alambre de soldadura pase fácilmente y haga buen contacto eléctrico. Generalmente el orificio por donde pasa el alambre debe ser entre 0,1-0,2 mm de diámetro superior al del alambre. La práctica de utilizar una punta de contacto de diámetro superior para evitar problemas de alimentación es un recurso que solo sirve para enmascarar otros problemas más graves del circuito de alimentación y que a lo largo del tiempo disminuyen el rendimiento de la instalación. La punta de contacto debe estar firmemente sujeta al soplete y centrada en la boquilla de gas. Para transferencia por arco corto, la

punta de contacto debe sobresalir de la boquilla de gas unos 2mm, mientras que para arco largo debe estar retraído 2mm. Durante la soldadura debe comprobarse periódicamente si el orificio se ha agrandado por el desgaste con el alambre o si alguna salpicadura evita que el alambre salga correctamente.

- **Conducto de alimentación o guía.** Debe ser del material y el diámetro apropiado. Se recomienda de acero cuando se va a utilizar con alambre duros como el acero al carbono, inoxidable, cobre y de Nylon si se va a utilizar con alambre blandos como aluminio o magnesio. Cuando la guía es de Nylon se debe tener un cuidado especial cuando se introduce el alambre para evitar que dañe el Nylon, para ello es aconsejable limar su punta. La guía debe ser revisada periódicamente para comprobar que esta limpia y en buenas condiciones para facilitar el paso del alambre.
- **El cable y las mangueras** llevan respectivamente la energía, el gas y el agua de refrigeración de la fuente de suministro al soplete.
- **Interruptor.** Suele tener forma de gatillo en las pistolas de alimentación manual. Actúa para comenzar o detener la alimentación de alambre. Puede ser de 2 ó 4 tiempos dependiendo, si se van a realizar soldaduras de pequeña o una gran longitud. Permite al soldador decidir si presiona de modo continuo el interruptor durante la soldadura,

liberando el interruptor al terminar la soldadura (2 tiempos) o “presiona y suelta” en el inicio de la soldadura y “presiona y suelta” para terminar.



**Fig.22. Diversos elementos de una pistola Mig-Mag**

Las pistolas refrigeradas por agua son similares a los no refrigerados, incorporando los conductos que permitan la circulación del agua hasta la boquilla. La refrigeración con agua hace que se produzca una menor adherencia de salpicaduras a la boquilla. La selección entre refrigeración por agua o por aire se debe basar en el tipo de gas de protección, intensidad y voltaje de soldadura, diseño de las uniones a soldar y práctica existente en el taller. Para intensidades de soldadura equivalentes, las pistolas refrigeradas por agua funcionan a temperaturas considerablemente inferiores. Cuando se utiliza CO<sub>2</sub> como gas de protección, se calienta menos la pistola que cuando se utilizan mezclas de argón con otros gases. Sin embargo, el tipo de unión tiene más influencia en la cantidad de calor transferido al soplete que el tipo de gas de protección empleado.

En la soldadura de uniones en esquina o en T el soplete se calienta más que en las uniones a tope o de solape, en las cuales el calor se distribuye en varias direcciones.

Las pistolas refrigerados por aire (solo con gas de protección), son más pesadas que los refrigerados por agua a igualdad de capacidad de disipación de calor. Las pistolas refrigerados por aire pueden soldar con intensidades de hasta 500 A. como máximo aunque los 250 o 300 A. es un límite más realista. Las pistolas refrigerados por agua se emplean para intensidades entre 200 y 750 A. Sin embargo, el llegar al límite superior en estos soplete manuales, dependerá más bien de si el soldador es capaz de tolerar el calor desprendido por radiación del arco y del cordón depositado.

### **3.1.2.- Pistolas para soldadura automática.**

En este caso, la pistola está sujeto y guiado por medios mecánicos. Pueden estar igualmente refrigerados por aire o por agua. Los componentes principales son generalmente los mismos ya vistos para las pistolas manuales (soldadura semiautomática). En las Figuras 18 y 20 pueden verse el aspecto y la sección de un soplete para soldadura automática y de las boquillas de soldadura con puntas de contacto rectas y dobladas. En algunos modelos de sopletes se hace llegar el gas de protección al arco a través de conductos externos, en lugar de conductos internos concéntricos con el alambre.

### 3.2.- Alimentador de alambre.

Es el dispositivo que hace que el alambre pase por la punta de contacto del soplete para fundirse en el arco. Tiene una gran importancia, ya que la calidad y el aspecto de las soldaduras dependen de que el alambre llegue al tubo de contacto con una curvatura pequeña, perfectamente regular, y con una velocidad lo más constante posible. Para ello, la alimentación del alambre ha de ser constante y sin deslizamientos en los rodillos. También es importante que pueda pararse de forma instantánea.

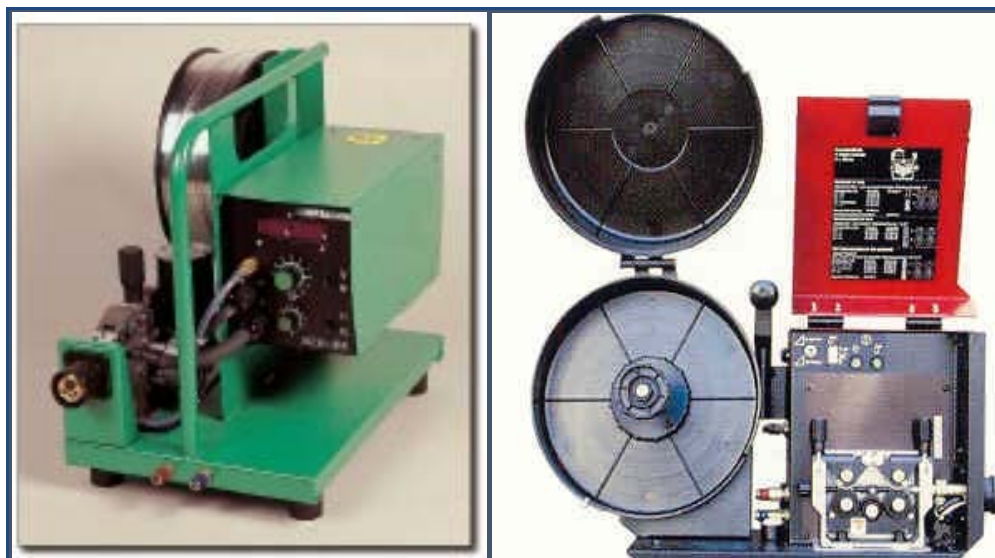


FIG. 23. ALIMENTADORES CON Y SIN PROTECTOR DE BOBINA

La mayoría de los alimentadores son de velocidad constante, es decir, la velocidad es establecida antes de que comience la soldadura y se utilizan con fuentes de alimentación de característica plana (de potencial constante).

La alimentación comienza o finaliza actuando sobre el interruptor situado en la pistola.

Los sistemas de velocidad variable son adaptables únicamente a las fuentes de alimentación de característica descendente (de intensidad constante) debido a que dependen de las desviaciones en el voltaje del arco para aumentar o disminuir la velocidad de alimentación del alambre y por tanto se usan menos que los de alimentación de velocidad constante.

Los sistemas de alimentación pueden ser de varios tipos: de arrastre, de empuje o combinados de arrastre-empuje. El tipo depende fundamentalmente del tamaño y composición del alambre usado y, a veces de la distancia entre la bobina de alambre y el soplete.

La mayoría de los sistemas son de empuje, en los que el alambre es estirado desde un carrete por medio de unos rodillos y es empujado a través del conducto de alimentación del soplete. Normalmente es necesario un sistema de frenado para la bobina, para evitar su giro incontrolado. En la Figura 23 pueden verse dos de los alimentadores típicos. Con y sin protector de bobina y con 2 o 4 rodillos. Para aplicaciones críticas o en las instalaciones donde se requiera tener una mayor garantía en el arrastre se utilizan 4 rodillos.

- Para alambres macizos duros, como aceros al carbono e inoxidables, con la ranura guía en forma de V para los rodillos inferiores y planos

los superiores. Este tipo de rodillos no se recomienda para utilizarlos con alambres macizos blandos, ya que se laminarían y darían problemas en el conducto de alimentación o en la punta de contacto.

- Para los alambres macizos blandos, como aluminio y magnesio, con la ranura guía en forma de U para ambos rodillos, inferiores y superiores.
- Para los alambres tubulares, se utilizan rodillos con ranura guía en U y con estrías, para transmitir el máximo empuje con la presión mínima.

### **3.3.- Control.**

La principal función del control es regular la velocidad de alimentación de alambre. Incrementando la velocidad de alimentación se incrementa la intensidad y disminuyéndola se reduce la intensidad. El control regula el inicio y parada de la alimentación de alambre a través de la señal enviada desde el interruptor del soplete.

El control también regula normalmente el pre flujo y pos flujo de gas de protección.

Entre los opcionales que puede llevar el control para mejorar la calidad de soldadura son:



- Inicio suave. La velocidad de alimentación de alambre es inicialmente más lenta hasta que el arco se ceba, entonces sube hasta la requerida para la soldadura. Con esto se consigue un mejor inicio de soldadura.
- Final suave. Corta la alimentación de alambre justamente antes de cortar la intensidad de soldadura. Su finalidad es evitar el cráter final
- Sistema "Touch-Star" inicio tocando con el alambre. El alambre comienza a alimentarse cuando toca al metal base.
- Terminación correcta del alambre. Para evitar que quede en el extremo final del alambre una gota excesivamente grande que interfiera en posterior inicio del arco. Esto es especialmente importante en soldadura automática.

### **3.4.- Fuentes de Poder.**

La fuente de poder entrega energía eléctrica al electrodo y la pieza de trabajo para producir el arco eléctrico. Para la mayoría de las aplicaciones GMAW, se usa la corriente directa con electrodo positivo (DCEP), por lo tanto, la pistola es conectada a la entrada positiva y la grapa a tierra al negativo. Se usan diferentes tipos de fuentes: motosoldadores (rotativos), transformador-rectificador (estático). Las inversoras se incluyen la categoría estática. Se prefiere usar el tipo transformador-rectificador donde la fuente

de energía esta en 230 V o 460 V. Se usa los tipos motosoldadores cuando no hay disponible una fuente de energía eléctrica.

Para ambos tipos de fuente de poder se pueden diseñar y construir como de corriente constante o de voltaje constante.

Algunas aplicaciones del proceso GMAW usan fuentes de poder de corriente constante (referidas como droopers). Estas mantienen fijo un nivel relativo de corriente durante la soldadura, sin importar las variaciones de la longitud de arco como se ilustra en la figura 24 estas máquinas se caracterizan por altos voltajes de circuito abierto y niveles de corriente de circuito limitadamente cortos. Por lo tanto como estas fuentes proveen virtualmente corriente de salida constante, el arco se mantendrá con una longitud fija sólo si la distancia de entre la tobera a la pieza de trabajo se mantiene constante, con una alimentación de electrodo constante. Se usa este tipo de fuentes de poder en transferencia spray.

Las fuentes de potencial constante (CP) dan una mejor operación. Usadas en conjunto con alimentadores de velocidad constante, estas mantienen el voltaje constante durante el soldeo. La curva volt-ampere de este tipo de fuente se ilustra en la figura 25 el sistema CP compensa las variaciones de distancia entre la boquilla y la pieza de trabajo, las cuales ocurren durante una operación de soldeo normal, se logra esto con incrementos o decrementos instantáneos de la corriente de soldadura para compensar los

cambios en el stick-out debido a los cambios en la distancia entre la pistola y la pieza de trabajo.

La longitud de arco se estabiliza por el ajuste del voltaje de soldadura en la fuente de poder. Una vez hecho esto no se requiere ningún cambio durante el soldeo. La velocidad de alimentación de alambre se convierte en el control de corriente, es seteada por el operador antes del soldeo. El mecanismo de autocorrección se ilustra en la Figura 26. Cuando la distancia entre la boquilla y la pieza de trabajo se incrementa, el voltaje de arco y la longitud de arco tienden a incrementarse. Sin embargo, la corriente de soldadura decrece con este ligero incremento de voltaje, esto compensa el incremento del stick out. De manera contraria, si la distancia se acorta, el menor voltaje es acompañado por un incremento de la corriente para compensar el stick out más corto.

La característica de autocorrección de la longitud de arco de una fuente de poder CP radica su importancia en producir condiciones estables de soldeo, pero hay otras variables adicionales que contribuyen a un optimun performance, particularmente en la transferencia cortocircuito.

Son deseables además a la suma de control de salida de voltaje, algunos grados de gradiente y control inductancia.

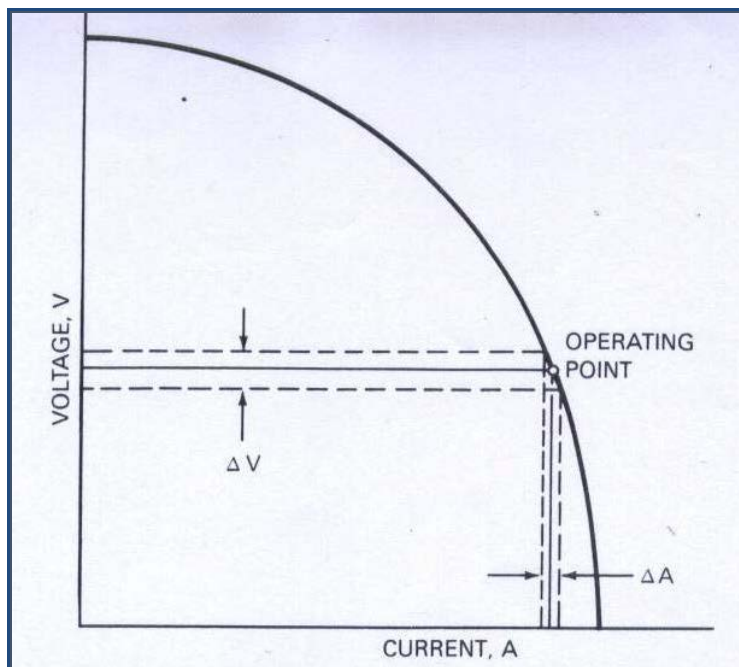


Fig. 24. Relación entre Voltaje-Amperaje en una fuente CC.

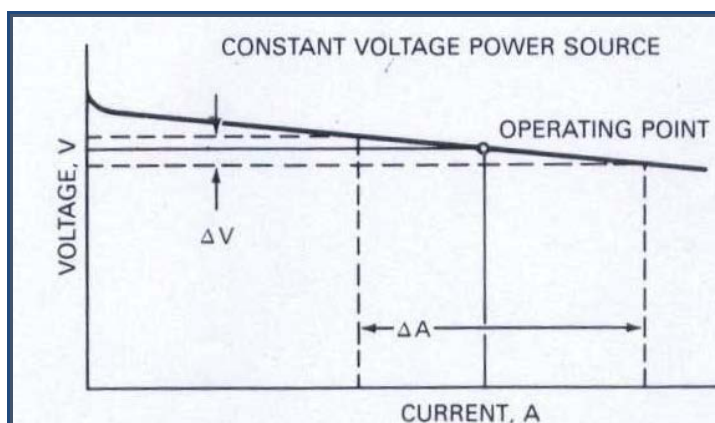


Fig. 25. Relación entre Voltaje-Amperaje para una fuente CP

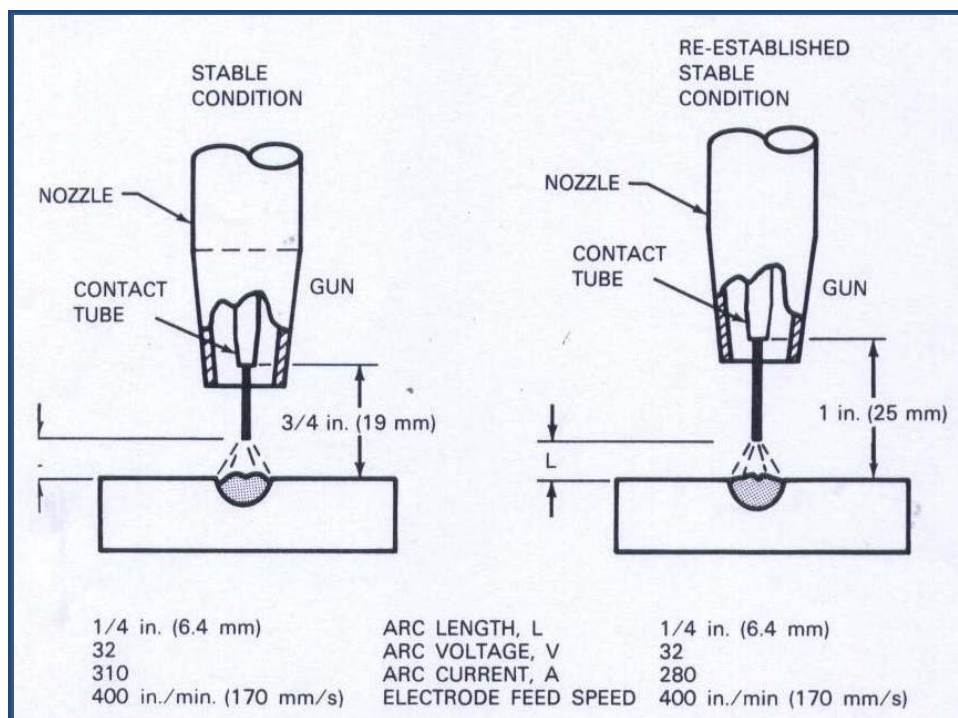


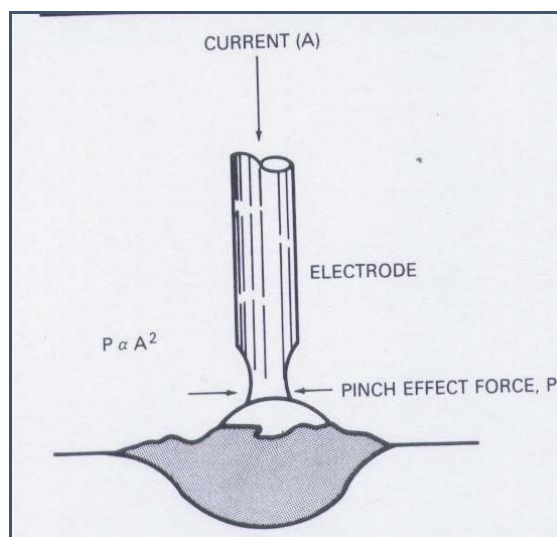
Fig. 26. Regulación automática de la longitud de arco en el proceso GMAW.

**3.4.1. Voltaje.** El voltaje de arco es el potencial eléctrico entre el electrodo y la pieza de trabajo. El voltaje de arco es menor que el voltaje medido directamente de la fuente de poder debido a la caída de potencial en la conexiones y a lo largo de la longitud del cable de soldeo. El voltaje de arco está directamente relacionado con la longitud de arco.

**3.4.2 Slope (Gradiente).** La gradiente de una fuente de poder, es especificada por el fabricante, algebraicamente es la gradiente de la curva voltaje amperajes y por costumbre se da como la caída de voltaje por 100 amperes de incremento de corriente. La gradiente tiene una función relevante en el modo de transferencia cortocircuito, donde controla la magnitud de la corriente de corto circuito, la cual es el amperaje que fluye

cuando el electrodo se acorta a la pieza de trabajo. En el proceso GMAW, la separación de las gotas fundidas de metal del electrodo son controladas por un fenómeno eléctrico llamado efecto electromagnético pinch. Pinch es la fuerza de “estrangulamiento” magnético en un conductor producido por la corriente que fluye a través de él. Para la transferencia cortocircuito, este efecto se ilustra en la figura 27.

La corriente cortocircuito (por lo tanto la fuerza pinch) es función de la gradiente (slope) de la curva voltaje-amperaje de la fuente de poder., como se ilustra en la figura 28.



**Fig. 27. Ilustración del Efecto Pinch durante la transferencia cortocircuito.**

El voltaje y el amperaje de operación de las dos fuentes de poder son idénticos, pero la corriente de cortocircuito de la curva A es menor que la de la curva B. La curva A tiene la gradiente más empinada, o una mayor caída de voltaje por 100 amperes comparado con la B, de menor corriente de corto circuito y menor efecto pinch.

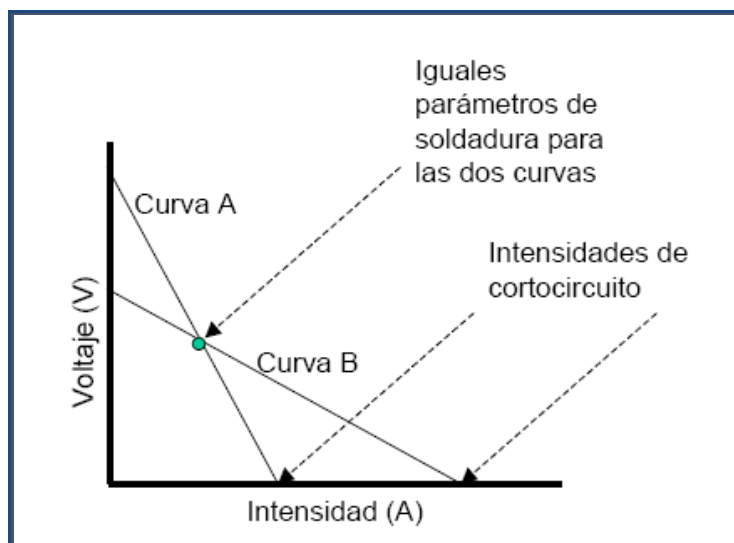


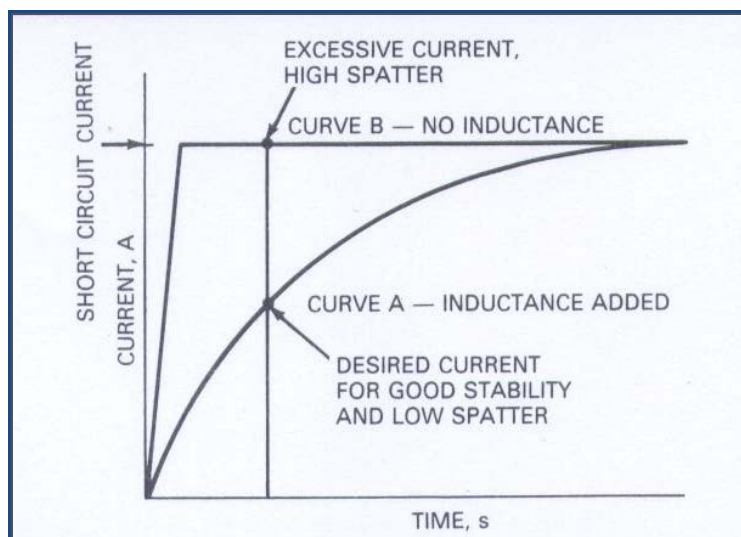
Fig. 28. Efecto del Cambio de Slope.

En la transferencia cortocircuito el valor de corriente cortocircuito es importante debido a que el efecto pinch resultante determina la manera que la gota fundida se separa del electrodo. Esto a su vez afecta la estabilidad de arco.

**3.4.3. Inductancia.** Cuando el electrodo toca la pieza de trabajo, la corriente se incrementa rápidamente a un nivel muy alto. La característica de circuito que afecta el ratio de tiempo de este incremento en corriente es la inductancia, usualmente medida en Henry. El efecto de la inductancia se ilustra en la Figura 29.

La curva A es un ejemplo de una curva corriente-tiempo inmediatamente después de un corto circuito cuando algo de inductancia afecta al circuito. La curva B ilustra el camino que la corriente debería tomar si no hubiera

inductancia en el circuito. La inductancia en el circuito controla el ratio de incremento de corriente. Sin inductancia el efecto pinch se presenta rápidamente y la gota fundida puede ser violentamente “estrangulada” del electrodo y causar excesivas salpicaduras. Mayor inductancia da como resultado una disminución de los cortocircuitos por segundo y un incremento en el tiempo de arco encendido. Esto da como resultado un baño más fluido y un cordón de forma más suave y plano.



**Fig. 29. Cambio en el ratio de incremento de corriente debido a la inductancia añadida.**



## **CAPITULO IV.**

### **GASES DE PROTECCIÓN.**

La función principal del gas de protección es desplazar el aire de la zona de soldadura para proteger al metal fundido, el baño de fusión y el electrodo, para evitar su contaminación. Otras funciones del gas de protección son influir en:

1. El tipo de transferencia de metal.
2. La estabilidad del arco.
3. La cantidad y en la calidad de los humos.
4. Las propiedades mecánicas.
5. La penetración y en el tipo y tamaño de cordón.
6. La velocidad de soldadura
7. Los costos de soldadura.

8. La cantidad de energía que pasa a través del arco eléctrico.

#### **4.1.- Factores que afectan la elección del gas de protección adecuado.**

En ocasiones, hay un factor que tiene una mayor importancia y por sí sólo determina el gas adecuado, en otras, es necesario hacer una evaluación de varios factores. Los fundamentales son:

- Tipo de proceso, manual o automático y tipo de transferencia.
- Material a soldar.
- Espesor del material.
- Posición de soldadura.
- Material de aportación.
- Propiedades mecánicas requeridas.
- Penetración.
- Velocidad de soldadura.
- Calidad exigida.
- Humos.
- Aspecto final.
- Costos.

Si bien los gases inertes puros protegen al metal depositado de las reacciones con el aire, no son adecuados para todas las aplicaciones de soldadura. Mezclando cantidades controladas de gases activos con los inertes, se obtienen simultáneamente un arco estable y una transferencia de metal sin salpicaduras. Son muy pocos los gases activos que han sido

utilizados con éxito, solos o combinados con gases inertes, en la soldadura. Entre ellos podemos citar al  $\text{CO}_2$ , oxígeno, nitrógeno, e hidrógeno. La utilización de alguno de ellos, tal como el hidrógeno o nitrógeno, debe hacerse en algunas aplicaciones especializadas, en los casos en que su presencia no cause porosidad o fragilización del metal.

Como regla general, no es conveniente usar gases activos solos. El  $\text{CO}_2$  es la notable excepción, puesto que es adecuado su uso sólo, mezclado con gases inertes o con oxígeno, para la soldadura de una variedad de aceros al carbono y de baja aleación. El resto de gases, con la excepción del nitrógeno, se emplea en forma de pequeñas adiciones a uno de los gases inertes (habitualmente el argón). El nitrógeno ha sido empleado solo o mezclado con argón para la soldadura de cobre. Su empleo es más extendido en Europa donde el helio es difícil de conseguir.

Se ha demostrado que la selección del gas de protección depende del tipo de metal a soldar, del espesor, proceso, requisitos de calidad y factores metalúrgicos, sin olvidar el costo. En general, en los metales no férreos se emplea argón, helio o mezclas argón-helio. En los materiales férreos se emplean adiciones de oxígeno o dióxido de carbono puro.

#### **4.2.- Argón, Helio y sus mezclas.**

Si bien los dos gases son igualmente inertes, difieren en otras propiedades.

Estas diferencias están reflejadas en sus efectos sobre la transferencia del metal, penetración, tamaño de la soldadura, mordeduras y otras características de la soldadura, en función de todas las cuales se hará la selección del gas para obtener los efectos deseados.

El helio tiene una mayor conductividad térmica que el argón. Para una longitud de arco e intensidades dadas, el voltaje del arco es mayor con protección de helio que con argón debido a que el potencial de ionización del argón es menor que el de el helio (Figura 46). Por consiguiente, se produce más calor, para una corriente dada, con un arco en protección de helio que si es de argón. Esto hace que el helio sea preferible en la soldadura de espesores gruesos, especialmente si el metal a soldar es de alta conductividad, como en las aleaciones de cobre o aluminio. Obviamente, el argón será preferible al soldar bajos espesores o metales poco conductores.

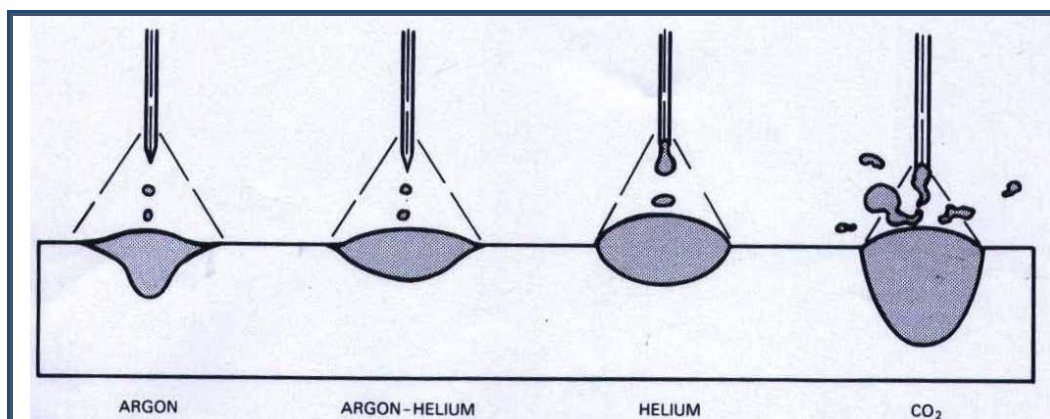
La capacidad de protección del argón es mayor que la del helio puesto que, al ser el helio menos pesado que el aire, tiende a elevarse de forma turbulenta y dispersarse de la zona de soldadura. Esto hace que generalmente se requiera un mayor caudal de helio que de argón para un mismo nivel de protección.

Las soldaduras hechas con helio tienen generalmente un sobre espesor más ancho que las hechas con argón. Las soldaduras hechas con argón generalmente tienen una penetración mayor en el centro que en los

bordes.

El helio se añade al argón a veces para incrementar la penetración, manteniendo las características de transferencia de metal del argón.

Esto es debido a que las características de forma y penetración de los cordones dependen fuertemente de las características de transferencia del metal. La transferencia en arco largo tiende a producir penetración relativamente profunda a lo largo de la línea central de la soldadura y relativamente menor en los bordes, debido al efecto de chorro del plasma. La transferencia globular y en cortocircuito tiende a producir una penetración menos profunda pero más igualada. Como regla general, la transferencia con arco largo se obtiene más fácilmente en argón que en helio. En cualquier gas, la forma de la soldadura, observada en sección, varía con la polaridad del electrodo. Las soldaduras hechas con polaridad invertida (electrodo al positivo) muestran formas más aceptables que las hechas con polaridad directa (electrodo negativo). (Figura 30).



**Fig. 30. Perfiles de penetración de varios gases de protección.**

Debido a las diferencias en la transferencia y a las propiedades físicas del helio y del argón, los gases tienen diferentes aplicaciones. El argón es preferible para la soldadura de las piezas de poco espesor y materiales de baja o moderada conductividad térmica. Por otra parte, el helio, debido al mayor poder calorífico de su arco, se prefiere generalmente para la soldadura de materiales de alta conductividad. En muchos casos, se puede tener las ventajas de ambos gases empleando mezclas de los dos.

#### **Mezclas de 70-75 % Ar- 25-30% He**

Se utiliza para la soldadura de metales no féreos, donde se necesita un incremento del input térmico y cuando un buen aspecto del cordón es importante. Es una de las mezclas más utilizadas en la soldadura del aluminio.

#### **Mezclas de 50 % Ar- 50% He.**

Para aplicaciones automatizadas o con robot de metales no féreos en espesores inferiores a 15 mm.

#### **Mezclas de 25-30% Ar- 70-75% He**

Para aplicaciones automatizadas o con robot de aluminio en espesores

superiores a 15 mm en posición horizontal. Incrementa el input térmico y reduce la porosidad de las soldaduras de aleaciones de cobre.

#### **4.3.- Adiciones de Oxígeno y Dióxido de Carbono al Helio y Argón.**

##### **Transferencia con arco- largo (Tabla 4)**

En la soldadura de algunas aleaciones no férricas es preferible el uso de gases inertes puros, pero la soldadura de metales férricos, el uso de dichos gases no siempre proporciona las mejores características operacionales. Cuando se utiliza argón puro, hay una tendencia a la expulsión del metal, a que no fluya bien en la línea de fusión o en la raíz de la soldadura de acero al carbono y de la mayoría de los aceros de baja aleación. Además la transferencia de metal tiende a ser errática y formar escoria. El uso de helio o mezclas de argón y helio no llega a mejorar la situación ni en las aleaciones férricas y en las no férricas.

La adición de oxígeno o dióxido de carbono al argón estabiliza el arco, mejora la transferencia del metal. Al mismo tiempo, estas adiciones cambian la forma de la sección de la soldadura y mejora el mojado y el flujo del metal a lo largo de los bordes en aceros al carbono y de baja aleación, reduciéndose las mordeduras. Estas adiciones de oxígeno al argón o helio cuando se suelda con electrodo negativo tienen también consecuencias positivas, mejorándose la penetración y la forma del cordón depositado, acercándose a lo que se puede obtener cuando se suelda con electrodo

positivo. La cantidad del oxígeno que hay que añadir en este último caso es relativamente elevada, y es del orden del 5%.

Soldando en condiciones más convencionales (CCPI - electrodo positivo), la cantidad de oxígeno o dióxido de carbono que hay que añadir para producir cambios notables en la estabilidad del arco son pequeñas: con un 0,5% es suficiente. Sin embargo, son más comunes adiciones entre el 1 y 5% de oxígeno y del 3 al 10% de dióxido de carbono. A veces se emplean estas adiciones también para la soldadura en arco corto o en corriente continua pulsada. Normalmente tales adiciones se hacen solo al argón para mejorar la transferencia axial en arco largo y el mojado.

La adición de oxígeno o dióxido de carbono a los gases inertes, hacen que el gas de protección sea más oxidante, lo cual puede causar porosidad en aleaciones férreas, salvo que se contrarreste este efecto mediante la adición de desoxidantes en el electrodo. Además puede causar pérdidas de ciertos elementos, tales como cromo, vanadio, aluminio, titanio, manganeso y silicio.

### **Mezclas de 95 % Ar- 2% CO<sub>2</sub>.**

Se utiliza en la soldadura de aceros inoxidable con todos los tipos de transferencia. La apariencia del cordón es más limpia que en la soldadura con Ar-CO<sub>2</sub>



**Mezclas de 95 % Ar- 5% CO<sub>2</sub>**

Empleada para la soldadura con arco pulsado de diferentes espesores de aceros al carbono y de baja aleación y en todas las posiciones. Produce una buena estabilidad del arco cuando se suelda sobre una superficie con ligero óxido y un baño de fusión mas controlable que las mezclas de Ar/ O<sub>2</sub>

**Mezclas de 92 % Ar- 8% CO<sub>2</sub>**

Estas mezclas se comportan de modo similar a 95 % Ar- 5% CO<sub>2</sub> pero incrementan el input térmico dando lugar a un baño de fusión mas grande y fluido en arco corto, arco largo y arco pulsado.

**Mezclas de 90 % Ar- 15% CO<sub>2</sub>**

Estas mezclas se utilizan en un gran número de aplicaciones en la soldadura de aceros al carbono y de baja aleación. Se puede conseguir la máxima productividad en espesores delgados en la transferencia con arco corto. En comparación con el CO<sub>2</sub>, en la soldadura de espesores delgados, se consigue disminuir la excesiva penetración del CO<sub>2</sub> que puede llegar a perforar, mientras se incrementa la velocidad de deposición y la velocidad de soldadura. En comparación con mezclas con mayor contenido en CO<sub>2</sub> como Ar-20% CO<sub>2</sub> se puede incrementar la eficiencia de

la deposición debido a la disminución de salpicaduras.

Con esta mezcla se puede conseguir la transferencia con arco largo, aunque este cerca del límite máximo considerado del 20 % de CO<sub>2</sub> para poder tener esta transferencia.

#### **Mezcla de 99 % Ar- 1% O<sub>2</sub>.**

Principalmente empleadas para la soldadura por arco largo del acero inoxidable. El 1% de oxígeno es suficiente para estabilizar el arco, mejorar la velocidad de transferencia de las gotas y el aspecto del cordón.

#### **Mezclas de 98 % Ar- 2% O<sub>2</sub>**

Se emplean en la soldadura con arco largo de aceros al carbono, de baja aleación y aceros inoxidables. Se logra una mayor fluidez que con el 1 % de O<sub>2</sub>. Las propiedades mecánicas y la resistencia a la corrosión de las soldaduras hechas con 1% y 2% son similares. Sin embargo, la apariencia del cordón de acero inoxidable será mas oscura y más oxidada para el 2%.

#### **Mezclas de 95 % Ar- 5% O<sub>2</sub>**

Esta mezcla produce un baño de fusión más fluido. Es la mezcla de Ar-O<sub>2</sub> más empleada para la soldadura de aceros al carbono. Con ella se pueden

conseguir las mayores velocidades de soldadura.

### **Mezclas de argón/Oxígeno/CO<sub>2</sub>**

Estas mezclas de tres componentes se utilizan para la soldadura de aceros al carbono y de baja aleación. Ofrecen la versatilidad necesaria para poder soldar con todos los tipos de transferencia, arco corto, arco largo, arco pulsado y alta densidad de energía.

Las composiciones más usuales son:

80 % Ar-15% O<sub>2</sub>-5% CO<sub>2</sub>

90 % Ar-8% O<sub>2</sub>-2% CO<sub>2</sub>

90 % Ar-5% O<sub>2</sub>-5% CO<sub>2</sub>

93 % Ar-5% O<sub>2</sub>-2% CO<sub>2</sub>

96 % Ar-3% O<sub>2</sub>-1% CO<sub>2</sub>

La mezcla más adecuada dependerá del tipo de transferencia y la posición de soldadura. En la soldadura de espesores delgados, el contenido en oxígeno ayudará a la estabilidad del arco a bajas intensidades (30-60 A) con un arco corto de fácil control, con bajo input para tener baja tendencia a traspasar y con pocas deformaciones. A intensidades elevadas en transferencia por arco largo, se obtienen velocidades de deposición y de

soldadura más elevadas que con mezclas de Ar- CO<sub>2</sub>.

### **Mezclas de argón/Helio/ CO<sub>2</sub>.**

Las adiciones del helio y CO<sub>2</sub> al argón incrementan el input térmico y la fluidez y mojabilidad del baño. Pueden emplearse en la soldadura de aceros al carbono, baja aleación, aceros inoxidable y aleaciones de níquel, pero debido al elevado costo del helio, tienen sus principales aplicaciones en la soldadura de acero inoxidable y de aleaciones de níquel.

Las composiciones más usuales para la soldadura de acero al carbono y baja aleación son:

72% Ar-20% He-8 % CO<sub>2</sub>

66% Ar-26% He-8 % CO<sub>2</sub>

Se utilizan para la soldadura con arco largo y con arco pulsado. Pueden emplearse para todos los espesores y en todas las posiciones. Aunque la limpieza es necesaria, estas mezclas permiten la soldadura sobre superficies con contenidos superiores de óxidos que las mezclas convencionales de dos componentes. Se puede controlar el baño con facilidad y se obtienen buenas propiedades mecánicas.

Las composiciones más usuales para la soldadura de aceros inoxidables

son:

78% Ar-20% He-2 % CO<sub>2</sub>

83% Ar-15% He-2 % CO<sub>2</sub>

81% Ar-18% He-1 % CO<sub>2</sub>

66% Ar-33% He-1 % CO<sub>2</sub>

Se utilizan para transferencia con arco corto, largo y pulsado. En comparación con las mezclas de dos componentes se obtienen mayores velocidades de soldadura, cordones más anchos y planos, con buen color, baja porosidad y buena resistencia a la corrosión por la baja pérdida de elementos.

#### **4.4.- Adiciones de Oxígeno y Dióxido de Carbono al Helio y Argón.**

##### **Transferencia Cortocircuito. (Tabla 4).**

Los gases empleados para transferencia con arco corto son diferentes de los empleados para soldar con transferencia en arco largo. Por ejemplo, son comunes, las mezclas Argón - 20 a 50% dióxido de carbono en soldadura de aceros con transferencia en arco corto. Para la soldadura de metales no férricos se usa argón o mezclas argón-helio en tanto que para la soldadura de aleaciones férricas se emplean mezclas de gases inertes y activos, como Ar- CO<sub>2</sub>.

Los gases poliatómicos o de "alto voltaje" se emplean para aumentar

el aporte térmico y mejorar el mojado. A veces el porcentaje de gas reactivo debe ser limitado para evitar las reacciones gas-metal que pueden ser perjudiciales desde el punto de vista metalúrgico. Por ejemplo, las mezclas argón-CO<sub>2</sub> funcionan bien en la soldadura de aceros inoxidable, sin embargo, si el contenido de CO<sub>2</sub> es elevado, aumentan el contenido en carbono del metal depositado y reducen la resistencia a la corrosión, especialmente en soldaduras multipasadas. Por consiguiente, se utilizan mezclas con contenidos limitados de CO<sub>2</sub> como Ar- 2.5% CO<sub>2</sub> ó 90 % He - 7,5% Ar - 2,5%CO<sub>2</sub>. De forma similar, se emplea una mezcla 70% He - 25-35% argón – 4,5% CO<sub>2</sub> para la soldadura de aceros de baja aleación cuando es importante la resiliencia. Los caudales de gas requeridos para la soldadura en arco corto suelen ser inferiores a los necesarios para la soldadura en arco largo, debido a la menor corriente de soldadura y al menor tamaño del baño de fusión.

#### **Mezclas de 80 % Ar- 20% CO<sub>2</sub>.**

Esta mezcla se utiliza para soldadura de aceros al carbono por arco corto y por el contenido de CO<sub>2</sub> está en el límite para poder soldar con arco largo. De hecho con muchos equipos de soldadura no es posible llegar a obtener un arco largo. Se utiliza para la soldadura con alambres flux cored de aceros al carbono y de aceros inoxidable (ver recomendaciones del fabricante del alambre).

**Mezclas de 75 % Ar- 25% CO<sub>2</sub>.**

Es la mezcla típica para soldar aceros al carbono con arco corto con alambres de 1,0 y 1,2 mm de diámetro. No se puede obtener con ella un arco largo. Se utiliza para la soldadura con alambres flux cored de aceros al carbono y de aceros inoxidable (ver recomendaciones del fabricante del alambre).

**4.5.- Dióxido de carbono CO<sub>2</sub>.**

El dióxido de carbono, junto con las mezclas argón-oxígeno, ha sido uno de los gases más empleados en la soldadura de los aceros, debido a sus buenas características en velocidad de soldadura, penetración y formación de depósitos sanos con buenas características mecánicas, junto a su bajo costo.

Con el uso de este gas no es posible conseguir una transferencia en arco largo con dirección axial. La transferencia puede ser con arco corto, globular o largo, pero con dirección no axial. El principal inconveniente es que se produce un arco con excesiva cantidad de salpicaduras, salvo que se utilice una longitud de arco muy corta y uniforme, manteniendo el extremo del electrodo por debajo de la superficie de trabajo. El ajuste adecuado de la inductancia también disminuye el nivel de salpicaduras.

El CO<sub>2</sub> es oxidante a las temperaturas del arco, por lo que para obtener soldaduras de calidad, el electrodo debe estar diseñado adecuadamente para su uso con este gas, conteniendo una cantidad adecuada de desoxidantes. Sin embargo, cuando el contenido en carbono de acero es inferior al 0,07%, el metal depositado eleva su contenido en carbono. Desde el punto de vista de las pérdidas de silicio y manganeso, la protección con CO<sub>2</sub> puede considerarse equivalente al uso de un gas inerte con la adición del 10% de oxígeno. Como resultado, la superficie de las soldaduras quedan oxidadas, pese a lo cual, la porosidad no es problema si se emplea un alambre con los contenidos adecuados de desoxidantes y si se emplea un arco razonablemente corto. En todo caso, cuando son importantes las propiedades de resiliencia, deben emplearse las mezclas con base de gases inertes.

#### **4.6.- Mezclas de argón/CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub> y argón/Helio/CO<sub>2</sub>/Hidrógeno**

Estas mezclas con adiciones de hidrogeno del 1%, se utilizan en la soldadura de acero inoxidable austenítico donde la presencia de hidrogeno no presenta problemas de fisuración y sí añade un efecto reductor que ayuda a obtener cordones con una superficie con muy buen aspecto.

En la soldadura de espesores delgados, el contenido en oxígeno ayudará a la estabilidad del arco a bajas intensidades (30-60 A) con un arco corto de fácil control, con bajo input para tener baja tendencia a traspasar y con



pocas deformaciones.

A intensidades elevadas en transferencia por arco largo, se obtienen velocidades de deposición y de soldadura más elevadas que con mezclas de Ar-CO<sub>2</sub>.

**Tabla 4. Guía de selección de gases para el proceso MIG/MAG**

METAL	ESPESOR (mm)	TIPO DE TRANSFERENCIA	DENOMINACIÓN	CARACTERÍSTICAS
ACERO AL CARBONO	Inferior a 2.0	Cortocircuito	Ar-8%CO <sub>2</sub>	Permite tener un buen control del arco para evitar el perforar y la distorsión. El grado de limpieza de la superficie influirá en la selección.
			Ar-15%CO <sub>2</sub>	
			Ar-25 %CO <sub>2</sub>	
			Ar-CO <sub>2</sub> -O <sub>2</sub>	
	2.0 – 3.0	Cortocircuito	Ar-8%CO <sub>2</sub>	Elevada velocidad de soldadura sin perforar el metal base. Mínima Distorsión y salpicaduras. Buen control del baño en la soldadura en posición.
			Ar-15%CO <sub>2</sub>	
			Ar-25 %CO <sub>2</sub>	
			Ar-CO <sub>2</sub> -O <sub>2</sub>	
	Superior a 3.0	Cortocircuito	Ar-15%CO <sub>2</sub>	Elevada velocidad de soldadura, buen control de la penetración y del baño. Aplicable para la soldadura en posición.
			Ar-25 %CO <sub>2</sub>	
			Ar-CO <sub>2</sub> -O <sub>2</sub>	
			CO <sub>2</sub>	
Spray		Ar-CO <sub>2</sub> -O <sub>2</sub>	Buena estabilidad del arco. Cuando se incrementa el contenido de O <sub>2</sub> produce un baño más fluido. Buena apariencia y control del baño.	
		Ar-2 %O <sub>2</sub>		
		Ar-5 %O <sub>2</sub>		

		Cortocircuito	<b>Ar-5 %CO2</b>	Aplicable a transferencia por arco corto y arco largo. Tienen un amplio campo de intensidades de trabajo. Buen control del baño.
		Spray	<b>Ar-8 %CO2</b>	
	Delgados	Spray pulsado	<b>Ar-5%CO2</b>	Soldadura de espesores delgados y en posición. Se consigue un arco pulsado estable en un campo amplio de parámetros.
			<b>Ar-8 %CO2</b>	
			<b>Ar-CO2-O2</b>	
	ACERO INOXIDABLE	Inferior a 2.0	Cortocircuito	<b>Ar-2 %O2</b>
<b>Ar-2 %CO2</b>				
Superior a 2.0		Cortocircuito	<b>Ar-1%O2</b>	Gases con bajo o sin contenidos de CO2 para evitar la toma de carbono que pueda causar corrosión intergranular con algunas aleaciones. El contenido de helio favorece la acción de mojadura. Aplicable para todas las posiciones.
			<b>Ar-2%CO2</b>	
			<b>Ar-He-CO2</b>	
			<b>Ar-He-CO2-H2</b>	
Superior a 2.0		Spray	<b>Ar-1%O2</b>	Buena estabilidad de arco. Baño fluido pero fácilmente controlable. Buena fusión y contorno de cordón. Tiende a disminuir las mordeduras en espesores gruesos.
			<b>Ar-2%CO2</b>	
			<b>Ar-He-CO2</b>	
			<b>Ar-He-CO2-H2</b>	

		Spray	<b>STARGON O-2</b>	Se emplea con aleaciones que dan lugar a baños con elevada viscosidad para mejorar la fluidez, la fusión y contorno de cordón
		Spray pulsado	<b>Ar-1%O2</b>	Se emplea para espesores delgados y gruesos en todas las posiciones. Buena transferencia en arco pulsado en un amplio intervalo de parámetros.
			<b>Ar-2%O2</b>	
			<b>Ar-2%CO2</b>	
			<b>Ar-He-CO2</b>	
ALUMINIO Y ALEACIONES	Inferior a 10	Cortocircuito	<b>Ar (99,998%)</b>	Proporciona la mejor transferencia, estabilidad del arco y acción. De limpieza. Pocas o sin proyecciones.
		Spray		
		Spray Pulsado		
		Spray	<b>Ar-(25-30)% He</b>	Input térmico más elevado. Produce un baño más fluido y un cordón más plano. Minimiza la porosidad.
	Superior a 10	Spray	<b>Ar-50% He</b>	Proporciona un input térmico más elevado. Apropiado para las soldaduras automáticas. Espesores gruesos.
			<b>Ar-(70-75)% He</b>	
		Spray pulsado	<b>Ar (99,998%)</b>	Buena acción de mojadura y control del baño de fusión.
COBRE Y ALEACIONES	Inferior a 3.0	Cortocircuito	<b>Ar</b>	Buena estabilidad de arco y control del baño de fusión.
			<b>Ar-(25-30)%He</b>	
	Superior a 3.0	Cortocircuito	<b>Ar-(25-30)%He</b>	El input térmico más elevado de las mezclas de helio compensa la elevada conductividad térmica

		Spray	<b>Ar-(50)%He</b>	de espesores más gruesos. Buena acción de mojadura y contorno del cordón. Input térmico más elevado y mejor penetración.	
			<b>Ar-(70-75)%He</b>		
		Spray pulsado	<b>Ar</b>	Empleado para ambos espesores, delgados y gruesos. Se consigue un arco pulsado estable en amplio intervalo de parámetros.	
			<b>Ar-(25-70)%He</b>		
NIQUEL Y ALEACIONES	Inferior a 3.0	Cortocircuito	<b>Ar</b>	Buena estabilidad de arco y control del baño de fusión.	
			<b>Ar-(25-30)%He</b>		
	Superior a 3.0	Cortocircuito	<b>Ar-(25-30)%He</b>	El input térmico más elevado de las mezclas de helio compensan la elevada conductividad térmica de espesores más gruesos. Buena acción de mojadura y contorno del cordón. Input térmico más elevado y mejor penetración.	
			Spray	<b>Ar-(50)%He</b>	
				<b>Ar-(70-75)%He</b>	
			Spray	<b>Ar</b>	Empleado para ambos espesores, delgados y gruesos. Se consigue un arco pulsado estable en amplio intervalo de parámetros
				<b>Ar-(25-70)%He</b>	

## **CAPITULO V.**

### **CONSUMIBLES.**

La selección del consumible apropiado para una aplicación debe tener como objetivo producir un metal soldado con dos características básicas:

- Tener las propiedades mecánicas y físicas iguales o superiores a las del metal base
- Obtener un metal soldado de calidad. Esto se conseguirá con un alambre adecuado. Por ejemplo con la cantidad de desoxidantes necesarios para dejar un metal soldado libre de defectos.

Los alambres empleados son de pequeños diámetros (0,6, 0,8, 1,0, 1,2,

1,6, 2,0, 3,0 y 3,2mm) y se suministran en bobinas metálicas o de plástico de 5 a 15 Kg o en bidones con 250Kg (Figura 48), especiales para soldadura en automatismos o en robot, para colocar en los sistemas de alimentación. Es importante considerar que el tensionado del alambre debe ser diferente, dependiendo si la aplicación es manual o automática (ver para aceros al carbono AWS A 5.18). Dados sus pequeños diámetros, la relación superficie/volumen es muy alta, por lo que pequeñas capas de polvo, suciedad, grasas, 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 al carbono y de baja aleación, 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 al soplete.

El material de aporte es similar o idéntico en composición a los empleados en los otros procesos de soldadura en que se emplean electrodos desnudos. Esto supone que la variación con respecto a la composición del metal base que va a ser soldado será pequeña. En otros casos, la obtención de buenas soldaduras y depósitos, requiere cambios apreciables o incluso la utilización de alambre de composición completamente diferente. Por ejemplo, los electrodos más adecuados para la soldadura de bronce al manganeso, que es una aleación cobre-zinc, son de bronce al aluminio o de aleaciones cobre-manganeso- níquel-aluminio. En la soldadura entre sí de metales diferentes, también se

seleccionará un metal de aportación diferente a la de los metales a unir. Algo similar ocurre en la soldadura de las aleaciones de aluminio o de acero de mayores características mecánicas. Esto es debido a que algunas aleaciones son adecuadas como metales base, pero no como metal de aporte.

Una de las modificaciones que con más frecuencia se hacen en los electrodos para la soldadura con esta técnica es la adición de desoxidantes, y otros agentes, con la finalidad de evitar la porosidad o la bajada en características mecánicas que pueden producirse como consecuencia de la reacción del metal de soldadura con el  $\text{CO}_2$ , oxígeno, el nitrógeno o el hidrógeno, que pueden estar en el gas de protección o pueden entrar accidentalmente en contacto, provenientes de la atmósfera circundante. Los desoxidantes empleados con mayor frecuencia en los electrodos de acero al carbono son el manganeso, silicio y aluminio. En las aleaciones de níquel se emplea el titanio y silicio. En las aleaciones de cobre, dependiendo del tipo de resultados deseados se emplea el titanio, silicio o fósforo. La selección de electrodos en función del metal base de una forma más concreta será abordada cuando se estudie la soldabilidad de las diferentes aleaciones.

## **5.1. ALAMBRES TUBULARES**

### **5.1.1. Soldadura con alambres tubulares sin flux interior (“Metal Cored”).**

Se considera una variación del MIG (GMAW). Con un alambre "metal cored" se trabaja de modo similar a uno macizo, generalmente produce menos humos, no deja escoria y tiene una eficiencia de deposición del orden al 95% y superior.

Un alambre metal cored está formado por un tubo metálico lleno con elementos aleantes en forma de polvo, estabilizadores del arco y elementos desoxidantes. Puede conseguirse con ellos una elevada velocidad de deposición con una elevada eficiencia y puede utilizarse en todas las posiciones. También pueden emplearse donde las preparaciones no son las más óptimas.

Están diseñados para poder soldar sobre superficies con alguna suciedad y óxido utilizando como gas de protección mezclas de argón.

Tienen un mayor contenido de desoxidantes con el que se obtienen cordones de calidad con un excelente control del baño. Este tipo de alambres combinan la elevada velocidad de deposición de los alambres flux cored con una eficiencia de deposición y nivel de humos de los alambres macizos. Las propiedades mecánicas son comparables a las de los alambres macizos de acero al carbono y también como estos tienen un bajo contenido de escorias.

Los gases de protección más empleados con estos alambres son Ar%80-20 % de CO<sub>2</sub> para acero al carbono y Ar/1-2 % O<sub>2</sub> ó Ar/2-10 % CO<sub>2</sub> para los aceros inoxidable.



Las ventajas de los alambres metal cored son:

- Elevada velocidad de deposición
- Elevada eficiencia de deposición (95 % o superior)
- Soldadura de calidad sobre ligera suciedad y óxido.
- Bajo nivel de salpicaduras.
- Poca escoria.

#### **5.1.2. Soldadura con alambre tubular con flux interior (FCAW).**

Los alambres tubulares son electrodos continuos similares a los empleados en soldadura MIG/MAG, con la diferencia de que son huecos y en su interior contienen un fundente (flux), que tiene funciones similares a las del revestimiento de los electrodos revestidos. Estos electrodos se emplean en un proceso denominado Soldadura con electrodo de flux interior (Flux Cored Arc Welding) más conocido como alambre tubular.

##### **a) Proceso.**

La técnica de soldadura con electrodo de flux interior se diferencia de la soldadura MIG/MAG en el tipo de electrodo. En el resto hay bastantes similitudes por lo que en la descripción destacaremos especialmente aquello que suponga diferencia con el proceso MIG/MAG. Dentro del proceso hay dos variantes: autoprotegido y con protección adicional con gas, que generalmente es una mezcla de Ar-20 a 25 %CO<sub>2</sub> o CO<sub>2</sub> puro

Cuando el arco va protegido por gas, éste elimina el oxígeno y nitrógeno de la atmósfera circundante, en tanto que si el arco es autoprotegido, el flux debe contener elementos desoxidantes y desnitrificantes en cantidad suficiente para poder prescindir de cualquier otra protección.

La extensión del electrodo es diferente según sea la variante empleada. En la autoprotegida (sin gas) se suelda con largas extensiones de electrodo (entre 25 y 50 mm). Esto hace que el electrodo esté precalentado antes de consumirse en el arco, pudiendo ser mayor la velocidad de aportación. El aumento de extensión introduce una mayor resistencia en el circuito, bajando la corriente y disminuyendo la tensión y la longitud del arco (puesto que la caída de voltaje en la extensión aumenta). Esto hace que esta variante sea más adecuada para chapa fina. En la variante protegida con gas no se pueda aumentar la extensión del electrodo porque en ese caso, la soldadura quedaría desprotegida. Además al estar presente el dióxido de carbono, el arco tiene mayor potencia y penetración, produciendo cordones estrechos y profundos.

Los equipos empleados son fuentes de alimentación de características plana, con el electrodo al positivo y alimentación de varilla a velocidad constante, es decir, como en la técnica MIG/MAG. Con electrodos especialmente diseñados, puede usarse corriente alterna, pero entonces la fuente debe ser de características descendentes, estando el alimentador de electrodo controlado por la tensión del arco. Este técnica se usa en la soldadura de aceros al carbono, de baja aleación e inoxidables.

Es un proceso de alta productividad y alta velocidad de aporte, con mayor economía y rendimiento por Kg depositado que el MIG/MAG. El inconveniente es la existencia de escoria en la técnica de electrodo con flux interior, así como la mayor cantidad de humos desprendida durante la soldadura, especialmente en la variante autoprotegida. Esto obliga a la utilización de extractores que en ocasiones se incorporan a la propia pistola de soldadura. Hasta ahora se ha considerado que la calidad obtenida por los procesos MIG/MAG es superior a la del "Flux cored", pero no se deja de trabajar en su desarrollo para aprovechar las ventajas que presenta.

**TABLA 5.- ALAMBRES MÁS UTILIZADOS PARA SOLDADURA MIG/MAG**

Aceros al carbono	
AWS A5.18	EN440
ER 70S-3	G/W 2 Si
ER 70S-6	G/W 3 Si 1
ER 70S-6	G3Si 1
ER 70S-6	G4 Si 1
Aceros al carbono de baja aleación	
AWS A5.28	EN 12070/EN 1668
ER 80S-G	--
ER 100S-G	--
ER 80S-Ni1	G/W 3 Ni 1
ER 80S-Ni2	G/W 2 Ni 2
ER 80S-D2	G/W Mo Si
ER-80S-B2	G/W Cr Mo1 Si
ER-90S-B3	G/W Cr Mo2 Si
ER 502	G/W Cr Mo5
ER 505	W Cr Mo91
Aceros inoxidable	
AWS A5.9	ENXXXX
ER 308L	W 19 9 L

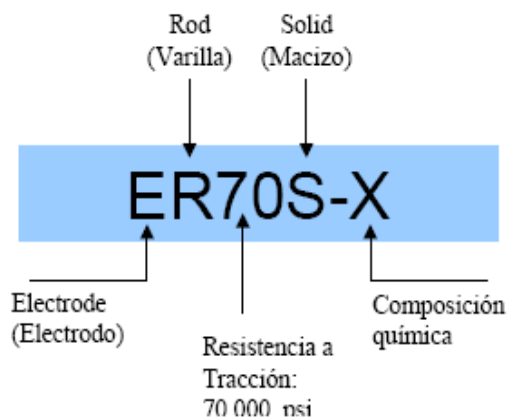
ER 306Si	G/W 19 9 L
ER 347Si	G/W 19 9 Nb Si
ER 306L	W 19 12 3 L
ER 306LSi	G/W 19 12 3 L Si
ER 318	G/W 19 12 3 Nb Si
--	G/W 18 16 5 NL
--	G/W 20 16 3 Mn NL
--	G/W 25 22 2 L
--	G/W 20 25 5 Cu
ER 2209	G/W 22 9 3 NL
--	G/W 25 9 4 NL
--	G/W 25 7 4 NL
ER 309L	G/W 23 12L Si
ER 307	G 18 8 Mn
ER 308H	G/W 19 9 H
ER 310	G/W 25 20
Níquel y aleaciones	
AWS A5.14	ENXXXX
--	G/W 27 3 14 Cu L
ER NiCrMo-3	G/W NiCr 21 Mo 9 Nb
ER NiCr-3	G/W NiCr 20 Nb
	G/W NiCr 23 Mo 16
ER NiCu-7	G/W Ni Cu Mn Ti
ER Ni-1	G/w Ni Ti 4
Cobre y aleaciones	
AWS A5.7	DIN 1733
ER CuAl-AI SG	SG CuAl 8
--	SG CuNi8Ni2
ER CuNi	SG CuNi30Fe
ER Cu	SG CuSn
ER CuSn-A	SG CuSn6
ER CuSi-A	SG CuSi3
Aluminio y aleaciones	
AWS A5.10	DIN 1732
ER 1100	SG Al995
ER 5654	SG AlMg3
ER 5356	SG AlMg5
ER 5183	SG AlMg4,5Mn
ER 4043	SG AlSi5
ER 4047	SG AlSi2
Alambres tubulares (Metal Cored) para acero al carbono	

AWS A5.18-93	
E70C-6MH4	T423MM2H5
E70C-6MH4	T424MM2H5
E110C-G	--
Alambres tubulares (flux Cored) para soldadura de aceros al carbono	
AWS A5.20-95	EN 758
E70T-1/E70T-1M	T460RC3H10
--	T46RM3H10
E71T-1/E71T-1M	T463PM1H5
-	T462PC1H5
-	T424BM2H5
E71T-5	T5041NiM2H5
E8171-Ni1	T5042NiM2H5
E8071-K2	--
E81T1-B2	--
E91T1-K2	
Alambres tubulares (flux Cored) para soldadura de aceros inoxidables	
AWS A5.22	EN 758
E308LTO-4	T199LRC3/T199LRM3
E308LT1-4	T199LRM2
E316LTO-4	T19123LRC3/T19123LRM3
E316LT1-4	T19123LRM2
E309LTO-4	T2312LRC3/T2312LRM3
E309LT1-4	T2312LRM2
E309LMoTO-4	T23122LRC3/T23122LRM3
E309LMoT1-4	T23122LRM2
E2209TO-1	T2293NLRC3
E2209TO-4	T2293NLRM3
E2209T1-1	T2293NLRM2

## 5.2. DESIGNACION DE LOS ALAMBRES DE ACUERDO CON LA AWS.

Las tablas que se muestran a continuación son un resumen de las especificaciones de AWS. En caso de duda, debe consultarse la especificación completa.

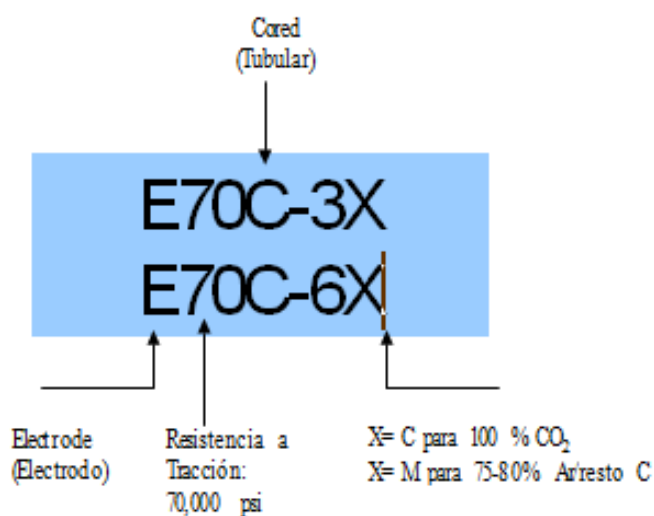
### AWS 5.18. – Alambres macizos de acero al carbono.



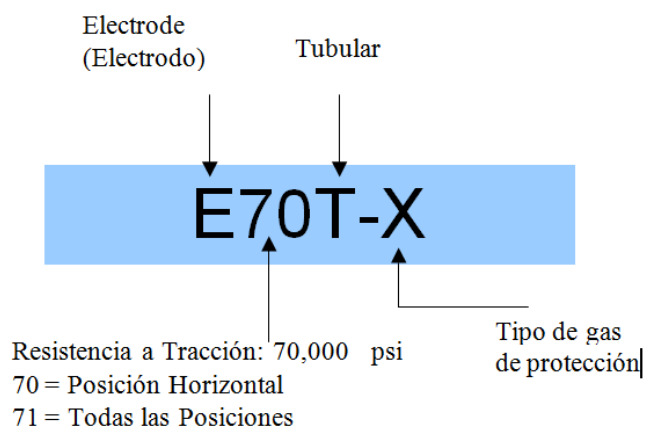
X=	C	Mn	Si	P	S	Otros
2	0.07	0.9-1.4	0,4-0.7	0,025	0.035	Ti,Zr,Al
3	0.06-0.15	0.9-1.4	0,4-0.7	0,025	0.035	
4	0.07-0.15	1.0-1.5	0,65-0.85	0,025	0.035	
5	0.07-0.19	0.9-1.4	0,3-0.6	0,025	0.035	Al
6	0.07-0.15	1.4-1.8	0,8-1.15	0,025	0.035	
7	0.07-0.15	1.5-2.0	0,5-0.8	0,025	0.035	

### AWS 5.18. – Alambres tubulares “Metal Cored” de acero al carbono.

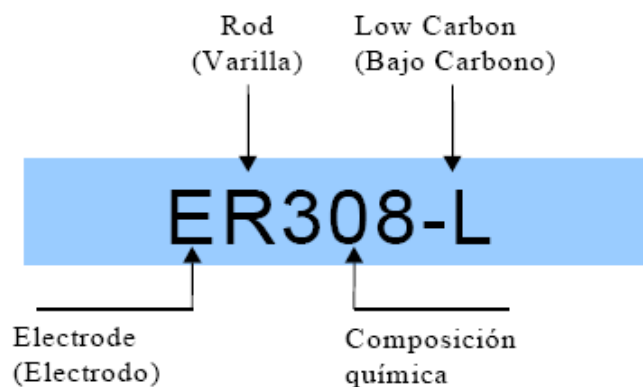
Aunque los alambres “Metal Cored” se comportan de forma parecida a los alambres macizos y por tanto han sido incluidos dentro de la misma AWS A5.18, sin embargo, ellos siguen una forma de clasificación parecida a la de los alambre “Flux Cored”.



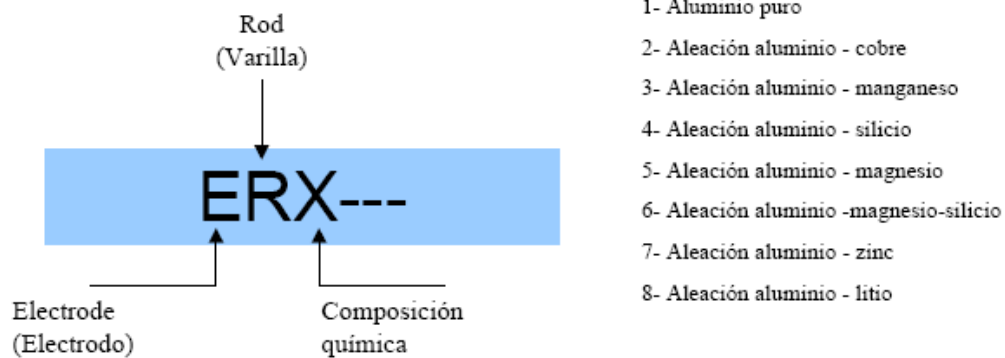
### AWS 5.20 Alambres Tubulares “Flux Cored” de acero al carbono.



### AWS 5.9.- Alambres macizos de acero inoxidable.



### AWS 5.10.- Alambres macizos de aluminio.



## **CAPITULO VI.**

### **DEFECTOS E IMPERFECCIONES EN EL PROCESO GMAW.**

Como en la mayoría de los procesos de soldadura por fusión, la causa principal del origen de los defectos en la soldadura GMAW (MIG/MAG) y FCAW son una inadecuada:

- Preparación, disposición o limpieza de las piezas a unir.
- Ejecución de la soldadura.
- Soldabilidad del metal base.
- Elección de los consumibles (gases, metal de aporte, etc.).

La norma UNE-EN 26250 clasifica los defectos producidos por la soldadura por fusión en los siguientes grupos:

1. Grietas o fisuras

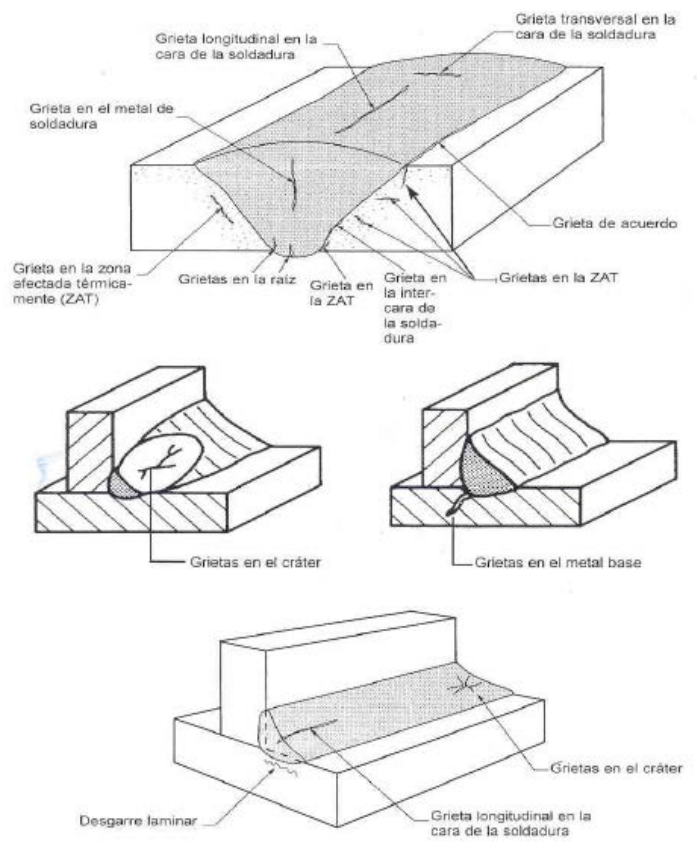


2. Sopladuras y poros.
3. Inclusiones sólidas, (escoria, óxidos, inclusiones de tungsteno, cobre, etc.).
4. Falta de fusión.
5. Imperfecciones de forma y dimensión. (mordedura, solapamiento, sobre espesor excesivo, exceso de penetración, ángulo de sobre espesor incorrecto, falta de alineación o deformación angular, falta de metal de soldadura, perforación, rechupe, exceso de asimetría en la soldadura en ángulo, anchura irregular y superficie irregular, empalme defectuoso).
6. Otras imperfecciones. (Cebado del arco, salpicaduras o proyecciones, desgarre local, marca de amolado o de burilado, amolado excesivo).

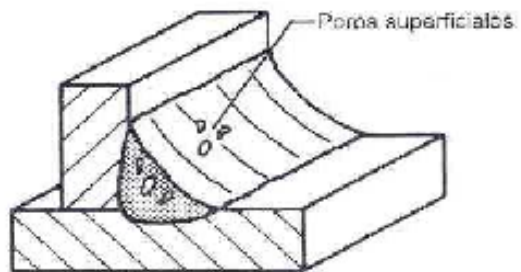
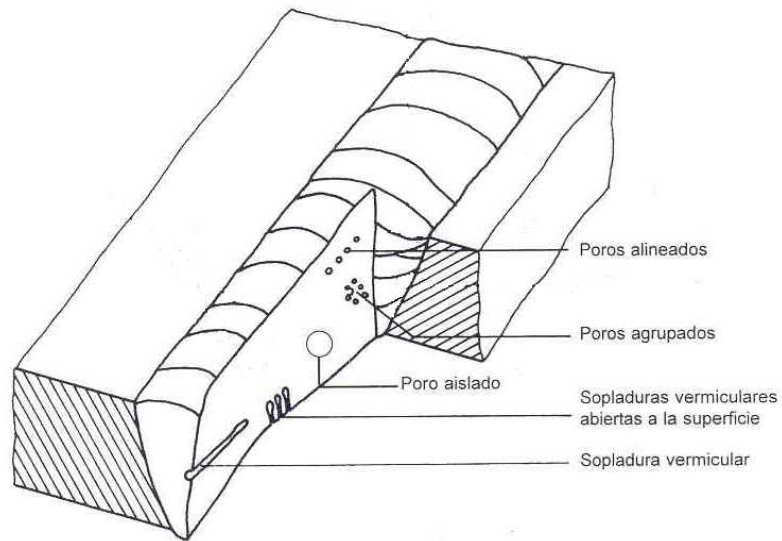
Las dimensiones máximas aceptables de las imperfecciones están recogidas en las normas UNE-EN 25817, en el caso de los aceros, y en la UNE-EN 30042 en el caso del aluminio y sus aleaciones soldables. Estas normas establecen tres niveles de calidad, de moderado a elevado, de forma que cuanto mayor sea el nivel de calidad, las imperfecciones admitidas serán de menores dimensiones. Los niveles de calidad en cada caso, deberán ser definidos por la norma de aplicación (norma de diseño) o por la persona responsable junto con el fabricante, usuario o cualquier otra persona involucrada. El nivel de calidad debe ser especificado antes del comienzo de la producción, preferentemente en el momento de la solicitud

o presentación de la oferta. En casos particulares, puede ser necesario incluir detalles adicionales.

En el caso de los aceros, los niveles de calidad establecidos por esta norma UNE-EN 5817 son datos de referencia básicos y no específicamente relacionados con una aplicación particular. Se refieren a los tipos de uniones soldadas y no al producto completo o componente. Por lo tanto, es posible que se apliquen diferentes niveles de calidad a las distintas soldaduras en un mismo producto o componente.

Tipo de defecto	Explicación.	Localización / forma.	Causas.
<p style="text-align: center;"><b>GRIETAS</b></p> 	<p>Discontinuidad producida por una rotura local, que puede ser provocada por el efecto del enfriamiento o tensiones.</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Metal base</li> <li>2. Zona afectada térmicamente.</li> <li>3. Zona de unión entre la ZAT y cordón de soldadura.</li> <li>4. Cordón de soldadura.</li> <li>5. Cráter de la soldadura</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Soldar con excesiva intensidad.</li> <li>2. Enfriamiento rápido de la soldadura.</li> <li>3. Soldar con un enfriamiento excesivo.</li> <li>4. Existir tensiones residuales en el metal base debidas a los procesos previos de fabricación.</li> <li>5. Mala secuencia de soldeo que provoque excesivas tensiones y deformaciones.</li> <li>6. Inadecuado e insuficiente material de aporte.</li> <li>7. Metal base de mala soldabilidad.</li> <li>8. Finalizar el cordón de soldadura retirando el electrodo de forma rápida y brusca (grietas de cráter).</li> <li>9. Forma de cordón inadecuado. Un cordón convexo puede incrementar las tensiones en los "pies" de la soldadura. Un cordón cóncavo puede que no tenga la garganta efectiva requerida.</li> </ol>

## POROS



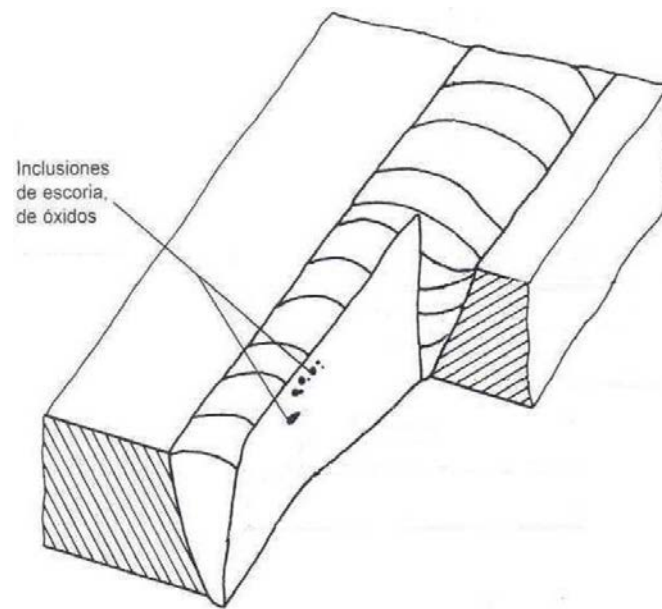
Formadas por gas atrapado

Cordón de soldadura.

Forma:  
Esférica,  
llamados poros.  
Alargados  
(forma de  
gusano).  
Vermiculares  
Aislados.  
Alineados.  
Agrupados.  
Superficiales.  
Rechupes.

1. Falta de limpieza en los bordes de la unión, pintura o grasa.
2. Intensidad excesiva.
3. Empleo de alambres macizos oxidados o tubulares oxidados o con humedad.
4. Condiciones atmosféricas desfavorables (Excesivo viento) o corrientes de aire.
5. Mala técnica operatoria: soldar con el arco demasiado largo o con un ángulo de desplazamiento muy grande.
6. Equipo de soldeo en mal estado: fugas de agua en el soplete, gas de protección con humedad, falta de estanqueidad el circuito de gas, caudalímetro en mal estado
7. Gas de protección no adecuado, contaminado o con caudal insuficiente.

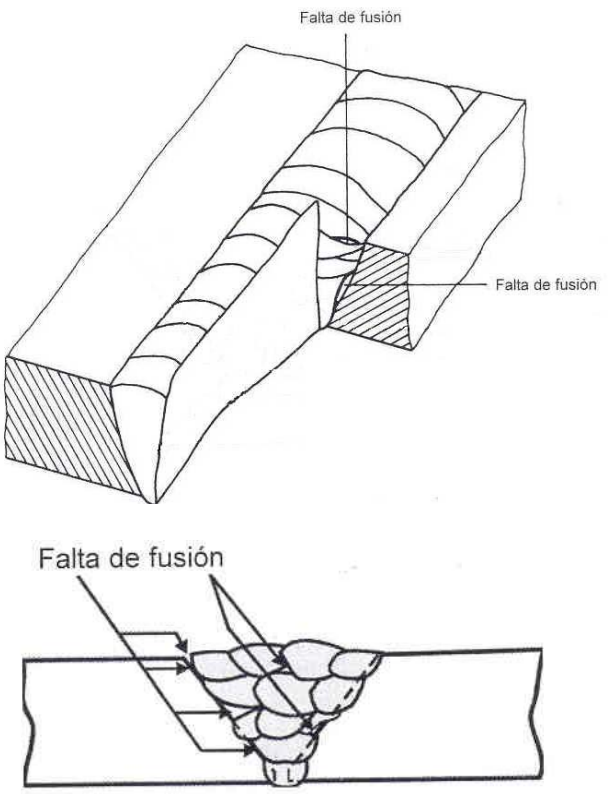
## INCLUSIONES SÓLIDAS.

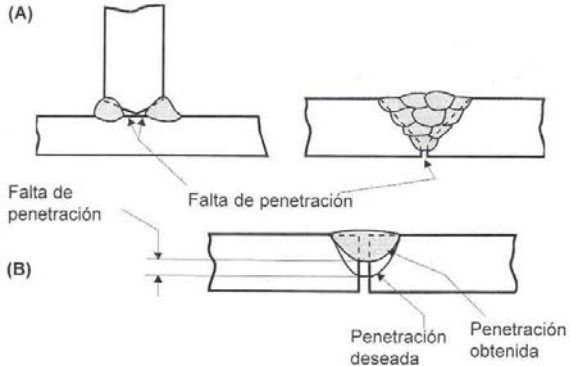
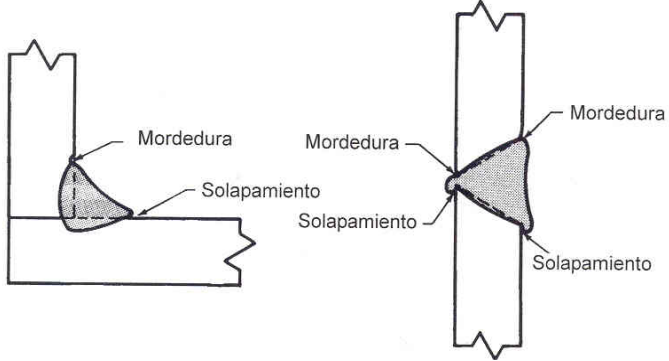


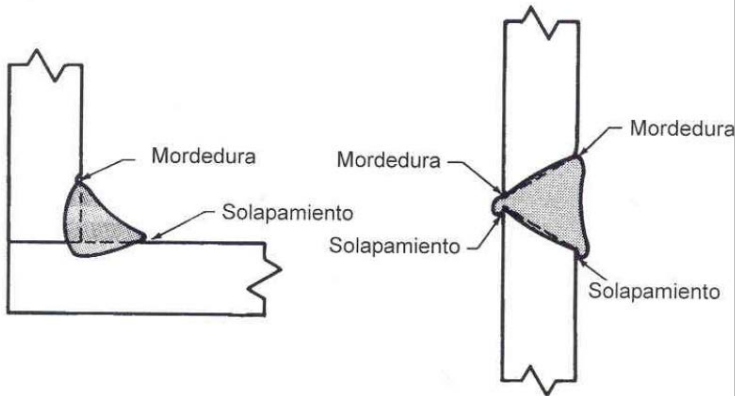
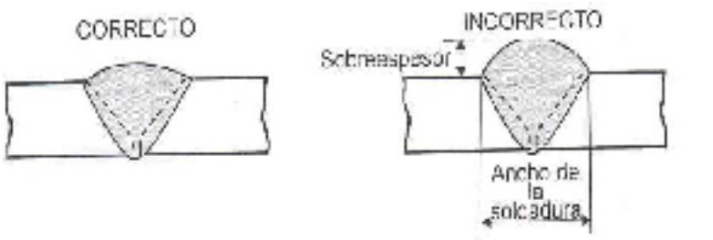
Cuerpo sólido (inclusiones de escoria, óxidos metálicos u otro metal)

Localización:  
Alineadas  
Aisladas  
Otras

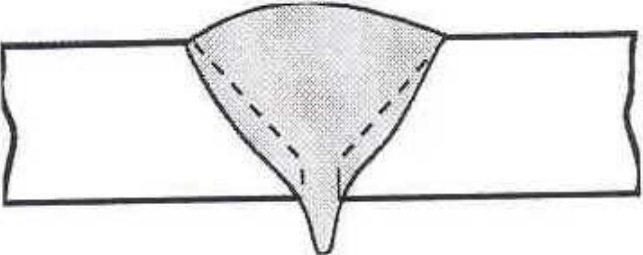
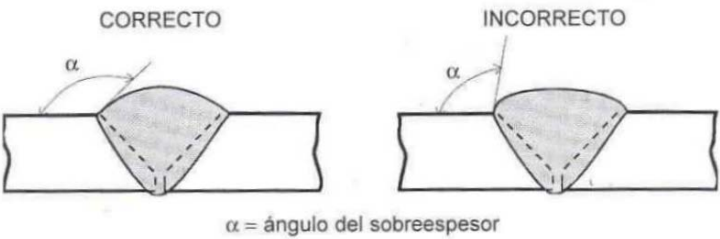
1. Mala preparación de la unión: poca separación entre chapas o bisel con ángulo pequeño.
2. Falta de limpieza de la escoria, sobre todo al realizar soldaduras de varias pasadas.
3. Protección deficiente del baño de soldadura, que favorece la aparición de óxidos.

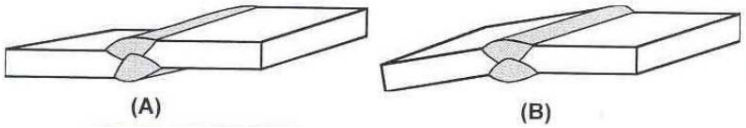
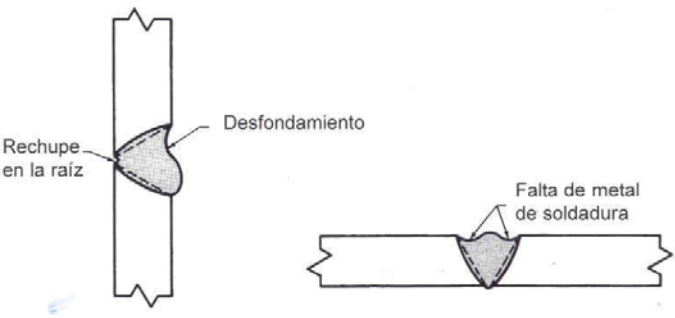
Tipo de defecto	Explicación.	Localización / forma.	Causas.
<p style="text-align: center;"><b>FALTA DE FUSION</b></p> 	<p>Falta de unión entre el metal base y el metal depositado, o entre dos cordones consecutivos</p>	<p>En el metal depositado o entre el metal base y el metal depositado.</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Arco demasiado largo.</li> <li>2. Intensidad baja.</li> <li>3. Excesiva velocidad de desplazamiento.</li> <li>4. Defectuosa preparación de bordes, por ejemplo bisel con ángulo muy pequeño, separación muy pequeña entre chapas a unir o una desalineación entre las piezas.</li> <li>5. Posición del alambre incorrecto, no centrada respecto a los bordes de la unión.</li> <li>6. Soldar encima de un cordón que tiene un exceso de sobre espesor muy grande.</li> <li>7. Realizar empalmes defectuosos.</li> <li>8. Oscilación incorrecta del soplete.</li> <li>9. Parámetros de soldadura no adecuados, donde hay que incluir la longitud se alambre (stick out), ángulo del soplete, gas de protección, etc.</li> </ol>

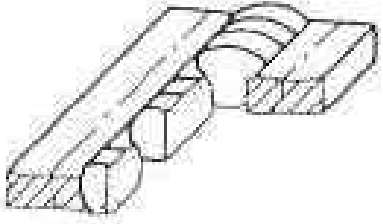
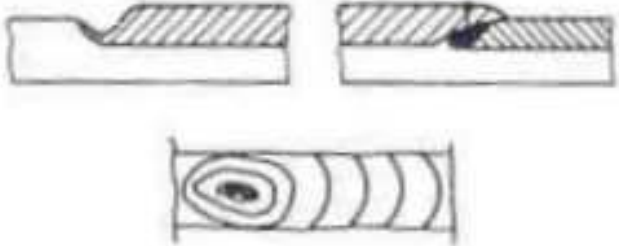
Tipo de defecto	Explicación.	Localización / forma.	Causas.
<p style="text-align: center;"><b>FALTA DE PENETRACIÓN</b></p> 	<p>Es una falta de fusión en la zona de la raíz de la soldadura o cuando en las soldaduras con penetración parcial, se obtienen penetraciones menores que las especificadas (B).</p>		<p>Baja intensidad de soldeo. Excesiva velocidad de soldeo. Separación en la raíz muy pequeña, ángulo del bisel demasiado pequeño o talón de la raíz muy grande. Desalineamiento entre piezas.</p>
<p style="text-align: center;"><b>MORDEDURA</b></p> 	<p>Es una falta de metal, en forma de surco de longitud variable, en cualquiera de los bordes de un cordón de soldadura. Se admiten mordeduras poco profundas normalmente inferiores a 0,5 mm.</p>	<p>Entre la soldadura y el metal base o entre cordones</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Alambre de diámetro demasiado elevado.</li> <li>2. Voltaje demasiado elevado.</li> <li>3. Excesiva intensidad de soldeo.</li> <li>4. Posición incorrecta del soplete.</li> <li>5. Velocidad de desplazamiento elevado y falta de retención en los</li> </ol>

<p style="text-align: center;"><b>SOLAPAMIENTO</b></p> 	<p>Exceso de metal depositado que rebosa sobre la superficie del metal base sin fundirse con él. No se admiten en los niveles de calidad más elevados</p>		
<p style="text-align: center;"><b>SOBRE ESPESOR</b></p> 	<p>Es un exceso de metal depositado en las pasadas finales. Podrá ser mayor cuanto más grande sea el ancho del cordón, normalmente deberá tener una dimensión entre 1 a 3 mm no debiendo superar los 5 mm.</p>		<p>Poca velocidad de soldeo. Poca separación entre las chapas a unir a tope</p>

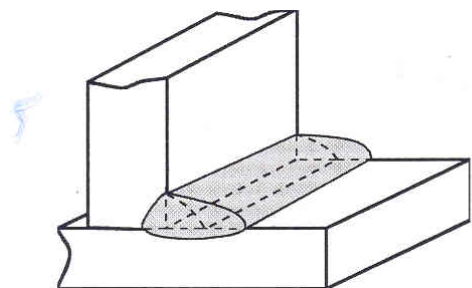


<p style="text-align: center;"><b>EXCESO DE PENETRACION</b></p> 	<p>Es un exceso de metal depositado en la raíz de una soldadura, normalmente ocurre cuando se suelda por un solo lado. Si el exceso de penetración se presenta en la parte interior de una tubería puede ser muy perjudicial. El exceso de penetración debe ser generalmente de 1 a 2mm no debiendo superar nunca los 3 mm.</p>		<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Separación de los bordes excesiva</li> <li>2. Intensidad demasiado elevada al depositar el cordón de raíz.</li> <li>3. Velocidad de soldeo muy baja.</li> <li>4. Diseño de unión defectuoso con preparación incorrecta del talón</li> </ol>
<p style="text-align: center;"><b>ANGULO DE SOBRESPESOR INCORRECTO</b></p>  <p style="text-align: center;"><math>\alpha = \text{ángulo del sobreespesor}</math></p>	<p>Valor pequeño del ángulo <math>\alpha</math> donde se puede observar que la transición entre el metal de soldadura y el metal base se realiza de una forma muy brusca cuando el ángulo <math>\alpha</math> es pequeño, actuando como una entalla donde se concentrarán los refuerzos cuando la pieza esté en servicio lo que favorecerá la formación de una grieta.</p>		

<p style="text-align: center;"><b>FALTA DE ALINEACION</b></p>  <p style="text-align: center;">(A)                      (B)</p>	<p>Es una falta de alineación de las dos piezas soldadas que no se encuentran en el mismo plano. Se suele admitir desalineaciones menores de la décima parte del espesor de la chapa.</p>		
<p style="text-align: center;"><b>FALTA DE METAL DE SOLDADURA.</b></p>  <p style="text-align: center;">Rechupe en la raíz      Desfondamiento      Falta de metal de soldadura</p>	<p>Canal longitudinal continuo o discontinuo en la superficie de la soldadura debido a una insuficiente deposición de metal de aportación. Cuando se produce por desplazamiento del metal depositado debido a su propio peso se denomina desfondamiento. Se permiten faltas de material entre 0,5 y 1 mm.</p>		<p>Excesiva velocidad de soldeo.  Separación entre las chapas muy elevada.</p>

<p style="text-align: center;">PERFORACION</p> 	<p>Hundimiento del baño de fusión que da lugar a un agujero en la soldadura o en un lateral de la misma. No se permiten.</p>		
<p style="text-align: center;">RECHUPE</p> 	<p>Los rechupes son cavidades debidas a la concentración del metal durante su solidificación, pueden formarse, entre otros sitios, en el cráter de soldadura, denominándose rechupes de cráter.</p> <p>También se pueden formar en la raíz denominándose entonces rechupes de raíz. El rechupe no deberá ser mayor de 0,5 a 1 mm aproximadamente.</p>		<p>Soldar con intensidad excesiva.</p> <p>Interrumpir bruscamente el arco.</p>

EXCESO DE ASIMETRIA EN LA SOLDADURA DE ANGULO



Se produce por realizar las soldaduras disponiendo el metal de aporte de forma asimétrica respecto a las piezas.

ANCHURA IRREGULAR O SUPERFICIE IRREGULAR

Soldadura con anchura diferente en distintas partes de la soldadura o con excesiva rugosidad superficial.

EMPALME DEFECTUOSO

Irregularidad local de la superficie de la soldadura en la zona de empalme de los cordones. No se permiten más que en nivel de calidad más bajo

<p>CEBADO DE ARCO</p>	<p>Alteración local de la superficie del metal base. No se permite. Hay que cebar el arco en la preparación del cordón, en la zona que todavía no ha sido soldada. Un cebado de arco en el metal base puede constituir un conjunto de grietas de pequeño en servicio de la pieza tamaño que crecerán durante el funcionamiento de la pieza en servicio.</p>		<p>Cebado de arco fuera de los bordes de la unión.</p>
<p>SALPICADURAS O PROYECCIONES</p>	<p>Gotas de metal fundido proyectado durante el soldeo que se adhieren sobre el metal base, o sobre el metal de soldadura, ya solidificado. La aceptación depende de las aplicaciones</p>		
<p>DESGARRE LOCAL</p>	<p>Superficie deteriorada al eliminar los elementos auxiliares de montaje. No se permiten</p>		

## CAPITULO VII.

### COMPARACION ENTRE PROCESOS: GMAW VS SMAW.

#### Densidad de corriente (A/mm<sup>2</sup>).

Tomando como referencia al electrodo más común para SMAW: tipo básico (E 7018) de diámetro 4.0mm que funciona entre los rangos de corriente de soldadura 140-200 Amp, voltaje de arco, 24V. usamos una fuente de poder CC (corriente constante) con conexión DC+.

Usamos 150 Amp para soldar con SMAW, escogemos usar un alambre de 1.2mm de diámetro con la misma corriente de soldadura (150Amp). Con la misma corriente para ambos la densidad de corriente para ambos procesos es:

$$\text{SMAW} \quad \pi d = 3,14 \times 4,0\text{mm} = 12.56\text{mm}^2 \Rightarrow 150\text{A}/12.56\text{mm}^2 = 11.9 \text{ A/mm}^2$$

$$\text{MIG/MAG} \quad \pi d = 3,14 \times 1,2\text{mm} = 3.77\text{mm}^2 \Rightarrow 150\text{A}/3.77\text{mm}^2 = 39.8 \text{ A/mm}^2$$

El alambre MIG/MAG es tres veces menor en sección transversal que el electrodo SMAW, por lo tanto el alambre recibe una cantidad 3 veces mayor de corriente en A/mm<sup>2</sup> (densidad de corriente).

Una mayor densidad de corriente es una penetración más profunda y mayor ratio de deposición.

Resultado de un mayor ratio de deposición es una más alta velocidad de soldadura.

### **Productividad (Kg/h).**

La productividad en MIG/MAG es mayor que con SMAW.

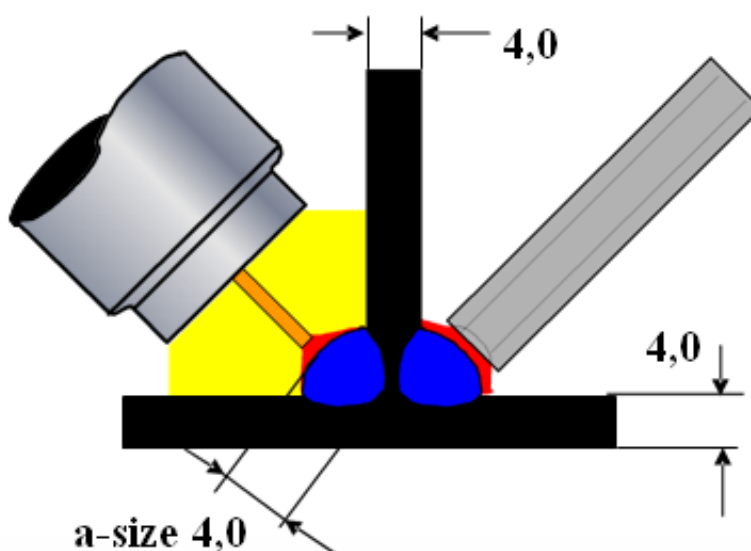
- Tomando como referencia el electrodo SMAW de revestimiento básico 7018 con diámetro de 4.0mm, teóricamente el tiempo de arco por electrodo es 96 segundos (1min 36 seg).
- Para fundir 1.0 Kg (20 pzs = 1Kg) con el proceso SMAW se necesita:  
**20 x 96 seg = 1920 seg = 32 min.**
- Con el mismo tiempo (32 min) usando alambre MIG/MAG de diámetro 1.2 mm tipo SG2 (Parámetros usados: Corriente, 260 A / Wfs (velocidad de alimentación 7.8m/min)). La productividad es 3.9 Kg/h (ver datos de productividad MIG/MAG).

$$1.9 \text{ Kg/h} / 60 = 65 \text{ g/min} \Rightarrow 32 \text{ min} \times 0.065 \text{ Kg/min} = 2.08 \text{ Kg.}$$

- La soldadura MIG/MAG es **dos veces más productiva** en este ejemplo que la soldadura SMAW. En la soldadura MIG/MAG se usa casi toda la energía para fundir el alambre, no existen pérdidas de energía como en la soldadura SMAW donde también se funde el revestimiento del electrodo.

### Velocidad de soldeo.

La velocidad de soldeo con MIG/MAG es más rápida que con el proceso SMAW.



- Con un solo diámetro de alambre MIG la velocidad de soldeo puede variar de acuerdo a las habilidades del soldador.
- Una unión en filete como en la figura (4.0mm + 4.0mm) puede ser realizada en MIG/MAG modificando la velocidad de soldeo desde 300



mm/min hasta 1000 mm/min dependiendo del tamaño a (garganta).

- Para el proceso SMAW el diámetro correcto de electrodo es 4.0mm y la velocidad de soldeo varía entre 400-500 mm/min, el tiempo para fundir un electrodo 1min 36 segundos.
- El arco en proceso SMAW es más ancho que con MIG lo cual limita la posibilidad de disminuir el tamaño de la garganta (a-size).
- En SMAW el a-size, el espesor de la plancha y la posición de soldadura fuerzan al soldador a usar cierto diámetro de electrodo.
- En el proceso MIG el soldador puede usar mayores parámetros de soldeo si él tiene la presteza para llevar la pistola a la adecuada velocidad de soldeo.

### Costos en Soldadura MIG/MAG.

$$\begin{aligned} \text{Costos por kg soldado} &= \frac{\text{Salario \& Costos Generales (US\$)}}{\text{Productividad } \left(\frac{\text{Kg}}{\text{h}}\right) \times \text{Tiempo de arco}} \\ &= \frac{\text{US\$ 25}}{2.9 \times 0.45} = 19.16 \text{ US\$/Kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Costos de alambre} &= \frac{\text{Costos de alambre de relleno } \left(\frac{\text{US\$}}{\text{Kg}}\right)}{\text{Eficiencia}} = \frac{3.0}{0.9} \\ &= 3.33 \text{ US\$/Kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Costo del gas} &= \frac{\text{Flujo de gas } \left(\frac{\text{Nm}^3}{\text{hr}}\right) \times \text{Costo gas } \left(\frac{\text{US\$}}{\text{m}^3}\right)}{\text{Productividad } \left(\frac{\text{Kg}}{\text{hr}}\right)} = \frac{0.9 \times 4.0}{2.9} \\ &= 1.24 \text{ US\$/Kg} \end{aligned}$$

$$\mathbf{Costo\ total = 19.16 + 3.33 + 1.24 = 23.73\ US\$/kg}$$

Para el flujo de gas usamos los siguientes valores:

Alambre MIG 0.6 / 0.8 / 0.9mm    12 lit/min = 0.72 Nm<sup>3</sup>/hr.

Alambre MIG 1.0 / 1.2 mm        15 lit/min = 0.90 Nm<sup>3</sup>/hr.

Alambre MIG 1.4 / 1.6mm        18 lit/min = 1.08 Nm<sup>3</sup>/hr.

El costo del gas de protección puede ser disminuido usando CO<sub>2</sub>, el cual es un gas más barato. El uso de CO<sub>2</sub> incrementa las salpicaduras, lo cual influencia en el tiempo de limpieza de la soldadura y la pistola Mig.

#### **Costos de soldadura SMAW.**

$$\mathbf{Costo\ por\ kilo\ soldado = \frac{Salarios\ y\ costos\ generales\ (US\$)}{Productividad\ \left(\frac{Kg}{h}\right) \times tiempo\ de\ arco} = \frac{25}{1.9 \times 0.30}} \\ = 43.86\ US\$/kg$$

$$\mathbf{Costo\ del\ electrodo = \frac{Costo\ \left(\frac{US\$}{kg}\right)}{Eficiencia} = \frac{2.0}{0.6} = 3.33\ US\$/kg}$$

$$\mathbf{Costo\ total = 43.86 + 3.33 = 47.19\ US\$/kg}$$

El cálculo se basa en el uso del electrodo básico 7018, de diámetro 4.0mm.

En los cálculos el precio del alambre Mig es 3.0 US\$/kg y del electrodo SMAW es 2.0 US\$/kg.

Por lo tanto, el proceso MIG/MAG es **dos veces más económico** que el proceso SMAW.

## CONCLUSIONES

1. La principal ventaja del MIG/MAG sobre la soldadura con electrodo revestido, que es la técnica con la que compite de forma más cercana, es la mayor velocidad, dada principalmente por:
  - a) Alimentación continua del electrodo, por lo que no se pierde tiempo en el cambio de electrodo.
  - b) Ausencia de escoria, que por tanto no hay que eliminar entre pasadas. (Excepto en FCAW).
  - c) Velocidad de deposición mayor, por utilizar mayores densidades de corriente.
  
2. El uso de esta técnica de soldadura produce depósitos con bajo

contenido en hidrógeno. La capacidad para producir soldaduras con buena penetración permite la construcción con soldaduras en ángulo menores. Además es capaz de soldar correctamente menores espesores, si bien en este caso puede ser superada por el TIG.

3. Los metales que son soldados más fácilmente con este proceso, son los aceros al carbono y de baja aleación, los acero inoxidable, las aleaciones para altas temperaturas (base níquel), el aluminio y sus aleaciones de las series 3000, 5000 y 6000, el cobre y sus aleaciones excepto las que contiene zinc, y las aleaciones de magnesio.
4. Habida cuenta de las diferentes técnicas o modos de transferencia en que es posible utilizar la soldadura MIG/MAG, esta técnica es considerada generalmente como la más versátil de todos los procesos de soldadura en lo que se refiere a las posiciones en que puede usarse. Como en otros procesos de soldadura, la soldadura es más eficiente en posición horizontal plana, pero puede usarse en otras posiciones, al menos tanto como la soldadura por electrodo revestido.
5. Las desventajas, en comparación con la técnica de electrodo revestido son:

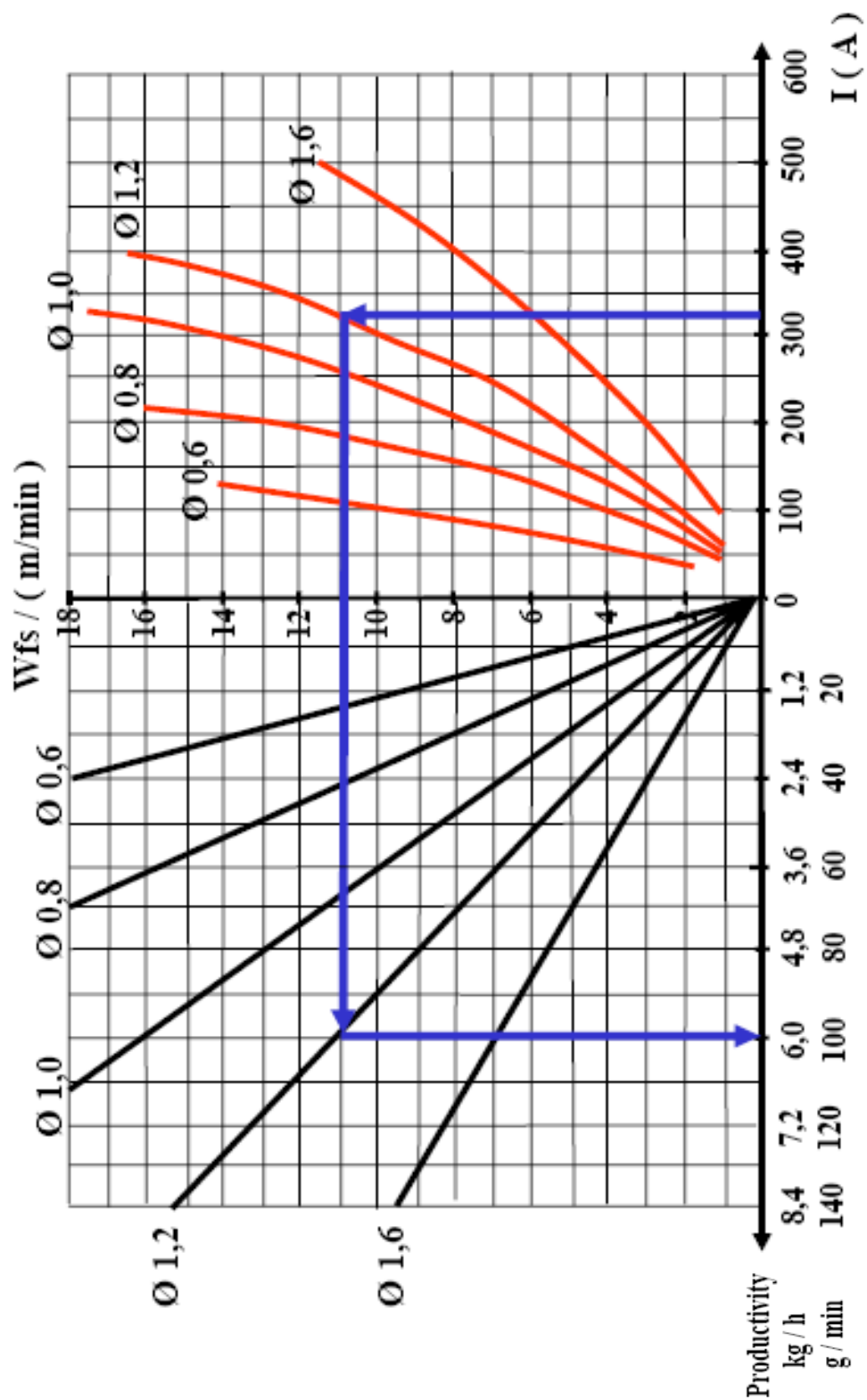
- a) El equipo es más complejo y por tanto más caro y difícil de trasladar.
- b) La pistola debe estar cerca del equipo, lo que hace difícil la soldadura en zonas de mal acceso.
- c) Al no haber escoria, las soldaduras se enfrían más rápidamente, lo cual puede producir agrietamiento en ciertos aceros. (Excepto en FCAW).
- d) No se puede soldar en presencia de corrientes de aire que puedan arrastrar al gas de protección, lo cual hace que sea problemático su empleo en intemperie.

## BIBLIOGRAFIA

1. AWS Welding Handbook. 1999. Gas Metal Arc Welding Chapter 4. Pag. 110-154.
2. Miller Electric Training Department. 1991. Revised 1994. Gas Metal Arc Welding.
3. Kemppi Oy. 2003. MMA compared to MIG. Training Material Version 1.1.
4. Asociación española de soldaduras y tecnologías de unión. Abril 2005. Revision 2. Soldeo Mig y con Alambre Tubular.

APENDICE 1

Data de productividad del proceso MIG/MAG: Acero al carbono.





## APENDICE 2.

### DATA DE DEPOSICION SMAW CON CORRIENTE MAXIMA:

#### ELECTRODO TIPO 48.00

Ø / mm l / mm	Efficiency kg weld metal / kg electrodes	Number of electrodes / kg weld	kg weld metal / hour arc time	Burn off time / electrode ( s )	Weld metal weight / electrode ( g )	Consumption of power /kg weld metal ( kWh )
3,25 / 450	0,70	30	1,4	87	33	2,5
4,0 / 450	0,71	20	1,9	96	50	2,5
5,0 / 450	0,73	13	2,6	110	77	2,4
6,0 / 450	0,74	9	3,7	105	105	2,3
7,0 / 450	0,72	7	4,4	117	140	2,3