



# SOLDABILIDAD DE ACEROS INOXIDABLES

INSTRUCTOR SOLDADURA INDUSTRIAL:  
LUIS PEDRO CIFUENTES

SEPTIEMBRE DE 2020



# CONTENIDO

- Introducción (Aceros Inoxidables)
- Clasificación de los Aceros Inoxidables
- Efecto de los componentes de los Aceros inoxidables
- Soldabilidad de los Aceros Inoxidables
  1. Ferríticos
  2. Austeníticos
  3. Martensíticos
  4. Dúplex
- Diagrama de Schaeffler
- Diagrama DeLong
- Problemas comunes de la Soldadura de A.I
- Consejos para soldar A.I
- Referencias



## INTRODUCCIÓN

- El término acero inoxidable se usa para cubrir una amplia variedad de grados y composiciones. En términos generales, un acero se puede considerar inoxidable cuando posee en su composición química un porcentaje superior al **10% de Cromo**, hasta valores del orden del **30 %**.



- Estos aceros se clasifican en cinco familias, en función de su **Microestructura** , la cual determina sus propiedades mecánicas y también su soldabilidad.
1. Aceros inoxidables Austeníticos
  2. Aceros inoxidables Martensíticos
  3. Aceros inoxidables Ferríticos
  4. Aceros inoxidables Dúplex



### Acero Inoxidable Martensítico

Aleación de Fe-Cr ,contenidos típicos de C mayor o igual a 0.10%.  
Cr ( 12-14 %).  
Estructura (BTC).

### Acero inoxidable Ferrítico

Los más simples de ésta familia de aceros ( Fe-Cr),  
Estructura (BCC).  
Cr (10.5 – 30 %).  
C menor al 0.10%.



### Acero Inoxidable Duplex

Aleaciones base Fe-Cr-Mo.  
Estabilizadores de la Austenita Ni y N, para lograr un balance entre Ferrita y Austenita

### Acero Inoxidable Austenítico

Estructura FCC ,Cr ( 16 - 26 %)  
Ni ( 35 - 16 %),No magnéticos,  
elevada ductilidad

### EJEMPLOS DE ACEROS INOXIDABLES FERRÍTICOS (AISI)

430 : 17Cr, 0,08C	
446 : 26Cr, 0,18C : Alto Cr para máxima resistencia a oxidación y medios sulfurosos.	
444 : 18,5Cr, 2Mo, 0,02C +Ti (Nb) Alto Cr y Mo para resistencia a corrosión general y picaduras.	18Cr, 2Mo + S Adición de S para fácil mecanizado. Resistencia a corrosión equiparable a AISI 316.
409 : 11,5Cr, 0,06C + Ti : Bajo C. Estabilizado con Ti para mejora de soldabilidad.	
410 : 12,5Cr, 0,06C : Bajo Cr. Aplicaciones especiales.	
405 : Bajo Cr. Mejor soldabilidad que el 410.	

### EJEMPLOS DE ACEROS INOXIDABLES MARTENSÍTICOS (AISI):

410 : 12,5Cr, 0,1C		
431 : 16Cr, 2Ni, 0,18C. Adición de Cr para mayor resistencia a corrosión		
416 : 12,5Cr, 0,1C, 0,2S. Adición de S para fácil mecanizado		
420 : 12,5Cr, 0,25C Mayor C para mayor dureza	420C : 12,5Cr, 0,3C Mayor C para mayor dureza	440 : 17Cr, 1,1C Mayor C para mayor dureza
403 : 13Cr, 0,15C. Ductilidad mejorada.		

316 : 18Cr, 12Ni, 2,25Mo, 0,06C Adición de Mo para resistencia a picaduras.	316L : 17Cr, 12Ni, 2,25Mo, 0,03C Bajo C para resistencia a la sensibilización.	316Ti : 17Cr, 12Ni, 2,25Mo, 0,08C, 0,5Ti Versión estabilizada para resistencia a sensibilización.
305 : 18Cr, 12Ni, 0,08C . Mayor Ni para disminuir velocidad de endurecimiento por acritud.		
304 : 18,5Cr, 9Ni, 0,06C Menor C para mejorar soldabilidad.	304L : 18,5Cr, 9,5Ni, 0,03C Menor C para resistencia a sensibilización.	321 : 18Cr, 10Ni, 6C=Ti Versión estabilizada.
301 : 17Cr, 7Ni, 0,08C Bajo Cr y Ni para elevada velocidad de endurecimiento por acritud.		202 : 18Cr, 5Ni, 9Mn, 0,15N, 0,08C Menor coste para substituir al 302
303 : 18Cr, 9Ni, 0,12C, 0,25S Adición de S para fácil mecanizado		201 : 17Cr, 4,5Ni, 6,5Mn, 0,15N, 0,12C Menor coste para substituir al 301

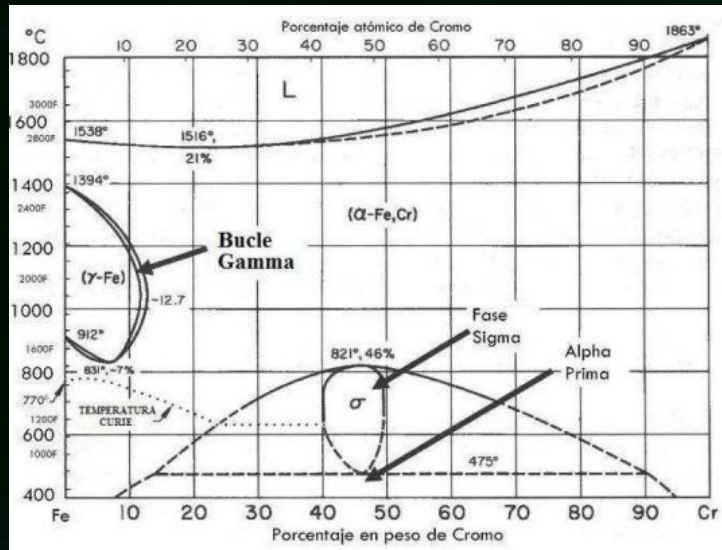
### Composición química de los aceros inoxidable duplex más comunes:

Design. UNS	Tipo AISI	C max.	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	Cu	N
S31500	SAF3RE60	0,03	1,6	1,7	18,5	4,9	2,7	...	0,07
S32404	Uramus50	0,04	2,0	<1,0	21,5	7,0	2,5	1,5	0,1
S31803	Alloy2205	0,03	2,0	<1,0	22	5,5	3,0	...	0,15
S32304	SAF2304	0,03	2,5	<1,0	23	4,0	0,5	...	0,1
S32900	329SS	0,2	1,0	<0,75	25,5	3,75	1,5	...	...
S31100	IN744	0,05	1,0	<0,6	26	6,5	...	...	...
S31200	44LN	0,03	2,0	<1,0	25	6,5	3,0	...	0,17
S32950	7MoPlus	0,03	2,0	<0,6	27,5	4,4	1,8	...	0,25
S31260	DP-3	0,3	1,0	<0,75	25	6,5	3,0	0,5	0,2
S32250	Ferralium all.255	0,04	1,5	<1,0	25,5	5,5	3,0	1,7	0,17
	Zeron100	0,02	0,6	<1,0	25	9,5	3,5	0,7	0,22



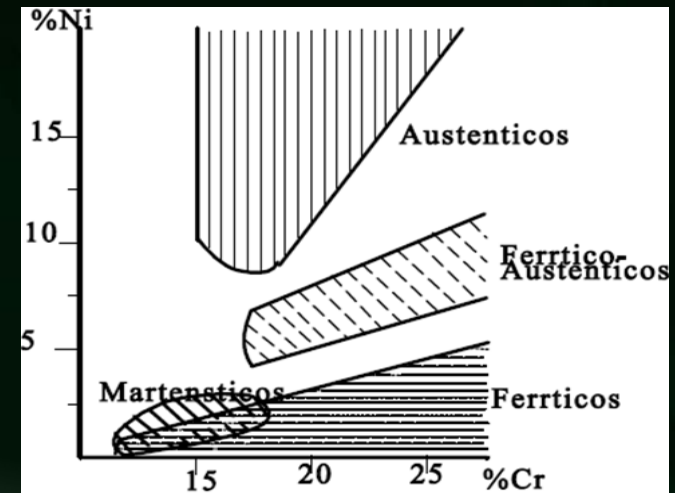
## EFFECTOS DE LOS COMPONENTES DE LOS ACEROS INOXIDABLES

- **Cromo:** Es el único elemento imprescindible para la formación de la película pasivada que proporciona resistencia a la corrosión del acero.
- **Níquel:** En suficientes cantidades es estabilizador de la estructura Austenítico
- **Magnesio:** En moderadas cantidades y en asociación con el níquel proporciona muchas de las cualidades de este último.
- **Molibdeno:** en combinación con el cromo es muy efectivo en términos de estabilizar la película pasivada en presencia de cloruros.
- **Carbono:** Es útil ya que aumenta la capacidad de endurecimiento mediante tratamiento térmico al resultar un acero susceptible de transformación martensítica.
- **Nitrógeno:** Beneficia a los aceros inoxidable austeníticos, retardando la formación de la fase  $\sigma$ -cromo-molibdeno.



estructuras más probables de aceros inoxidable según su relación entre los contenidos de cromo y níquel.

## DIAGRAMA DE FASE Fe-Cr







# SOLDABILIDAD DE LOS ACEROS INOXIDABLES

Soldabilidad se entiende la facilidad con que un material puede ser fabricado por soldadura incluyendo la habilidad de la unión soldada para aguantar las tensiones y las condiciones a que se ve sometido en servicio.

La soldabilidad de los aceros inoxidable depende principalmente de la *estructura cristalina* de los mismos.

El empleo de uno u otro proceso de soldadura depende:

- Tipo de acero inoxidable
- El diseño de la estructura y sus dimensiones.
- Tiempo necesario para realizar cada unión soldada.



# 1. SOLDABILIDAD DE ACEROS INOXIDABLES FERRÍTICOS

La soldabilidad de los inoxidables ferríticos es aceptable a mala según la composición de cada uno, su espesor, y sobre todo, de la aplicación de servicio que de él se pretenda.

Los principales problemas y precauciones de la soldadura de los aceros inoxidables ferríticos pueden resumirse:

Problemas:

- Crecimiento de grano en la zona ZAT y el cordón de soldadura.
- Reducción de la tenacidad.
- Reducción de la resistencia a la corrosión por precipitación de fase  $\sigma$  o segregaciones en límite de grano.

precauciones:

- Soldar con bajo aporte térmico(TIG)
- Extremar la limpieza y preparación de las piezas a soldar
- Evitar la soldadura en espesores mayores

Para minimizar el crecimiento del tamaño de **grano ferrítico** es esencial aplicar un *aporte térmico muy bajo durante la soldadura*. El aporte térmico por unidad de longitud de soldadura realizada puede calcularse a partir de los parámetros de soldadura utilizados, como:

$$Q = (I \times V \times 60) / (v \times 1000)$$

Q = Aporte Térmico (Heat Input) por unidad de longitud (KJ/mm)

I = Intensidad de corriente (A)

V = Voltaje de arco (V)

v = Velocidad de soldadura (mm/min)

Aunque el factor que nos interesa es la proporción que de este aporte térmico recibe la pieza que se suelda, el cual depende del proceso de soldadura utilizado:

$$Q' = X \times Q$$

Q' = Energía transferida por unidad de longitud (KJ/mm)

X = Factor que depende del proceso de soldadura empleado, ya que cada uno de ellos tiene una diferente velocidad de enfriamiento y penetración, y que está comprendido en los siguientes rangos:

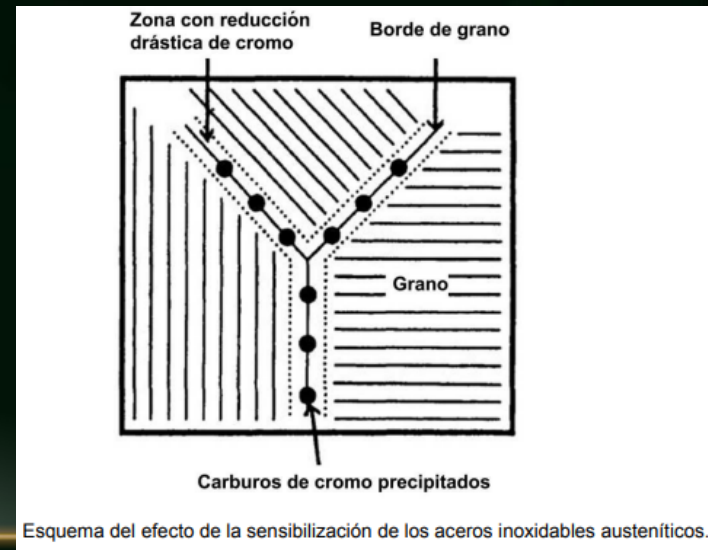
Método de soldadura	X (aprox.)
SMAW	0,65-0,85
SAW	0,95-0,99
MIG/FCAW	0,60-0,70
TIG	0,25-0,50

## 2. SOLDABILIDAD DE ACEROS INOXIDABLES AUSTENÍTICOS

En la Soldadura de los Aceros Inoxidables Austeníticos es practica generalizada mantener la temperatura del material base (y la ZAC) lo mas baja posible,

Los principales problemas de la soldadura de los aceros inoxidable austeníticos pueden resumirse:

- Aparición de fases intermetálicas frágiles desarrolladas a partir de la fase ferrita  $\delta$ .
- Aparición de precipitados de carburos generando pérdida de resistencia a corrosión
- Aparición de segregaciones en el centro de los cordones de soldadura, que pueden dar lugar a "fisuración en caliente".
- Excesiva acumulación de calor en las zonas soldadas



## Soluciones:

- Controlar la cantidad de calor durante la soldadura (limitar el aporte térmico a 2,5 KJ/mm) y la temperatura de servicio del material, de forma que no esté expuesto durante prolongados períodos de tiempo a las temperaturas de fragilización (500 a 950°C).
- Controlar la cantidad de carbono, principalmente del material base que se escoja (según recomendaciones anteriores en función de su espesor).
- Soldar sin precalentar los aceros inoxidable austeníticos, con cordones de soldadura estrechos, limitando la acumulación de calor y el tiempo de exposición a altas temperaturas.
- Limitar la temperatura entre pasadas y del material base a un máximo de 150°C.
- Esperar hasta su enfriamiento antes de seguir soldando.
- Realizar secuencias de soldadura lógicas, repartiendo las tensiones y el calor aportado en toda la pieza.



### 3. SOLDABILIDAD DE ACEROS INOXIDABLES MARTENSÍTICOS

La estructura Martensítica, cuya dureza aumenta con el contenido de carbono tiene una tendencia a la fisuración muy importante durante la soldadura.

La alta templabilidad de estas aleaciones hace que se produzca **Martensita** tanto en el cordón de soldadura como en la Zona Afectada por el Calor (ZAC) adyacente.

- Esto puede ser revertido parcialmente con el Pre calentamiento de la soldadura ( T° mín. 200°C.
- Suele realizar un Tratamiento térmico post Soldadura de revenido a temperaturas del orden de 600-750°C.
- Si no se realiza el revenido post soldadura puede realizarse un Recocido a 850-900°C durante dos horas y luego enfriar a una velocidad no mayor de 50 °C por hora hasta los 600°C

## Bucle Gama

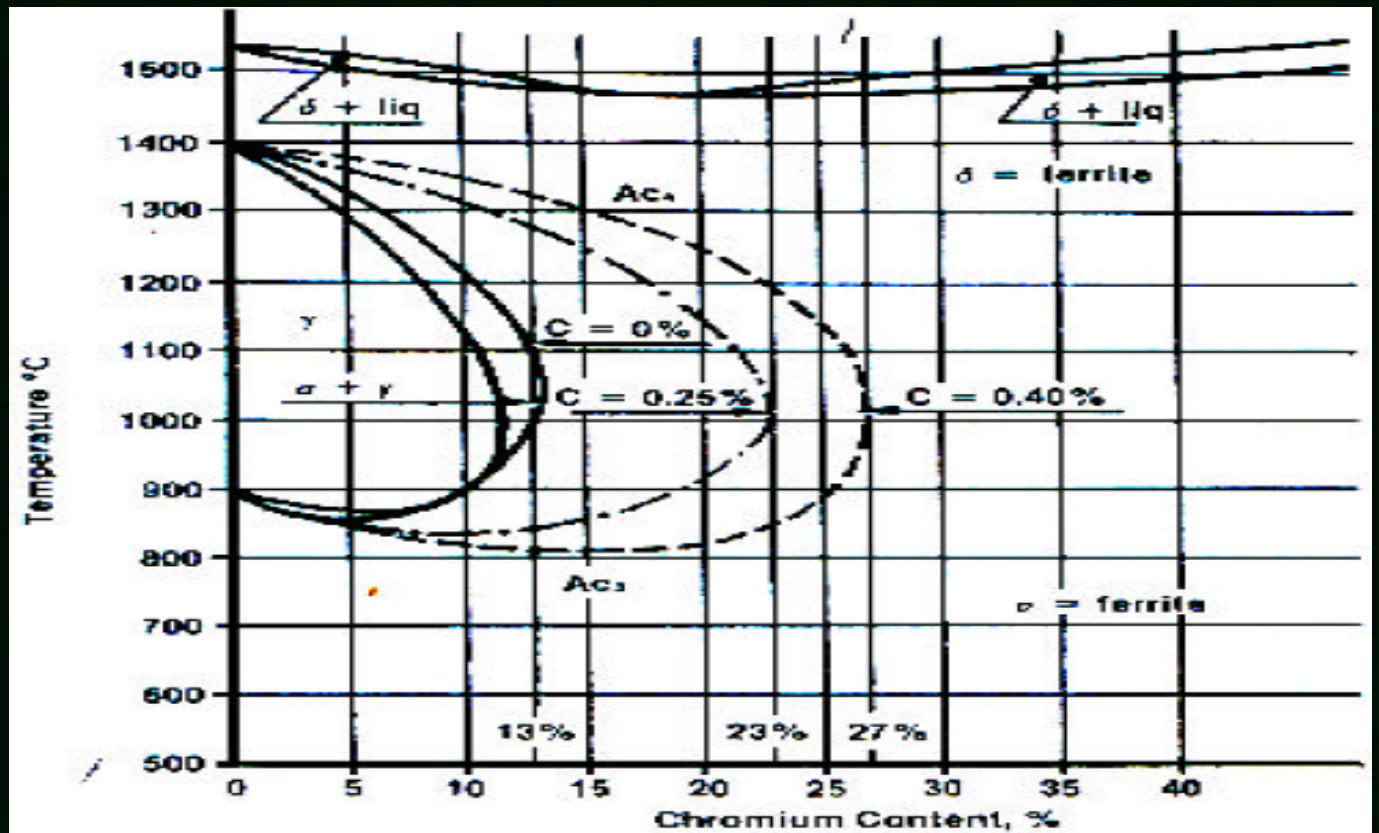


Fig.2 Influencia del carbono ampliando el bucle Gamma



## 4. SOLDABILIDAD DE ACEROS INOXIDABLES DÚPLEX

Para comprender los diferentes problemas que puedan derivarse de la soldadura de un acero inoxidable dúplex, es necesario tratar del proceso de **solidificación y enfriamiento** del mismo y las transformaciones que durante estos procesos se producen.

Contenido final de **ferrita- $\delta$**  que se obtiene es demasiado elevado. En estos casos extremos se ha observado que estos fenómenos tienen lugar:

- Cuando la velocidad de enfriamiento es demasiado elevada.
- Cuando el aporte térmico es demasiado bajo, ya que se obtiene también una ZAT de granos predominantemente ferríticos que no han tenido tiempo de transformarse.



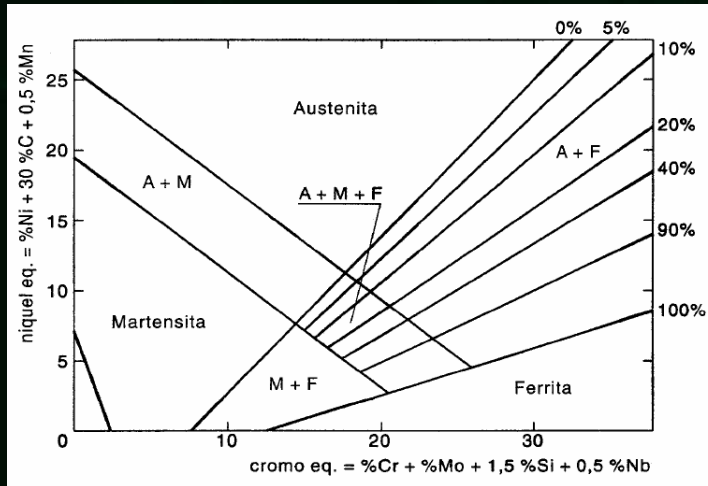
Los problemas asociados con el alto contenido de ferrita que se puede encontrar en aceros dúplex soldados con solidificaciones y enfriamientos rápidos, pueden llegar a ser solucionados:

- El control de la composición de los consumibles empleados en la soldadura
- Utilizar consumibles sobrealeados en níquel (3-4%), que ayuda a la transformación austenítica
- Control de estos parámetros, el contenido en nitrógeno de los mismos, uniformemente distribuido, ayuda también a la transformación austenítica.

**Consumibles para la soldadura de aceros inoxidables duplex:**

Material base	SMAW	MIG	FCAW	TIG	SAW
2205	AROSTA 4462	LNМ 4462	COR-A-ROSTA 4462 BLUE-MAX 4462	LNT 4462	LNS 4462 Flux P2000 / ST-100
2205 ZERON 100 CD-4MCu	JUNGO ZERON 100X	LNМ ZERON 100X	...	LNT ZERON 100X	LNS ZERON 100X LNS ZERON 100M Flux P2000 / ST-100

# DIAGRAMA DE SHAEFFLER



El diagrama de Schaeffler, muestra las estructuras que va a presentar un acero al Cr-Ni de acuerdo a los porcentajes verdaderos de Cr y Ni. El diagrama de Schaeffler muestra claramente el dominio de las fases Ferrítico, Martensítica y Austenítica propias de los Aceros Inoxidables cuando son enfriados a las velocidades de soldadura.

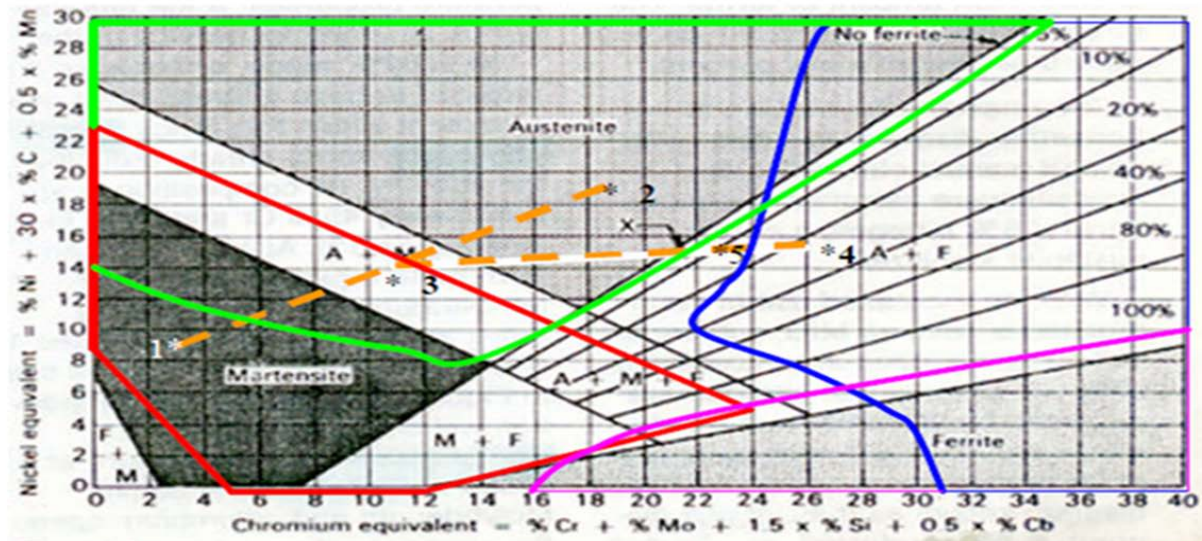
La contribución de los elementos formadores de austenita o ferrita se evalúa a partir de los denominados níquel y cromo equivalentes ( $Ni_{eq}$  y  $Cr_{eq}$ , respectivamente), calculados mediante:

$$Cr_{eq} = \%Cr + \%Mo + 1,5\%Si + 0,5\%Nb$$

$$Ni_{eq} = \%Ni + 30\%C + 0,5\%Mn$$

## Cuando es necesario soldar aceros inoxidable:

- Que la composición química de la soldadura sea similar a la del material base con el objeto de resistir a la corrosión.
- Que la estructura tenga las características mecánicas apropiadas



**Fisuración en caliente**

**Fisuración en frío**

**Formación por fase sigma**

**Crecimiento de grano**

**Fig 12. Diagrama de Shaeffler**

## DIAGRAMA DELONG

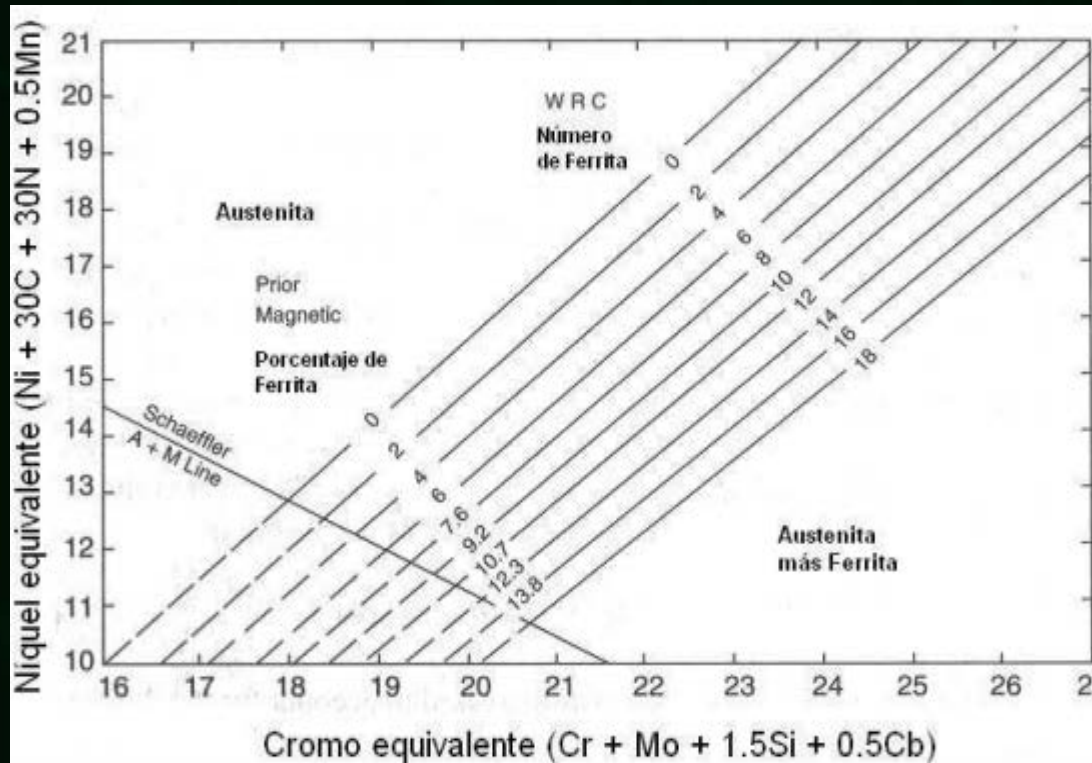


Figura 1. 6. Diagrama de DeLong mejorado.<sup>13</sup>

- Diagrama DeLong a la hora de tomar en cuenta la influencia del N de igual poder que el carbono.
- Ferrita se distribuye uniformemente en la matriz Austenítica
- Medición por medios Magnéticos



## PROBLEMAS COMUNES DE LA SOLDADURA DE ACEROS INOXIDABLES.

Cuando se sueldan aceros al carbono la consideración principal es la resistencia mecánica de la unión soldada. El material de aporte puede ser de acuerdo a su composición química, o una de composición superior mientras conserve las propiedades mecánicas del material base.

- Usar productos de calidad
- Diseño de junta.
- Forma y disposición de los cordones de soldadura.
- Un buen diseño de junta permite una fácil remoción de la escoria.
- Humedad
- Contaminación





## CONSEJOS UTILES PARA SOLDAR ACEROS INOXIDABLES

- Los contenidos de azufre, oxígeno, silicio, cobre y nitrógeno , debería estar muy bien controlado para obtener una buena soldabilidad, y evitar fisuración en caliente o durante conformados tras soldadura.
- Utilizar los procesos y procedimientos de soldadura que den las mínimas deformaciones.
- Considerar ya en el diseño del componente cuáles son los procedimientos de soldadura más adecuados y económicos.
- Usar volúmenes de soldadura lo más pequeños posible.
- Si es posible la soldadura por dos caras, evitar la soldadura multipasadas. Los electrodos recubiertos tipo rutilo-básico (clasificación AWS E:XXX-16) tienen las siguientes ventajas sobre los básicos (clasificación AWS E:XXX-15):


- \*Menor contenido de carbono
- \* Apariencia de los cordones más suave
- \* Buena eliminación de escoria
- \*Más fáciles de soldar.


# REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BRITISH STAINLESS STEEL ASSOCIATION.PDF
- ACEROS INOXIDABLES,TERMO SOLDEX S.A TRATAMIENTO TERMICO DE SOLDADURA – PRUEBA HIDRÁULICA DE GASODUCTOS. PDF
- PROPIEDADES Y SOLDABILIDAD DE LOS ACEROS INOXIDABLES. European Welding Engineer, LICOLN ELECTRIC PDF

**MAINCO**

EXPERTOS EN ACERO INOXIDABLE

 +502 4739 4696

 +502 2386 8787



42 CALLE 22-17 COLONIA INDUSTRIAL  
SANTA ELISA ZONA 12 BODEGA #5.

**MAINCO.com.gt**

    /MAINCO



# SOLDADURA CON ELECTRODO CONTINUO Y GAS PROTECTOR

Instructor Soldadura Industrial:  
Luis Pedro Cifuentes

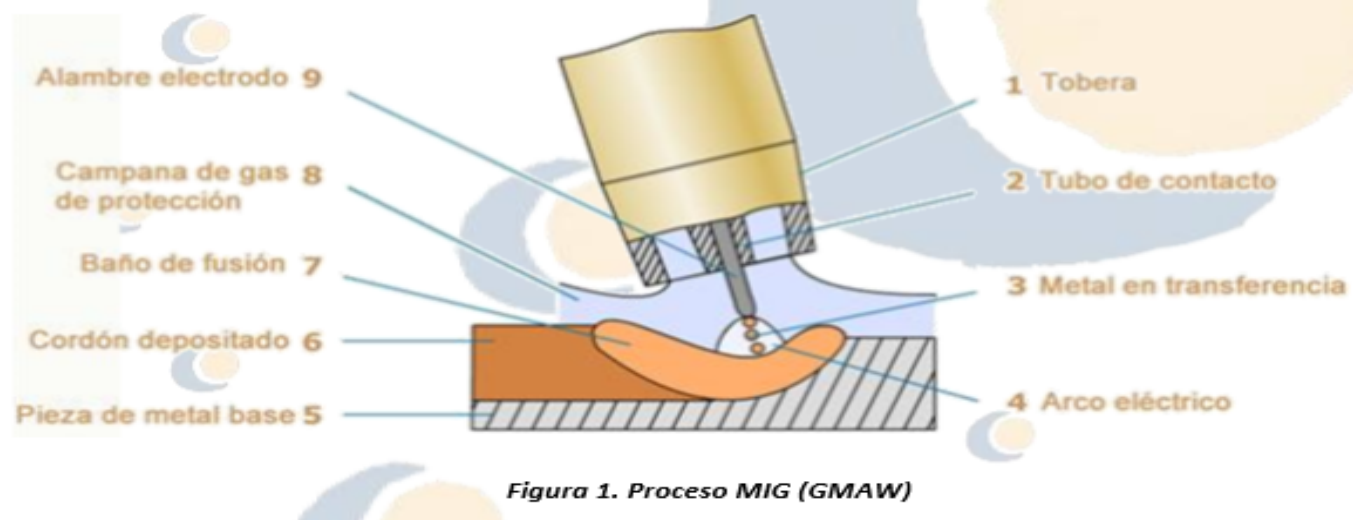




# 1. INTRODUCCIÓN

La soldadura GMAW (Gas Metal Arc Welding), también conocida como MIG/MAG (Metal Inert Gas / Metal Active Gas), es un proceso de soldadura (*figura 1*) donde el calor necesario para la unión es producido por un arco eléctrico entre un electrodo continuo consumible y la pieza a soldar. La protección del arco eléctrico y del baño de fusión se obtiene mediante un gas o mezcla de gases.

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 de la pistola, concéntricamente al electrodo (*figura 1*).



- El proceso de Soldadura con electrodo continuo y gas protector fue desarrollado y puesto a disposición comercialmente en 1948, aunque el concepto básico fue introducido realmente en el año 1920. En sus primeras aplicaciones comerciales, el proceso fue empleado para soldar aluminio con gas inerte, dando origen a la expresión MIG, que significa, Metal Inerte Gas, la cual es aún comúnmente empleada al referirse a este proceso.

Este proceso puede trabajar en modo semiautomático y automático, siendo fácilmente adaptado para su utilización con robot. Eligiendo el consumible y gas de protección adecuados, pueden soldarse con este proceso todos los metales y aleaciones utilizados comercialmente.

El desarrollo de los alambres tubulares, "Metal Cored" y "Flux Cored" ha permitido aportar ventajas frente a la utilización de este proceso con alambre macizo. La soldadura con el alambre "Metal Cored", se considera una variación del proceso MIG/MAG, para su utilización necesita gas de protección, permite una mayor velocidad de deposición con una elevada eficiencia, no deja apenas escoria y el nivel de humos es similar al de los alambres macizos. La soldadura con alambre "Flux Cored" se considera un proceso diferente del MIG/MAG (GMAW) que se denomina FCAW (Flux Cored Arc Welding) y que tiene como principales características, el contener en el interior del alambre un fundente (flux) con funciones similares al revestimiento del electrodo revestido, formar escoria, poder necesitar gas de protección adicional o ser autoprottegidos, permitir una mayor velocidad de deposición que con alambres "Metal Cored" pero con una eficiencia inferior y con una mayor cantidad de humos.

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.

Al soldeo MIG/MAG también se le denomina:

- GMAW (Gas Metal Arc Welding)
- UNE-EN ISO 4063: 2011
- Proceso 131: Soldero por arco con alambre electrodo macizo y gas inerte: Soldero MIG
- Proceso 133: Soldero por arco con alambre tubular relleno de polvo metálico y gas inerte: Soldero MIG
- Proceso 135: Soldero por arco con alambre electrodo macizo y gas activo: Soldero MAG
- Proceso 138: Soldero con alambre tubular relleno de polvo metálico y gas activo: Soldero MAG

Este proceso se utiliza para soldar los principales metales como el acero al carbono, aluminio, cobre y acero inoxidable.



## 2. TIPOS DE TRANSFERENCIA

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 pueden transferirse del electrodo a la pieza cuando el electrodo contacta con el metal fundido depositado por soldadura.

Los tipos de transferencia son:

- Arco corto o cortocircuito
- Globular
- Arco largo o arco spray
- Arco pulsado
- Arco Largo de Elevada Densidad de Corriente (Arco rotacional y No rotacional).

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:

- Tipo y magnitud de la Intensidad de soldadura.
- Diámetro y composición del electrodo.
- La longitud (extensión) del electrodo entre la punta de contacto y el arco.
- Longitud de arco o voltaje.
- 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.

### 2.1. Transferencia por Arco Corto o Cortocircuito

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 en electrodo y el metal base (figura 2).

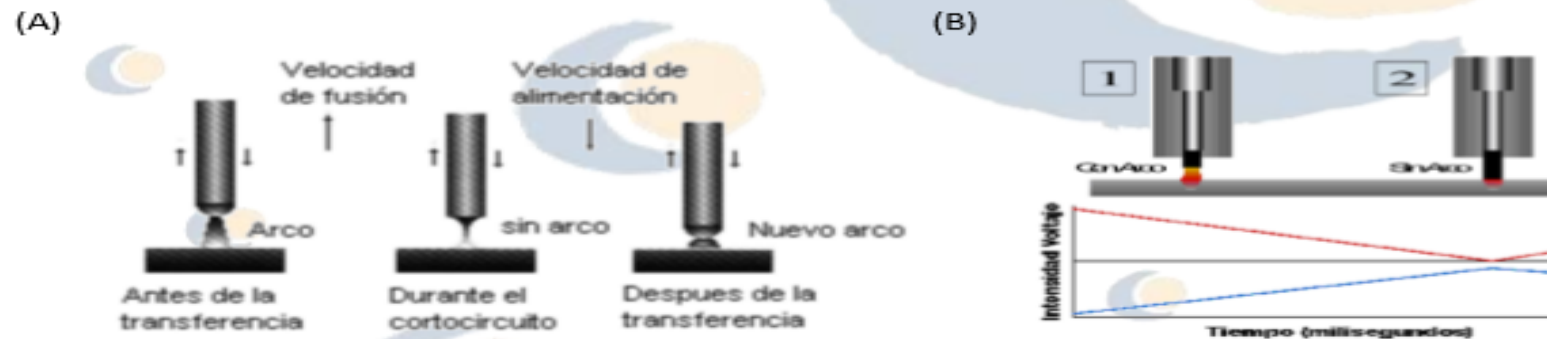


Figura 2. (A, B) Transferencia por arco corto

Tabla 1. Márgenes de intensidad típicos en soldadura MAG con transferencia por arco corto de aceros al carbono

Diámetro de Electrodo		Intensidad (A)			
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.

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

- La soldadura de espesores delgados dado que su aporte térmico es bajo, y para “puentear” preparaciones con huelgos excesivos
- 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.



## 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 (*figura 4A y figura 4B*). 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 4C*). 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.

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  $\text{CO}_2$  como gas de protección. Con el  $\text{CO}_2$  la transferencia de las gotas no se dirigen axialmente a través del arco.

Cuando se está empleando una mezcla de argón como  $\text{Ar-CO}_2\text{-O}_2$ ,  $\text{Ar-CO}_2$ , o  $\text{Ar-O}_2$ , 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.

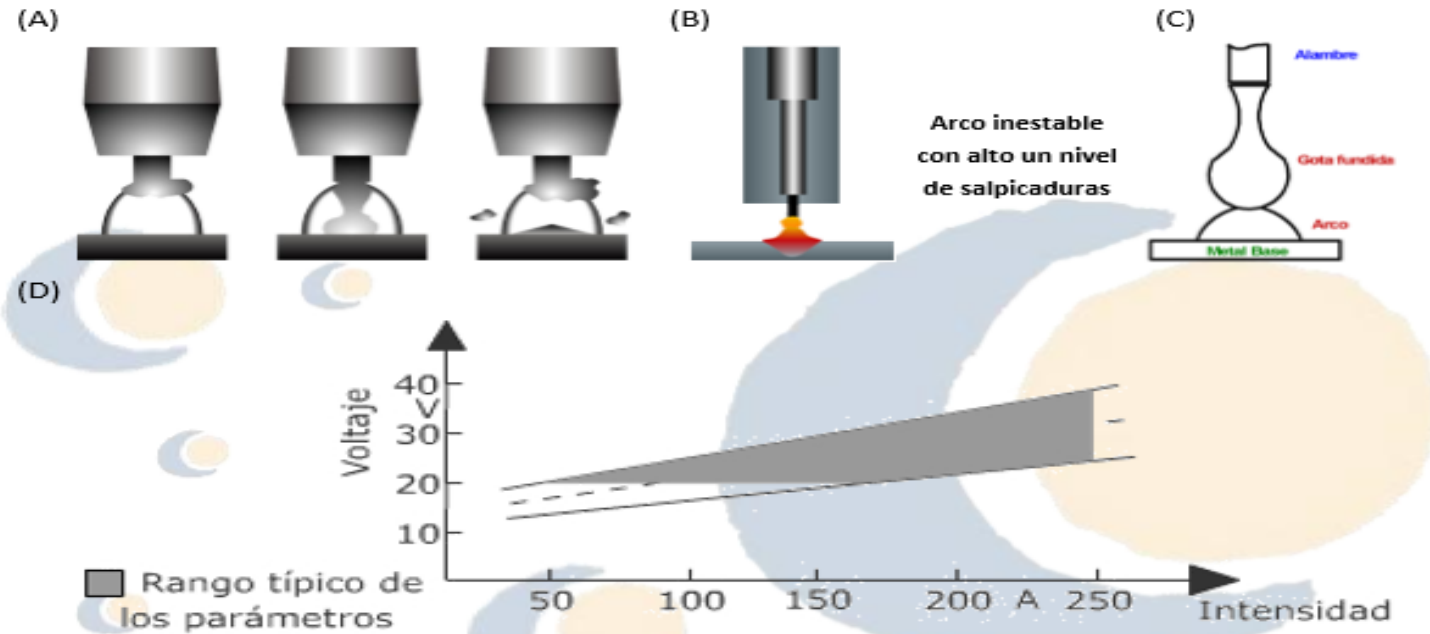


Figura 4. (A, B, C) Transferencia por arco globular y (D) rango típicos de los parámetros para este tipo de transferencia

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.

### 2.3. Transferencia por Arco Largo o Spray

En la transferencia por arco largo, 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 (*figura 5A y figura 5B*). Las gotas saltan una a continuación de otra, pero no están interconectadas.

Debido al afilado del extremo del alambre, la densidad de corriente ( $A/mm^2$ ) 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 inoxidables) y la mayoría de los otros metales, pueden soldarse con arco largo.

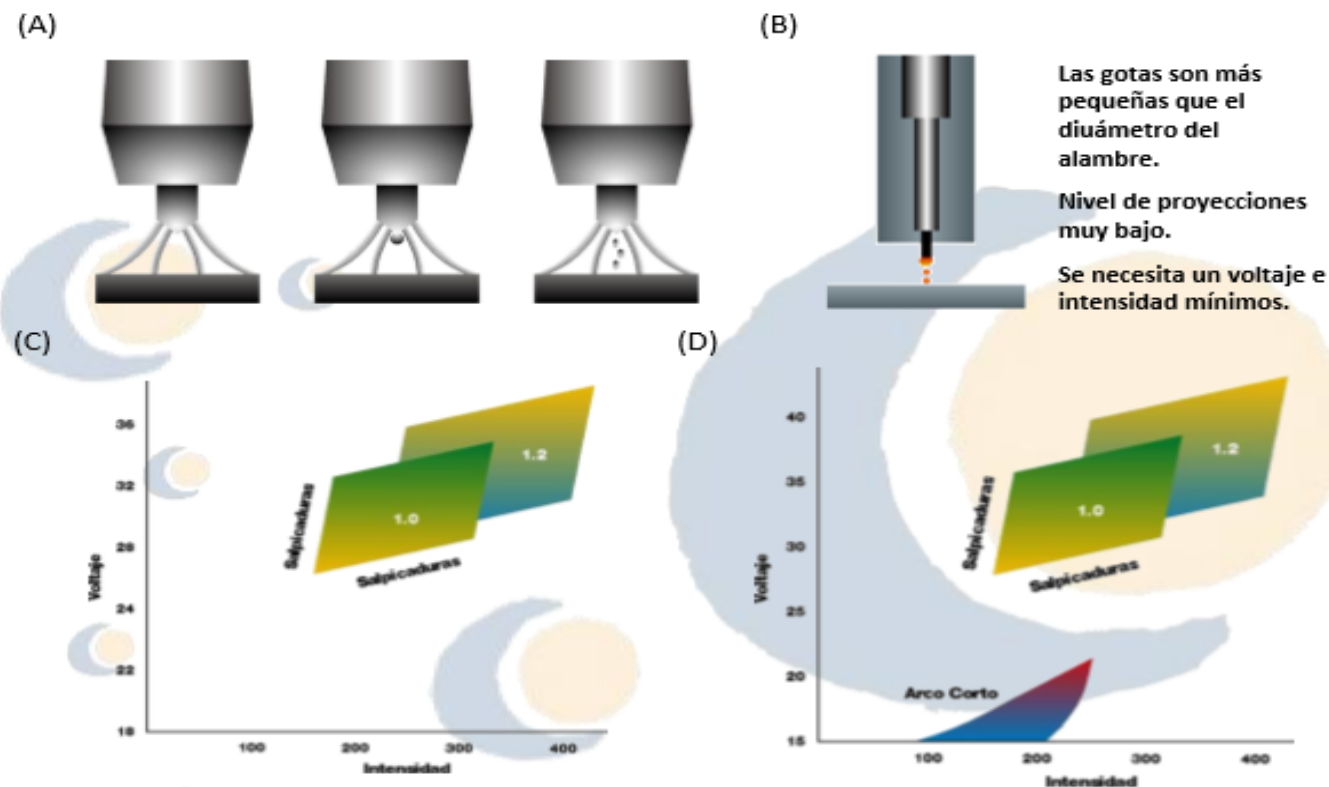


Figura 5. (A, B) Transferencia por arco largo. (C, D) Rango típicos de los parámetros para este tipo de transferencia con alambres de 1,0 y 1,2 mm de diámetro y mezcla (C) Ar-5% O<sub>2</sub> y (D) Ar-8% O<sub>2</sub>

### 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 ( $\text{CO}_2$  y  $\text{O}_2$ ) que los empleados para arco corto. La mayoría contienen 85-90 % de argón, siendo normalmente el resto de los componentes,  $\text{CO}_2$  y  $\text{O}_2$ , y en algunas ocasiones, pueden contener pequeñas cantidades de helio, para incrementar la energía del arco, y de hidrógeno (aceros inoxidables austeníticos).

### 2.3.1. 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 la 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 24 V, para los diámetros pequeños con Ar-O<sub>2</sub> y hasta 30 V para mezclas con helio. Para comenzar el ajuste, se puede empezar con 26-27 V. En la *figura 5C* y la *figura 5D* 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>.

*Tabla 2. Intensidades de transición de arco globular a arco largo*

Tipo de Alambre	Diámetro Alambre		Gas de Protección	Intensidad Mínima Para Arco Largo (A)
	Pulgadas	mm		
Acero al Carbono (ER70S-3 o ER70S-6)	0.023	0.4	98% Ar/ 2% O <sub>2</sub>	135
	0.030	0.8	98% Ar/ 2% O <sub>2</sub>	150
	0.035	0.9	98% Ar/ 2% O <sub>2</sub>	165
	0.045	1.2	98% Ar/ 2% O <sub>2</sub>	220
	0.062	1.6	98% Ar/ 2% O <sub>2</sub>	275
	0.035	0.9	95% Ar/ 2% O <sub>2</sub>	155
	0.045	1.2	95% Ar/ 2% O <sub>2</sub>	200
	0.062	1.6	95% Ar/ 2% O <sub>2</sub>	265
	0.035	0.9	92% Ar/ 2% O <sub>2</sub>	175
	0.045	1.2	92% Ar/ 2% O <sub>2</sub>	225
	0.062	1.6	92% Ar/ 2% O <sub>2</sub>	290
	0.035	0.9	85% Ar/ 2% O <sub>2</sub>	180
	0.045	1.2	85% Ar/ 2% O <sub>2</sub>	240
	0.062	1.6	85% Ar/ 2% O <sub>2</sub>	295
	0.035	0.9	80% Ar/ 2% O <sub>2</sub>	195
0.045	1.2	80% Ar/ 2% O <sub>2</sub>	255	
0.062	1.6	80% Ar/ 2% O <sub>2</sub>	345	

Tabla 2. Intensidades de transición de arco globular a arco largo. (Continuación)

Tipo de Alambre	Diámetro Alambre		Gas de Protección	Intensidad Mínima Para Arco Largo (A)
	Pulgadas	mm		
Acero Inoxidable Austenítico	0.035	0.9	98% Ar/ 1% O <sub>2</sub>	150
	0.045	1.2	98% Ar/ 1% O <sub>2</sub>	195
	0.062	1.6	98% Ar/ 1% O <sub>2</sub>	265
	0.035	0.9	Ar/He/CO <sub>2</sub>	160
	0.045	1.2	Ar/He/CO <sub>2</sub>	205
	0.047	1.6	Ar/He/CO <sub>2</sub>	280
	0.062	0.9	Ar/H <sub>2</sub> /CO <sub>2</sub>	145
	0.035	1.2	Ar/H <sub>2</sub> /CO <sub>2</sub>	185
	0.045	1.6	Ar/H <sub>2</sub> /CO <sub>2</sub>	255
Aluminio	0.062	0.8	Ar	95
	0.035	1.2	Ar	135
	0.045	1.6	Ar	180
Cobre	0.062	0.9	Ar	180
		1.2	Ar	210
		1.6	Ar	310
Bronce al Silicio		0.9	Ar	165
		1.2	Ar	205
		1.6	Ar	270

## 2.4. Transferencia por Arco Pulsado

La transferencia por arco pulsado (*figura 6A*) 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.

(A)



(B)



*Figura 6. (A) Transferencia con arco pulsado. (B) Gráfico Intensidad–Tiempo de transferencia por arco pulsado de la onda*

En la *figura 6B* 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 20–40 A, 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.

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 típicos en soldadura MIG con arco pulsado

Diámetro del Electrodo	Intensidad (A)			
	mm	Aluminio 4043 (1)	Acero Inoxidable AISI 308 (2)	Magnesio AZ61A (1)
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
2/32	2.4	150-300	-----	225-375

## 2.5. Transferencia con Elevada Densidad de Corriente

Este tipo de transferencia exige el empleo conjunto de una determinada combinación de alimentación de alambre, una longitud de alambre (stick out) y un gas de protección.

Las velocidades de deposición que se encuentran con este tipo de transferencia son del orden de 5 a 12 Kg por hora, mientras que con arco largo está entre 3 y 5 kg por hora. Las características de la transferencia de elevada densidad de corriente, está dividida entre transferencia por arco largo rotacional y no rotacional.

Utilizando la combinación de un alambre macizo, un alimentador que permita elevada velocidad de alimentación (superior a 20 metros/minuto), una gran longitud de alambre y una mezcla de

gases adecuados, puede obtenerse una transferencia con arco largo rotacional. La elevada longitud de alambre crea una resistencia elevada que produce el calentamiento del alambre que llega a fundir su extremo final. El paso de la intensidad a través del alambre genera un campo magnético y unas fuerzas que hacen que el extremo del alambre fundido comience a rotar de forma helicoidal. (figura 7)



Figura 7. Transferencia con elevada densidad de corriente. Arco largo rotacional

El gas de protección afecta a la intensidad de transición rotacional por cambiar la tensión superficial del extremo del alambre fundido. Para alcanzar esta transferencia hay que utilizar, una mezcla de  $\text{Ar-O}_2$  y  $\text{Ar-CO}_2$ , un diámetro de alambre de 1,0 a 1,2 mm de diámetro y una velocidad de alimentación de alambre superior a 20 m/min.

La transferencia no rotacional se produce cuando el extremo del alambre fundido no rota. De este modo también se consigue una velocidad de 5 a 12 kg por hora. No existe rotación cuando se incrementa la conductividad térmica del gas y la tensión superficial del extremo fundido del electrodo. La velocidad de desprendimiento de gotas a través del arco desciende pero su volumen se incrementa. Las mezclas de gases con contenidos importantes de  $\text{CO}_2$  o helio elevarán la intensidad de transición para obtener transferencia rotacional y suprime la tendencia del arco a rotar. Entonces el arco se alarga y difunde pareciendo similar al arco largo convencional. El arco es axial y más estrecho que en la transferencia con arco largo rotacional. Debido a que tiene el calor más concentrado, tendrá para la misma intensidad, una profundidad de la penetración mayor que con transferencia por arco largo rotacional.

presentar problemas para su alimentación, se utilizan sopletes tipo "Push-Pull". Estos sopletes, llevan unos rodillos, que están sincronizados con los del alimentador y hacen las funciones de empujar (push) el alambre y tirar (pull) de él.

Otros tipos de sopletes llevan una bobina de 0,5 a 1 kg (figura 9E) para aplicaciones donde el arrastre es crítico (aluminio) o un sistema de aspiración de humos (figura 9D).

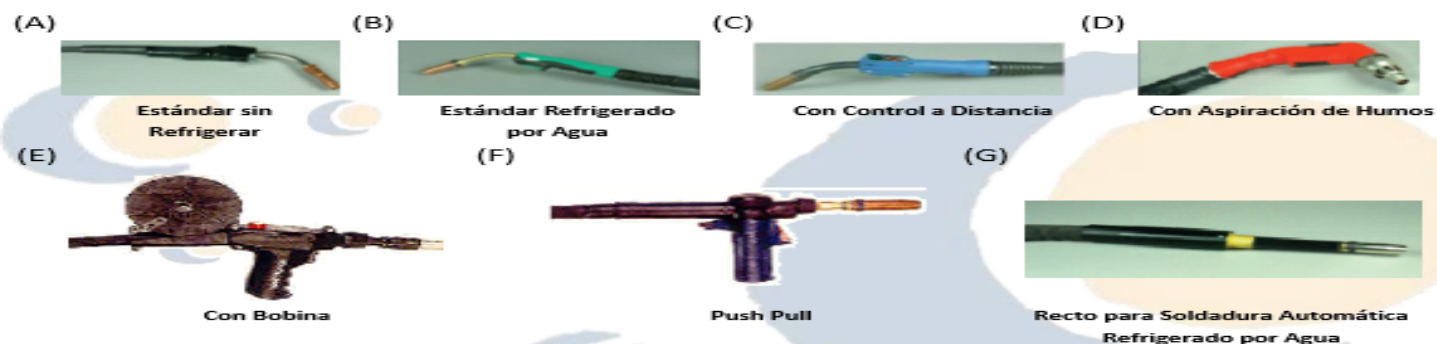


Figura 9. Diferentes tipos de sopletes MIG (A) Estándar sin refrigerar, (B) estándar refrigerado por agua, (C) con control a distancia, (D) Con aspiración de humos, (E) con bobinas, (F) Push Pull y (G) recto para soldadura automática refrigerado por agua



Figura 10. Accesorios de sopletes MIG: (A) puntas de contacto, (B) difusores, (C) portapuntas, (D) conducto, (E) cuellos, (F) boquillas cónicas, (G) gatillo, (H) boquilla cilíndrica and (I) conector

### 3.2. Alimentador de alambre

Es el dispositivo que hace que el alambre pase por la punta de contacto de la pistola 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.

(A)



(B)



*Figura 12. 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 la pistola.

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 de la pistola. Normalmente es necesario un sistema de frenado para la bobina, para evitar su giro incontrolado. En la *figura 12* 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.



*Figura 13. Sistema de 4 rodillos*

El tipo de rodillos generalmente utilizado (*figura 14*) es:

- 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.

(A)



**Alambres macizos duros**

- Acero al carbono
- Acero inoxidable

(B)



**Alambres macizos blandos**

- Aluminio
- Magnesio

(C)



**Alambres tubulares**

**Figura 14. Diferentes tipos de rodillos. Para (A) alambres macizos duros (B) alambres macizos blandos y (C) alambres tubulares**

Cuando el alambre tiene un diámetro muy pequeño (inferior a 0,7 mm en acero y 1 mm en materiales blandos como el aluminio) puede ser difícil alimentar a las distancias requeridas mediante el sistema normal de empuje del alimentador, por lo que se recurre a otro sistema de alimentación incorporado en la pistola de “empujar y tirar”. Este sistema se conoce también con el nombre inglés de “push-pull”. En alguno de los últimos desarrollos de sopletes “push pull” tiene el sistema de rodillos llamado “tipo planetario” con la disposición de los rodillos formando 90° (figura 15A). Con esta disposición se busca principalmente un aumento de la superficie de contacto que facilite el arrastre de metales difíciles como aluminio.

### 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 de la pistola.

El control también regula normalmente el preflujo y posflujo 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 alimentación

La corriente alterna apenas se emplea en la soldadura MIG (GMAW). La fuente de alimentación es básicamente un transformador / rectificador que toma una corriente alterna de elevado voltaje (220 a 380 V) y baja intensidad (20 a 50 A) y la transforma en una corriente continua de bajo voltaje (16-40 V) y elevada intensidad (80 a 500 A). En la mayoría de las aplicaciones se emplea corriente continua y polaridad inversa (CCPI) (electrodo al positivo), si bien se usa ocasionalmente la polaridad directa (CCPD) cuando la penetración tiene que ser mínima.

Se puede emplear dos tipos de fuentes de alimentación, diferenciadas por sus curvas características Voltaje-Intensidad: de voltaje descendente o intensidad constante y de voltaje constante. En el primer tipo, el voltaje cae cuando la intensidad aumenta. En el segundo, el voltaje permanece constante, o desciende ligeramente cuando la intensidad aumenta. La mayoría de los equipos MIG (GMAW) son del tipo de voltaje constante. Mientras que las de electrodo revestidos (SMAW) o TIG (GTAW) son de voltaje descendente.

### 3.4.1. Controles de Fuentes de Potencial Constante

Todos los equipos de potencial constante tienen al menos la posibilidad de seleccionar la intensidad y el voltaje. La intensidad se ajusta por medio de la velocidad de alimentación del alambre y el voltaje se selecciona directamente en el equipo o en el control remoto. Incrementando la velocidad de alimentación del alambre se incrementa proporcionalmente la intensidad de modo que sea suficiente para fundir el alambre y depositarlo en el baño de fusión. El voltaje ajusta la longitud del arco.

Algunos equipos también tienen la posibilidad de ajuste de la pendiente de la curva característica y la inductancia.

La influencia de estos controles se podrá estudiar en el apartado de características del equipo. La figura 16A muestra un equipo estándar con la posibilidad de seleccionar el voltaje (longitud de arco), la velocidad de alimentación de alambre (intensidad) y el tipo de pendiente de la curva característica.

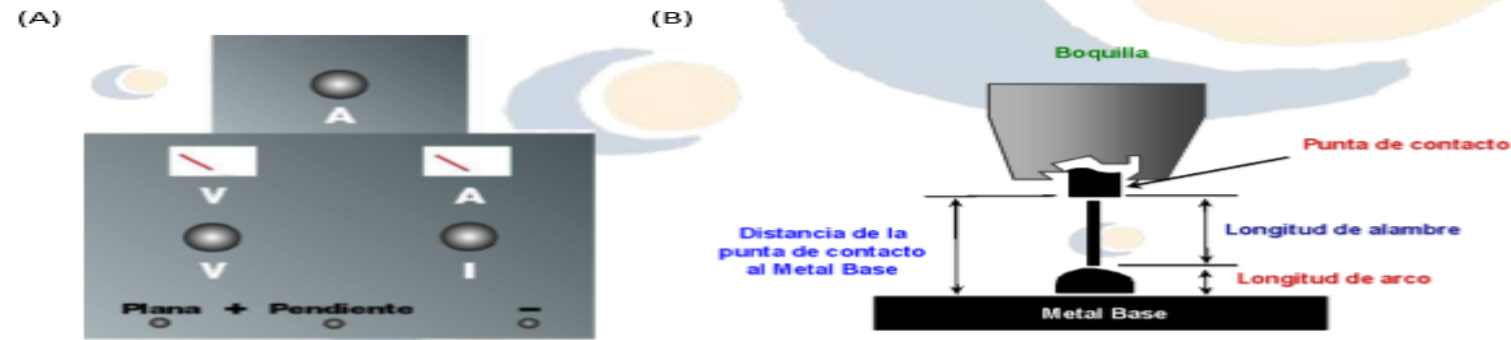


Figura 16. (A) Fuente de alimentación con posibilidad de ajustar la pendiente. (B) Longitud de alambre

### 3.4.2. La longitud de alambre

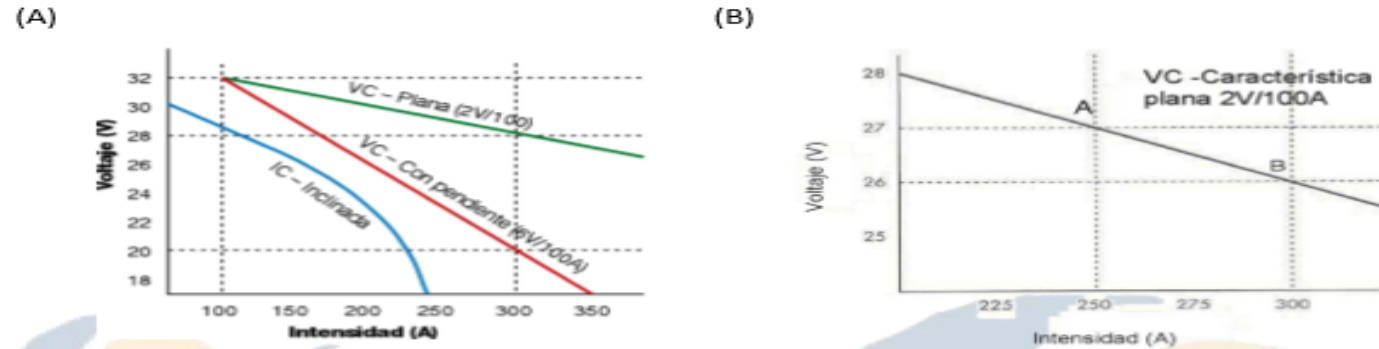
Es la distancia entre el extremo de la punta de contacto el extremo del alambre (figura 16B). Esta "longitud de alambre" es muy importante y puede afectar al precalentamiento del alambre y a determinar el nivel de intensidad

En la soldadura MIG (GMAW) la intensidad se transfiere al alambre en la punta de contacto. La energía resultante de la intensidad de soldadura se consume en dos diferentes lugares dentro del circuito de soldadura (figura 17):

### 3.4.3. Características de una fuente de alimentación de voltaje constante

#### 3.4.3.1. Pendiente

La característica de un equipo estará determinada por los componentes utilizados en su diseño. En la *figura 18A* puede observarse los diferentes tipos de curvas características. La mayoría de los equipos que no tienen posibilidad de ajustar la pendiente llevan un preajuste de fábrica de 2 voltios/100 amperios (*figura 18B*). Esto corresponde con una curva característica tipo plano. (VC-Plana).

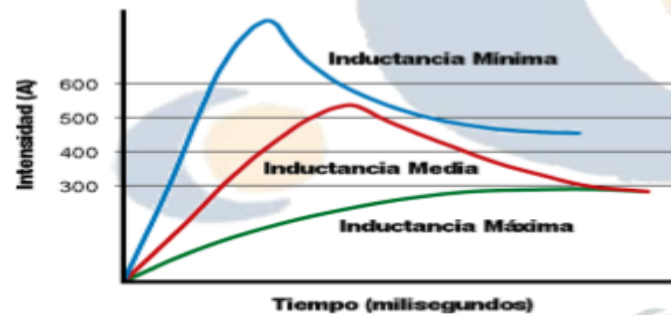


**Figura 18. (A) Curvas características de una fuente de alimentación y (B) curva característica con pendiente 2V/100 A**

Esto significa que por cada incremento de 100 Amperios el equipo producirá 2 voltios menos con el mismo ajuste de voltaje. Una de las máximas pendientes utilizadas en una fuente de alimentación de voltaje constante es la de 6 voltios/100 amperios. Esto corresponde con un tipo de “pendiente con caída” (VC-Con caída). Todavía se pueden encontrar equipos con la posibilidad de ajustar la “pendiente” de modo continuo, otros tienen tomas externas o internas para cambiar las diferentes pendientes. Puede ser necesario incrementar la pendiente de un equipo si se quiere controlar la soldadura con arco corto a bajas intensidades, ya que se limita la intensidad de cortocircuito. Esto reduce la tendencia a una penetración en exceso que traspasa en espesores delgados y disminuye las salpicaduras en los inicios del arco.

### 3.4.3.2. Inductancia.

La inductancia es un tipo de ajuste que es más frecuente que la pendiente en las fuentes de alimentación de voltaje constante. La inductancia es otro método para controlar el arco. Este se realiza controlando la velocidad a la que la intensidad crece para alcanzar la intensidad de soldadura seleccionada. La *figura 22* muestra el efecto de la inductancia. La curva superior muestra lo que sucede cuando no hay prácticamente inductancia y cuando hay cortocircuito, la intensidad se eleva tan rápidamente como se lo permite la fuente de alimentación. La fuerza Pinch se aplicará rápidamente y la gota se desprenderá bruscamente y se producirán excesivas salpicaduras. Una inductancia media, dará como resultado un inferior número de cortocircuitos, un incremento del tiempo de arco, un baño más fluido y un cordón más plano. Una inductancia máxima, puede dar como resultado que el inicio del arco sea duro porque se limita la intensidad máxima de cortocircuito. La inductancia debe mantenerse baja para transferencia por arco largo. Esto dará como resultado un mejor inicio del arco y una mayor estabilidad elevadas intensidades.



*Figura 22. Efecto de incremento de la inductancia*

Las características de inicio de arco son particularmente importante en la transferencia por arco corto. Para conseguir un inicio de arco suave debe conseguirse un control adecuado del nivel de la intensidad de cortocircuito (fuerza Pinch-Pendiente) y de la velocidad de incremento de la intensidad (inductancia).

### 3.5. Suministro de gas con regulación

La alimentación de gas puede hacerse desde una botella de gas comprimido o desde un suministro centralizado. Cuando se hace desde una botella, es necesario conectar a la válvula de esta, un regulador-caudalímetro que permita poder graduar el caudal de gas de protección necesario para cada aplicación.

Los dos tipos de caudalímetros utilizados son los de indicador de caudal por manómetro (*figura 25A*) y los de indicador del caudal por flotámetro (*figura 25B*). Para poder cubrir las diferentes aplicaciones de la soldadura MIG, generalmente pueden suministrar un caudal regulado entre 0 y 30 litros/minuto. Se prefieren los caudalímetros con flotámetro cuando la aplicación requiere un control más riguroso del caudal del gas de protección.

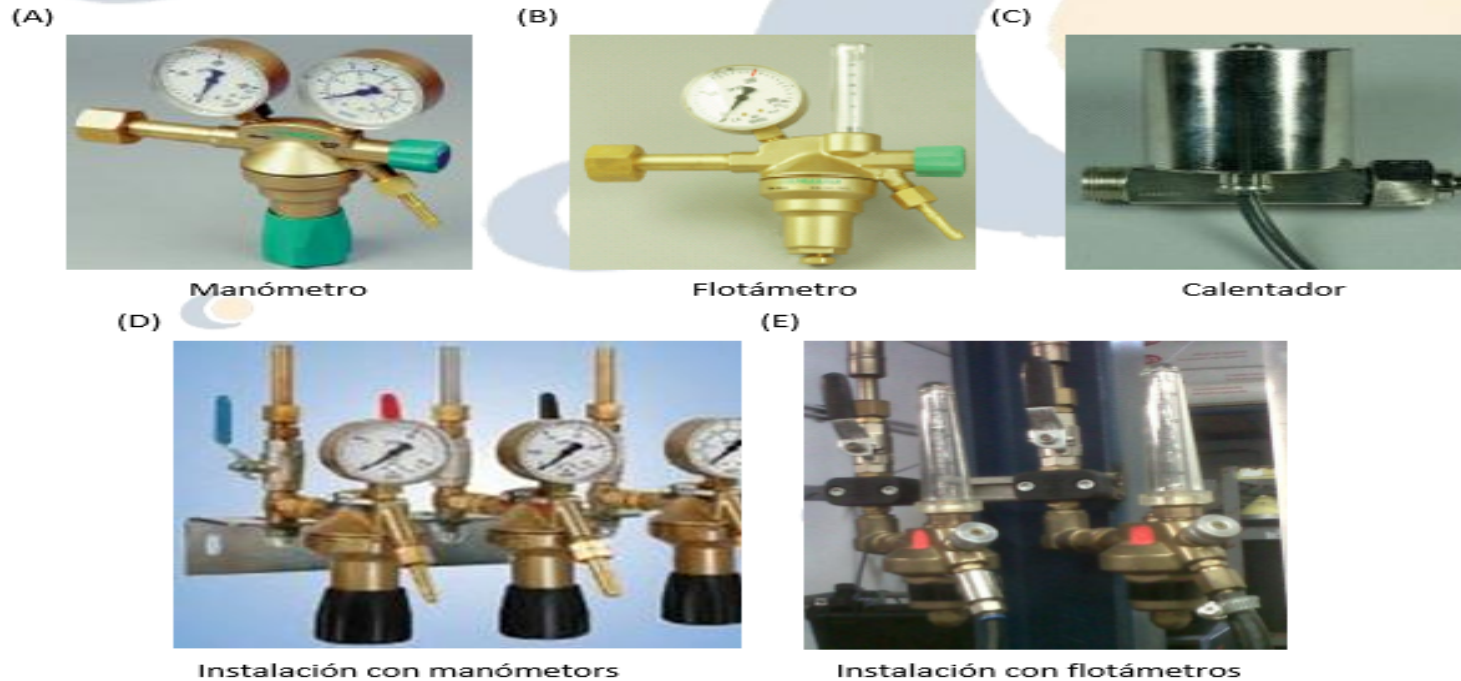


Figura 25. Caudalímetro con (A) manómetros y (B) con flotámetro. Puesto de trabajo (D) con manómetro y (E) con flotámetro. (C) Calentador

## 4.1. Intensidad

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 *figura 26*, 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.

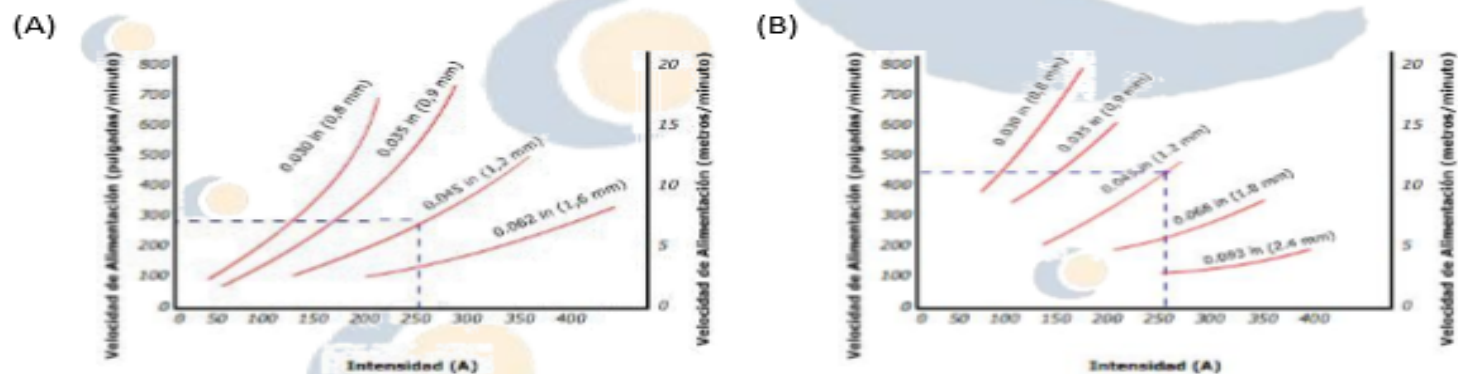
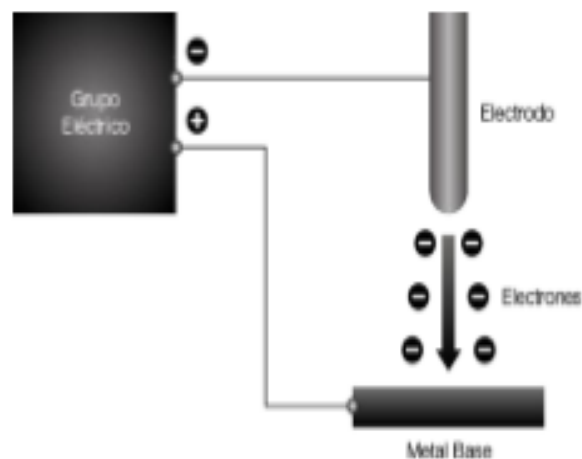
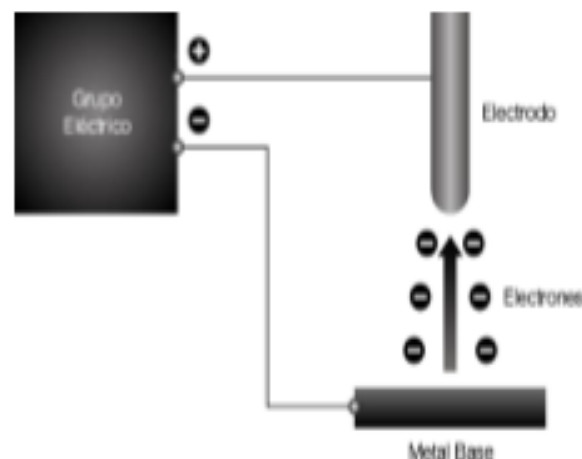


Figura 26. Curva intensidad-velocidad de alimentación (A) para acero al carbono y (B) para aluminio

(A)



(B)

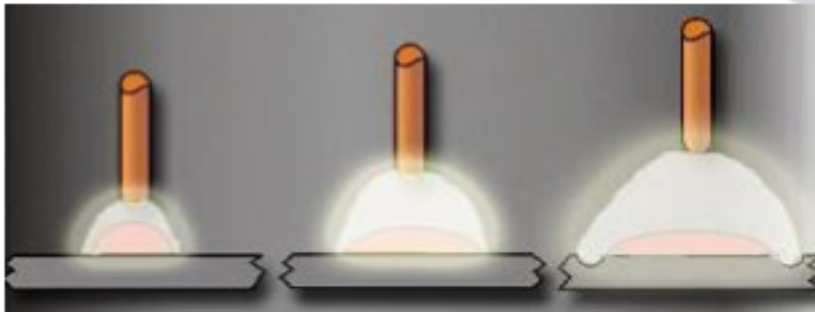


*Figura 27. (A) Conexión corriente continua electrodo negativo (CCEN) o corriente continua polaridad directa (CCPD) y (B) conexión corriente continua electrodo positivo (CCEP) o corriente continua polaridad inversa (CCPI)*

La mayoría de las aplicaciones MIG utilizan corriente continua polaridad inversa (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.

### 4.3. Voltaje de arco (longitud de arco)

El voltaje de arco y la longitud de arco, 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 más plano y más ancho que un arco más corto (*figura 28*), 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.



*Figura 28. Efecto de la fijación de distintos parámetros en la longitud del arco y cordón de soldadura*



## 4.4. 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.

#### 4.5. Longitud de alambre o Extensión del electrodo

Es la distancia entre el extremo de la punta de contacto y el extremo del alambre (figura 16B). 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.

(A)



(B)

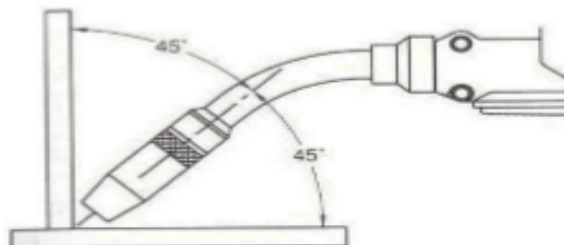


Figura 29. (A) Longitud de arco apropiada para obtener una transferencia por corto circuito para el caso del soldeo de una unión en ángulo y (B) posición para la pistola en soldeo en ángulo

#### 4.6. Diámetro de electrodo

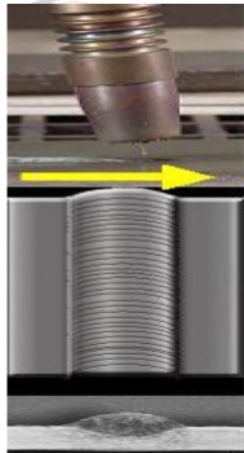
La velocidad de respuesta del electrodo a los cambios de longitud del arco es mayor cuanto menor es el diámetro del electrodo, puesto que es más fácil su fusión cuanto menor es el diámetro. Esto mejora la capacidad de autorregulación y por tanto el arco es más estable con pequeños diámetros de electrodo. En este caso, además resulta haber mayor profundidad de penetración, puesto que al disminuir el diámetro, aumenta la densidad de corriente y disminuye la sección del cono del arco, por lo que, a igualdad de intensidad, habrá más concentración de calor con un electrodo más fino, y por tanto un cordón más estrecho y profundo.

#### 4.7. Orientación del alambre.

Cómo 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 30* puede observarse como afecta la orientación del alambre sobre la anchura y la penetración.

(A)



Soldeo Hacia Delante

(B)



Soldeo Hacia Detrás

(C)



Soldeo Perpendicular

#### 4.8. 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 bajo 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 de la pistola, se posiciona la pistola dejando una inclinación respecto del centro.

En la soldadura en vertical descendente (figura 31A), 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 31B), 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

Figura 31. Efecto de la posición de soldadura sobre el tipo de cordón

## 5. GASES DE PROTECCION

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:

- El tipo de transferencia de metal.
- La estabilidad del arco.
- La cantidad y en la calidad de los humos.
- Las propiedades mecánicas.
- La penetración y en el tipo y tamaño de cordón.
- La velocidad de soldadura
- Los costos de soldadura.
- La cantidad de energía que pasa a través del arco eléctrico.

### 5.1. 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

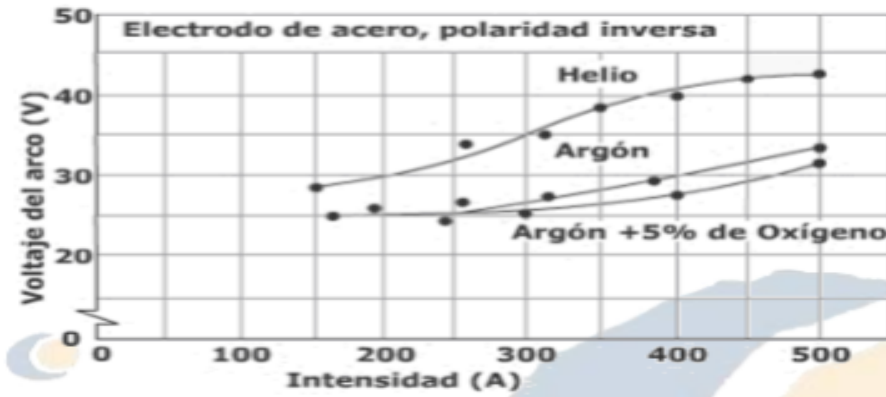
## 5.2. Argón, Helio y sus mezclas

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 32A*). 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.

(A)



(B)



Argón

(C)



Helio

(D)



Argón

(E)



Helio

(F)



Helio/Argón

Figura 32. (A) Voltaje de arco con diferentes gases, efecto de los gases de protección (B) argón y (C) helio en el tipo de cordón en la soldadura de aluminio y penetración y contorno del cordón con (D) argón, (E) helio y (F) mezcla de argón y helio

#### **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 más 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.





### 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.

## 5.6. 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.

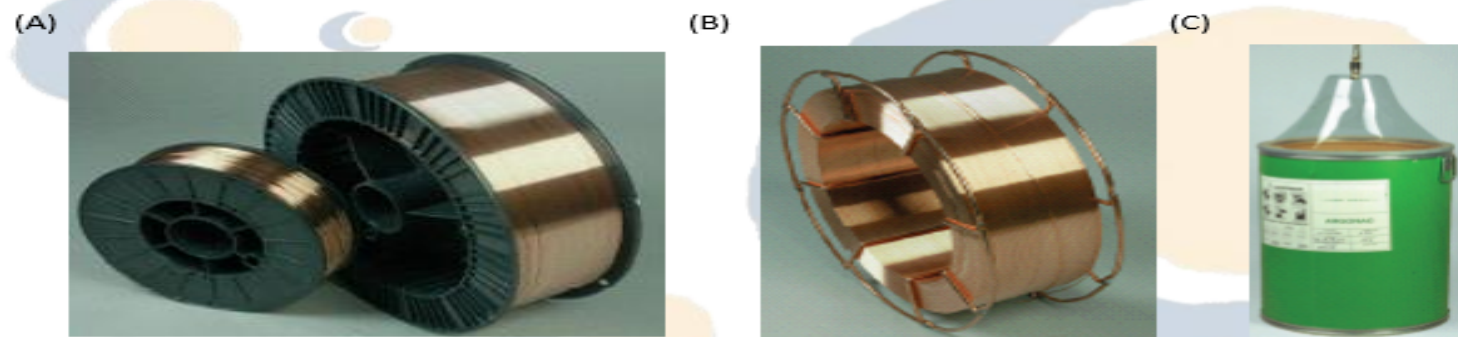
En la soldadura de espesores delgados, el contenido en oxígeno ayudará a la estabilidad del arco a bajas intensidades (30-60 A) con un arco corto de fácil control, con bajo input para tener baja tendencia a traspasar y con pocas deformaciones.

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>.

## 6. 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.



*Figura 34. Diferentes formas de suministro de alambre: (A) bobinas de plástico, (B) metálicas y (C) bidones*

Los alambres empleados son de pequeños diámetros (0,6; 0,8; 1,0; 1,2; 1,6; 2,0; 3,0 y 3,2 mm) y se suministran en bobinas metálicas o de plástico de 5 a 15 Kg o en bidones con 250 Kg (*figura 34A* y *figura 34B*), 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.

## 6.1. Soldadura con alambres tubular 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 del acero al carbono y también como estos tienen un bajo contenido de escorias.

Los gases de protección más empleados con estos alambres son Ar/ 8-20 % de CO<sub>2</sub> para acero al carbono y Ar/1-2 % O<sub>2</sub> o Ar/2-10 % CO<sub>2</sub> para los aceros inoxidables

Las ventajas de los alambres metal cored son:

- Elevada velocidad de deposición
- Elevada eficiencia de deposición (95 % o superior)

Tabla 6. Alambres macizos y metal cored más utilizados para soldadura MIG/MAG (131, 133, 135, 138 según UNE-DIN EN ISO)

Tipo de alambre	Denominación según norma	
	ACEROS AL CARBONO	
	UNE-DIN EN ISO 14341 A	AWS A 5.18/A 5.18M
Alambre macizo	G 42 4 M G3Si1	ER 70S-6
Alambre macizo	G 42 3 C G3Si1	ER 70S-6
Alambre macizo	G 46 4 C G3Si1	ER 70S-6
Alambre macizo	G 46 3 C G3Si1	ER 70S-6
	UNE-DIN EN ISO 17632 A	AWS A 5.18/A 5.18M
Alambre tubular metal cored	T46 2 MM 1 H5	E 70C 3M H4
Alambre tubular metal cored	T 42 2 MM 1 H5	E 70C 3M H8
Alambre tubular metal cored	T 46 4 MM 1 H5	E 70C 6M H4
	ACEROS BAJA ALEACIÓN	
	UNE-DIN EN ISO 16834 A	AWS A 5.28/A 5.28M
Alambre macizo	G 62 4 M Mn3NiMo	ER 100S-G
	UNE-DIN EN ISO 18276 A	AWS/ASME II PARTE C SFA 5.28/SFA 5.28M
Alambre tubular metal cored	T 55 5Z MM 1 H5	E 110C K4 H4
Alambre tubular metal cored	T 69 4 Mn2nIcRmO MM H5	E 90C GH4
	ACEROS CROMO-MOLIBDENO	
	UNE-DIN EN ISO 21952-A	AWS A 5.28/A 5.28M
Alambre macizo	G CrMo1 Si	ER 80S-G
Alambre macizo	G CrMo2 Si	ER 90S-G
	ACEROS INOXIDABLES	
	UNE-DIN EN ISO 14343 A	AWS A 5.9/A 5.9M
Alambre macizo	G 19 9L	ER 308L
Alambre macizo	G 19 9 LSi	ER 308L Si

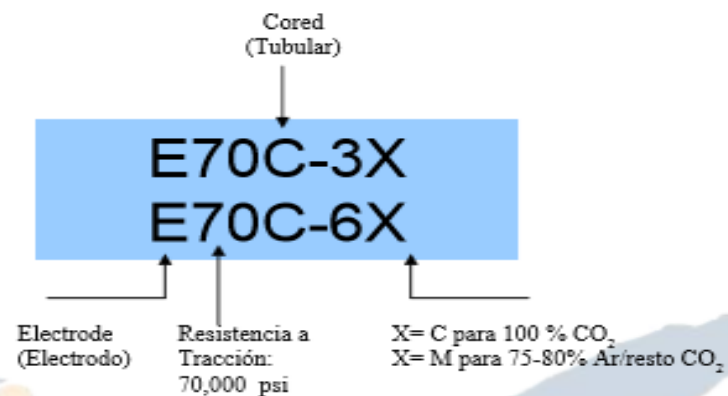


Figura 36. AWS A 5.18–Designación de alambres metal cored de acero al carbono

### 6.2.3. AWS A5.9–Alambres macizos de acero inoxidable.

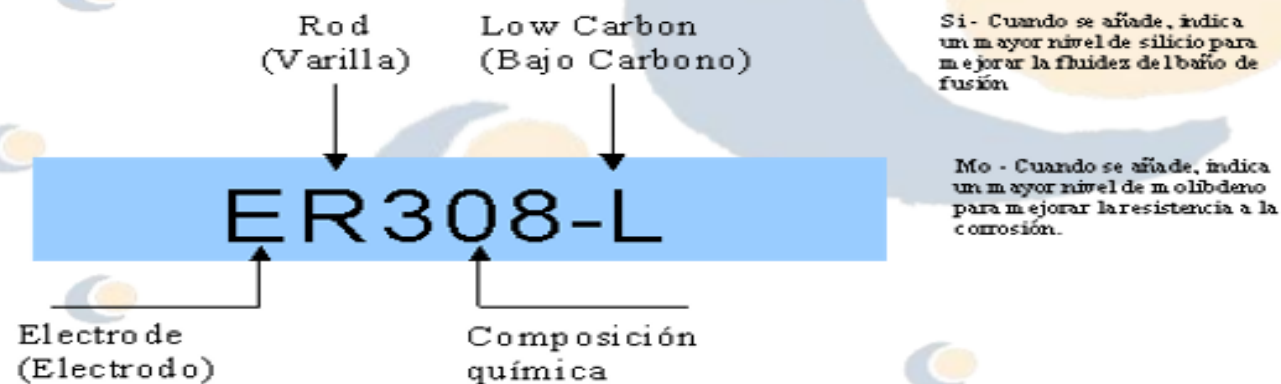


Figura 37. AWS A 5.9-Designación de alambres macizos de acero inoxidable

## 9. DEFECTOS

### 9.1. Introducción

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) es 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.....)

La norma ISO 6520 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.)
4. Falta de fusión
5. Imperfecciones de forma y dimensión. (mordedura, solapamiento, sobreespesor excesivo, exceso de penetración, ángulo de sobreespesor 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)

Tabla 8. Defectos en uniones soldadas

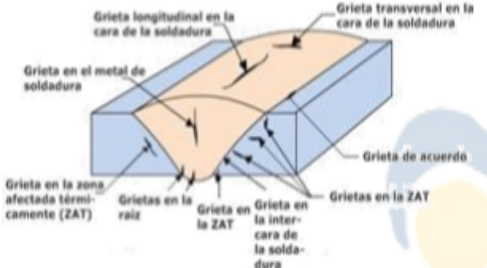
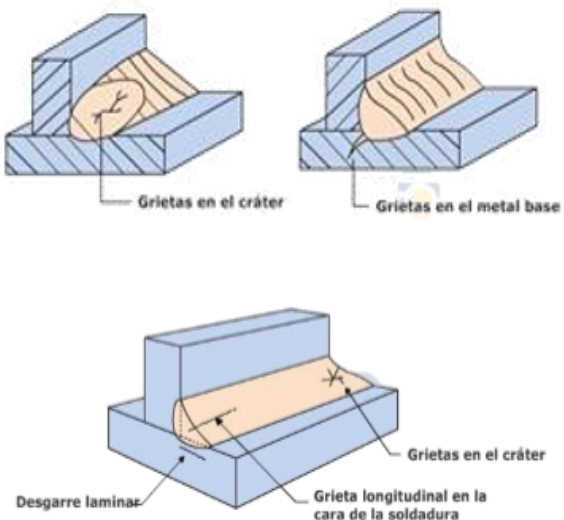
Grietas	Explicación	Localización	Causas
 <p>Grieta longitudinal en la cara de la soldadura Grieta transversal en la cara de la soldadura Grieta en el metal de soldadura Grieta de acuerdo Grietas en la ZAT Grietas en la inter-cara de la soldadura Grietas en la zona afectada térmicamente (ZAT) Grietas en la raíz</p>	<p>Discontinuidad producida por una rotura local, que puede ser provocada por el efecto del enfriamiento o tensiones.</p>	<p>Metal base. Zona afectada térmicamente. Zona de unión entre ZAT y cordón de soldadura.</p>	<p>Soldar con excesiva intensidad. Enfriamiento rápido de la soldadura. Soldar con un embridamiento excesivo. Existir tensiones residuales en el metal base debidas a los procesos previos de fabricación.</p>
 <p>Grietas en el cráter Grietas en el metal base Desgarre laminas Grieta longitudinal en la cara de la soldadura Grietas en el cráter</p>		<p>Cordón de soldadura Cráter de la soldadura.</p>	<p>Mala secuencia de soldeo que provoque excesivas tensiones y deformaciones. Inadecuado e insuficiente material de aportación. Metal base de mala soldabilidad. Finalizar el cordón de soldadura retirando el electrodo de forma rápida y brusca (grietas de cráter). 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.</p>



Tabla 8. Defectos en uniones soldadas. (Continuación)

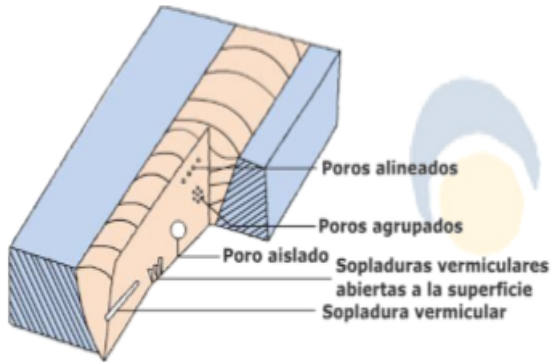
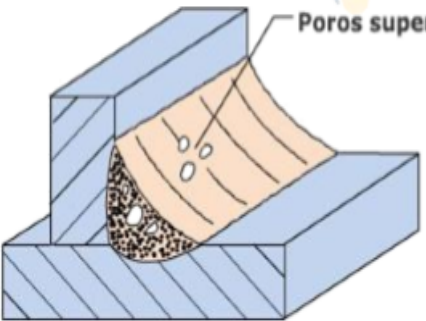
Cavidades	Explicación	Causas
 <p>Poros alineados Poros agrupados Poro aislado Sopladuras vermiculares abiertas a la superficie Sopladura vermicular</p>	<p>Formadas por gas atrapado.</p> <p><b>Localización</b></p> <p>Cordón de soldadura</p> <p><b>Forma</b></p> <p>Esférica, llamados poros.</p> <p>Alargados (forma de gusano).</p>	<p>Falta de limpieza en los bordes de la unión, pintura o grasa.</p> <p>Intensidad excesiva.</p> <p>Empleo de alambres macizos oxidados o tubulares oxidados o con humedad.</p> <p>Condiciones atmosféricas desfavorables (Excesivo viento) o corrientes de aire.</p> <p>Mala técnica operatoria: soldar con el arco demasiado largo o con un ángulo de desplazamiento muy grande.</p>
 <p>Poros superficiales</p>	<p>Vermiculares</p> <p>Aislados.</p> <p>Alineados.</p> <p>Agrupados.</p> <p>Superficiales.</p> <p>Rechupes.</p>	<p>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</p> <p>Gas de protección no adecuado, contaminado o con caudal insuficiente.</p>

Tabla 8. Defectos en uniones soldadas. (Continuación)

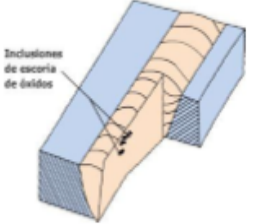
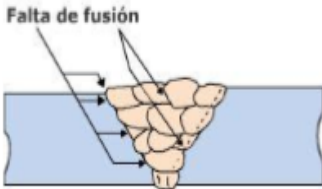

Inclusiones sólidas	Explicación	Localización	Causas
 <p>Inclusiones de escoria de óxidos</p>	<p>Cuerpo sólido: inclusiones de escoria, óxidos metálicos u otro metal.</p>	<p>Alineadas. Aisladas. Otras.</p>	<p>Mala preparación de la unión: poca separación entre chapas o bisel con ángulo pequeño. Falta de limpieza de la escoria, sobre todo al realizar soldaduras de varias pasadas. Protección deficiente del baño de soldadura, que favorece la aparición de óxidos.</p>
Falta de Fusión	Explicación	Causas	
 <p>Falta de fusión</p>	<p>Falta de unión entre el metal base y el metal depositado, o entre dos cordones consecutivos de metal depositado.</p>	<p>Arco demasiado largo. Intensidad baja. Excesiva velocidad de desplazamiento. Defectuosa preparación de bordes, por ejemplo bisel con ángulo muy pequeño, separación muy pequeña entre chapas a unir o una desalineación entre las piezas.</p>	<p>Posición del alambre incorrecto, no centrada respecto a los bordes de la unión.</p>
	<p>En el metal depositado o entre el metal base y el metal depositado.</p>	<p>Soldar encima de un cordón que tiene un exceso de sobreespesor muy grande. Realizar empalmes defectuosos. Oscilación incorrecta del soplete. Parámetros de soldadura no adecuados, donde hay que incluir la longitud de alambre (stick out), ángulo del soplete, gas de protección, etc.</p>	

Tabla 8. Defectos en uniones soldadas. (Continuación)

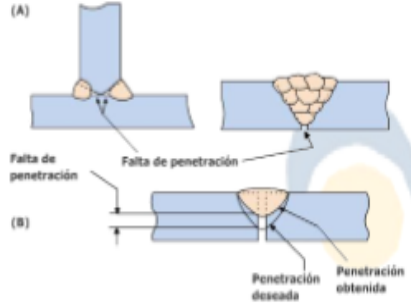
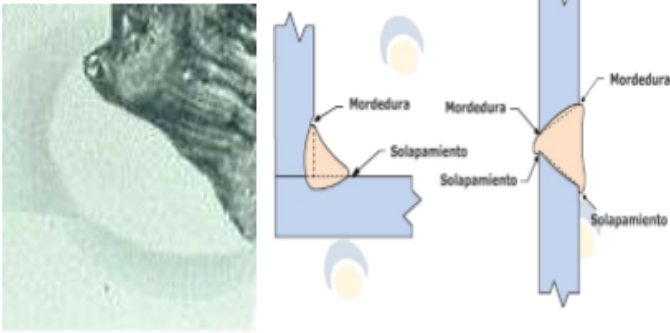
Falta de Penetración	Explicación	Causas
	<p>Es una falta de fusión en la zona de la raíz de la soldadura o cuando en las soldaduras con penetración parcial, se obtienen penetraciones menores que las especificadas (B).</p>	<p>Baja intensidad de soldeo. Excesiva velocidad de soldeo. Separación en la raíz muy pequeña, ángulo del bisel demasiado pequeño o talón de la raíz muy grande. Desalineamiento entre piezas.</p>
Mordedura	Explicación	Causas
	<p>Es una falta de metal, en forma de surco de longitud variable, en cualquiera de los bordes de un cordón de soldadura.</p> <p>Se admiten mordeduras poco profundas normalmente inferiores a 0,5 mm.</p> <p><b>Localización</b></p> <p>Entre la soldadura y el metal base o entre cordones.</p>	<p>Alambre de diámetro demasiado elevado. Voltaje demasiado elevado. Excesiva intensidad de soldeo. Posición incorrecta del soplete. Velocidad de desplazamiento elevado y falta de retención en los extremos.</p>

Tabla 8. Defectos en uniones soldadas. (Continuación)

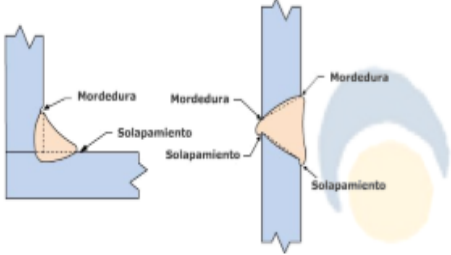
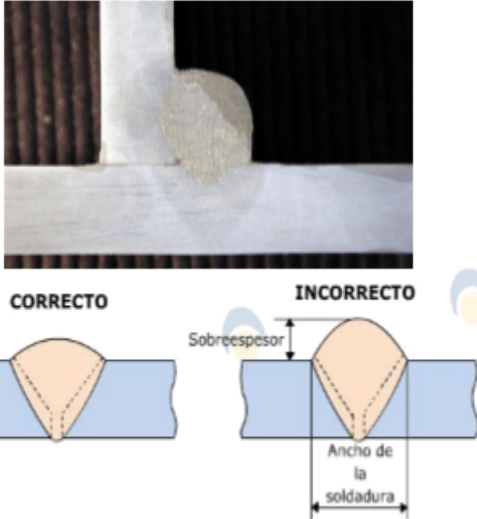
Solapamiento	Explicación	
	<p>Exceso de metal depositado que rebosa sobre la superficie del metal base sin fundirse con él. No se admiten en los niveles de calidad más elevados.</p>	
Sobreespesor Excesivo	Explicación	Causa
	<p>Valor pequeño del ángulo <math>\alpha</math> donde se puede observar que la 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 esfuerzos cuando la pieza esté en servicio lo que favorecerá la formación de una grieta.</p>	<p>Poca velocidad de soldeo. Poca separación entre las chapas a unir a tope.</p>

Tabla 8. Defectos en uniones soldadas. (Continuación)

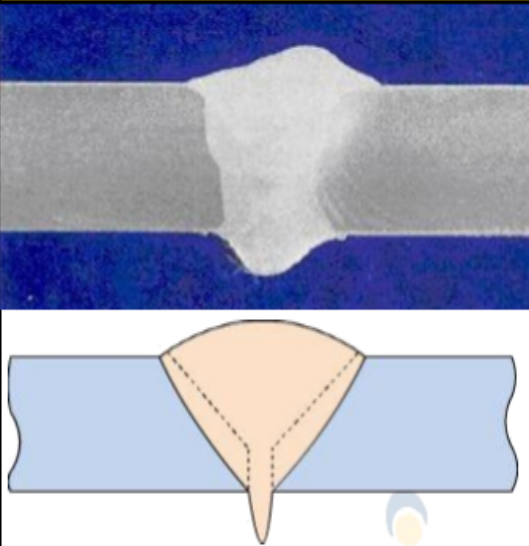
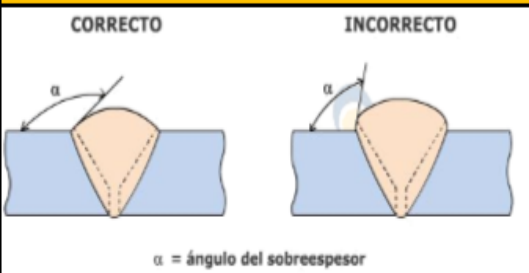
Exceso de Penetración	Explicación	Causas
 <p>The top part of the cell shows a photograph of a weld joint with a significant amount of metal protruding from the root. The bottom part shows a schematic diagram of a V-groove weld with a large, irregular protrusion at the root, indicating excessive penetration.</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 2 mm no debiendo superar nunca los 3 mm.</p>	<p>Separación de los bordes excesiva.                      Intensidad demasiado elevada al depositar el cordón de raíz.                      Velocidad de soldeo muy baja.                      Diseño de unión defectuoso con preparación incorrecta del talón.</p>
Ángulo de Espesor Incorrecto		Explicación
 <p>The cell contains two diagrams labeled 'CORRECTO' and 'INCORRECTO'. The 'CORRECTO' diagram shows a V-groove with a wide angle <math>\alpha</math>. The 'INCORRECTO' diagram shows a V-groove with a narrow angle <math>\alpha</math>. Below the diagrams, it is noted that <math>\alpha</math> is the angle of the reinforcement.</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 esfuerzos cuando la pieza esté en servicio lo que favorecerá la formación de una grieta.</p>

Tabla 8. Defectos en uniones soldadas. (Continuación)


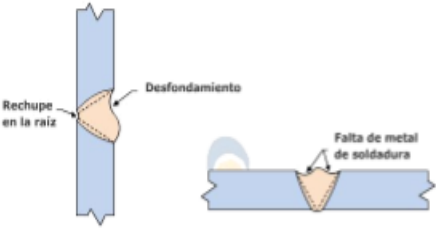
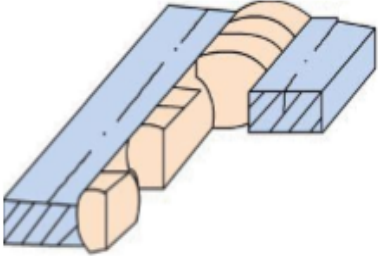
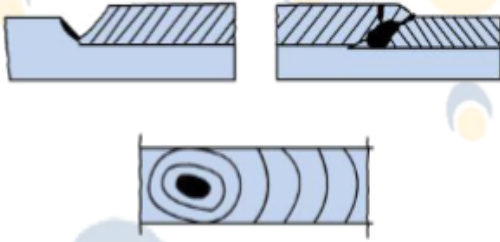
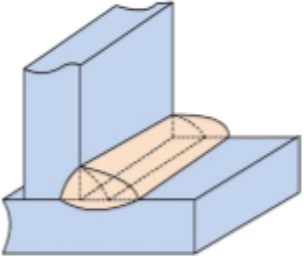
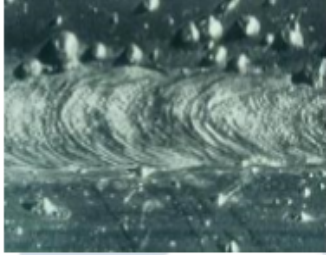
Falta de Alineación o Deformación Angular	Explicación
 <p>(A) (B)</p>	<p>Es una falta de alineación de las dos piezas soldadas que no se encuentran en el mismo plano.</p> <p>Se suele admitir desalineaciones menores de la décima parte del espesor de la chapa.</p>
Falta de Metal de Soldadura	Explicación
 <p>Rechupe en la raíz</p> <p>Desfondamiento</p> <p>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.</p> <p>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>
Cebado de Arco	Causas
<p>Alteración local de la superficie del metal base.</p> <p>No se permite. Hay que cebado 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 tamaño que crecerán durante el funcionamiento en servicio de la pieza.</p>	<p>Cebado del arco fuera de los bordes de la unión</p>

Tabla 8. Defectos en uniones soldadas. (Continuación)

Perforación	Explicación	Empalme Defectuoso	Explicación
	Hundimiento del baño de fusión que da lugar a un agujero en la soldadura o en un lateral de la misma. No se permiten.		Irregularidad local de la superficie de la soldadura en la zona de empalme de dos cordones.  No se permite más que en el nivel de calidad mas bajo.
Exceso de Asimetría en la Soldadura en Ángulo	Explicación	Salpicaduras o Proyecciones	Explicación
	Se produce por realizar las soldaduras disponiendo el metal de aporte de forma asimétrica respecto a las piezas.		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.
Desgarre Local	Marca de Amolado o de Burilado	Amolado Excesivo	Anchura Irregular y Superficie Irregular
Superficie deteriorada al eliminar los elementos auxiliares de montaje. No se permiten	Deterioro local debido al amolado o burilado.  No se suele permitir si toca el cordón.	Reducción del espesor debido a un amolado excesivo.  No se permite	Soldadura con anchura diferente en distintas partes de la soldadura o con excesiva rugosidad superficial

# DEFINICION DE MAG

- La fusión de los metales es producida por el calentamiento de ellos, mediante un arco establecido entre un alambre electrodo continuo, el cual se emplea como metal de relleno o de aporte, y la pieza de trabajo. El gas protector y el alambre electrodo consumible son dos de los requerimientos esenciales para este proceso.

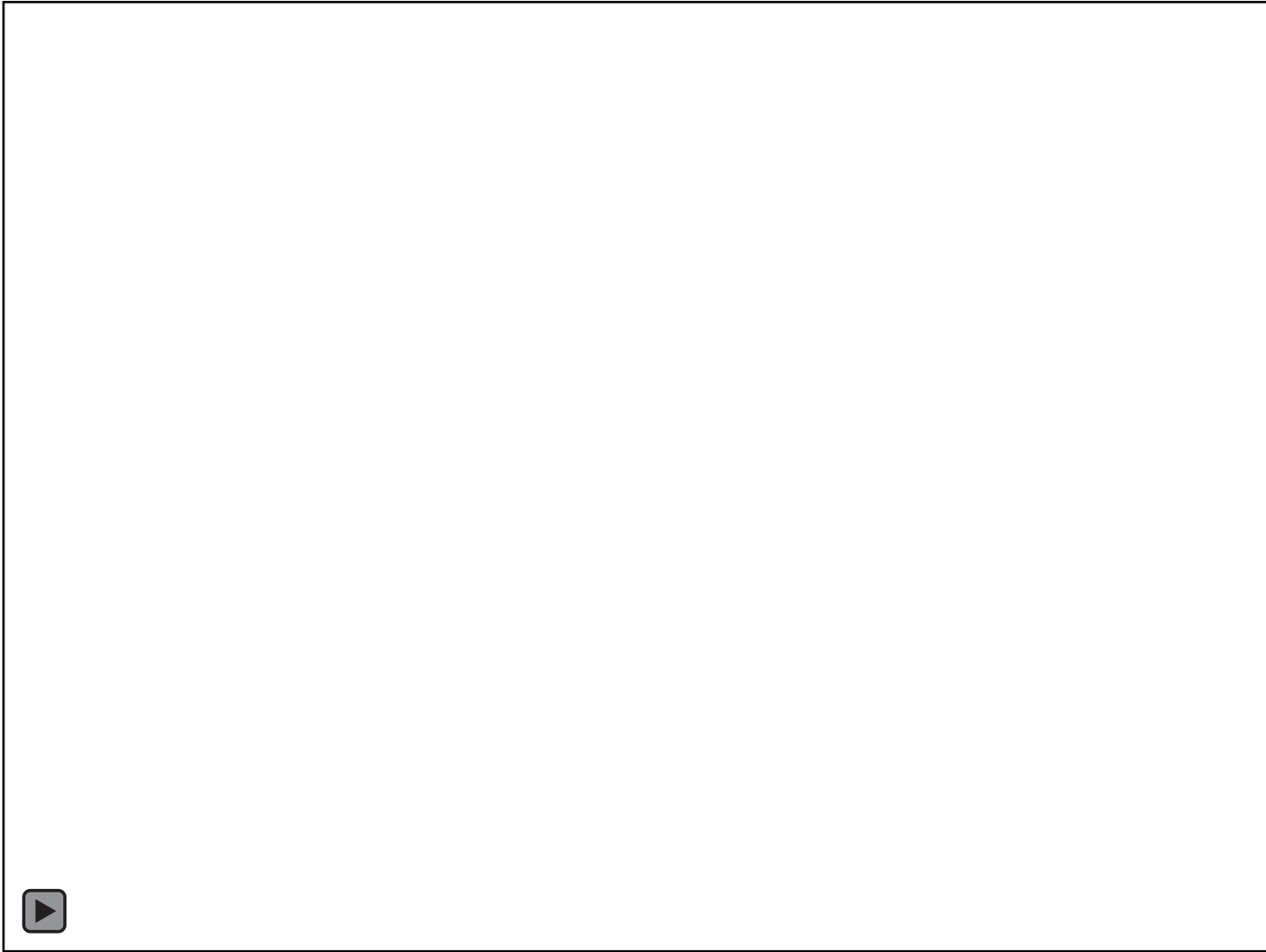


- Grandes variaciones han sido introducidas al proceso, entre ellas se encuentra el empleo de gases protectores activos, especialmente Dióxido de Carbono, CO<sub>2</sub> para soldar ciertos materiales ferrosos. Debido al gas activo que se utiliza, se le ha denominado MAG (Metal Gas Activo). La AWS ha designado a este proceso como GMAW (Gas Metal Arc Welding -Soldadura por Arco y Gas protector). Se le ha denominado GMAW porque con este proceso de soldadura puede utilizar gas inerte y gas activo.

# CARACTERISTICAS DE LA SOLDADURA MAG

Una de las principales características en la soldadura MAG es la forma en que se da el depósito de las gotas de metal de aporte, al cual se le denomina transferencia metálica.

El fenómeno que se da en esta transferencia es que para un diámetro dado de electrodo ( $d$ ), con una protección gaseosa, la cantidad de corriente determina el tamaño de las gotas ( $D$ ) y el número de ellas que son separadas desde el electrodo por unidad de tiempo, de esta manera se presentan en tres zonas, siendo éstas:



f @ y t /MAINCO

- Zona A: valores bajos de amperaje, las gotas crecen a un diámetro que es varias veces el diámetro del electrodo antes de que estas se separen. la velocidad de transferencia a bajos amperajes, es de sólo de varias gotas por segundo.

- Zona B: A valores intermedios de amperaje, el tamaño de las gotas separadas, decrece rápidamente a un tamaño que es igual o menor que el diámetro del electrodo, y la velocidad de separación aumenta a varios cientos por segundo.

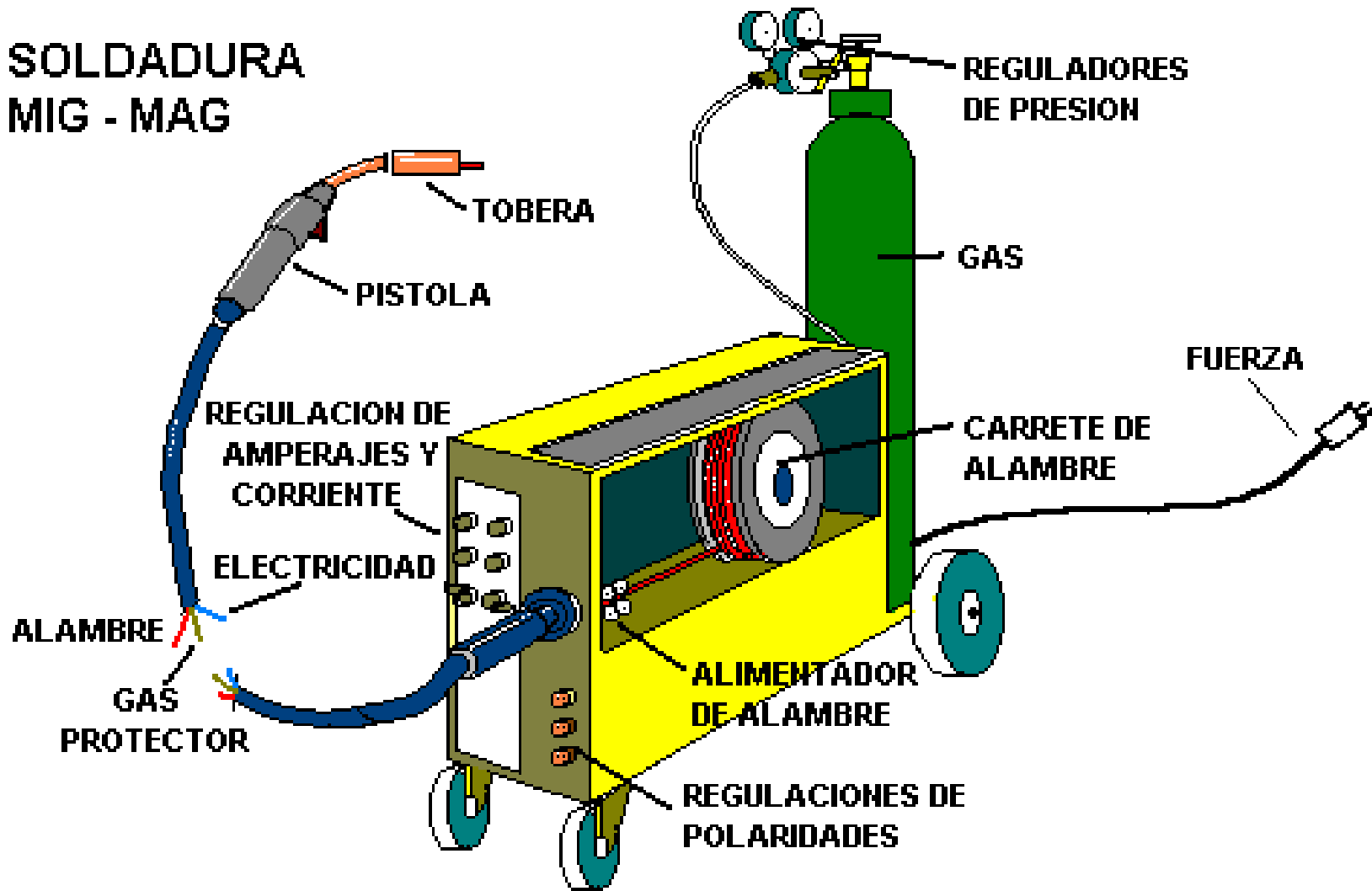
Zona C: A valores altos de amperaje, la velocidad de separación aumenta a medida que se incrementa la corriente, las gotas son bastante pequeñas.

Debido a lo anterior existen diferentes tipos de transferencias metálicas tales como Transferencia Spray Axial, Transferencia Globular, Transferencia en Spray Pulsado y Transferencia en Cortocircuito.

# EQUIPO DE SOLDADURA MAG

- El proceso MAG-GMAW puede ser empleado, ya sea en forma semiautomática o automáticamente. El equipo básico para cualquier instalación MAG-GMAW consta de lo siguiente:
- Una antorcha o pistola para soldar.
- Un motor alimentador de alambre, con Juego de engranajes y/o ruedas Impulsoras.
- Un control de soldadura.
- Una fuente de energía para soldar.
- Una fuente reguladora de gas protector.
- Una fuente reguladora de electrodo continuo.
- Interconexión de cables y mangueras.

# SOLDADURA MIG - MAG





- Para el proceso de soldadura MAG-GMAW existen equipos semiautomáticos y automáticos.
- El equipo automático para la soldadura MAG-GMAW es eficazmente utilizado, cuando la pieza de trabajo puede ser fácilmente llevada hasta la estación de soldadura, o cuando una gran cantidad de soldadura debe realizarse.
- El equipo utilizado en la soldadura MAG-GMAW automática es básicamente el mismo equipo utilizado en la soldadura semiautomática, excepto por los siguientes cambios:
- El control de la soldadura es montado separadamente de la unidad de alimentación del alambre y son empleadas cajas de control remoto.

# ANTORCHAS O PISTOLAS PARA SOLDAR

- La pistola para soldar, con proceso MAG, es empleada para introducir el alambre electrodo y el gas protector al interior de la zona de soldadura, y para conducir la corriente al alambre electrodo.
- Diferentes tipos de pistolas se han diseñado para proporcionar la máxima eficiencia, independientemente de la aplicación, rango de las pistolas para trabajo pesado con elevadas corrientes de trabajo, pistolas livianas para trabajos de alto rendimiento o soldaduras fuera de posición.
- Se encuentran disponibles pistolas enfriadas por agua y/o por gas, con cuellos rectos o curvados(cuello de ganso), empleadas en ambos ), empleadas en ambos tipos de servicio: liviano y pesado.

## Antorchas soldadura MIG/MAG CEVIK



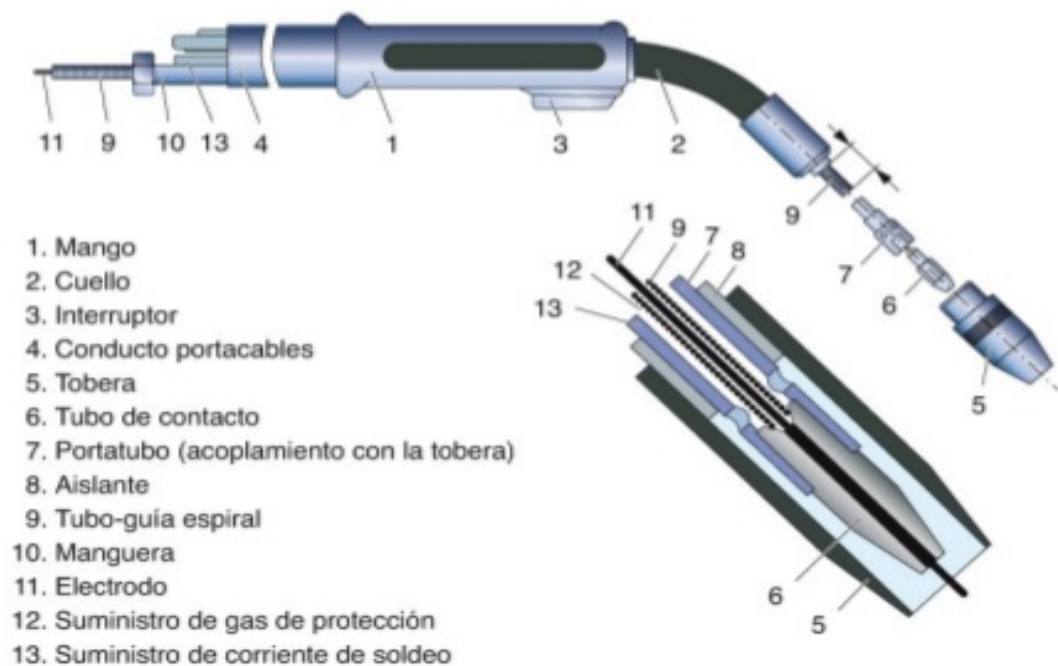
- Las pistolas enfriadas por gas permiten la operación hasta con 600 Amperios, pero con ciclos de trabajo bastante reducidos. La misma capacidad de corriente es aplicada para la operación continua con una pistola enfriada con agua.
- La pistola enfriada por aire del tipo de cuello de ganso es la más popular para soldar aceros, particularmente cuando se utiliza un alambre de electrodos de diámetro pequeño.
- La pistola en línea recta o de agarradera de pistola se utiliza a menudo con el aluminio, porque la curva de la pistola con cuello de ganso tiende a crear resistencia al alambre del electrodo, lo cual puede causar que se pegue el montaje del cable.
- Para soldadura por arco con electrodo continuo con núcleo de fundente pueden subdividirse en aquellas que utilizan gas protector externo o aquellas que utilizan electrodo con autoprotección.
- Para la soldadura por arco de metal y gas, generalmente se emplean las pistolas enfriadas por aire del tipo cuello de ganso.
- Cuando utilice una protección de CO<sub>2</sub>, con electrodos de diámetro más grande a corriente más altas, puede utilizar una pistola enfriada por aire.
- Cuando utilice un gas inerte o mezclas de gas de Argón y Oxígeno a corrientes más altas, las pistolas deben enfriarse con agua, para evitar el sobrecalentamiento.
- Las pistolas semiautomáticas de sostén manual incluyen el montaje del cable, el cual se conecta al alimentador de alambre. El montaje del cable está disponible en diferentes longitudes.

## Soldadura MIG-MAG

1. La soldadura MIG-MAG
- 1.2. Equipo de soldadura



5

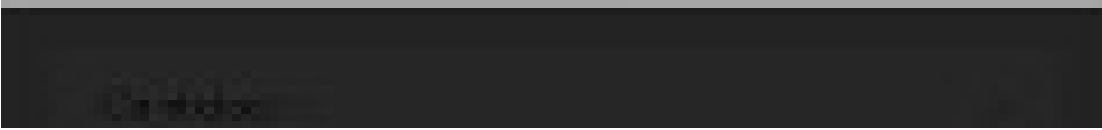
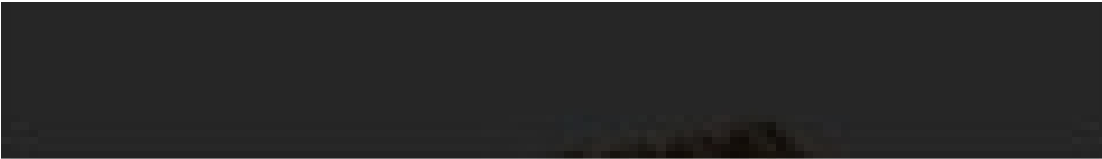


**Figura 5.16.**  
Partes de la pistola.



# BOQUILLA O TUBO DE CONTACTO

- Las pistolas para soldar tienen boquillas o tubos de contacto reemplazables, para transferir corriente y para guiar el alambre del electrodo al arco.
- Existen tubos de contacto de diferentes diámetros internos para ajustarse electrodos continuos de diferente diámetro.
- Las boquillas de contacto están fabricadas de cobre o aleaciones de cobre. El Cobre puro es muy suave y el diámetro interior se desgastaría rápidamente.



- Las aleaciones de cobre son mucho más duras y proporcionan una vida mucho más prolongada, pero son más costosas.
- La boquilla de contacto debe estar ajustada firmemente al difusor o accesorio de fijación, y deberá estar centrada con relación a la tobera o buza del gas.
- Cuando el orificio interior del tubo de contacto se vuelve demasiado grande, la eficiencia de transferencia de corriente de soldadura disminuye y se genera una mayor cantidad de calor.
- Para soldar aluminio, se recomiendan tubos de contacto extra largos, debido al revestimiento de óxido sobre el alambre del electrodo de Aluminio. Los tubos de contacto extra largos proporcionan más área para transferir la corriente de soldadura al alambre del electrodo.
- Los tubos de contacto más largos generalmente implican pistolas en línea recta con agarradera de pistola.



# TOBERA O BUZA DE GAS

- La tobera o buza dirige una columna constante de gas protector hacia el interior de la zona de soldadura. Esta columna es extremadamente importante, para proveer la adecuada protección del metal fundido ante la contaminación que pueda producir el aire circundante.
- Se encuentran diferentes tamaños de toberas, las cuales deben seleccionarse de acuerdo a la aplicación, es decir, las más grandes son para trabajos con elevada corriente de soldadura, donde el baño fundido es relativamente grande, y las más livianas para trabajos con bajas corrientes y con transferencia en corto circuito.



**MAINCO**  
EXPERTOS EN ACERO INOXIDABLE

**Intecap**

f @ in /MAINCO



**MAINCO**  
EXPERTOS EN ACERO INOXIDABLE

**Intecap**

f @ in /MAINCO

# TUNEL GUIA O FUNDA (LINER)

- El Túnel o Funda Guía (Liner) del alambre electrodo y su respectivo forro se conectan alineados con las ruedas impulsoras de la unidad de alimentación. Estos elementos soportan, protegen y dirigen el alambre electrodo, desde las ruedas alimentadoras, hasta la pistola y por consiguiente, hasta la boquilla de contacto.



f @ in /MAINCO

# MANGUERAS PARA EL GAS

- La manguera para el gas, es el elemento que se encarga de transportar el gas protector desde el flujómetro instalado en el cilindro, hasta la válvula de entrada de gas, colocada en la máquina o fuente de poder.



# CABLE DE CORRIENTE

- El cable de corriente es el conductor que se utiliza para conducir la energía eléctrica, desde la caja de fusibles del edificio, hasta la fuente de potencia de soldadura.
- Por lo general se utiliza un cable de tres conductores para esta aplicación, sin embargo, algunas veces se utiliza cable de cuatro conductores cuando la máquina soldadora está sobre un montaje portátil. El cuarto cable se utiliza para conectar a tierra la máquina.



# INTERRUPTOR DE CONTROL DE LA PISTOLA

- Es el dispositivo encargado de abrir y cerrar el circuito de encendido y apagado, de esta manera, en el momento en el que el electrodo hace contacto con la pieza y al oprimir este interruptor ubicado en la pistola, automáticamente automáticamente se forma el arco y fluye tanto el gas, como el electrodo durante la soldadura.

# REGULADOR DEL GAS PROTECTOR

- Se requiere de un sistema para suministrar gas protector a presión y una tasa de flujo durante la soldadura. El Regulador reduce la presión del gas proveniente de la fuente, a una presión constante de trabajo, independiente de las variaciones de presión, que puedan existir en dicha fuente. El regulador puede
- La fuente de suministro del gas protector puede ser un cilindro de elevada presión, lleno con gas licuado.

# REGULADOR DEL GAS PROTECTOR





 +502 4739 4696

 +502 2386 8787



42 CALLE 22-17 COLONIA INDUSTRIAL  
SANTA ELISA ZONA 12 BODEGA #5.

[MAINCO.com.gt](http://MAINCO.com.gt)

    /MAINCO