



**TECNOLOGÍA EN SOLDADURA**

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

**SOLDADURA TIG**

## INDICE

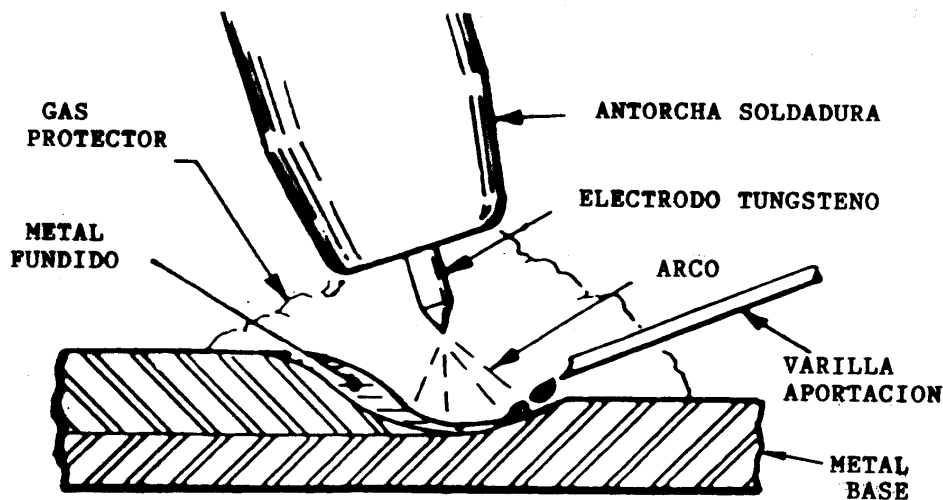
1.	Principios del proceso	3
1.1.	Descripción del proceso de soldadura TIG	3
2.	Polaridad de la corriente	4
2.1.	Corriente continua. Polaridad directa	4
2.2.	Corriente continua. Polaridad inversa	5
2.3.	Corriente alterna	5
2.3.1.	Efecto de una sola dirección	5
2.3.2.	Función del generador de alta frecuencia	7
2.3.3.	Teoría del arco voltaico en C.A.	7
3.	Curva característica de un equipo de soldadura TIG	10
3.1.	Tensión de cebado y de arco	11
4.	Tipos de gas o mezcla de gases	11
5.	Electrodos de tungsteno	12
5.1.	Codificación de los electrodos	13
5.2.	Condiciones de utilización	14
5.3.	Forma de los electrodos	14
6.	Secuencia de un equipo de soldadura TIG	16
6.1.	Secuencia 2T	16
6.2.	Secuencia 4T	17
7.	Soldadura TIG pulsada	17
7.1.	Parámetros característicos	19
7.2.	Ventajas de los impulsos de corriente en soldadura TIG	19
7.3.	Influencia de la forma de los impulsos	20
7.3.1.	Corriente de base y corriente de pico	20
7.3.2.	Tiempo y frecuencia de impulsos	20
7.3.3.	Velocidad de soldadura	21
8.	Metodo operativo de la soldadura TIG	21
8.1.	Preparación de bordes	21
8.2.	Protección al revés	21
8.3.	Disipación termica	22
8.4.	Metodo de soldadura	22
8.4.1.	Puenteo	22
8.4.2.	Sostenimiento de la antorcha	22
8.4.3.	Caudal de gas	23
8.4.4.	Modo operatorio	23
8.4.5.	Extinción del arco	23
8.4.6.	Soldaduras multipasadas	24
8.4.7.	Soldadura de metales diferentes	24

## 1. PRINCIPIOS DEL PROCESO.

### 1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE SOLDADURA TIG.

El procedimiento de soldadura por arco bajo gas protector con electrodo no consumible, también llamado TIG (Tungsten Inert Gas), utiliza como fuente de energía el arco eléctrico que salta entre un electrodo no consumible y la pieza a soldar, mientras un gas inerte protege el baño de fusión. El material de aportación, cuando es necesario, se aplica a través de varillas como en la soldadura oxiacetilénica.

En la siguiente figura se muestran los elementos más importantes que intervienen en el proceso:



Algunas de sus principales características son:

- Se puede automatizar el proceso para algunas fabricaciones en serie.
- Su aplicación manual exige una gran habilidad por parte del soldador.
- Puede emplearse en todo tipo de uniones o posiciones y en los materiales más diversos: aceros al carbono, inoxidable, metales no féreos,...

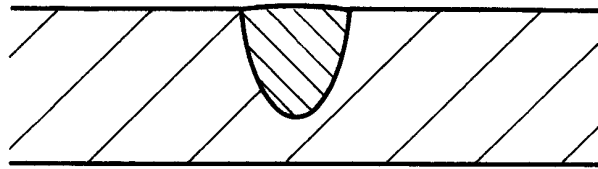
Las soldaduras por sistema TIG son más resistentes, dúctiles y seguras contra la corrosión que las realizadas por los sistemas usuales. Al no ser necesario utilizar decapantes para ningún tipo de material, se evitan las inclusiones de estos y el consecuente peligro de corrosiones en esta zona, así como el trabajo de eliminarlos. Todo el proceso se realiza sin proyecciones, chispas, escoria o humos. Puede emplearse para soldar prácticamente todos los metales que se utilizan en la industria:

- Todos los metales ligeros: aluminio, magnesio y sus aleaciones,...
- Todos los aceros inoxidable (cromo, níquel, ... y sus aleaciones).
- Cobre y sus aleaciones.
- P1 orno .
- Plata y oro.
- Materiales raros (titanio, hastelloy, ...).
- Fundiciones.
- Aceros al carbono.
- Metales diferentes entre si y recargues.

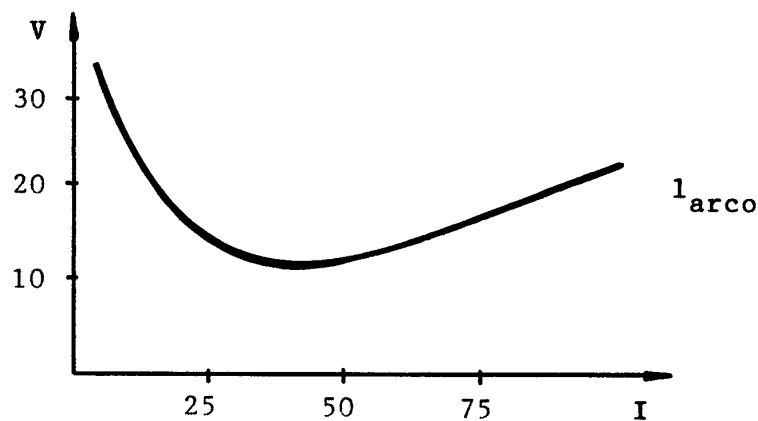
## 2. POLARIDAD DE LA CORRIENTE.

### 2.1. CORRIENTE CONTINUA. POLARIDAD DIRECTA.

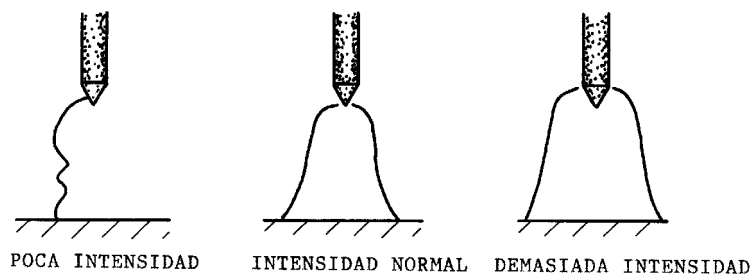
Cuando el electrodo de tungsteno tiene polaridad negativa y la pieza positiva (polaridad directa), los electrones dejan el electrodo y chocan contra el metal base, proporcionando con ello dos terceras partes de la energía total (tensión X intensidad) en forma de calor en el metal base. El arco formado bajo el gas protector tiene forma de campana, proporcionando una penetración estrecha y profunda:



A continuación se representa la característica de arco cuando se utiliza tensión continua para el proceso de soldadura TIG:



Con intensidades bajas (hasta unos 25 A), la tensión cae rápidamente al aumentar la intensidad. A partir de este valor, la tensión crece paulatinamente con la intensidad, ya que, al aumentar ésta, el punto de ignición del extremo del electrodo se desplaza hacia arriba, con lo que aumenta la longitud media del arco, o, lo que es lo mismo, aumenta la tensión:



Además, como puede observarse en el dibujo precedente, el arco no solo aumenta su longitud, sino que aumenta la base del arco en la pieza, con lo que varía algo la distribución de la energía en la pieza (disminución de la energía por unidad de superficie).

En soldadura TIG manual, normalmente se amuela la punta del electrodo un ángulo de aproximadamente 40°; sin embargo, en soldadura automática es recomendable un ángulo de 90°.

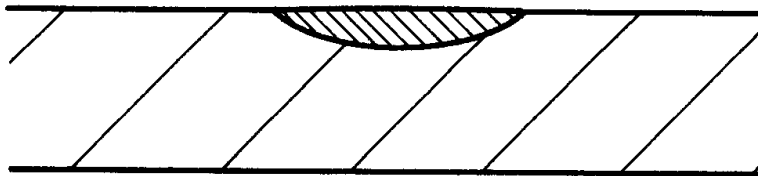
## 2.2. CORRIENTE CONTINUA. POLARIDAD INVERSA.

En la polaridad inversa, el electrodo se encuentra a potencial positivo respecto la pieza, conectada ésta al polo negativo.

En este caso, y puesto que la energía en forma de calor se distribuye en 2/3 en el polo positivo y 1/3 en el negativo, se necesita un electrodo mucho mayor que una soldadura a igual intensidad en polaridad directa: por ejemplo, si a 150 A se puede soldar con un electrodo de 1,6 mm en polaridad directa, a igual intensidad, es preciso utilizar un electrodo de 4,8 mm en polaridad inversa.

En este método, deben destacarse dos consecuencias importantes:

- La penetración es poca y ancha:



- Se produce un efecto de descontaminación, ya que los electrones que salen de la pieza rompen la película de óxidos y arrinconan las impurezas a un lado.

En la práctica, el método de la polaridad inversa no tiene apenas aplicación; solo en casos excepcionales como chapas muy finas de magnesio, es donde el proceso adquiere una cierta utilización.

## 2.3. CORRIENTE ALTERNA.

La corriente alterna auna, aunque reducidas, las ventajas de las dos polaridades:

- El buen comportamiento durante el semiciclo de polaridad directa (gran penetración).
- El efecto decapante del baño durante el semiciclo de polaridad inversa.

El sistema de corriente alterna se utiliza principalmente para la soldadura de metales ligeros.

Como principales inconvenientes, presenta dificultades de cebado y estabilidad del arco, que obliga a incorporar al equipo un generador de alta frecuencia.

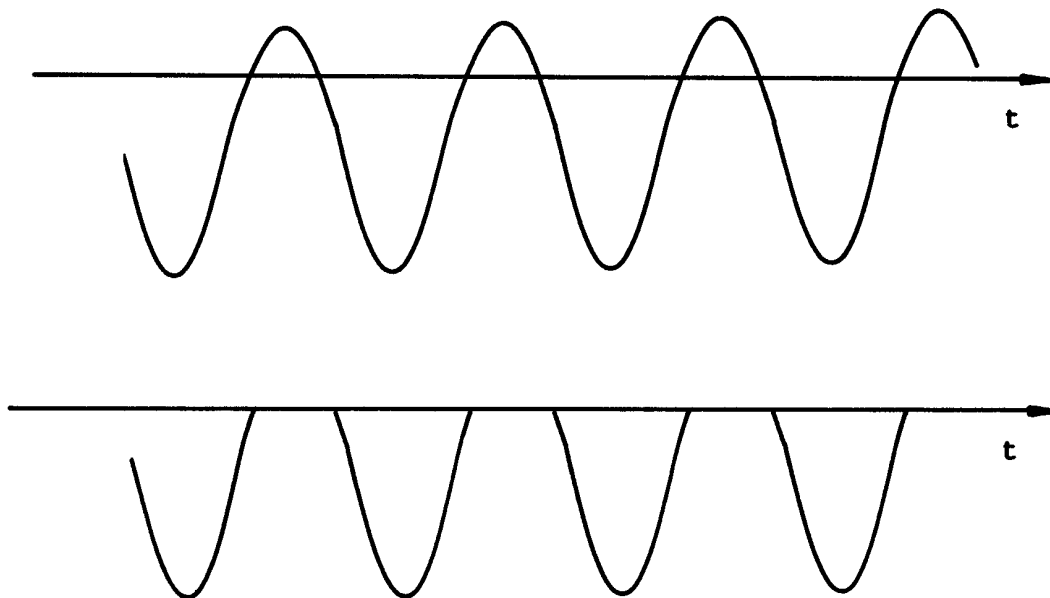
### 2.3.1. EFECTO DE UNA SOLA DIRECCIÓN.

Uno de los principales inconvenientes en la soldadura TIG por corriente alterna de metales ligeros, es consecuencia del siguiente principio físico:

Para que un metal emita electrones, se necesita una cierta energía (energía de emisión) medida en voltios. La tensión de emisión depende en gran parte de la temperatura.

Así, pues, a mayor temperatura, mayor emisión de electrones.

Como la corriente alterna sólo es viable en la soldadura de metales ligeros, la temperatura máxima que pueden alcanzar pieza y electrodo es muy diferente entre si. En efecto, ya que ambos materiales no pueden calentarse más que a su temperatura de fusión, y teniendo en cuenta que la del tungsteno es de  $3000^{\circ}\text{C}$  y la del aluminio (por ejemplo) es de  $600^{\circ}\text{C}$ , es lógico pensar que el electrodo emitirá muchos más electrones que la pieza cuando suceda la alternancia correspondiente. Como la intensidad no es más que la circulación de electrones, entonces cuando el electrodo se encuentre conectado al polo negativo, habrá más intensidad que cuando se halle conectado al positivo, esto es:



Así, pues, en el semiperiodo positivo se transmite mucha menos corriente que durante el semiperiodo negativo; incluso, hasta puede darse el caso de que la semionda positiva desaparezca, con lo que la soldadura se hace imposible. De esta manera, circula una componente continua por el circuito de soldadura, que llega al transformador y que puede provocar calentamientos peligrosos para el mismo.

Se impone, pues, la adición de algún elemento que corrija este desequilibrio entre semiperiodos.

En equipos de soldadura de regulación por shunt magnético, existen dos soluciones posibles:

1a) Incorporación al circuito de una resistencia: presenta el inconveniente de disipar calor en exceso, además de no evitar totalmente el problema.

2a) Incorporación al circuito de una batería de condensadores: este método se ha impuesto en todas las máquinas de calidad media o superior de este tipo de regulación. Su principal inconveniente es el elevado costo que supone esta adición. Sin embargo, aporta grandes ventajas:

- Equilibrio absoluto entre la semionda positiva y la negativa, es decir, magnífico efecto de descontaminación en el baño. Esto es debido a que los condensadores eliminan la componente continua.
- No fallan solo algunas semiondas, sino, en el peor de los casos, todas las semiondas. Esto quiere decir que, o suceden semiondas de descontaminación y otras de soldadura en igual número, o no hay intensidad de soldadura.
- Se evita sobrecargar el secundario del transformador de soldadura, así como el primario, debido al efecto, aunque sea parcial, del rectificado.

Los equipos de regulación electrónica disponen de un potenciómetro denominado BALANCE con el que se consigue el ajuste deseado del equilibrio entre semiondas. Con ello, el usuario puede agudizar el efecto descontaminante o el efecto de penetración según le interese.

### 2.3.2. FUNCIÓN DEL GENERADOR DE ALTA FRECUENCIA.

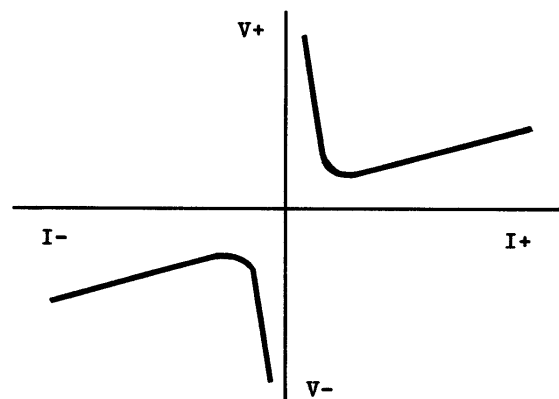
Trabajando con corriente alterna, cada vez que se produce un cambio de polaridad, la corriente pasa por cero, aunque sea por un espacio de tiempo muy pequeño, con lo cual se produce la extinción del arco. El generador de alta frecuencia tiene la función de proporcionar impulsos de alta tensión durante estos instantes, lo que permite la reignición del arco.

Existen muy variados tipos de generadores de impulsos de alta tensión, desde los más simples que funcionan a alta frecuencia, hasta los más sofisticados que trabajan en total sincronismo con la tensión de soldadura. Estos últimos generan pulsos de la misma polaridad que la tensión de soldadura justo en el momento en que ésta es cero. La polaridad es cambiante según la alternancia de la tensión de soldadura. Estos módulos que trabajan en sincronismo con la tensión de soldadura presentan la ventaja sobre los otros de que las interferencias sobre comunicaciones por radio y televisión son mínimas, debido precisamente a la baja frecuencia utilizada.

### 2.3.3. TEORÍA DEL ARCO VOLTAICO EN CORRIENTE ALTERNA.

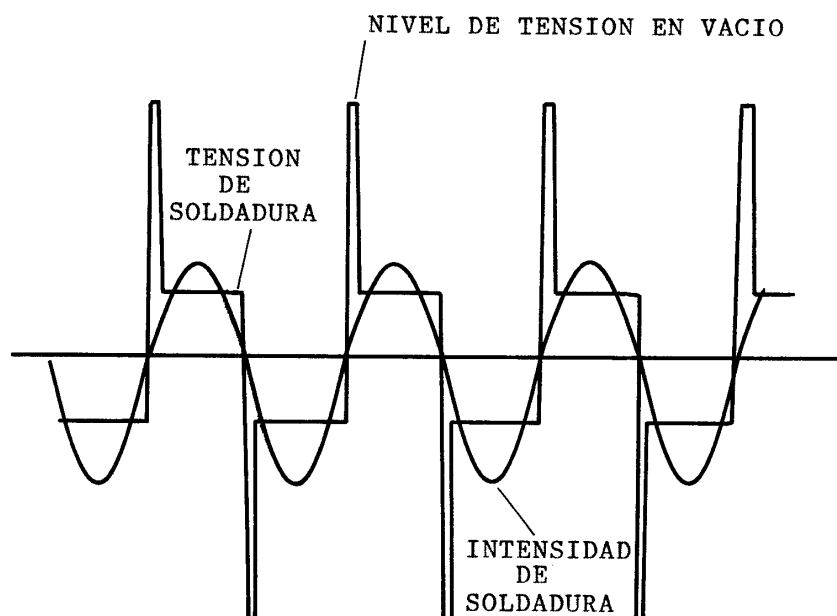
La curva característica del arco en corriente alterna se representa a continuación:

- Aumento de la tensión en vacío.
- Aumento de la amplitud de la intensidad.
- Aumento de la pendiente de la onda en el punto de corriente nula.



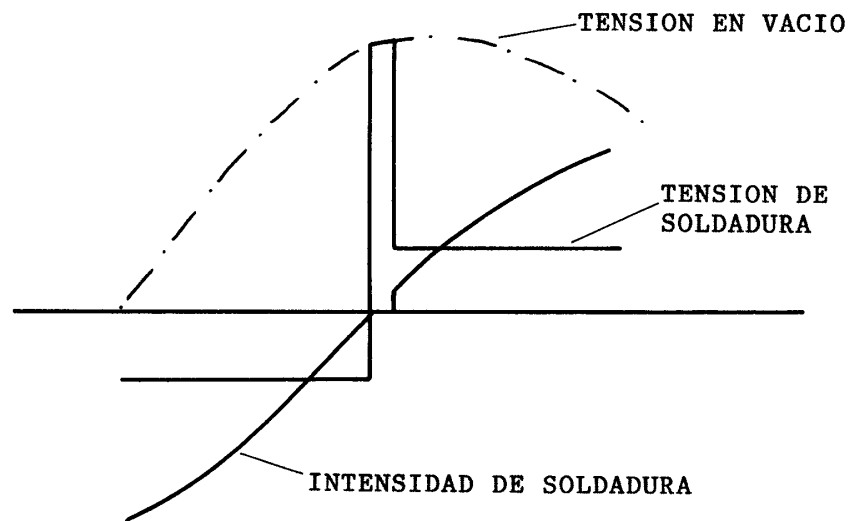
Las dos primeras posibilidades están naturalmente limitadas por distintas razones, tales como seguridad del soldador,... Por este motivo, la tercera es la única posible a utilizar.

Partiendo de la base de que electrodo y pieza son de igual material, una fuente de corriente de característica descendente presenta las siguientes ondas de tensión e intensidad:



Las tensiones de encendido del arco son absolutamente idénticas. Las puntas en los pasos del punto cero se obtienen por el sistema de reencendido mediante alta tensión.

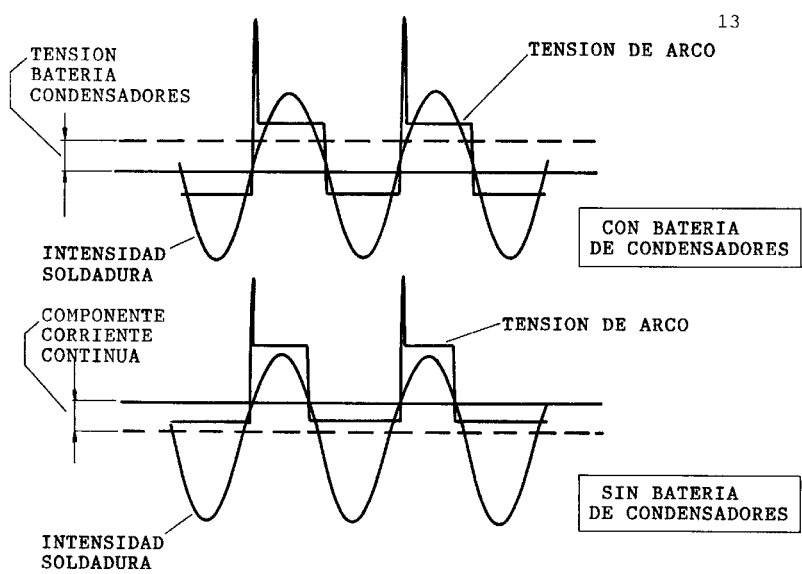
A continuación puede observarse el proceso de reencendido con mayor detalle:



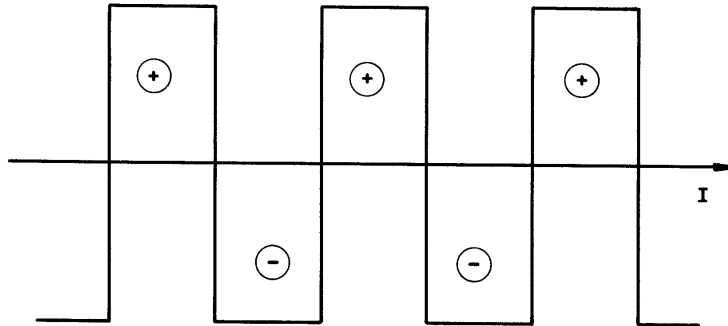
Puede apreciarse perfectamente cómo la tensión de arco en el momento de su apagado pasa a la tensión en vacío. Después, en el reencendido, cae nuevamente a la tensión de arco. El proceso es en realidad más complicado, pero, no obstante, es importante que en cada paso de la línea de cero aparezca una punta de tensión. En el caso de generadores de impulsos sincronizados, éstos aprovechan esta punta de tensión para superponer un impulso de alta tensión que facilitará el cebado del arco.

El caso de electrodos del mismo material no tiene en la práctica ningún interés, ya que lo normal es la soldadura de metales ligeros con corriente alterna.

En el caso de que los electrodos tengan muy diferente punto de fusión, la tensión de arco cuando emite electrones el metal ligero (semionda positiva) es mucho más alta que durante la semionda negativa, en que emite electrones el tungsteno, que es mucho más buen emisor. En la página siguiente se muestran las ondas de tensión e intensidad tanto en el caso de utilizar baterías de condensadores para corregir la componente continua como en el caso de que no:

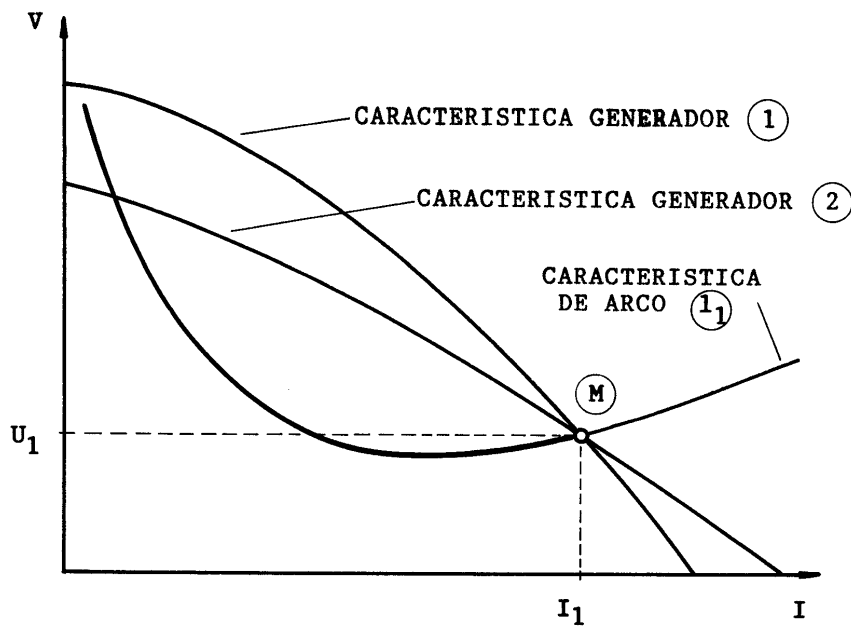


Existen equipos de regulación electrónica que además de poder ajustar el equilibrio de semiondas, confieren a éstas una forma casi cuadrada, esto es, una inclinación casi total, lo que permite que el reencendido del arco sea mucho menos crítico que en el caso de, por ejemplo, tener una onda senoidal:



### 3. CURVA CARACTERÍSTICA DE UN EQUIPO DE SOLDADURA TIG.

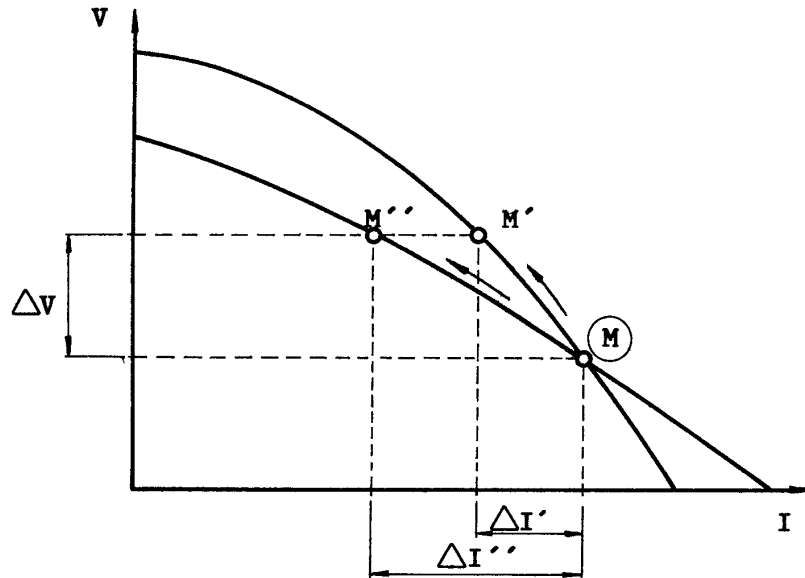
Considérese una fuente de corriente con característica descendente 1 y un arco eléctrico 11 tal y como se muestra a continuación:



Se establece un punto de trabajo M en la intersección de la característica de arco y la característica del generador. En este punto, existen unos valores definidos de tensión  $U_1$  e intensidad  $I_1$ .

Se representa en la misma gráfica otro generador en el que su característica 2 es menos descendente pero que en un determinado momento está trabajando en el mismo punto M.

Si, en estas condiciones el soldador se aleja de la pieza, aumenta la longitud de arco, por lo que la tensión aumenta, y la intensidad tiende a disminuir, tal y como puede apreciarse en el siguiente gráfico:



Sin embargo, la variación de intensidad que se produce en el caso del generador 1, es menor que en el generador 2. Dicho de otro modo, cuanto más vertical es la característica del generador, menor variación de intensidad frente movimientos de la antorcha de soldadura, esto es, mayor estabilidad del arco. En el límite, puede decirse que para la soldadura TIG, la característica debe ser completamente vertical.

En equipos de regulación por shunt magnético, esta última condición no se podrá cumplir con total exactitud; solo los equipos de regulación electrónica serán capaces de ofrecer una característica absolutamente vertical.

### 3.1. TENSIÓN DE CEBADO Y DE ARCO.

La tensión de cebado en soldadura TIG se sitúa alrededor de 80 - 90 V.

Los factores que definen la tensión de arco son prácticamente los mismos que para los otros procedimientos de soldadura al arco, en particular la longitud de arco, la naturaleza del gas y la intensidad de corriente.

Para la soldadura TIG, la norma internacional ISO 700 define la tensión por la siguiente fórmula:

$$U = 10 + 0,04 I$$

válido hasta intensidades del orden de 600 A y tensión de 34 V.

## 4. TIPOS DE GAS O MEZCLA DE GASES.

Los gases protectores en soldadura TIG son inertes.

En un principio se empleó helio como único y exclusivo gas de protección, ya que Estados Unidos tiene yacimientos naturales de este gas.

Pronto se observó que el argón ofrece mayores prestaciones: en efecto, la densidad del helio es diez veces inferior que la del argón, por lo que asegurará una protección inferior, ya que el argón tendrá tendencia a descender sobre el baño de fusión.

Para obtener una misma protección hace falta doblar o triplicar el caudal de helio respecto el de argón. Esto supone un inconveniente de tipo económico, habida cuenta de que el helio es algo más caro que el argón. De todas maneras, esta diferencia puede ser anulada, teniendo en cuenta que la velocidad de soldadura varía sensiblemente en función del gas.

El poder ionizante del helio es menor que el del argón, por lo que la tensión de arco es cerca del 75% más grande con helio que con argón. Por contra, el helio proporciona un mejor rendimiento calorífico, y este aporte de calor más intenso aporta una penetración muy fuerte, lo que es idóneo para procesos de fabricación en automático. Además, la utilización del helio se hace interesante en particular para la soldadura de metales buenos conductores del calor, como el cobre o el aluminio.

En contrapartida, el helio está caracterizado por un arco menos estable y un cebado más difícil, debido precisamente a su poder ionizante bajo.

Mezclas de argón y helio aseguran un compromiso entre las ventajas e inconvenientes.

Igualmente, para conseguir mayores rendimientos en soldaduras manuales o automáticas, existen en el mercado mezclas a base de argón con un 3, 56 10% de hidrógeno, que le confieren dos efectos favorables:

- 1a) Aumenta la temperatura, por lo que permite mayor penetración o mayor velocidad.
- 2a) Sucede un efecto de limpieza, ya que el hidrógeno es reductor y, por tanto, tiene la capacidad de eliminar óxidos.

El nitrógeno no puede emplearse como gas inerte, ya que, aunque lo es a temperatura normal, a la del arco eléctrico se disocia, por ser un gas diatómico, y se combina con el metal de soldadura, produciendo nitruros. Como salvedad está el cobre, donde el nitrógeno no forma nitruros. En este tipo de soldadura, se utiliza nitrógeno solo o combinado con argón al 50%.

Sobre aceros inoxidable, aceros aleados y metales nobles como por ejemplo el titanio, es muy aconsejable asegurar una protección por debajo de la zona de soldadura a través de un gas generalmente de la misma naturaleza que el de protección. Su caudal será función del recinto que deba protegerse.

El aluminio no necesita protección por debajo de la zona de soldadura. Para los aceros no aleados tampoco es necesario, pero su presencia mejora el estado de la superficie y alrededores de la penetración.

## **5. ELECTRODOS DE TUNGSTENO.**

Por definición, los electrodos utilizados en soldadura al arco con electrodo refractario son infusibles. Se impone, pues, la utilización de un metal con un punto de fusión muy elevado, capaz de soportar temperaturas del orden de los 4000° C que aparecen en el arco. Por otra parte, la naturaleza, el diámetro y la limpieza del electrodo y la naturaleza de la corriente utilizada, tienen una gran influencia sobre la calidad del trabajo y la estabilidad del arco.

El tungsteno responde perfectamente a la exigencia de soportar temperaturas elevadas, a la vez que tiene la ventaja de poseer una emisión termoiónica importante. Por este motivo, todos los electrodos que se utilizan son de tungsteno. Se puede incluso reforzar la emisión electrónica de los electrodos añadiendo al tungsteno óxidos de torio, de circonio, de lantano o de cerio en cantidades que van del 0,15 al 4,2% según los electrodos y el elemento a adicionar. Estos activantes de emisión facilitan el cebado del arco, mejoran la estabilidad, aumentan la duración de vida de los electrodos y reducen los riesgos de contaminación de la soldadura por inclusiones de tungsteno. Por otra parte, a diámetro igual, los electrodos conteniendo óxidos permiten soportar una intensidad de corriente más elevada que la del tungsteno puro.

La adición de óxidos es generalmente dispersada finamente en la matriz de tungsteno. Del mismo modo, existen electrodos refractarios en tungsteno, denominados "compuestos" que están constituidos por un núcleo de tungsteno puro y de un revestimiento exterior de óxido. Este tipo de electrodos combina las calidades de los de tungsteno puro y de los de tungsteno con óxidos, pero tienen el inconveniente de no poder ser afilados en punta.

Las varillas de tungsteno puro funden a 3400° C, y es necesario que el extremo del electrodo sea redondeado. Se utilizan fundamentalmente con corriente alterna en la soldadura del aluminio y sus aleaciones.

El tungsteno aleado con torio tiene un punto de fusión de 4000 °C, y es necesario que el extremo de la varilla esté afilado. Se utiliza en la soldadura con corriente continua de aceros al carbono, baja aleación, inoxidable, cobre, titanio,... Su precio es un 15% superior a los de tungsteno puro.

El tungsteno aleado con circonio funde a 3800 °C, y es válido para la soldadura tanto en corriente continua como alterna. Se utiliza para soldar metales ligeros como aluminio y magnesio, en donde es necesario evitar la contaminación del metal de aporte.

### 5.1. CODIFICACIÓN DE LOS ELECTRODOS.

La norma internacional ISO 6848 dispone una codificación alfanumérica en la que:

- La primera letra caracteriza el componente principal.
- La segunda letra caracteriza la adición del óxido:
  - \* P → Tungsteno puro
  - \* T → Torio
  - \* Z → Circonio
  - \* L → Lantano
  - \* C → Cerio
- Después sigue un número que corresponde al porcentaje de adición multiplicado por diez.

Así, por ejemplo, WP caracteriza a un electrodo de tungsteno puro, mientras que WT 20 corresponde a un electrodo de tungsteno con un 2% de torio.

Cada tipo de electrodo definido por la norma, viene indicado por un anillo de color según se indica a continuación:

CODIGO	COLOR
WP	VERDE
WT4	AZUL
WT10	AMARILLO
WT20	ROJO
WT30	VIOLETA
WT40	NARANJA
WZ3	MARRON
WZ8	BLANCO
WL10	NEGRO
WC20	GRIS

NOTA : Los electrodos compuestos tienen indicados un segundo anillo de color rosa.

## 5.2. CONDICIONES DE UTILIZACIÓN.

Si la intensidad es demasiado baja, el arco es errático e inestable y existe el riesgo de tener proyecciones de tungsteno. El empleo de una intensidad elevada permite obtener un arco perfectamente estable y una mejor concentración del calor, pero este valor está limitado. En efecto, si la intensidad es demasiado elevada, se produce un calentamiento excesivo y una fusión de la extremidad del electrodo: partes de tungsteno caen sobre el baño de fusión y el arco se convierte errático e inestable.

El valor de la intensidad de corriente de soldadura está limitado por las condiciones de utilización y el ángulo de afilado del electrodo a una influencia sobre la corriente límite. Para un diámetro dado, un ángulo de afilado más obtuso es recomendado para fuertes intensidades.

El tungsteno es un material caro. Un prematuro desgaste del electrodo no es solamente costoso, sino que además afecta a la calidad del cordón. Aunque parezca que no se produce ninguna combinación electroquímica entre electrodo y baño, puede ocurrir que se produzcan inclusiones de tungsteno en el baño, lo que sería causa de múltiples problemas. Por supuesto, debe tenerse en cuenta que el electrodo nunca debe tocar el baño, sobretodo en materiales que se combinan fácilmente con el tungsteno, como todos los metales ligeros. El cobre y el acero son, en este sentido, menos sensibles, y puede cebarse el arco tocando con el electrodo a la pieza, teniendo siempre presente que tampoco aquí el electrodo puede tocar el baño.

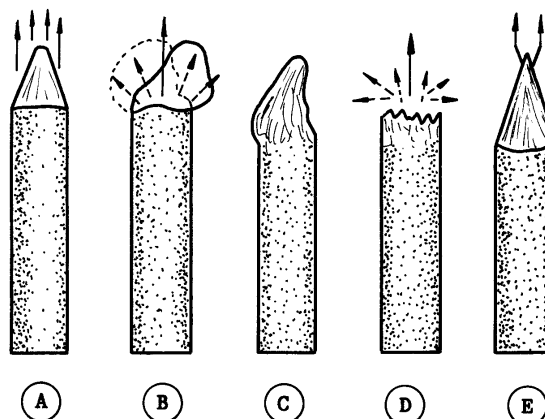
## 5.3. FORMA DE LOS ELECTRODOS.

La punta del electrodo juega un papel importante sobre la estabilidad del arco y la penetración de la soldadura.

En corriente alterna, el extremo de un electrodo debe ser hemisférico; en el caso de que se forme una gota, es porque la densidad de corriente límite ha sido sobrepasada. Empleando tungsteno toriado, raramente se llega a obtener una forma hemisférica, y si la densidad de corriente es excesiva, el extremo se convierte en irregular.

En corriente continua, los electrodos deben ser puntiagudos, sobretodo si la densidad de corriente es débil; cuanto más agudo es el ángulo, más grande es la penetración. La altura de la punta debe ser en principio 1,5 veces el diámetro del electrodo. Esta forma cónica se obtiene por amoladura, pero la forma de la punta se hace libremente bajo la acción del arco. Puede darse el caso de que la superficie del cono de un electrodo en tungsteno toriado esté insuficientemente pulida, lo que provoca inestabilidad de arco; en ese caso, basta con aumentar la intensidad de la corriente durante un corto instante para obtener una superficie perfectamente lisa.

Se indican a continuación diversos casos de funcionamiento. Las flechas continuas indican la dirección general de la corriente, y las flechas discontinuas indican la tendencia a arcos parásitos:



En el caso de la figura A, el electrodo está bien afilado y sano, ha sido utilizado en corriente continua en condiciones de intensidad normales. El afilado en cono sin punta permite tener un arco puntual estable, bien centrado.

En la figura B, la punta del electrodo se ha fundido bajo la acción de una intensidad demasiado elevada. La punta se ha deformado y el arco está vagabundo y mal dirigido, ya que la bola de metal oscila durante la soldadura, que se convierte difícil o imposible.

En la figura C, el electrodo se ha utilizado sin protección gaseosa, pudiera ser por corte del caudal demasiado pronto. El electrodo se ha contaminado, por lo que se impone restablecer su estado o cambiarlo.

En la figura D, se han soldado aleaciones ligeras con un electrodo toriado y una intensidad demasiado baja, de manera que la bola en el extremo del electrodo no se ha formado. Es preciso aumentar la intensidad, o el arco será errático.

En la figura E, el electrodo se ha afilado con demasiada punta; sucederá un desgaste rápido, puesto que la punta debe soportar intensidades de corriente demasiado elevadas, con lo que se fundirá y habrá inclusiones de tungsteno en la soldadura.

## **6. SECUENCIA DE UN EQUIPO DE SOLDADURA TIG.**

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

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

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

b) TIEMPO RAMPA DE SUBIDA DE INTENSIDAD (SLOPE UP): una vez iniciado el arco, durante este tiempo la intensidad crece paulatinamente hasta el nivel final de soldadura predefinido.

c) TIEMPO RAMPA DE DESCENSO DE INTENSIDAD (SLOPE DOWN): para evitar la formación de un cráter al final del cordón de soldadura, cráter que puede ser el origen de fisuras en el caso de materiales de baja ductilidad, se hace necesario evitar la ruptura brutal del arco y reducir progresivamente la intensidad de soldadura durante un tiempo determinado.

d) TIEMPO DE POST-GAS: es el tiempo que transcurre desde que se ha extinguido el arco hasta que deja de fluir gas, muy recomendable para proteger la zona de soldadura hasta que su temperatura descienda por debajo de valores menos peligrosos.

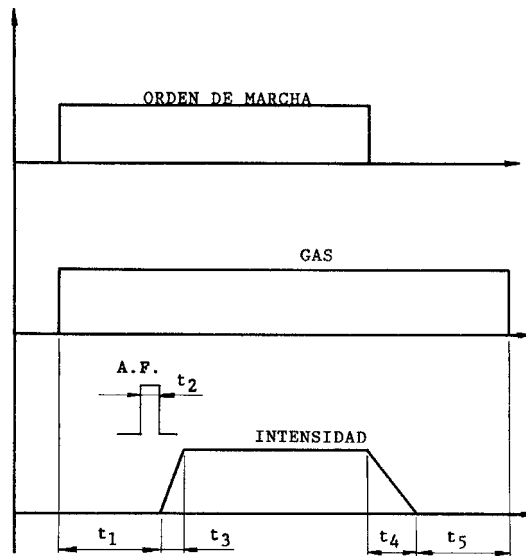
NOTA: No todos los equipos disponen de estos ajustes; además, muchos de ellos, aunque se hallen disponibles en el equipo, no son regulables por el usuario, sino que vienen pre-programados por el fabricante.

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

## 6.1. SECUENCIA 2t.

En este modo de secuencia, se da la orden de inicio de soldadura, y el equipo inicia ésta conforme a los tiempos que se han seleccionado en el equipo. El diagrama de secuencia se indica en la página siguiente:

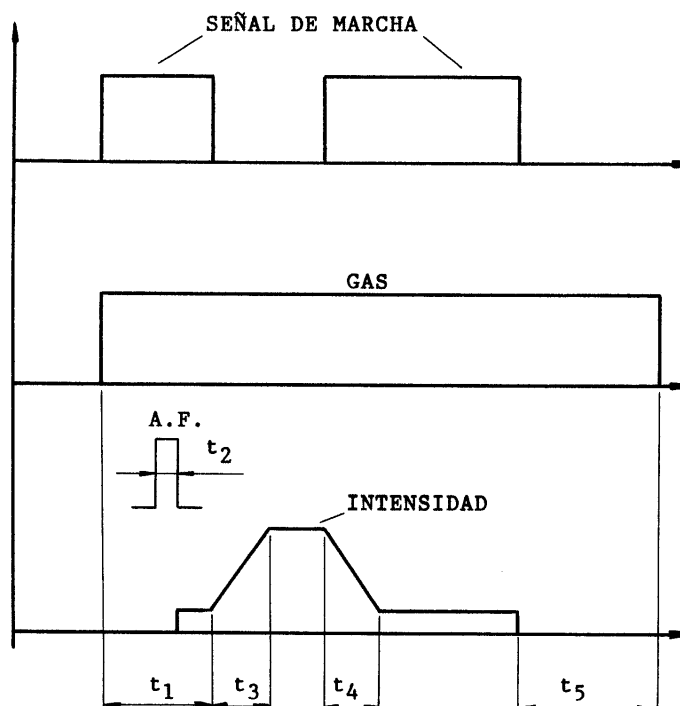
24



t<sub>1</sub> : Pre-gas  
t<sub>2</sub> : Tiempo desde que entra en funcionamiento el sistema de cebado y se produce realmente éste.  
t<sub>3</sub> : Tiempo de SLOPE UP  
t<sub>4</sub> : Tiempo de SLOPE DOWN  
t<sub>5</sub> : Tiempo de post-gas

## 6.2. SECUENCIA 4t.

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



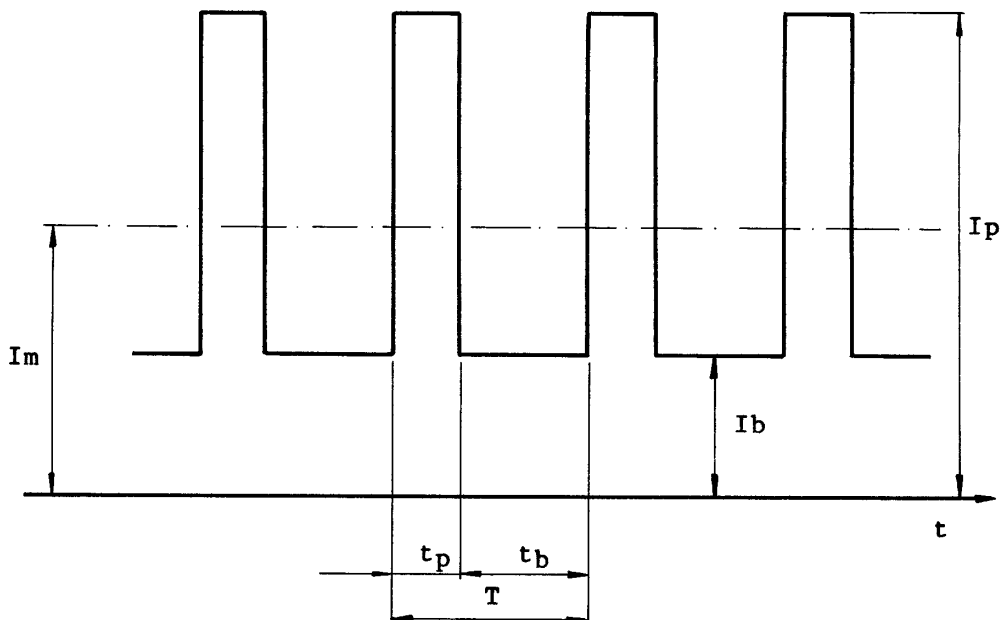
## 7. SOLDADURA TIG PULSADA.

La soldadura TIG por impulsos consiste en hacer variar periódicamente la intensidad de la corriente entre un valor de base  $I_b$  y un valor de pico  $I_p$ . De ello resulta un valor medio de corriente de soldadura dado por:

$$I_m = \frac{1}{T} \int_0^T i \cdot dt$$

que, en el caso de ondas cuadradas, es igual a

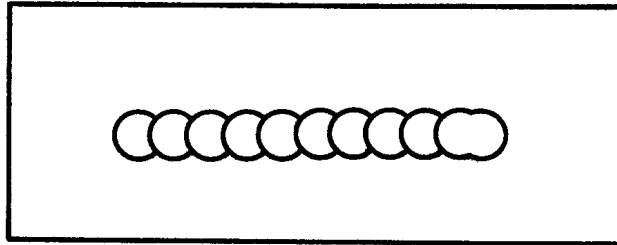
$$I_m = \frac{I_p t_p + I_b t_b}{T}$$



Esta modulación de corriente permite una regulación del ciclo térmico. En particular, es posible proceder solamente a la fusión de una pequeña parte de metal de base durante los tiempos de paso de corriente de pico  $I_p$ , con solidificación, al menos parcial, durante los tiempos de intensidad de base  $I_b$ . De esta manera, la cantidad de metal fundido es más pequeña, y el baño

de fusión menos importante, lo que facilita su mantenimiento en particular para la soldadura en posición.

Con una onda de corriente pulsada a baja frecuencia, se obtiene de esta manera un cordón de soldadura formado por un seguido de puntos de soldadura solapados entre sí:



Por otra parte, la energía térmica suministrada es menor que en el caso de soldadura a corriente constante  $I_p$ , lo cual siempre es preferible desde el punto de vista metalúrgico.

En los equipos más modernos y sofisticados, que emplean sistemas transistorizados, es posible obtener formas de onda de corriente muy diversas. La experiencia conduce a la regla general siguiente:

- Subida de la onda de manera abrupta para asegurar una penetración sin calentamiento demasiado importante de los bordes a soldar. Esta pendiente depende del material y la masa de la pieza, en razón de la importancia de los efectos de la conductibilidad térmica.
- Descenso de la corriente en pendiente suave, lo que permite un buen relleno de cráter y limita los riesgos de porosidad y fisuras en el cordón.

### 7.1. PARÁMETROS CARÁCTERÍSTICOS.

Como en el caso de soldadura MIG, la soldadura TIG por impulsos viene caracterizada por:

- La corriente de pico o de pulso  $I_p$ .
- La duración del paso de esta corriente,  $t_p$ .
- La corriente de base  $I_b$ .
- La duración del paso de esta corriente de base,  $t_b$ .
- El valor medio de la corriente  $I_m$  y el valor eficaz  $I_e$
- La duración del ciclo  $T$  o la frecuencia de impulsos.

Igualmente, se puede tomar en consideración la relación  $I_b/I_p$  o la relación  $t_p/T$ .

La potencia instantánea puesta en juego es evidentemente variable, por lo que puede definirse la potencia media como:

$$P_m = \frac{1}{T} \int_0^T u \cdot i \cdot dt$$

## 7.2. VENTAJAS DE LOS IMPULSOS DE CORRIENTE EN SOLDADURA TIG.

Se percibe, pues, que la posibilidad de modular las energías puestas en juego, esto es, los aportes térmicos a la pieza a soldar, presenta ventajas innegables:

- a) La penetración deseada se obtiene por sobreintensidades periódicas y no por el paso de una corriente constante, lo que lleva a un volumen del baño de fusión más reducido y estrecho.
- b) Se limita el aporte calorífico, lo que es beneficioso desde el punto de vista metalúrgico.
- c) La limitación del volumen de metal fundido tiene como consecuencia una reducción de las deformaciones.
- d) El electrodo de tungsteno puede generalmente soportar durante los intervalos de tiempo de pico, una densidad de corriente más elevada que en régimen continuo. De esta manera, puede utilizarse una corriente de pico más elevada que permitirá una penetración más fuerte y un aumento de los espesores máximos soldables.
- e) Como se sabe, en la soldadura de metales buenos conductores del calor, la intensidad de corriente de soldadura debe tener un valor suficientemente elevado para que la temperatura de fusión pueda ser atendida, y suficientemente bajo para que no haya riesgo de perforación, ya que toda la pieza se lleva a alta temperatura. En el caso de corriente pulsada, hay a cada impulso un aporte calorífico a una velocidad superior a la de dispersión en el interior de la masa de la pieza, lo que permite la fusión; estos baños de fusión formados sucesivamente limitan el calentamiento general de la pieza, lo que mejora las condiciones de soldabilidad operatoria.
- f) El procedimiento TIG requiere que el acercamiento entre dos piezas a soldar sea muy preciso; algunas decenas de milímetros de diferencia respecto lo nominal conducen a la formación de dos líneas de fusión en lugar de un solo baño de soldadura. La pulsación de la corriente conduce, por efecto magnético, a un movimiento incesante del flujo del metal líquido, lo que favorece el mantenimiento de un punto líquido entre las piezas a ensamblar. Por consiguiente, hay un mejor dominio de la zona de fusión y un comportamiento mejorado sobre juntas mal preparadas.

Estas ventajas en la pulsación de la corriente, conducen a las conclusiones siguientes:

- Menor absorción de gas por la zona de fusión.
- Enfriamiento más rápido.
- Reducción de la zona térmicamente afectada.
- Reducción de la fisuración en caliente.
- Estructura a granos finos, resiliencia y plasticidad mejoradas.
- Mayor flexibilidad operatoria.

Por otra parte, se constata que se genera una auto limpieza del electrodo de tungsteno, ya que el arco se mantiene en el eje del electrodo, mientras que en la soldadura a corriente constante hay a menudo formación de impurezas puntuales de aspecto muy brillante, más emisivas que el resto del electrodo y que desvían el arco hacia el lado donde se forman.

## 7.3. INFLUENCIA DE LA FORMA DE LOS IMPULSOS.

Sin que sea aún posible proporcionar una lista exhaustiva de la influencia de cada parámetro, se puede, no obstante, hacer una idea de la manera en cómo afectan. Estos efectos dependen mucho de la naturaleza de los materiales.

### 7.3.1. CORRIENTE DE BASE Y CORRIENTE DE PICO.

La corriente de base asegura el mantenimiento del aporte térmico necesario y contribuye a evitar el desplazamiento del arco; influye, igualmente, sobre la velocidad y la temperatura de enfriamiento. Por tanto, su duración debe ser suficiente para permitir un enfriamiento del cordón. La experiencia muestra que esta duración debe ser al menos igual a la de la corriente

de pico, pero sin pasar tres veces ésta. Se puede jugar sobre este tiempo para combatir las fisuras causadas por condiciones de enfriamiento desfavorables. Se puede asimismo reducir los riesgos de fisuración en caliente ya que el calor se reparte menos debido a que la zona fundida se enfría entre impulsos y que, por consiguiente, el sobrecalentamiento se evita.

### 7.3.2. TIEMPO Y FRECUENCIA DE IMPULSOS.

Estos parámetros son función del grueso y propiedades del material, de manera que siempre exista un tiempo de base suficiente para que se pueda evacuar satisfactoriamente el calor aportado. En efecto, las condiciones de enfriamiento tienen una influencia determinante sobre la velocidad de crecimiento de los cristales y sobre el proceso de solidificación. De esta manera, al aumentar la duración T del ciclo, se aumenta el enfriamiento intermedio y se pueden obtener granos ordenados según la longitud del cordón.

Las frecuencias comúnmente utilizadas son de 0,5 a 20 Hz.

### 7.3.3. VELOCIDAD DE SOLDADURA.

Este parámetro influencia sobre la geometría de la junta soldada, es decir, su profundidad de penetración y su longitud. Si la velocidad de soldadura es elevada y la corriente eficaz débil, la zona térmicamente afectada y la zona fundida son pequeñas, lo que evita el sobrecalentamiento del metal de base. De todas maneras, a velocidades de soldadura elevadas, pueden aparecer regueros en los bordes de la soldadura debidos a la potencia del arco, efecto que depende de la corriente de soldadura.

## **8. MÉTODO OPERATORIO DE LA SOLDADURA TIG.**

### **8.1. PREPARACIÓN DE BORDES.**

Para que una soldadura TIG sea regular y compacta, es necesario que los bordes hayan sido preparados con meticulosidad. Si, por ejemplo, están oxidados es preciso mediante algún método mecánico eliminar este óxido. Las piezas deben estar perfectamente exentas de partículas grasas: para ello, será preciso proceder a un desgrasado y posteriormente a un decapado mecánico. En este caso, los bordes se presentan en la posición que deben ocupar en soldadura e inmovilizados bien por puenteo o por otros métodos. El puenteo se efectúa bajo argón a una intensidad relativamente baja, teniendo la precaución de dejar siempre enfriar el punto de soldadura con flujo de gas protector después de la extinción del arco y poniendo en acción la protección al revés si hay lugar.

La separación entre piezas debe ser muy regular, lo que se obtiene utilizando dispositivos de posicionamiento.

La forma de los chaflanes y la separación entre piezas varía según la naturaleza del metal a ensamblar y de su espesor.

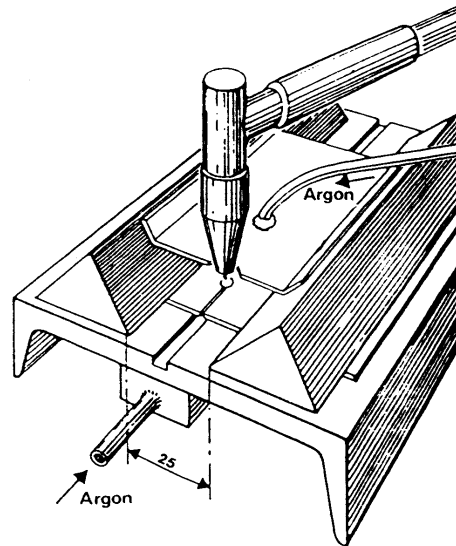
Debe indicarse que el empleo de soldadura TIG ha sido limitado frecuentemente al espesor de 6 mm en dos o tres pasadas. Lo más corriente es que si el espesor es superior a 4 mm, el proceso TIG se emplee para la primera pasada y el relleno de la junta se realice enseguida mediante proceso MIG o electrodo revestido.

### **8.2. PROTECCIÓN AL REVÉS.**

El flujo de gas inerte proveniente de la antorcha asegura la protección de la superficie superior del baño de metal en fusión, pero la parte inferior del metal depositado en la junta permanece bajo la acción del aire y con riesgo de oxidarse cuando la pieza se enfría. Las consecuencias no son considerables si el espesor es grande y no se desea una soldadura de la mejor calidad posible; por el contrario, los metales con espesores pequeños, sobretodo si se trata de aceros aleados o metales muy oxidables, deben ser protegidos también al revés igual que al derecho.

Una protección consiste en disponer por debajo de la junta de una vaina, o de una ranura de soporte si existe, en la cual se deja circular un gas protector, que puede ser el mismo que el de la antorcha o una mezcla de nitrógeno e hidrógeno.

En alguna variante de soldadura TIG, la protección de gas es reforzada considerablemente bajo la adopción de un órgano móvil enganchado a la antorcha y que distribuye un flujo de gas suplementario sobre el cordón en curso de enfriamiento:



### 8.3. DISIPACIÓN TÉRMICA.

La energía calorífica se distribuye por la antorcha de manera uniforme a lo largo de toda la junta y, por tanto, es necesario que se disipe de manera no menos uniforme; es indispensable antes de empezar a soldar preocuparse de cómo se hará esta evacuación de calor. En general es preferible canalizar el calor en direcciones perpendiculares a la junta soldada.

Para realizar prácticamente esta evacuación de calor, se realizarán unos soportes al revés en un material poco conductor de la temperatura, mientras que los órganos de ajuste superiores serán, por el contrario, buenos conductores. Estas precauciones son sobretodo necesarias para espesores bajos.

### 8.4. MÉTODO DE SOLDADURA.

Las soldaduras deben realizarse al abrigo del viento. Debe ser un trabajo regular y la longitud del arco debe mantenerse constante. Es muy importante que el extremo de la varilla de aporte no se salga en ningún momento de la protección del flujo de gas; en caso contrario, este extremo se oxidaría y se producirían inevitablemente inclusiones de óxido en el baño.

Después de la ejecución de la soldadura, la junta debe limpiarse. Un martilleo en caliente es susceptible de mejorar ligeramente la resistencia mecánica de la junta.

#### 8.4.1. PUENTE.

El puenteo de las juntas no es necesario más que en el caso de que los bordes a soldar no estén inmovilizados por un dispositivo de posicionamiento. Inexcusablemente se ejecutará por procedimiento TIG.

Los puntos deben ser bastante largos para que no puedan romperse bajo las tensiones provocadas por la deformación de las piezas. Según el espesor, se adoptan longitudes entre 20 y 80 mm. Su volumen debe ser suficiente, pero sin exagerar, con el fin de que no haya ningún problema de fundición cuando se produzca la primera pasada de soldadura. Por esto, es mejor que sean largos y de poca penetración.

Si el retorno de corriente se hace a través de la mesa de soldadura, se procurará un íntimo contacto, aunque es preferible que esté en conexión con la pieza.

#### 8.4.2. SOSTENIMIENTO DE LA ANTORCHA.

Para trabajar en las mejores condiciones de precisión, el soldador debe situarse cómodamente. La antorcha debe ser ligera, y debe sostenerse como un lápiz por el pulgar, índice y medio, de manera que el gatillo pueda ser accionado por una presión ligera del dedo. La antorcha debe mantenerse poco inclinada (10 a 20°) respecto la vertical y dirigida de manera que el arco vaya por delante del baño de fusión. Otras inclinaciones pueden emplearse, como en el caso de soldadura en posición, o sople magnético trabajando con corriente continua,...

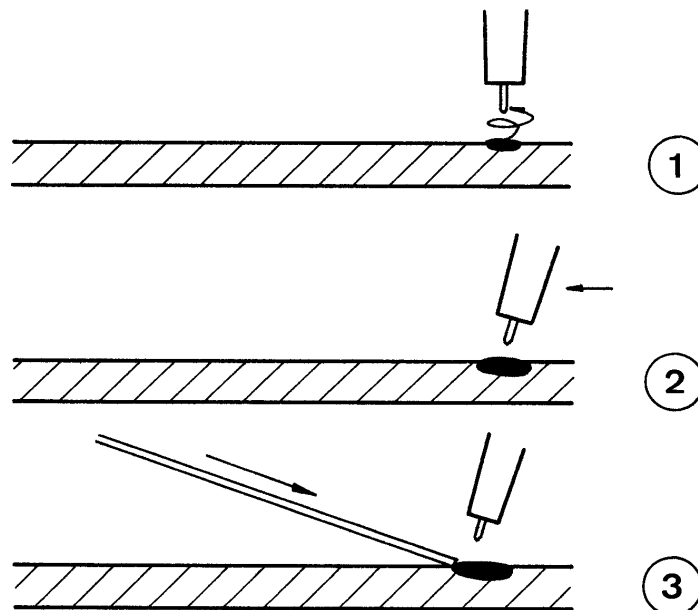
#### 8.4.3. CAUDAL DE GAS.

El caudal de gas debe ser tal que la superficie del baño permanezca perfectamente brillante y que ningún depósito de óxido aparezca a lo largo del cordón de soldadura. Si el electrodo toma un aspecto apagado o de color gris, existen indicios para pensar que el caudal de gas es insuficiente.

El flujo de gas debe empezar antes del cebado, y mantenerse hasta después de la extinción del arco con el fin de que el baño quede protegido durante el enfriamiento y solidificación. La duración de estos tiempos es de 3 a 4 segundos para el pre-gas y de 5 a 30 segundos para el post-gas en función del diámetro del electrodo y la intensidad de soldadura.

#### 8.4.4. MODO OPERATORIO.

El arco, después del cebado, se mantiene sobre la junta hasta la aparición de un punto brillante indicando que el metal de la pieza ha llegado a su punto de fusión. El soldador aumenta de tamaño este punto brillante describiendo pequeños círculos con la antorcha. Entonces empieza el desplazamiento de derecha a izquierda a la velocidad de avance conveniente:



Si por causa de una longitud de arco demasiado grande o por una corriente de aire, el oxígeno del aire llega a tener contacto con el electrodo, éste se llena de una capa blanquecina de óxido de tungsteno. En este caso, es imprescindible interrumpir la soldadura (con post-gas) y reponer el electrodo.

Varios factores esenciales en la soldadura TIG dependen de la apreciación del soldador:

- 1) El ajuste de la intensidad de la corriente de soldadura: este parámetro, para un espesor y un diámetro de electrodo determinados, está estrechamente ligado a la velocidad de avance. Un compromiso entre los dos parámetros depende de la habilidad del soldador. Soldando en canal, no hay inconveniente en que el baño de soldadura sea

relativamente abundante, mientras que, en las otras posiciones, es preferible que no haya una gran masa fluida difícil de controlar. Del mismo modo, la reducción de la intensidad según la posición de soldadura es función del espesor de la pieza: para una soldadura montante, será de un 5 a 10 % sobre chapa de 3 a 4 mm, pero de un 20 % con piezas de hasta 8 mm. De todas las maneras, en ningún caso, la corriente de soldadura debe pasar del valor máximo admisible por el electrodo, valor que dependerá del diámetro y su composición.

2) La longitud del arco: debe ser pequeña y constante. Se trata de una de las dificultades del proceso, y, sin duda, la que exige más entrenamiento.

3) La velocidad de avance: en soldadura manual, se escogerá de manera que se halle entre un máximo, que dará un cordón no-penetrado y un mínimo, que proporcionará un gran cordón y una gran cantidad de calor a la pieza (deformaciones más elevadas).

4) El volumen de metal de aporte por unidad de longitud de soldadura: soldando hacia la izquierda, el soldador conserva una buena visibilidad de baño, lo que le permite, bien actuando sobre el movimiento de la varilla, bien actuando sobre la velocidad de avance de la antorcha, regular a voluntad el volumen del baño. Debe esforzarse en mantener una soldadura brillante y regular, sin sobreespesor notable.

Para dosificar la cantidad de metal de aporte, el soldador se guía del aspecto del cordón, que debe tener un volumen suficiente y presentar una superficie regular sin regueros, pero sin sobreespesor excesivo.

En la soldadura en ángulo interior en posición cornisa, la antorcha se dirigirá un poco más hacia la pieza superior que hacia la inferior, con el fin de facilitar el mantenimiento del baño de fusión.

Las soldaduras de puenteo, ejecutadas sobre metal frío, son raramente exentas de defectos, de ahí la necesidad de refundirlas por entero. En este caso, el soldador reducirá ligeramente la velocidad de avance y espaciará en consecuencia los aportes de metal.

#### 8.4.5. EXTINCIÓN DEL ARCO.

La extinción del arco se obtiene, en general, por interrupción de la corriente de soldadura, pero sin detener la protección gaseosa hasta después de un determinado tiempo.

Varias son las precauciones necesarias que deben adoptarse para que no se forme un cráter que sería el origen de una posterior fisura. Una de estas precauciones consiste en formar al final del cordón un sobreespesor volviendo hacia atrás y extinguiendo el arco a 2 ó 3 cm del extremo de la soldadura. Otro método consiste en prolongar la pieza por medio de un talón sobre el cual se extingue el arco y que se separa enseguida. Se puede también provocar la extinción progresiva del arco mediante métodos electrónicos (slope-down).

#### 8.4.6. SOLDADURAS MULTIPASADAS.

Estas soldaduras conciernen a espesores medios y grandes, de manera que la junta comporta un chaflán en V o en X. Para fundir con certeza los bordes del chaflán, es indispensable un movimiento de balanceo de la antorcha. La varilla de aporte se apoya en el fondo del chaflán, y es fundida al mismo tiempo que los bordes de la junta.

Sobre ciertos aparatos, la varilla se sustituye por un hilo de aporte que es llevado a la zona de soldadura como en MIG/MAG, pero que no sirve de electrodo.

#### 8.4.7. SOLDADURA DE METALES DIFERENTES.

A menudo, en una construcción, se da el caso de tener que soldar dos metales o aleaciones de naturaleza diferente. Esto no es siempre posible, ya que pueden formarse en la zona de unión compuestos intermedios frágiles.

A continuación se muestra una tabla donde aparecen las diferentes posibilidades existentes de unir metales distintos. Tómese como orientación, aunque cabe decir que cada caso deberá ser examinado exhaustivamente:

	Ni	Cu-Ni	Latón	Cu-Al	Cu	Ac. Inox	Ac. Carbono
Ac. Carbono	R	R	R	P	P	P	R
Ac. Inox.	R	P	N	P	P	R	
Cu	R	R	P	R	R		
Cu - Al	P	P	P	R			
Latón	N	N	R				
Cu - Ni	R	R					
Ni	R						

- \* N : no soldable
- \* P : soldadura posible
- \* R : soldadura recomendable

Metales diferentes tienen conductibilidades caloríficas diferentes; el soldador deberá en todo momento dirigir el arco con preferencia hacia el metal más conductor y, según el caso, hasta pre-calentarlo.