

## FUNDAMENTOS ELÉCTRICOS DEL CORTE POR PLASMA

**Ing. Jorge Luis Portal Gallardo, PhD. Eneldo López Monteagudo, MSc. Arnaldo Valdés Carrazana**

*Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas  
Carretera a Camajuaní Km 5. Santa Clara. Villa Clara  
Tel: 53 01 42 281632, Fax: 53 01 42 281608  
e-mail: jlportal@fie.uclv.etcসা.সু*

**Abstract:** El objetivo principal de este trabajo consistió en realizar un análisis del suministro de energía y del comportamiento del arco de plasma en un equipo de corte con plasma, con vistas a confeccionar una metodología de diseño de una fuente para este propósito; así como un estudio del tema en cuestión, para de esta manera facilitar posteriores investigaciones relacionadas con este tema. Para ello se hace una exposición teórica sobre el corte por plasma y se hace una descripción de los distintos tipos de arcos de plasma empleados en estos equipos, así como un análisis de las fuentes de energía más usadas para este fin.

**Keywords:** Soldadura eléctrica, Plasma, Soldadura por plasma.

### 1. INTRODUCCIÓN

El origen del corte por arco de plasma data del 1909 cuando el Alemán Schonherr creó un dispositivo con vértice de gas estabilizado. En esta unidad el gas se soplaba tangencialmente dentro de un tubo a través del cual pasaba el arco, la fuerza centrífuga del gas estabilizaba el arco a lo largo del eje del tubo mediante la creación de un núcleo de baja presión axial. Podían producirse arcos de varios metros de largo.

En el año 1922 encontramos un nuevo intento de construcción de un equipo como tal para el corte por plasma cuando Gerdien y Lots, siguiendo las ideas anteriores, construyeron un dispositivo donde el agua entraba tangencialmente al tubo, el arco pasaba a través de este y el agua lo concentraba aumentando su temperatura, este dispositivo no tubo aplicación en la práctica debido al rápido consumo de electrodos y al vapor de agua

generado, pero fue el padre de los equipos actuales. No es hasta los años 50 cuando el método de corte por plasma surge como tal, para el corte de láminas y chapas de acero.

Uno de los descubrimientos que más contribuyó al desarrollo actual del método lo aportó en 1953 Gotc, quien observó la similitud entre un arco eléctrico largo y una llama de gas ordinario. Sus esfuerzos por controlar el calor y la intensidad del arco lo llevaron al desarrollo de una antorcha para el arco por plasma que fue la base de la usada en la actualidad.

Con el desarrollo del método se obtienen velocidades de corte muy elevadas, sobre todo en materiales de poco espesor. Con el desarrollo de la electrónica y la técnica se ha logrado disminuir el costo de inversión de estos equipos lo cual era una de sus principales limitaciones. En la actualidad existen equipos pequeños en el mercado, simples y

económicos los cuales convierten el corte por plasma en una alternativa viable al oxicorte. No obstante ser en la actualidad más baratos estos equipos, todavía su costo resulta un poco caro para la obtención, por parte de nuestras empresas, de estos productos. Es por eso que surge este trabajo, como parte de un proyecto abarcador que pretende disminuir aun más el costo de inversión de estos equipos para de esta forma ser adquiridos por nuestras empresas.

## 2. DESARROLLO

Un plasma no es más que un gas completa o parcialmente ionizado y por ello eléctricamente conductor; está constituido por moléculas, átomos, iones positivos y electrones negativos. Para ionizar el gas existen diversidad de formas, se puede realizar por calor, por radiación o por bombardeo de electrones. En el caso del equipo de corte por plasma esta se efectúa a través de un arco eléctrico que calienta el gas y lo convierte en apto para el proceso de corte, durante el trabajo se debe garantizar que el gas ionizado se mantenga estable asegurándole un suministro de energía continuo, por último podemos concluir que la temperatura tiene una importancia capital en la ionización del gas de plasma.

Este tipo de corte es un proceso de fusión a diferencia del oxicorte que es un proceso de combustión. En el corte por plasma se usa un chorro de gas para fundir y expulsar el material del área de trabajo. Durante el proceso se quema un arco eléctrico entre un electrodo(cátodo) y una pieza de trabajo (ánodo). La punta del electrodo va dentro de una boquilla de gas refrigerada por agua (o por aire) en el soplete, el gas plasmogeno pasa por la boquilla y tanto el arco como éste son forzados a través de una constricción en la punta de esta, al calentarse e ionizarse el gas el chorro de plasma concentrado que se forma alcanza entonces una temperatura de unos aproximadamente 30000 grados Celsius y una velocidad muy alta. Cuando incide en la pieza de trabajo tiene lugar una recombinación (el gas vuelve a su estado normal) y se produce calor, el material se funde y es expulsado del corte por el flujo gaseoso. En el proceso convencional se utiliza principalmente el arco transferido, o sea, entre la boquilla y la pieza de trabajo. Este no es el único tipo de arco que podemos encontrar ya que también puede usarse el arco no transferido del cual hablaremos en posteriores secciones.

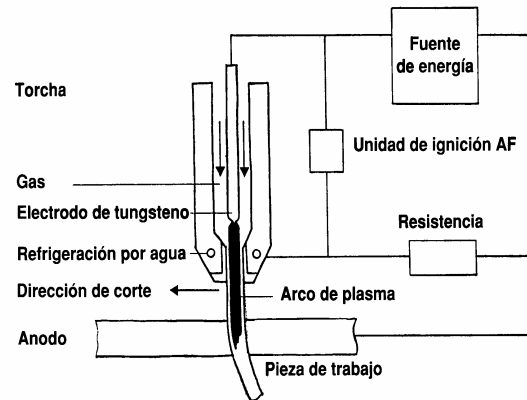


Fig. 1. Unidad de corte por plasma.

Para que comience el proceso de ionización del gas y se establezca el arco eléctrico se hace necesario, inicialmente la presencia del llamado arco piloto que se establece entre el electrodo y la boquilla. El arco piloto calienta el gas y lo ioniza facilitando el establecimiento del arco principal, que como tiene una resistencia eléctrica inferior a la del arco piloto, automáticamente al establecerse lo apaga. En principio se cortan con plasma todos los materiales eléctricamente conductores, incluso los materiales no conductores con un arco no transferido, esto se debe a las altas velocidades de corte que puede garantizar y a que los equipos en la actualidad son mucho más simples y económicos. El corte por plasma se utiliza principalmente para espesores de metales de 2 a 15 milímetros pero puede ser efectivo hasta espesores de 200. El método se puede implementar tanto de forma manual como de forma mecanizada y puede realizarse en todas las posiciones.

El proceso de corte por plasma puede ser tanto manual como mecanizado. Un equipamiento completo para el trabajo manual puede constar de la antorcha, consola de control, fuente de energía, suministro de gas de orificio, fuente de enfriamiento y distintos accesorios como interruptores, medidores de temperatura y control a distancia. Para el corte mecanizado la máquina suele tener prácticamente los mismos elementos, solo que debe estar diseñada para una más alta velocidad de corte. El proceso con arco de plasma es muy utilizado en la fabricación, en la aeronáutica y en la industria nuclear, este permite un más amplio proceso de fabricación y una mejora económica, mientras que mantiene la calidad y confiabilidad en el corte. Todos los metales que se cortan con los métodos normales pueden ser cortados con este método.

La ventaja de este tipo de proceso es que se dispone de un arco estable y controlable para corrientes bajas de 0.1 a 50 A. Mediante el uso del arco piloto, el inicio del arco transferido es mucho más confiable a estos niveles que en el proceso normal.

### 2.1 Suministro de energía

Como mencionamos anteriormente es de mucha importancia lograr la estabilidad a través de un suministro de energía continuo. En la mayoría de los casos, la fuente de energía tiene una curva característica de descenso muy empinada, esto significa que los cambios de tensión tienen muy poco efecto en la corriente de corte. La tensión del arco se ve afectada por la velocidad de corte, la distancia de la boquilla a la pieza de trabajo y el espesor del metal de la pieza.

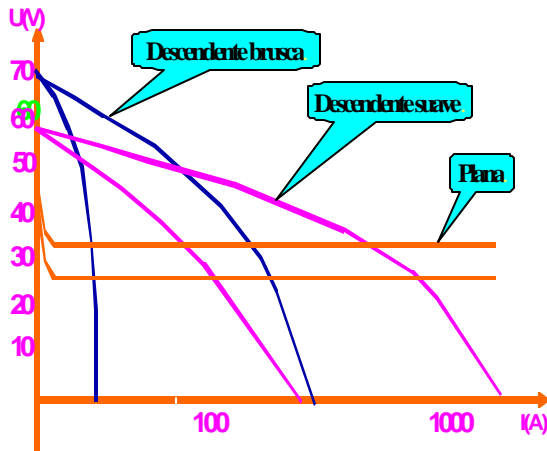


Fig. 2. Características V-A de las fuentes.

Normalmente la capacidad en amperaje de la fuente puede variar de 0.1-400 amperes y la configuración usada coincide con la usada en el corte común. La variación en la corriente de corte se encuentra en dependencia del tamaño del equipo. En el mercado existen equipos pequeños del tipo inversor de valor de corriente de 20 amperes. La tensión en circuito abierto es alta dado que la caída a través del arco se encuentra entre los 120-400 volts. Las unidades rectificadoras se prefieren por lo general a las de motor generador debido a las salidas de corrientes características.

Un rectificador con voltaje de circuito abierto dentro del rango de 65-80 volts se considera satisfactorio para el proceso con argón o con argón hidrogenado hasta el 7 %. Sin embargo si es helio o el argón hidrogenado contiene más del 7 % de hidrógeno se utilizan circuitos adicionales para una

ignición confiable del arco, por ejemplo conectando 2 fuentes de energía en serie.

Existe otro enfoque para lograr el arco: se empieza con argón puro y después se va variando hasta la mezcla de argón hidrogenado deseada. Las fuentes de energía de corriente continua pueden emplearse con distintas opciones tales como incremento programado de corriente o disminución programada de corriente, estas características se utilizan en diversas aplicaciones, especialmente en el corte automático.

### 2.2 El arco eléctrico

A continuación se muestran las diferentes partes del arco de plasma así como los fenómenos electrofísicos que ocurren en éste.

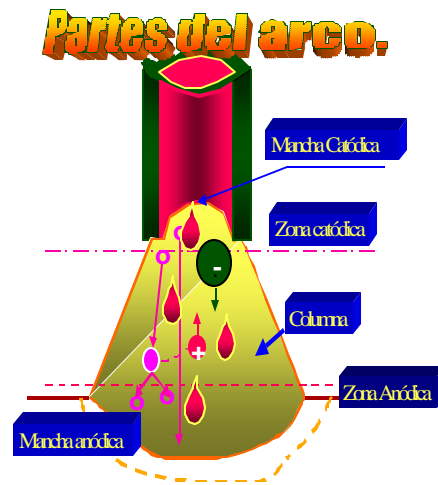


Fig. 3. Partes del arco plasma.

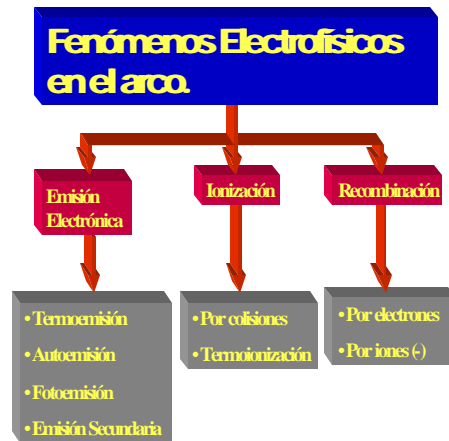


Fig. 4. Fenómenos electrofísicos que ocurren en el arco plasma.

La utilización del arco abierto puede mejorarse pasando el arco a través de un orificio, el avance más notable es la estabilidad en la dirección del chorro de plasma. Un arco convencional se descarga sobre la conexión de trabajo más cercana al suministro de energía y se defleca mediante campos magnéticos de baja potencia; mientras que un chorro de plasma uniforme tiende a ir en la dirección en que se apunte y es menos afectado por los campos magnéticos. Las altas densidades de energía que se producen a través de la constricción del arco se traducen en una alta densidad de temperatura en el arco de plasma, lo que revela que su principal ventaja no es la temperatura que se logra sino la estabilidad direccional y la focalización del arco de plasma, además de su relativa insensibilidad a las variaciones de la distancia de la antorcha a la superficie de trabajo.

El uso con efectividad del arco de energía suministrada, el grado de colimación del arco, su fuerza y su densidad de energía en la pieza de trabajo están en función de los siguientes factores:

- Corriente de plasma.
- Diámetro y forma del orificio.
- Tipo de gas utilizado.
- Razón de fluido del gas.
- Tipo de gas de pantalla.

Las diferencias fundamentales en el trabajo con metales aparecen mediante la relación de estos 5 factores, éstos se pueden ajustar para brindar energías térmicas muy altas o muy bajas. En el caso del corte se usa alta velocidad del chorro, un pequeño diámetro del orificio, una alta razón de fluido del gas y un gas que tenga una alta conductividad térmica.

### 2.3 Tipos de arco.

Existen dos tipos de arco:

- Arco transferido.
- Arco no transferido.

En el arco transferido el arco se transfiere de un electrodo a la pieza de trabajo que es parte del circuito eléctrico y el calor se obtiene del ánodo, situado en la pieza de trabajo, así como del chorro de plasma. Con el arco no transferido este se estabiliza y se mantiene entre el orificio de constricción y el electrodo, el arco se fuerza a pasar a través del orificio por el chorro de plasma, la pieza de trabajo no está en el circuito del arco y el

calor utilizado solo se obtiene del chorro de plasma. El arco transferido tiene la ventaja de transferir una mayor energía al trabajo.

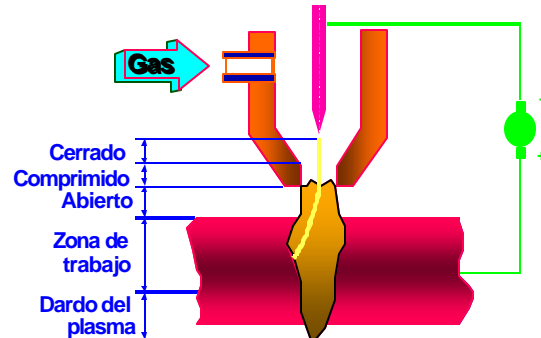


Fig. 5. Arco transferido.

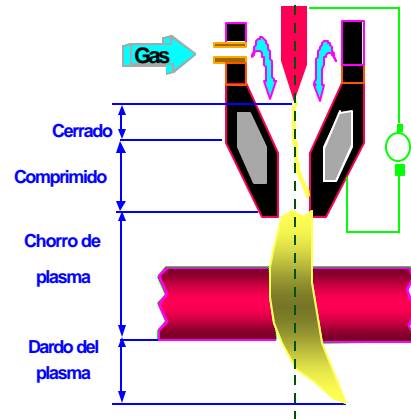


Fig. 6. Arco no transferido.

El arco no transferido puede ser utilizado en el corte y unión de piezas de trabajo no conductoras o para aplicar donde sean necesarias bajas concentraciones de energía. En el caso de la existencia de un insuficiente fluido a través del orificio o una corriente de arco demasiado alta para una determinada forma de boquilla o si esta llega a hacer contacto con la pieza de trabajo puede afectarse por el llamado fenómeno de doble arco. En este fenómeno la boquilla metálica de la antorcha forma parte del flujo de corriente del electrodo al suministro de energía y el calor generado afecta la boquilla. La naturaleza de la columna del arco de plasma constricto lo hace menos sensible a la variación de su longitud que en el proceso de arco común. Debido a que el arco no constricto tiene forma cónica el área de entrada de calor a la pieza varía cuadráticamente en relación con la longitud de éste, por lo que un pequeño cambio en la longitud del arco produce una variación considerable en la relación de

transformación de calor por unidad de área. Con el chorro de plasma cilíndrico, mientras que la longitud varíe dentro de parámetros aceptables, el área de entrada de calor a la pieza, la intensidad de ésta y el voltaje permanecen virtualmente constantes.

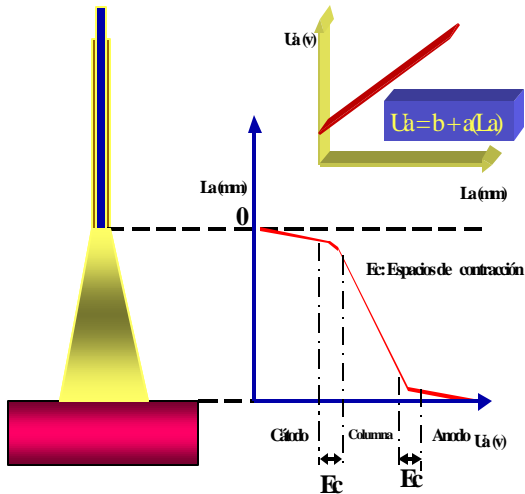


Fig. 7. Relación de la tensión y la longitud de arco.

#### 2.4 Arco piloto

Para iniciar el arco por plasma no pueden utilizarse las técnicas normales. Desde que el electrodo se coloca en la boquilla, este no puede hacer contacto con la pieza de trabajo; primeramente es necesario encender el arco piloto de baja corriente entre el electrodo y la boquilla, la energía de éste es suministrada mediante una fuente de energía unida a la consola de control o a través del suministro de energía de corte por sí mismo. Generalmente, el arco piloto se inicia con el uso de un generador de alta frecuencia de corriente alterna o mediante un pulso de alto voltaje de corriente directa, que se impone en el circuito de corte. Estos métodos ayudan a eliminar la grieta que se produce en el arco e ionizan el gas del orificio de modo que este pueda conducir la corriente del arco piloto.

La boquilla se conecta al terminal positivo de la fuente de energía a través de una resistencia limitadora de corriente, un arco piloto de baja corriente es iniciado entre el electrodo y la boquilla por el generador de alta frecuencia. El circuito se completa con el resistor, el gas ionizado produce un camino de baja resistencia entre el electrodo y la pieza. Cuando se energiza la fuente se inicia el arco principal, el arco piloto solo se usa para la iniciación de éste y una vez ocurrido el otro cesa inmediatamente.

#### 2.5 Dispositivos de seguridad

Las instalaciones donde existen equipos de corte por plasma deben estar dotadas de los siguientes dispositivos de seguridad:

- **Térmico:** Para evitar sobrecargas durante el corte.
- **Neumático:** Colocado en la alimentación de la antorcha para evitar que la presión del aire sea insuficiente
- **Eléctrico:**  
En caso de cortocircuito entre tobera y electrodo en fase de encendido del arco.  
En caso de cortocircuito en contactos del relé.  
Cuando el electrodo alcanza un estado de desgaste tal que hay que sustituirlo.

### 3. CONCLUSIONES

El corte por plasma se efectúa a través de un arco eléctrico que calienta el gas y lo convierte en plasma. En el arco eléctrico ocurren tres procesos electrofísicos que son: emisión electrónica, ionización y recombinación. Los electrones por tener menor masa que los iones, se mueven a mayor velocidad, siendo la corriente mayoritaria en el arco garantizada por los electrones. La existencia de iones negativos se debe fundamentalmente a la presencia de halógenos y oxígeno, cuyos átomos tienen gran afinidad hacia los electrones y provocan la desionización del arco.

La influencia particular de cada uno de los fenómenos electrofísicos presentes en el arco puede conocerse por separado mediante experimentos de laboratorio, pero como actúan un conjunto de factores se hace muy difícil su estudio sin el empleo de computadoras de registro y análisis de sus características. Para la construcción de una fuente para la soldadura o corte por Plasma se recomienda el empleo de inversores de potencia.

### REFERENCIAS

- [1]. American Welding Society (AWS). Welding Handbook. Eighth Edition. Volume 2. Welding Processes. 1991.
- [2]. Cary, Hobar B. Modern Welding Technological. Editorial Prentice Hall. New Jersey 1996.
- [3]. Muhammad, H. Rashid. Electrónica de Potencia. Circuitos, dispositivos y aplicaciones. 2da Edición. 1995.
- [4]. Burgos, J. L. Tecnología de Soldadura. Editorial Pueblo y Educación, La Habana, Cuba, 2002.