

## Capítulo 3

# El Arco Eléctrico

### INDICE

---

3.1. Definición del arco eléctrico.....	32
3.2. Formación del medio conductor: la columna de plasma .....	32
3.3. Zonas características del arco de soldeo.....	34
3.4. Influencia del tipo de corriente. Polaridad.....	35
3.4.1. Diferentes nombres de los dos tipos de polaridad .....	36
3.4.2. Efectos de la polaridad.....	37
3.4.3. Efectos de la corriente alterna.....	39
3.5. Soplo magnético.....	40
3.6. Característica del arco.....	44

## 3.1. Definición del Arco Eléctrico

El arco eléctrico es una descarga continuada entre dos conductores separados ligeramente, por donde pasa la corriente, al hacerse conductor el aire o gas comprendido entre los mismos. Se manifiesta con gran desprendimiento de luz y calor. El arco, por otra parte, es la fuente de calor que utilizan muchos de los procesos de soldeo por dos razones fundamentales:

Proporciona altas intensidades de calor.

Es fácilmente controlable a través de medios eléctricos.

Para producir el arco necesitamos dos conductores, a los que llamaremos **electrodos**, y un gas conductor al que denominaremos **plasma**.

## 3.2. Formación del Medio Conductor: La Columna de Plasma

Como ya hemos dicho anteriormente, el arco eléctrico consiste en una descarga de corriente relativamente alta sostenida a través de una columna gaseosa. Ahora bien, los gases, en condiciones normales, son prácticamente aislantes, por lo que para conseguir el arco es necesario que el gas se haga conductor.

Para ello, hay que conseguir la separación de sus átomos en iones y electrones; este proceso se denomina **ionización**. La ionización se consigue por el choque de los electrones que salen de uno de los electrodos con el gas. Un gas ionizado o parcialmente ionizado se denomina plasma. (Ver figura 3.1).

En la figura 3.1(A) se puede observar los átomos de un gas, como se explicó (capítulo 2, apartado 2.2) cada átomo tiene igual número de protones que de electrones, sin embargo a una temperatura elevada se puede conseguir que el gas se ionice, es decir que todos o alguno de los electrones de cada átomo se separe dejando un ión positivo. El plasma de la figura 3.1(B) está formado por un átomo (a) que no está en absoluto ionizado, es decir, que no tiene ningún electrón separado de su núcleo; átomos parcialmente ionizados en los que uno de los electrones (c) se ha separado del núcleo y han dejado un ión positivo (b) (tiene más protones que electrones) y otro átomo totalmente ionizado ya que los dos electrones (c) se han separado del núcleo (d).

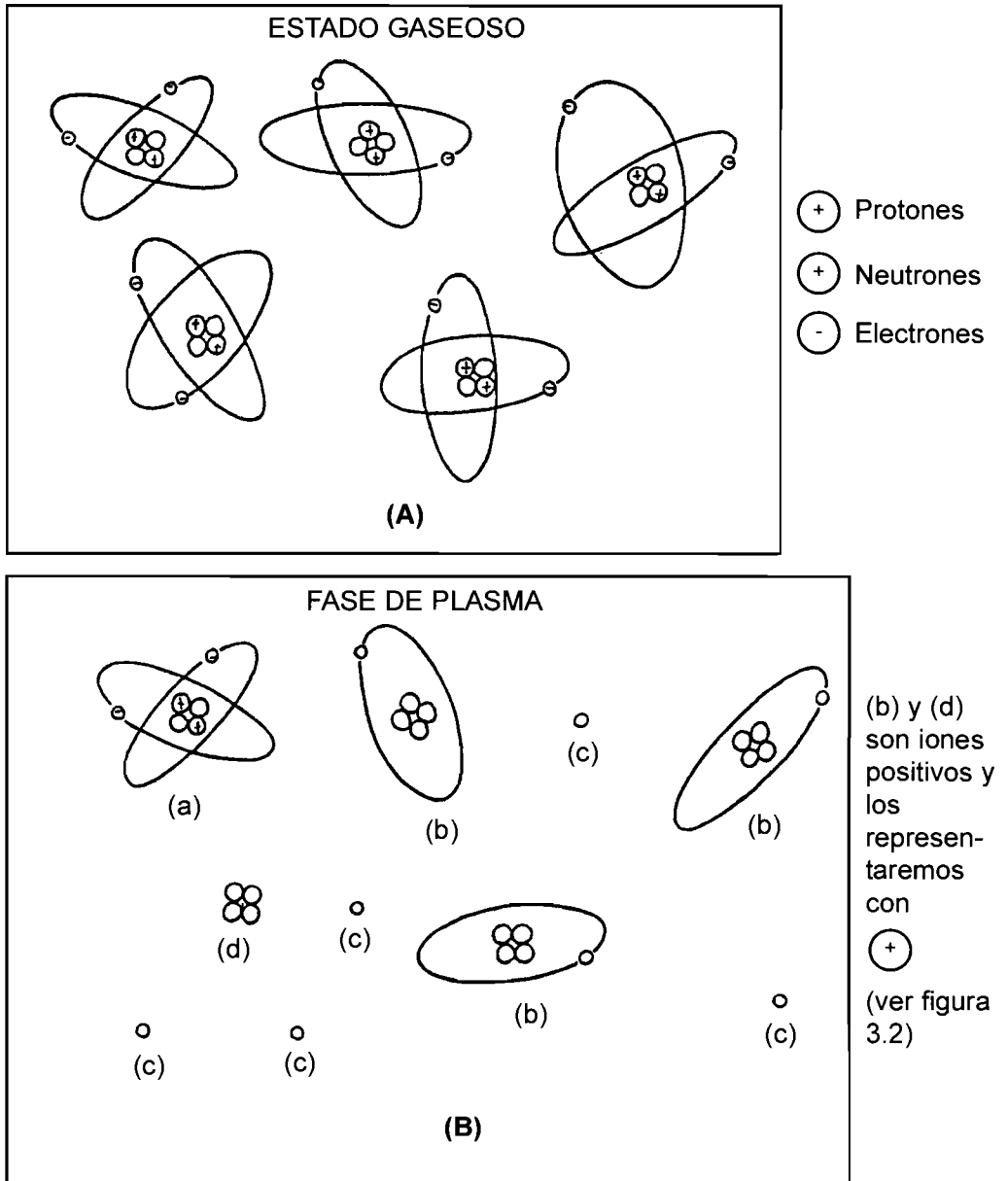


FIGURA 3.1: ESTADO GASEOSO Y FASE PLASMA

Los electrodos pueden ser de igual o de distinta naturaleza, por ejemplo, una varilla metálica (electrodo propiamente dicho) y una pieza metálica (parte a soldar o metal base) del mismo o de otro metal, pero en cualquier caso, para arrancar los electrones del electrodo para que bombardeen el gas y conseguir su ionización, es necesario comunicarles la energía suficiente.

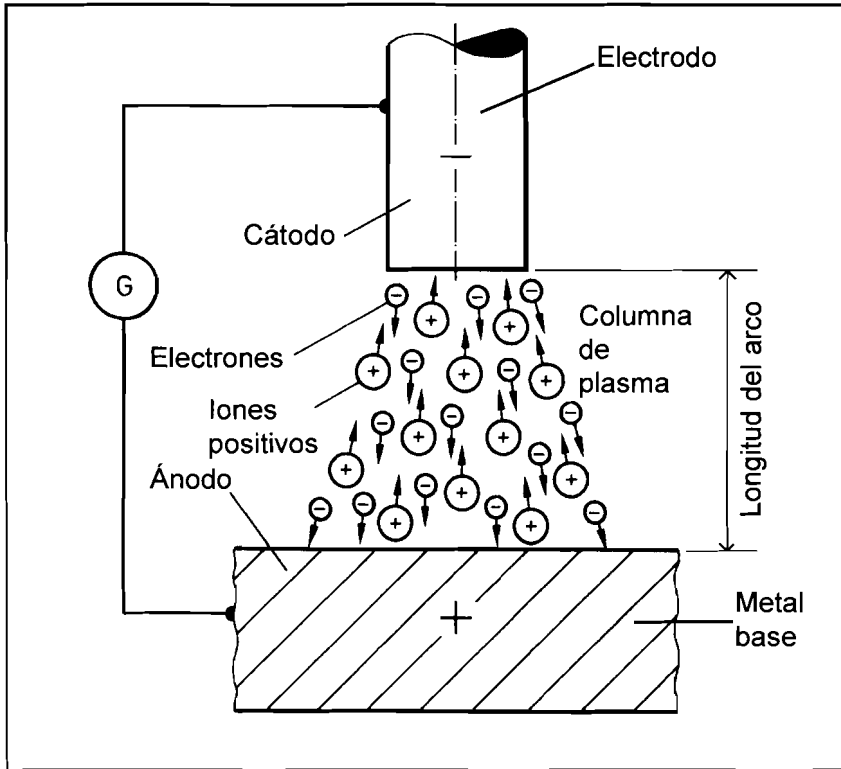


FIGURA 3.2: DESCRIPCIÓN DEL ARCO ELÉCTRICO

El procedimiento más simple para aportar la energía necesaria es calentar el electrodo a una temperatura muy elevada. Por ello el método corriente para **cebar un arco** (iniciar un arco) es establecer un cortocircuito entre pieza y electrodo, ya que se produce un calentamiento muy fuerte en la punta del electrodo negativo (llamado **cátodo**) al pasar una corriente elevada, separando ahora el electrodo bastan unos pocos voltios para que se establezca el arco. Una vez iniciado éste, los electrones que salen del cátodo ionizan el gas al chocar con sus átomos. (Ver figura 3.2).

Los electrones siguen su camino hacia el **ánodo** (terminal positivo) y los iones del plasma se dirigen hacia el cátodo, al que ceden su energía cinética (de movimiento) que se transforma en calor, manteniendo así la temperatura del cátodo que sigue emitiendo electrones. (Ver figura 3.2).

### 3.3. Zonas Características del Arco de Soldeo

El arco de soldeo está dividido en tres regiones características (ver figura 3.2):

- Cátodo.
- Columna de plasma
- Ánodo.

En el **cátodo** (terminal negativo) se produce la **emisión de electrones**, que ionizan el gas convirtiéndose en plasma. Los iones que proceden de la columna de plasma bombardean el cátodo, calentándolo y permitiendo que se mantenga la emisión de electrones.

En el cátodo la energía se emplea en mantenerlo caliente y en arrancar los electrones, por lo que **la temperatura del cátodo es más baja que la del ánodo**, en donde toda la energía se emplea en su calentamiento.

El cátodo, además, presenta **propiedades autodecapantes** (de autolimpieza) debido a la acción mecánica del bombardeo de iones.

Al **ánodo** (terminal positivo) se dirigen los electrones atraídos por la carga positiva del ánodo.

Como ya se ha dicho antes, el ánodo se encontrará a una temperatura más elevada que el cátodo.

La **columna de plasma** se encuentra entre el ánodo y el cátodo y su temperatura es muy elevada, del orden de 3000° C. El plasma es un gas que ha sido calentado por un arco, como mínimo hasta un estado de ionización parcial, haciéndole conductor de la corriente eléctrica.

En la columna del plasma, la energía es absorbida para mantener el gas a una temperatura a la cual sea **conductor**.

El gas que se ioniza para convertirse en plasma puede ser el aire, los vapores desprendidos por el revestimiento del electrodo y/o el gas de protección.

La longitud del arco es la distancia desde el extremo del electrodo a la superficie de la pieza .

### **3.4. Influencia del Tipo de Corriente. Polaridad**

Se puede emplear corriente continua o corriente alterna para establecer un arco eléctrico entre un electrodo y la pieza a soldar. Si se utiliza corriente continua se puede diferenciar entre conectar el electrodo al terminal negativo y la pieza al positivo o bien conectar el electrodo al terminal positivo y la pieza al negativo, de esta forma aparece el concepto de **POLARIDAD**, que sólo existe en el caso de corriente continua.

### 3.4.1. Diferentes nombres de los dos tipos de polaridad

Si se conecta el electrodo en el terminal negativo (ver figura 3.3) y la pieza a soldar en el positivo, se dirá que se está soldando con **polaridad directa** utilizándose inapropiadamente a veces la expresión polaridad negativa, también se puede decir que se suelda con corriente continua electrodo negativo, de forma abreviada CCEN, también se puede encontrar en alguna máquina de soldeo SP (Straight Polarity, polaridad directa en inglés) o DCSP (Direct Current Straight Polarity, corriente continua polaridad directa en inglés).

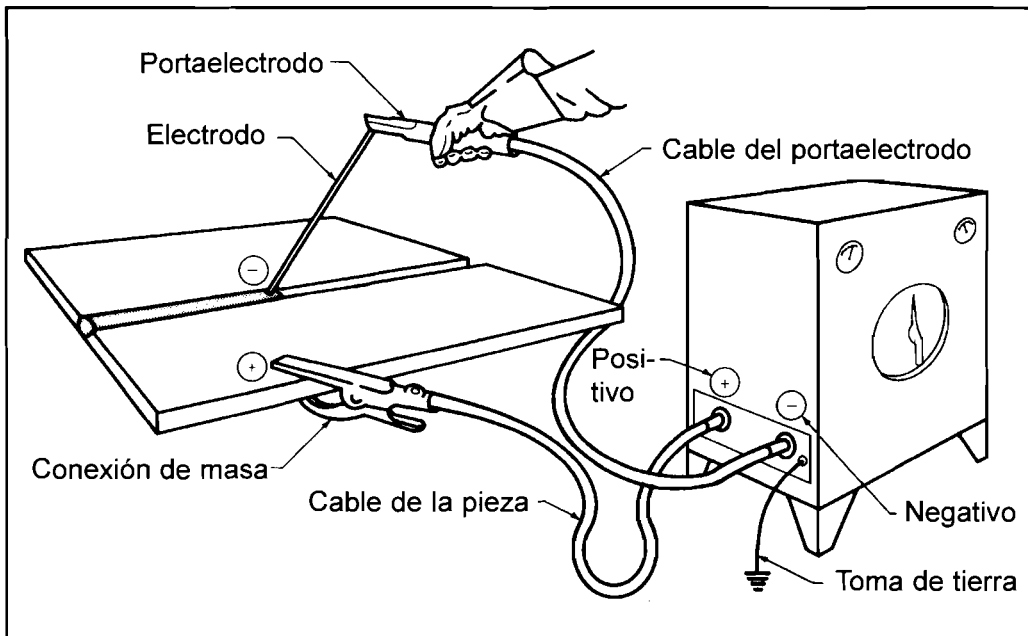


FIGURA 3.3: CORRIENTE CONTINUA ELECTRODO NEGATIVO (SOLDEO CON ELECTRODOS REVESTIDOS)

Si se conecta el electrodo al terminal positivo (ver figura 3.4) y la pieza a soldar en el negativo, se dirá que se está soldando con **polaridad inversa**, utilizándose inapropiadamente a veces la expresión polaridad positiva, también puede decirse que se suelda con corriente continua electrodo positivo, de forma abreviada CCEP, también puede expresarse como RP (Reverse Polarity, polaridad inversa en inglés) o DCRP (Direct Current Reverse Polarity, corriente continua polaridad inversa en inglés).

La elección de la polaridad dependerá, entre otros factores, del tipo de proceso de soldeo, del tipo de electrodo y del material base.

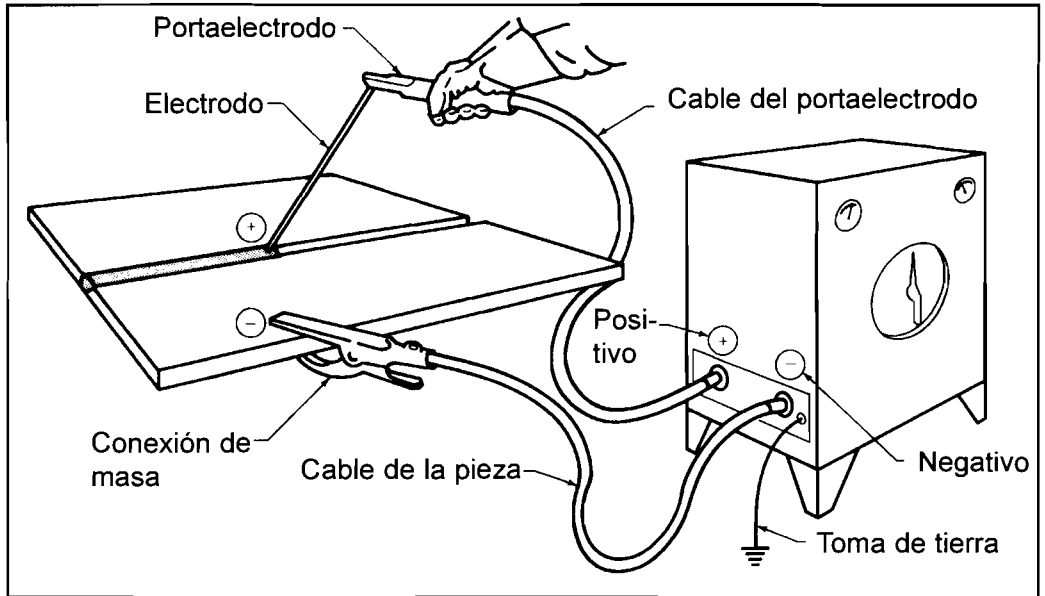


FIGURA 3.4: CORRIENTE CONTINUA ELECTRODO POSITIVO (SOLDEO CON ELECTRODOS REVESTIDOS)

### 3.4.2. Efectos de la polaridad

Se ha indicado que la zona que más se calienta es la zona anódica (la positiva). Por tanto cuando se suelda con polaridad inversa (CCEP) la energía del arco se concentra fundamentalmente sobre el electrodo y por tanto la zona más caliente es el electrodo.

También se ha señalado que los iones positivos al chocar con el cátodo producen la rotura de la capa de óxido facilitando su eliminación, por lo que en el caso del soldeo con polaridad inversa la pieza será decapada. Esta circunstancia es muy importante en el caso de las aleaciones de aluminio o de magnesio, porque estos materiales están recubiertos por unas capas de óxidos refractarios, es decir, de alto punto de fusión. Estas aleaciones se sueldan utilizando la polaridad inversa, ya que se facilita la eliminación de las capas refractarias y se hace posible su soldeo.

En resumen las características de la polaridad inversa (CCEP) con los electrodos revestidos son (ver figura 3.5):

- En general se obtienen cordones poco anchos, con mayor penetración.
- Excesiva acumulación de calor en el electrodo, que puede provocar su sobrecalentamiento y rápido deterioro incluso a bajas intensidades de corriente.

- Se produce el efecto de decapado o limpieza de óxidos, facilitándose el soldeo de algunas aleaciones como las de aluminio y magnesio.

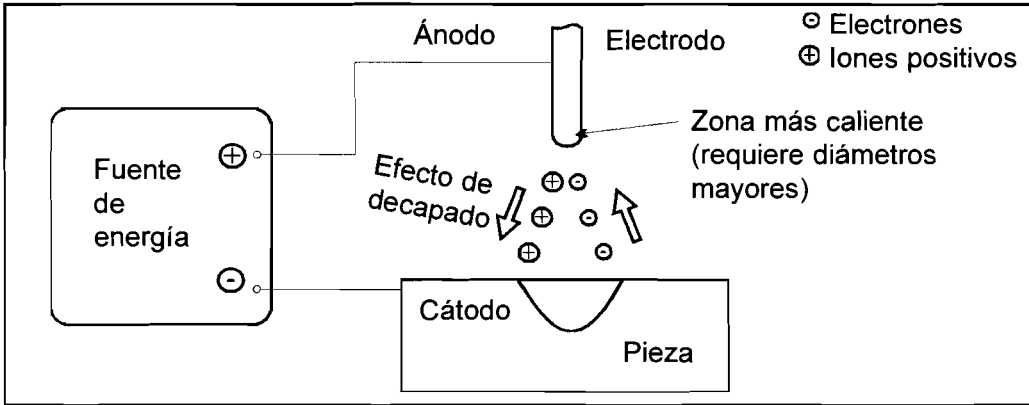


FIGURA 3.5: CARACTERÍSTICAS DE LA POLARIDAD INVERSA (CCEP) CON LOS ELECTRODOS REVESTIDOS

Si se conecta el electrodo en el negativo (CCEN) y las piezas a soldar en el positivo, serán las piezas las que se calientan más intensamente. Las características de la polaridad directa (CCEN) con los electrodos revestidos son (ver figura 3.6):

- En general se obtienen cordones más anchos con menor penetración.
- El electrodo soportará intensidades del orden de ocho veces mayores que si estuviese conectado al polo positivo, ya que se calienta menos.
- No se produce el efecto de decapado sobre las piezas, por lo que si se quisiera soldar aleaciones con capas refractarias deberían decaparse químicamente antes del soldeo.

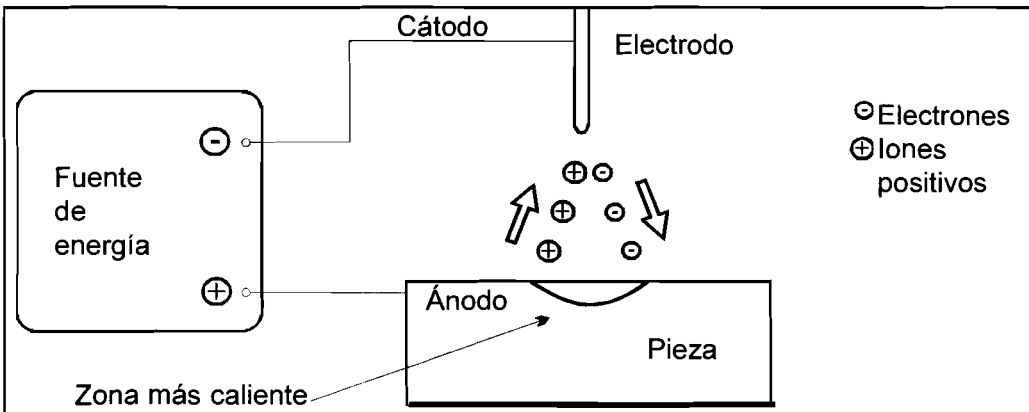


FIGURA 3.6: CARACTERÍSTICAS DE LA POLARIDAD DIRECTA (CCEN) CON LOS ELECTRODOS REVESTIDOS



### 3.4.3. Efectos de la corriente alterna

Cuando se establece un arco en corriente alterna, el electrodo actúa de ánodo durante medio ciclo y de cátodo durante el otro medio ciclo (ver figura 3.7), es decir se está produciendo alternativamente un ciclo en el que el electrodo actúa de positivo y de negativo; este cambio, en Europa, se produce 100 veces por segundo y por tanto es imperceptible<sup>1</sup>.

Debido a este cambio continuo, el soldeo en corriente alterna aúna, aunque de forma reducida, los efectos de las dos polaridades en la corriente continua.

Sin embargo, no siempre es fácil mantener un arco eléctrico en corriente alterna, ya que la tensión que suministra la fuente de energía está continuamente variando y llegando incluso a anularse. Para poder mantener el arco eléctrico encendido es necesario que la tensión sea mayor de un cierto valor ( $U_i$  en la figura 3.7), siempre que la tensión no alcance ese valor el arco se extinguirá, pudiéndose volver a encender si al superar la tensión  $U_i$ , el cátodo no se ha enfriado demasiado.

Considerando lo anterior se concluye que el arco en corriente alterna es más inestable que en corriente continua.

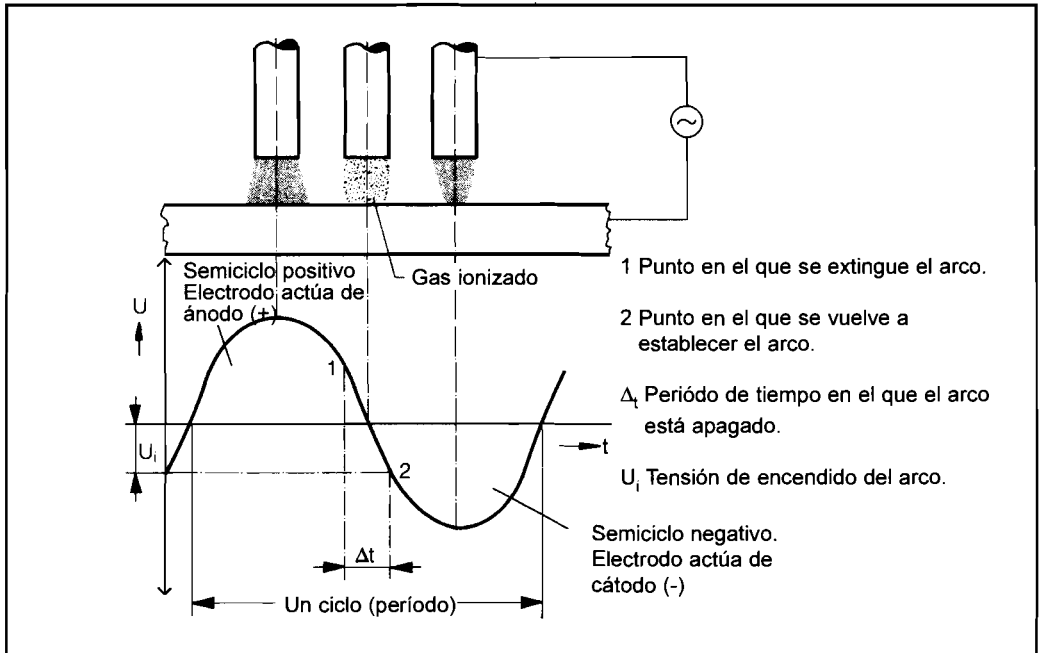


FIGURA 3.7: EFECTO DE LA CORRIENTE ALTERNA EN EL ARCO ELÉCTRICO

1. Recuerdese que la frecuencia de la corriente alterna de la red es de 50 Hz en Europa (ver capítulo 2)

### 3.5. Soplo Magnético

Se ha indicado (ver apartado 2.11) que siempre que la corriente eléctrica circula por un conductor se produce un campo magnético circular alrededor del mismo (figura 2.12); cuando se suelda existirá un campo magnético (que se representará mediante líneas de fuerza) alrededor del camino que lleve la corriente eléctrica, es decir, desde el punto de contacto del electrodo con la pinza o la boquilla, pasando por el arco eléctrico y por la pieza a soldar hasta llegar a la conexión de masa.

La existencia de un campo magnético alrededor del electrodo tiene otras repercusiones, además de favorecer la transferencia del metal de aportación. Una de las repercusiones más importantes es el soplo magnético.

El **soplo magnético** es la desviación del arco de soldeo producido por la distorsión del campo magnético existente alrededor del arco. Su efecto se suele presentar en los extremos de las piezas que se sueldan cuando éstas son ferromagnéticas, ver figura 3.8.

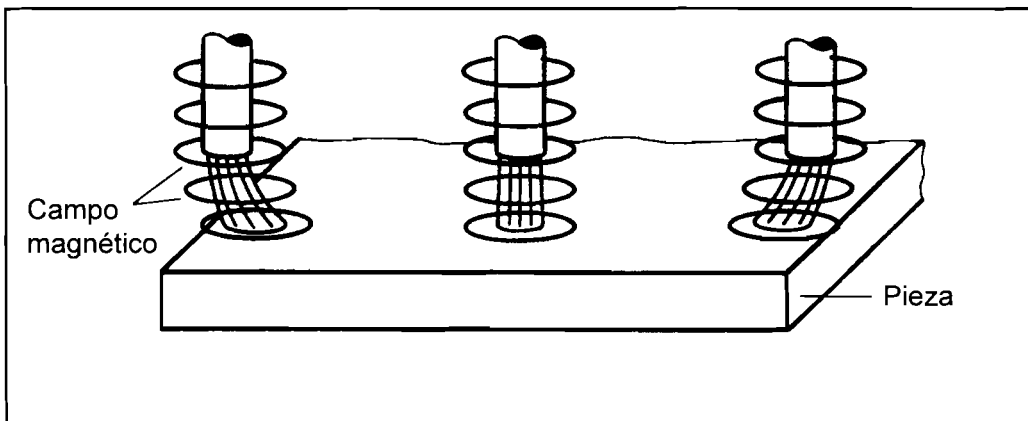


FIGURA 3.8: SOPLO MAGNÉTICO AL SOLDAR CERCA DE LOS EXTREMOS DE UNA PIEZA FERROMAGNÉTICA

En general, la distorsión del campo se suele producir como resultado de dos factores básicos:

- El cambio de dirección de la corriente al entrar en la pieza de metal base y dirigirse hacia la masa. Las líneas de fuerza están dibujadas como círculos que rodean la corriente, ya que son creadas por esta corriente. Ver figura 3.9.

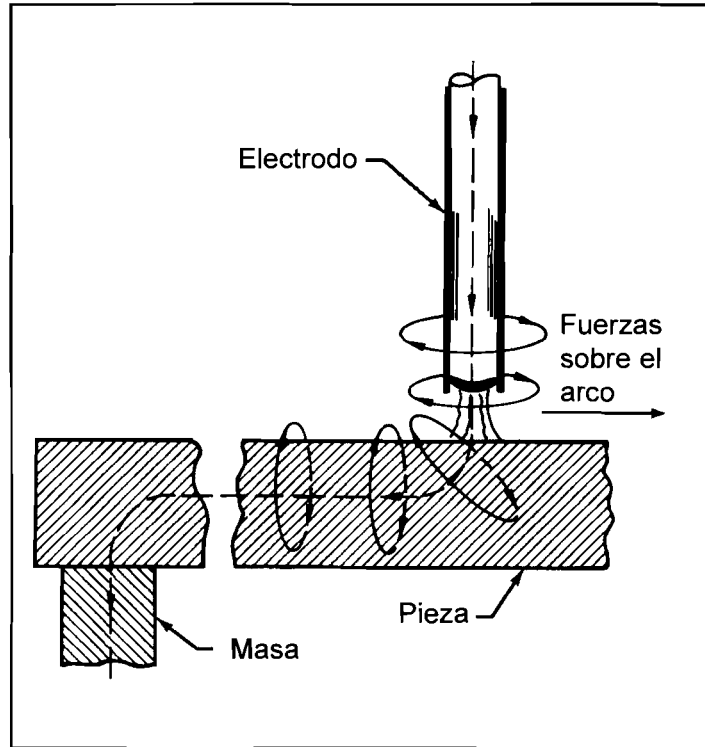


FIGURA 3.9: CAMBIO DE DIRECCIÓN DE LA CORRIENTE AL DIRIGIRSE HACIA LA CONEXIÓN DE MASA Y DISTORSIÓN DEL CAMPO MAGNÉTICO PROVOCADO POR ESTE CAMBIO

- Las líneas de fuerza del campo magnético existente, tienden a pasar por la pieza de metal base (sobre todo si ésta es ferromagnética) antes que por el aire, pues es más fácil para ellas ese camino. Por este motivo, las líneas de fuerza se juntarán en las proximidades de los bordes de la chapa. Ver figura 3.10.

Tanto en un caso como en otro, las líneas de fuerza se juntan en una determinada zona; en la figura 3.9 se juntan sobre la curva donde la corriente cambia de dirección y en la figura 3.10 se juntan en el borde de la chapa. Que las líneas de fuerza estén muy juntas, significa que el campo magnético en esa zona es mucho más fuerte que en la zona donde las líneas de fuerza están más separadas.

El arco va a estar sometido a una **fuerza**, debido a estas distorsiones en el campo magnético. Esta fuerza va a tender siempre a **dirigir** el arco hacia el camino más fácil, es decir, hacia donde el campo magnético sea menos fuerte. Esta fuerza es la que provoca la desviación del arco, es decir, es la causa del soplo magnético.

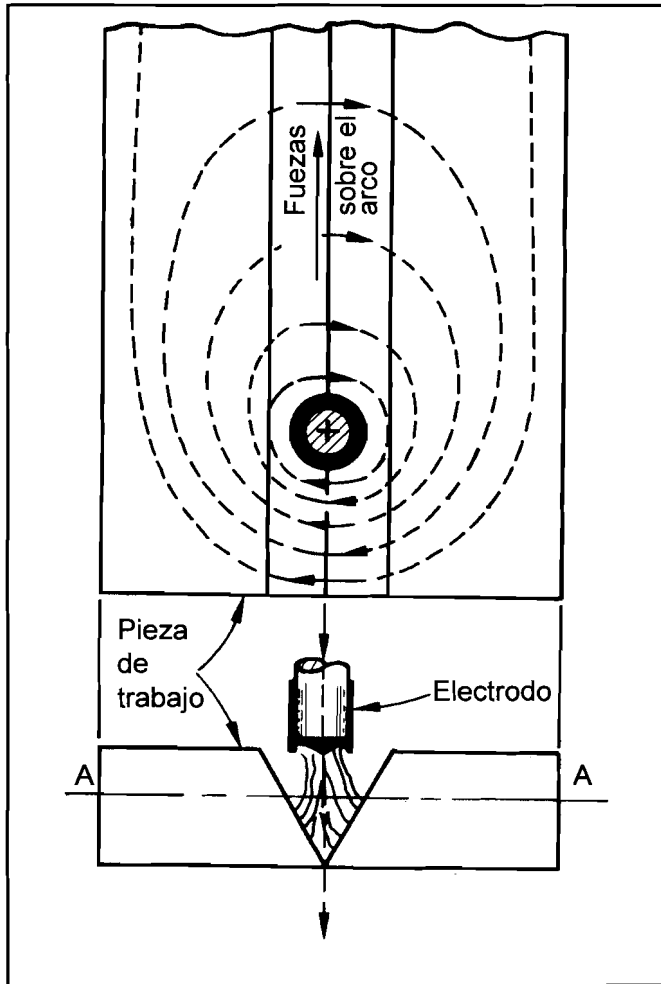


FIGURA 3.10: DISTRIBUCIÓN DE LAS LÍNEAS DE FUERZA EN LAS PROXIMIDADES DE UN EXTREMO DE LA CHAPA BASE

Las razones más comunes por las que se produce el soplo del arco son:

- Al soldar cerca de los extremos de las piezas (ver figura 3.8).
- Al soldar cerca de la conexión de masa (ver figura 3.11).
- Al soldar cerca de grandes piezas ferromagnéticas (ver figura 3.12).

Con **corriente alterna** no hay soplo magnético, porque se neutralizan los efectos magnéticos debido al continuo y rápido cambio de dirección de la corriente.

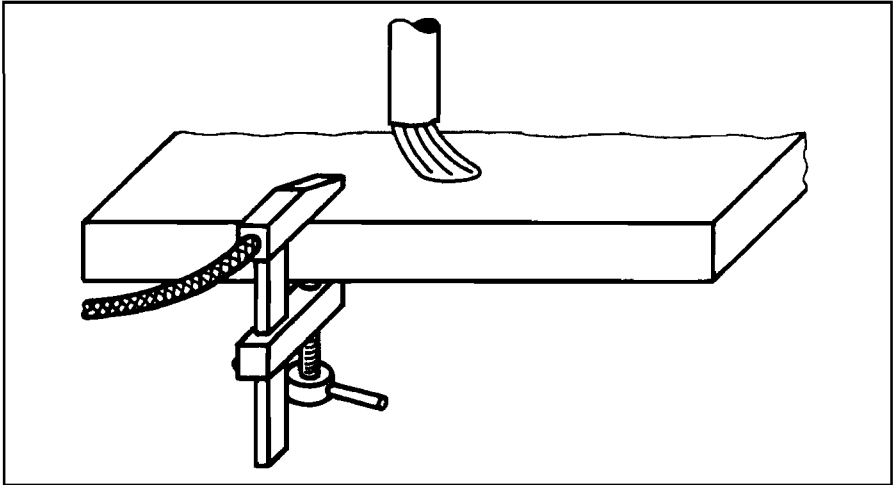


FIGURA 3.11: SOPLO MAGNÉTICO PRODUCIDO POR LA CONEXIÓN DE MASA

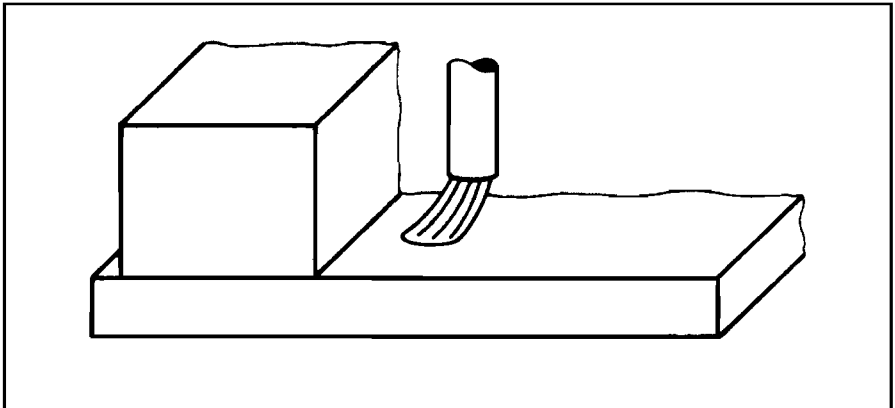


FIGURA 3.12: SOPLO MAGNÉTICO PRODUCIDO POR UNA PIEZA FERROMAGNÉTICA GRANDE PRÓXIMA A LA ZONA DE SOLDEO

En general, **para disminuir el soplo magnético** deberemos:

- Colocar la masa tan lejos como sea posible de las piezas que van a soldarse.
- Reducir la corriente de soldeo todo lo posible.
- Utilizar una longitud de arco corta.
- Posicionar el ángulo del electrodo en dirección opuesta al soplo magnético, de forma que la misma fuerza del arco lo contrarreste. Ver figura 3.13.

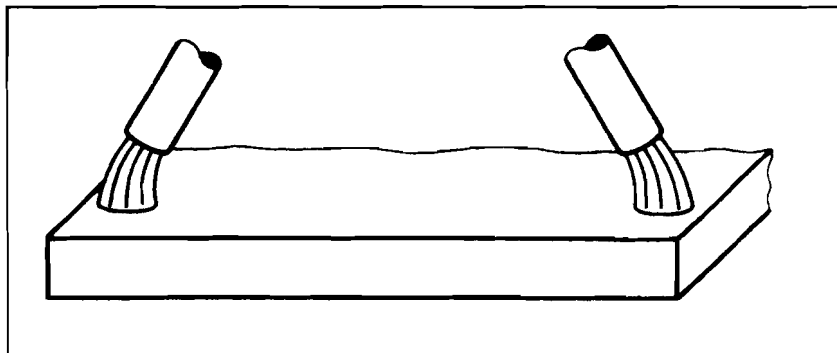


FIGURA 3.13: ELECCIÓN DEL ÁNGULO DE SOLDEO ADECUADO PARA DISMINUIR EL SOPLO MAGNÉTICO

- Emplear una secuencia de soldeo de paso de peregrino.
- Colocar apéndices en los extremos de la unión. (Figura 3.14)

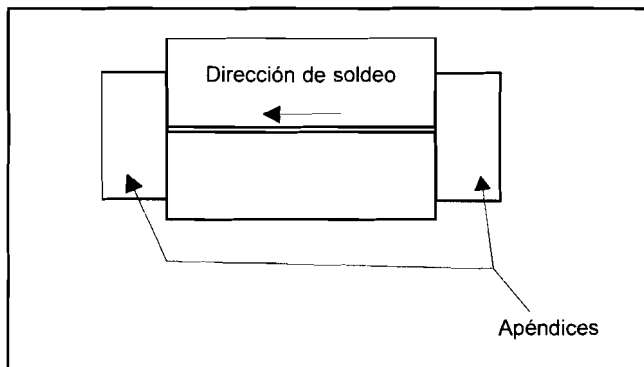


FIGURA 3.14: COLOCACIÓN DE APÉNDICES EN LOS EXTREMOS DE LAS CHAPAS PARA DISMINUIR EL SOPLO MAGNÉTICO

- Utilizar corriente alterna.

### 3.6. Característica del Arco

El arco eléctrico se puede considerar como un conductor gaseoso por tanto existirá una relación entre su intensidad de corriente y su diferencia de potencial, esta relación no es tan sencilla como la ley de Ohm (ver apartado 2.6). La relación existente entre el voltaje y la intensidad del arco se denomina “característica del arco” y se representa en la figura 3.15.

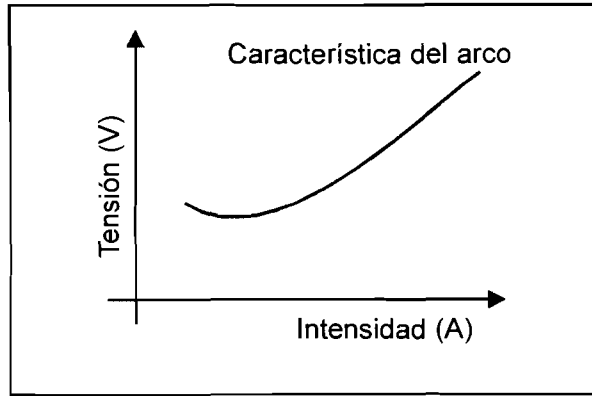


FIGURA 3.15: CURVA CARACTERÍSTICA DEL ARCO

La curva característica depende, entre otras cosas, del tamaño y naturaleza del cátodo y del ánodo, la naturaleza del gas de protección o del recubrimiento del electrodo y la longitud del arco.

En la figura 3.16, se puede ver las curvas para cuatro longitudes de arco diferentes. A partir de esta figura se observa que para una misma intensidad, la tensión aumenta con la longitud del arco.

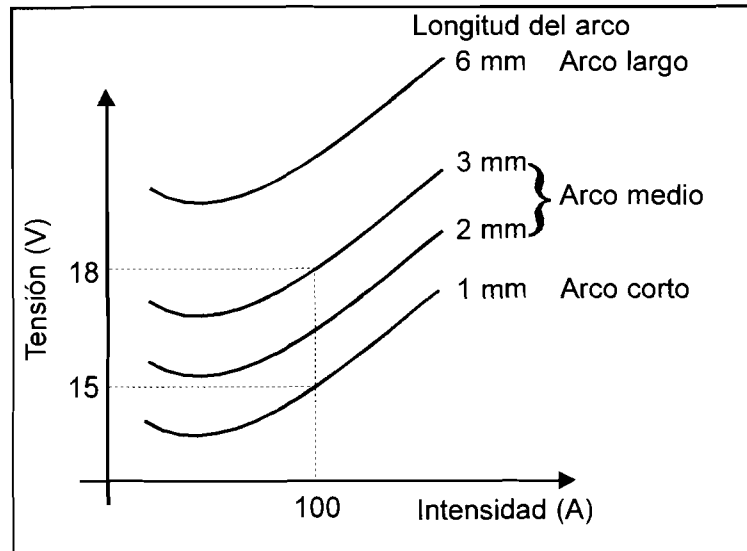


FIGURA 3.16: CARACTERÍSTICAS DEL ARCO PARA DIFERENTES LONGITUDES DE ARCO