



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

“DISEÑO Y CONSTRUCCION DE HERRAMENTAL
PARA CORTE CON ARCO PLASMA”

T E S I S

Que para obtener el Título de
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA

(Area Mecánica)

p r e s e n t a
Juan Carlos Estanislao García

Director de Tesis: Ing. Ubaldo E. Márquez Amador



México, D. F.

280658

2000



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Agradecimientos:

Este trabajo desarrollado representa para mi uno de los logros más importantes en mi vida, por la forma en que se ha llevado a cabo y los obstáculos que uno como estudiante tiene que enfrentar al decidir estudiar y trabajar simultáneamente,

Quiero expresar mis más sinceros agradecimientos a mis padres por todo su apoyo brindado durante todo este tiempo, a mi director de tesis por haber depositado su confianza en mí a lo largo del desarrollo del proyecto así como los sinodales de los cuales conté con su apoyo y orientación, a mis compañeros de trabajo quienes siempre me impulsaron a seguir adelante en mi carrera profesional y muy especialmente a mi esposa y mis dos hijos, que fueron la razón principal que me impulsó a salir adelante.

CONTENIDO

	Página
Título	1
Objetivo	1
Temario	1
CAPITULO I: Introducción	2
1.1 Como obtener el plasma	3
CAPITULO II: Procesos de maquinado no convencional y procesos de corte térmicos	5
2.1 Introducción	6
2.1.1 Clasificación general de los procesos de corte	7
2.2 Procesos de energía mecánica	8
2.2.1 Maquinado ultrasónico	8
2.2.2 Corte con chorro de agua	11
2.2.3 Corte con chorro de agua abrasiva	12
2.2.4 Maquinado con chorro abrasivo	13
2.3 Procesos electroquímicos de maquinado	14
2.3.1 Maquinado electroquímico	14
2.3.2 Remoción electroquímica de virutas	15
2.3.3 Esmerilado electroquímico	16
2.4 Procesos de energía térmica	17
2.4.1 Procesos de maquinado por descarga eléctrica	18
2.4.1.1 Maquinado con haz de electrones	18
2.4.1.2 Corte por descarga eléctrica con alambre	22
2.4.2 Maquinado con haz de electrones	24
2.4.3 Maquinado con rayo láser	25
2.4.4 Procesos de corte con arco eléctrico	27
2.4.4.1 Corte con arco-plasma	27
2.4.4.2 Corte con electrodo de carbono y aire	29
2.4.4.3 Otros procesos de corte con arco	29
2.4.5 Procesos convencionales de corte térmico	30
2.4.5.1 Procesos de corte con oxígeno y gas combustible	30
2.5 Maquinado químico	31
2.5.1 Mecánica y química del maquinado químico	31
2.5.2 Procesos de maquinado químico	32
2.5.2.1 Fresado químico	32
2.5.2.2 Suajado químico	33

2.5.2.3 Grabado químico	34
2.5.2.4 Maquinado fotoquímico	35
2.6 Consideraciones para la aplicación de procesos de corte no Convencionales	36
2.6.1 Materiales de trabajo	36
2.7 Rendimiento de los procesos de corte no convencionales	38
CAPITULO III: Desarrollo del proceso de corte con arco-plasma	40
3.1 Introducción	41
3.2 Datos importantes de la tecnología del corte por arco-plasma	42
3.2.1 Desarrollo del proceso arco-plasma (1950)	43
3.2.1.1 Modo transferido y no transferido	46
3.2.1.2 Alterando las características de la inyección de plasma	46
3.2.2 Corte convencional con arco-plasma (1957)	47
3.2.3 Arco-plasma con doble flujo (1962)	48
3.2.3.1 Corte con arco plasma-aire (1963)	49
3.2.4 Capa de agua en el corte con arco-plasma (1965)	50
3.2.5 Inyección de agua en el corte con arco-plasma (1968)	51
3.2.6 Silenciador de agua y mesa de agua (1972)	54
3.2.7 Corte bajo el agua (1977)	55
3.2.7.1 Silenciador bajo el agua	56
3.2.8 Bajo amperaje en el corte con arco plasma-aire (1980)	56
3.2.9 Corte con arco plasma-oxígeno (1983)	57
3.2.10 Inyección de oxígeno en el corte con arco-plasma	58
3.2.11 Corte con arco-plasma en el fondo del agua (1989)	59
3.2.12 Alta densidad en corte con arco-plasma (1990)	59
3.3 Larga durabilidad en partes consumibles	60
CAPITULO IV: Accesorios y/o herramental del proceso de corte con arco-plasma.	61
4.1 Introducción	62
4.2 Tipo y encendido del gas plasma	62
4.3 Sistema de corte con arco-plasma	63
4.4 Componentes de un sistema de corte con arco-plasma	64
4.4.1 Antorcha para corte y sus componentes	65
4.4.1.1 Partes de la antorcha	66
4.4.1.2 Relación de los componentes de la antorcha	67
4.4.2 Fuente de poder de corriente eléctrica	67

4.4.3	Suministro de energía eléctrica	69
4.4.4	Transformador principal	70
4.4.5	Control del sistema	70
4.4.6	Núcleos saturables	70
4.4.7	Rectificador de poder	70
4.4.8	Comparador de salida	70
4.4.9	Sistema de enfriamiento	71
4.5	Accesorios para corte	71
4.5.1	Compás para cortes circulares	71
4.5.2	Guía para cortes rectos	72
4.6	Teoría de operación básica en un equipo de corte con arco-plasma	74
4.6.1	Sistema de corte con arco plasma-aire "Harris 65"	75
4.6.2	Operación general y características de rendimiento	75
4.6.3	Características de seguridad	75
CAPITULO V: Diseño y construcción de los accesorios		77
5.1	Finalidad y características principales para el diseño de un compás de corte.	78
5.1.1	Modelos para corte de perfiles circulares	79
5.1.1.1	Modelo No. 1	79
5.1.1.2	Relación de componentes y características generales de maquinado del modelo No. 1	80
5.1.2	Modelo No. 2	81
5.1.2.1	Relación de componentes y características generales de maquinado del modelo No. 2	82
5.1.3	Tabla de comparación entre los modelos 1 y 2	83
5.2	Accesorios para cortes rectos	85
5.2.1	Finalidad y características principales en el diseño de un accesorio para cortes rectos	85
5.2.1.1	Modelo No. 1	86
5.2.1.2	Relación de componentes y características generales de maquinado del modelo No. 1	88
5.2.2	Modelo No. 2	89
5.2.2.1	Relación de componentes y características generales de maquinado del modelo No. 2	93
5.2.3	Tabla de comparación entre los modelos 1 y 2	95

CAPITULO VI: Resultados y conclusiones	97
6.1 Resultados	97
6.2 Secuencia de un corte circular	98
6.3 Secuencia de un corte recto	100
6.4 Características generales del proceso de corte con arco-plasma	102
6.4.1 Máxima temperatura en velocidades de transferencia de calor	102
6.4.2 Comparación de velocidad de remoción	102
6.4.3 Comparación entre los diferentes sistemas de corte con arco-plasma	103
6.4.4 Relación de operación del equipo de corte con arco-plasma "Harris 65"	104
6.5 Conclusiones	106
 Bibliografía	 108

DISEÑO Y CONSTRUCCION DE HERRAMENTAL PARA CORTE CON ARCO-PLASMA.

Objetivo: Diseñar y construir accesorios para el equipo de corte con arco-plasma y hacer con estos accesorios más versátil dicho equipo, para lograr perfiles circulares y cortes rectos.

TEMARIO:

Capítulo I Introducción.

Capítulo II Maquinado no convencional y procesos de corte térmico

Capítulo III Desarrollo del proceso de corte con arco-plasma

Capítulo IV Accesorios y/o herramienta del proceso de corte con arco-plasma.

Capítulo V Diseño y construcción de los accesorios.

Capítulo VI Resultados y conclusiones.

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

Una de las operaciones más importantes en la industria es el corte de las placas y la preparación de sus bordes antes de conformarlas y soldarlas.

El corte de metales ferrosos y no ferrosos ha evolucionado enormemente con la introducción del sistema de corte con arco-plasma. Este nuevo método de corte de metales ha desplazado a los métodos tradicionales de corte con electrodo de carbono y de chorro de aire, de prensas hidráulicas, sierras de alta dureza, etc., e inclusive; en muchos casos de corte de aceros al carbono se prefiere el proceso de corte con arco-plasma sobre el sistema de oxí-gas, por las ventajas que ofrece (rapidez del corte, capacidad de cortar hasta 152.4 mm de espesor, calidad del acabado, etc.).

Con el sistema de corte con arco-plasma se pueden cortar metales ferrosos y no ferrosos, tales como el acero inoxidable, aluminio, níquel, monel, inconel, cobre, bronce, latón, manganeso, etc. No se requiere de precalentamiento, produce una zona muy pequeña afectada por el calor, dando como resultado una mínima distorsión del metal.

Los procesos de corte con arco cuentan con el calor del arco para fundir una trayectoria a través del metal y por lo tanto, son capaces de cortar metales ferrosos y no ferrosos. Como en la soldadura, el arco se establece entre un electrodo que forma una terminal de un circuito eléctrico y la pieza de trabajo que forma la otra terminal. Se emplean varios medios para hacer fluir el metal fundido a partir del corte. La selección del método depende del tipo de corte requerido.

¿Qué es el plasma?

Una breve descripción de lo que es el plasma es la siguiente: El plasma es un estado especial de la materia a muy altas temperaturas. En algunas investigaciones se descubrió que arriba de los 10 000 °C, todo se convierte en plasma, un tipo de gas Ionizado que ha sido considerado como el cuarto estado de la materia (los otros tres son el sólido, el líquido y el gaseoso). En cualquier material a altas temperaturas, la agitación térmica ioniza por completo los átomos. La agitación de las moléculas y de los átomos aumenta con el calor y cuando los choques entre estas partículas son lo suficientemente energéticos, los átomos pierden electrones.

A temperaturas de 100 000 ò 200 000 °C los átomos están separados en núcleos y electrones mezclados sin orden y agitados violentamente.

En la industria se le da el nombre de plasma a gases no totalmente Ionizados cuya temperatura no pasa en general de 20 000 °C.

1.1 COMO OBTENER EL PLASMA

Para hacer que un gas pase al estado de plasma hay que desprenderle a sus átomos una parte de sus electrones y transformar dichos átomos en Iones. El proceso de desprendimiento de electrones del átomo se llama Ionización.

Tanto en la naturaleza como en el campo físico, la Ionización se puede producir por varios métodos, los más importantes son:

- a) La Ionización por calor.
- b) La Ionización por irradiación.
- c) La Ionización por descarga eléctrica

Una sustancia cualquiera se Ioniza si se calienta hasta una temperatura suficientemente elevada. Esto es lo que se llama Ionización térmica, la temperatura necesaria para esta Ionización será tanto más baja cuanto más débil sea la unión de los electrones, es decir, cuanto menor sea la energía de Ionización del átomo o de la molécula.

El paso de un gas al estado de plasma está relacionado con varios procesos de interacción entre las partículas, estos se producen al chocar las partículas entre sí o por sus interacciones con una radiación. En primer lugar debemos colocar el proceso de Ionización, es decir, la separación de un electrón de un átomo o de una molécula.

Sin la Ionización no se puede conseguir el plasma, la Ionización se produce en lo fundamental de dos maneras; en el plasma denso por el choque de electrones y en el plasma muy enrarecido por el efecto de una radiación (luz, rayos ultravioleta o "x"). En principio también es posible la Ionización por el choque de los átomos entre sí o con los Iones, pero para esto se necesita una energía mucho mayor.

El corte con arco-plasma emplea el equipo para servicio pesado que se necesita para lograr un chorro delgado y caliente, capaz de fundir rápidamente una ranura angosta, como la de una sierra, en cualquier metal y hacer fluir hacia afuera lo fundido. En este proceso, un electrodo de tungsteno (cátodo) está centrado en una boquilla tubular, enfriada por agua, restringida en la punta para formar un pasaje angosto de un diámetro aproximado de 3.1 mm (1/8") o de diámetros más pequeños, se introduce gas dentro de la boquilla, donde fluye más allá del electrodo, a través del pasaje restringido y se dirige al punto que se va a cortar en la pieza de trabajo. Este punto forma el ánodo del circuito cuando se emplea un arco transferido.

Es necesario que el usuario de la energía de alto voltaje tenga precauciones de seguridad para protegerse de la radiación ultravioleta y de los humos.

Con lo que respecta al trabajo que se va a desarrollar físicamente, es por la necesidad que existe (en el Laboratorio de Corte de Materiales por medio de procesos no convencionales de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México), de realizar cortes con perfiles circulares y rectos en materiales como lo son: Aceros, Aluminio, Fierro, Cobre, etc.

A pesar de que el proceso de corte con arco-plasma tiene sus inicios a fines de la década de los 1940 (y se ha ido desarrollando en forma continua hasta nuestros días), en México este proceso de corte no ha tenido el desarrollo que debería de tener cualquier proceso de corte de materiales tan versátil y fácil de usar como lo es el proceso de corte con arco-plasma. Esto se debe principalmente a que su precio inicial de adquisición es bastante elevado, otra causa y tal vez la más importante es que no existe la información que debería haber sobre este proceso para que el sector industrial pueda tener una idea firme de las ventajas de este proceso de corte sobre los demás y así, dar oportunidad a este proceso de adentrarse más en la competencia que existe en el mercado.

Por último, se pretende diseñar y construir el herramental requerido para facilitar los cortes circulares y rectos en los materiales antes mencionados.

CAPITULO II

PROCESOS DE MAQUINADO NO CONVENCIONAL Y PROCESOS DE CORTE TÉRMICO.

Objetivo: Conocer las características generales de los procesos de maquinado no convencionales y los procesos de corte térmico, así como su clasificación, según el modo de operación.

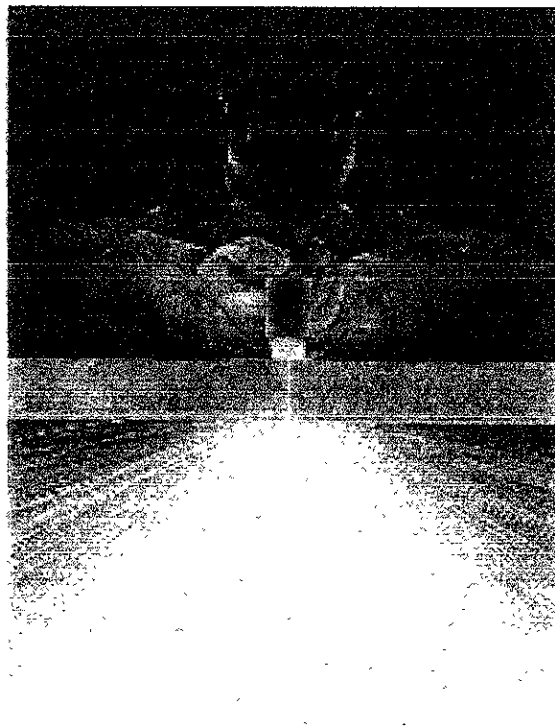


Fig. 1 Corte con Arco-Plasma

2.1 Introducción

Cuando hablamos de procesos de corte no convencionales nos referimos al proceso en el cual se remueve el exceso de material mediante diversas técnicas, que incluyen la energía mecánica, térmica, eléctrica o química (o combinación entre ellas). Estos procesos de corte no usan un instrumento afilado de corte en el sentido convencional.

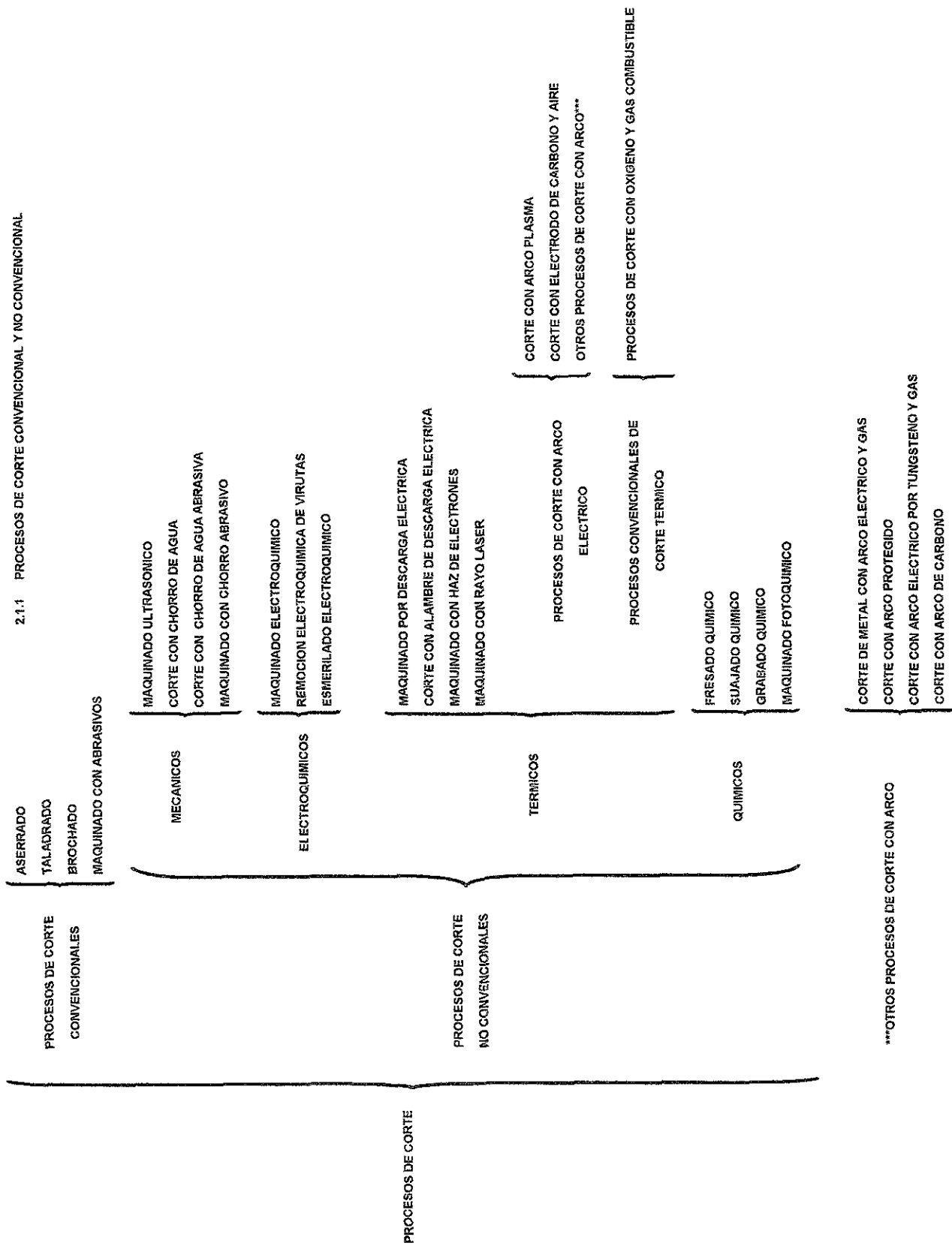
Los procesos de maquinado convencionales (por ejemplo, el torneado, el taladrado y el fresado) usan una herramienta de corte afilada para la formación de viruta en una pieza de trabajo, mediante la deformación realizada por una fuerza cortante.

Además de estos métodos convencionales, hay un conjunto de procesos que usan otros mecanismos para remover materiales. El termino “maquinado no convencional” se refiere a este grupo de procesos, los cuales remueven el exceso de material mediante diversas técnicas que incluyen la energía mecánica, térmica, electroquímica o química (o combinación de ellas). Estos procesos no usan un instrumento afilado de corte en el sentido convencional.

Desde la segunda guerra mundial se han desarrollado procesos no convencionales, como respuesta a los requerimientos nuevos y singulares que no pueden cumplirse mediante métodos convencionales. Estos requerimientos y la importancia comercial tecnológica de los procesos no convencionales incluyen los siguientes:

- a) La necesidad de maquinar metales y no metales recién desarrollados. Estos materiales nuevos con frecuencia tienen propiedades especiales (por ejemplo; alta resistencia, tenacidad dureza), lo cual dificulta o imposibilita maquinarlos mediante métodos convencionales.
- b) La necesidad de realizar geometrías de partes singulares o complejas que no se obtienen con facilidad y que, en algunos casos, son imposibles de preparar mediante el maquinado convencional.
- c) La necesidad de evitar daños externos en una parte, lo cual sucede frecuentemente por las tensiones que surgen por el maquinado convencional

A continuación se muestra una clasificación general de los procesos de corte convencionales y no convencionales para un mejor entendimiento de los mismos.



CUADRO No. 1: CLASIFICACION GENERAL DE LOS PROCESOS DE CORTE.

Algunos de estos requerimientos están asociados con las industrias de la aeronáutica, el espacio y la electrónica, las cuales se han desarrollado en forma significativa durante las cuatro décadas pasadas.

Los procesos no convencionales se clasifican de acuerdo con la forma principal de energía que usan para remover materiales. En esta clasificación hay cuatro tipos:

2.2 Mecánicos: En estos procesos no convencionales se usa energía mecánica en alguna forma diferente a la acción de una herramienta de corte Convencional. La forma común de acción mecánica en los procesos es el trabajo mediante una corriente de alta velocidad de abrasivos o fluidos (o ambos).

2.3 Electroquímicos: Estos procesos no convencionales usan energía electroquímica para remover material.

2.4 Térmicos: Estos procesos usan energía térmica para cortar o dar forma a una parte del trabajo. En general se aplica energía térmica a una parte muy pequeña de la superficie de trabajo, provocando que esa parte se remueva por fusión o vaporización del material. La energía térmica se genera mediante la conversión de energía eléctrica.

2.5 Químicos: La mayoría de los materiales (en particular los metales) son susceptibles de ataques químicos por medio de ciertos ácidos y otras sustancias. En el maquinado químico, las sustancias seleccionadas remueven el material de algunas áreas de las partes, mientras que otras zonas de la superficie se protegen con una mascarilla.

2.2 PROCESOS DE ENERGÍA MECÁNICA

2.2.1 Maquinado ultrasónico

2.2.2 Corte con chorro de agua

2.2.3 Corte con chorro de agua abrasiva

2.2.4 Maquinado con chorro abrasivo.

2.2.1 MAQUINADO ULTRASÓNICO

El maquinado ultrasónico MU (Ultrasonic Machining; USM), es un proceso de maquinado no convencional en el cual se dirigen a alta velocidad

abrasivos contenidos en una pasta fluida sobre un trabajo, mediante una herramienta vibratoria en amplitud baja, de alrededor de 0.076 mm y en una alta frecuencia de aproximadamente 20 000 Hz. La herramienta oscila en una dirección perpendicular a la superficie de trabajo y se alimenta lentamente para que la parte adopte la forma deseada. Sin embargo, lo que ejecuta el corte es la acción de los abrasivos, chocando contra la superficie de trabajo. El arreglo general del proceso lo representamos en la figura No. 2

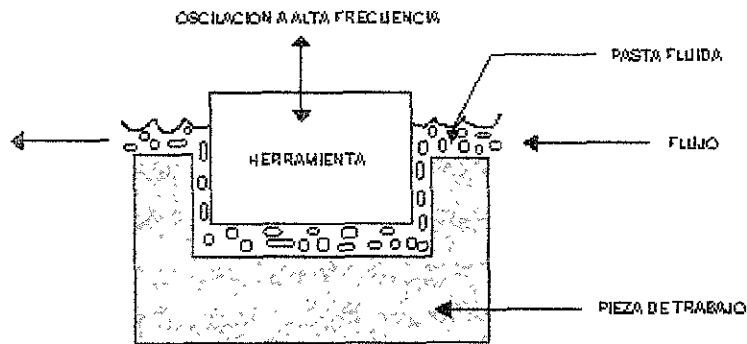


Figura No. 2 Maquinado Ultrasónico (USM)

Los materiales comunes que se usan en el USM incluyen el acero suave y el acero inoxidable. Los materiales abrasivos incluyen el nitrato de boro, el carburo de boro, el óxido de aluminio, el carburo de silicio y el diamante. El tamaño de las partículas del abrasivo varía entre 100* y 2000* mallas.

* Un abrasivo se puede definir como un sólido dividido en partículas finas. La geometría de los polvos individuales se puede definir mediante las siguientes formas:

- 1- Tamaño de las partículas y su distribución
- 2- Forma y estructura interna de las partículas.
- 3- Área superficial.

En este caso nos vamos a referir al tamaño de las partículas y su distribución; el tamaño de las partículas se refiere a las dimensiones de los polvos individuales. Si la forma de la partícula es esférica, una sola dimensión es adecuada. Para otras formas, se necesitan dos o más dimensiones. Se dispone de varios métodos para obtener datos sobre el tamaño de las partículas. El método más común, usa cribas de diferentes tamaños de malla, se usa el término número de malla para referirse al número de aberturas por pulgada lineal de la criba. Un número de malla 200 significa que hay 200 aberturas por pulgada lineal. Como la malla es cuadrada, la cuenta es la misma en ambas direcciones y el número total de aberturas por pulg² es $200 \times 200 = 40,000$. En consecuencia, un número alto de malla indica menor tamaño de la partícula.

Las partículas se separan mediante el paso a través de una serie de cribas de tamaños progresivamente menores de malla. Los polvos se colocan sobre una criba de un cierto número de malla y ésta, se hace vibrar para que las partículas pequeñas que caben en las aberturas caigan a la siguiente criba, la segunda criba se vacía en la tercera y así sucesivamente, de manera que las partículas se seleccionen de acuerdo a su tamaño. Se puede designar a un cierto tamaño de polvo 230 x 200, indicando que los polvos han pasado por la malla 200, pero no por la 230. Para simplificar la especificación, decimos que el tamaño de la partícula es 200. El procedimiento para seleccionar los polvos por su tamaño se llama clasificación. *

La amplitud de vibración debe establecerse aproximadamente igual al tamaño del abrasivo y el tamaño del boquete debe mantenerse alrededor del doble del tamaño del abrasivo. En un grado significativo, el tamaño del abrasivo determina el acabado externo en la nueva pieza de trabajo. Además del acabado externo, la velocidad de remoción de materiales es una importante variable de rendimiento en el maquinado ultrasónico.

La acción de corte en el USM, afecta, tanto a la herramienta como a la pieza de trabajo, conforme las partículas abrasivas erosionan la superficie de esta. También desgastan la herramienta y afectan su forma. Por tanto, es importante conocer los volúmenes relativos que se remueven del material de trabajo y de la herramienta durante el proceso, así como la velocidad de esmerilado. Esta razón de materia prima removida por desgaste de la herramienta varía para diferentes materiales de trabajo, en proporciones que van de 100:1 para cortar vidrio, hasta 1:1 para cortar acero de herramientas.

La pasta fluida en el USM consiste en una mezcla de agua y partículas abrasivas. La concentración de abrasivos en el agua varía del 20 al 60 % la pasta debe circular en forma continua para que entren en acción los granos frescos en la abertura entre la herramienta y la pieza de trabajo, también sirve para retirar las virutas y los restos de los abrasivos producidos por el proceso de corte.

El maquinado ultrasónico se desarrolló por la necesidad de maquinar materiales de trabajo duros y frágiles, tales como la cerámica, el vidrio y los carburos. También se usa con éxito sobre ciertos materiales, tales como el acero inoxidable y el titanio. Las formas que se obtienen mediante el USM incluyen orificios no redondeados, orificios a lo largo de un eje curvo y operaciones de acuñado, en las cuales se difunde un patrón de imágenes en la herramienta para una superficie de trabajo plana.

2.2.2 CORTE CON CHORRO DE AGUA

El corte con chorro de agua (Water Jet Cutting; WJC) usa una corriente fina de agua a alta presión y velocidad dirigida hacia la superficie de trabajo para producir un corte, como se muestra en la figura No. 3

También se emplea el nombre “maquinado hidrodinámico” para este proceso, pero el corte por chorro de agua es el término de uso más frecuente en la industria.

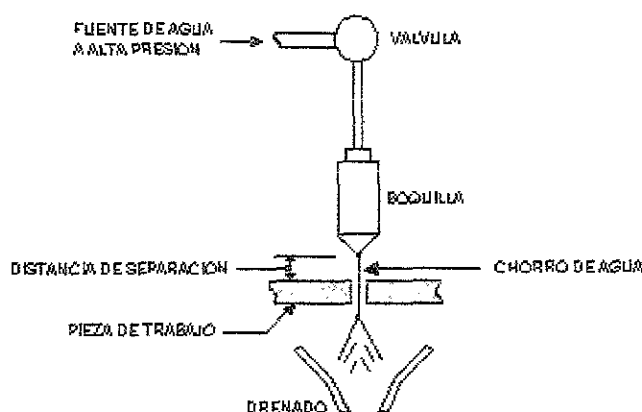


Figura No 3 Corte con Chorro de Agua (WJC)

Para obtener una fina corriente de agua, se usa una pequeña abertura de boquilla de un diámetro de 0.1 a 0.4 mm. A fin de que la corriente tenga la energía suficiente, para cortar se usan presiones hasta de 400 MPa. y el chorro alcanza velocidades hasta de 900 m/s. Una bomba hidráulica presuriza el fluido al nivel deseado. La unidad de boquilla consiste en un soporte y una boquilla de joya. El soporte esta hecho de acero inoxidable y la boquilla de zafiro, rubí o diamante. El diamante es más resistente, pero es el de mayor costo. En el WJC deben usarse sistemas de filtración para separar las virutas producidas durante el proceso, los fluidos de corte en este sistema son soluciones de polímeros, las cuales se prefieren debido a que tienden a producir una corriente coherente.

Los parámetros de proceso importantes en el WJC incluyen la distancia de separación, el diámetro de la boquilla, la presión del agua y la velocidad de avance del corte, en la figura anterior, la distancia de separación es la abertura entre la boquilla y la superficie de trabajo. En general, se prefiere que esta

distancia sea mínima para reducir la dispersión de la corriente del fluido antes de que golpee la superficie. Una distancia de separación normal es de 3.1 mm. El tamaño del diámetro de la boquilla afecta la precisión del corte; las aberturas pequeñas se usan para cortes más finos sobre materiales más delgados. Para cortar materia prima más gruesa se requieren corrientes de chorro más densas y mayores presiones, la velocidad de avance del corte se refiere a la velocidad a la que se mueve la boquilla a lo largo de la trayectoria de corte. La velocidad de avance típica varía desde 5 mm/s. hasta 0.5 m/s. dependiendo del material de trabajo y su grosor. Por lo general, el WJC se hace en forma automática usando un control numérico computarizado o robots industriales para manipular la unidad de boquilla a lo largo de la trayectoria deseada.

El WJC se usa en forma más eficaz para obtener tiras de materia prima plana, como plásticos, textiles, materiales compuestos, mosaicos para pisos, alfombras, piel y cartulinas. Se han instalado celdas robóticas con boquillas para WJC ensambladas como la herramienta de un robot para seguir patrones tridimensionales de corte irregular, por ejemplo para cortar y recortar tableros de automóvil antes del ensamble. En estas aplicaciones, la ventaja del WJC es que la superficie de trabajo no se tritura ni quema como en otros procesos mecánicos o térmicos, en consecuencia, la pérdida de material es mínima por que la ranura de corte es estrecha, esto reduce la contaminación ambiental y existe la facilidad de automatizar el proceso usando controles numéricos o robots industriales. Una limitación del WJC es que no es conveniente para cortar materiales frágiles (por ejemplo, vidrio), porque tiende a triturarlos durante el proceso.

2.2.3 CORTE CON CHORRO DE AGUA ABRASIVA

Cuando se usa el WJC sobre partes metálicas, por lo general deben agregarse partículas abrasivas a la corriente a chorro para facilitar el corte.

Por tanto, este proceso se denomina “corte con chorro de agua abrasiva” (Abrasive Water Jet Cutting; AWJC). La incorporación de las partículas al flujo complica el proceso porque aumenta la cantidad de parámetros que deben controlarse. Entre los parámetros del proceso adicionales están el tipo de abrasivo, el tamaño del abrasivo y la velocidad de flujo. Entre los materiales abrasivos comunes está el óxido de aluminio, el dióxido de silicio y el gránate (un mineral de silicato); los tamaños del abrasivo varían entre 60 y 120 (tamaño de partícula). Las partículas abrasivas se agregan a la corriente de agua aproximadamente a 230 g/min después de que salen de la boquilla para el WJC. Los parámetros de proceso restantes incluyen algunos que son

comunes para el WJC; el diámetro de la boquilla, la presión del agua y la distancia de separación. Los diámetros de la boquilla varían de 0.25 a 0.63 mm, este rango es más grande que en el WJC y permite que la corriente contenga velocidades de flujo más altas y mayor energía antes de la inyección de los abrasivos. Las presiones del agua son similares a las del WJC. Las distancias de separación son menores para reducir el efecto de la dispersión del fluido de corte, el cual contiene partículas abrasivas en esta etapa. Las distancias de separación comunes están entre una cuarta parte y la mitad de las que usan en el WJC.

2.2.4 MAQUINADO CON CHORRO ABRASIVO

No se debe confundir el corte con chorro de agua abrasiva con el proceso denominado “maquinado con chorro abrasivo” (Abrasive Jet Machining; AJM), el cual es un proceso de remoción de materiales que se produce por la acción de una corriente de gas a alta velocidad que contiene pequeñas partículas abrasivas como se muestra en la figura No.4. El gas es seco, y se usan presiones de 0.2 a 1.4 MPa para propulsar el gas por los diámetros de la boquilla con un diámetro de 0.075 a 1.0 mm a velocidades de 2.5 a 5.0 m/s. Los gases incluyen el aire seco, el nitrógeno, el dióxido de carbono y el helio.

Por lo general, el proceso lo realiza un operador en forma manual, quien dirige la boquilla al trabajo. Las distancias normales entre la punta de la boquilla y la superficie de trabajo varían entre 3.1 mm (1/8” o más). La estación de trabajo debe contar con ventilación apropiada para el operador.

Normalmente se usa el AJM para aplicar un acabado y no como un proceso de corte dentro de la producción. Las aplicaciones incluyen la remoción de virutas, el recorte y retiro de rebabas, la limpieza y el pulido.

Los cortes se llevan a cabo sobre materiales duros y frágiles (por ejemplo, vidrio, silicio, mica y cerámica) que están en forma de materias primas planas y delgadas. Los abrasivos normales usados en el maquinado con chorro abrasivo incluyen el óxido de aluminio (para aluminio y latón), el carburo de silicio (para acero inoxidable y cerámica) y las perlas de vidrio (para pulido). Los tamaños de partícula del abrasivo son pequeños, sus diámetros oscilan entre 15 y 40 micras, y su tamaño debe de ser muy uniforme para determinadas aplicaciones. Es importante no reciclar los abrasivos debido a que los granos usados se fracturan (por lo cual se reduce su tamaño), se gastan y contaminan.

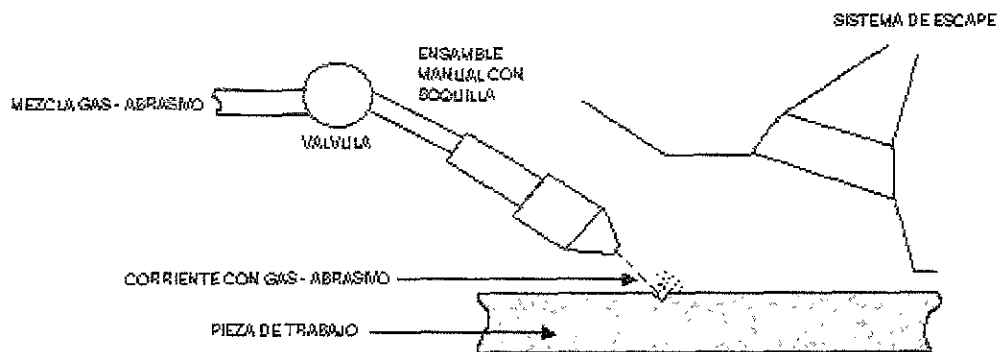


Figura No. 4 Maquinado con Chorro Abrasivo (AJM)

2.3 PROCESOS ELECTROQUÍMICOS DE MAQUINADO

Un grupo importante de procesos no convencionales utiliza la energía eléctrica para remover el material. Este grupo se identifica con el término de procesos electroquímicos, debido a que se usa la energía eléctrica junto con reacciones químicas para obtener la remoción. El material de trabajo debe ser un conductor en el maquinado electroquímico.

2.3.1 MAQUINADO ELECTROQUÍMICO

El maquinado electroquímico, ME (Electrochemical Machining; ECM) retira material de una pieza de trabajo conductora de electricidad por medio de disolución anódica, en la cual se obtiene la forma de la pieza de trabajo a través de una herramienta formada por electrodos, muy próxima al trabajo, pero al mismo tiempo separada de él mediante un electrolito que fluye con rapidez. El ECM es básicamente una operación de remoción del chapeado, como se muestra en la siguiente ilustración, la pieza de trabajo es el ánodo y la herramienta es el cátodo. El proceso aplica el principio de que el material se retira de la chapa que funciona como ánodo (el polo positivo) y se deposita en el cátodo (el polo negativo) ante la presencia de un baño electrolítico. La diferencia en el ECM es que el baño electrolítico fluye con rapidez entre los dos polos para retirar el material removido de la chapa. Por tanto, el material que se retira de la pieza no forma una chapa sobre la herramienta.

Por lo general se diseña una herramienta de electrodos (hecha de cobre, bronce o acero inoxidable) que posee aproximadamente la forma inversa a la que se desea obtener. Debe considerarse la separación entre la herramienta y el trabajo. Para conseguir la remoción del metal, se alimenta el electrodo dentro del trabajo a una velocidad igual a la velocidad de remoción del metal de trabajo.

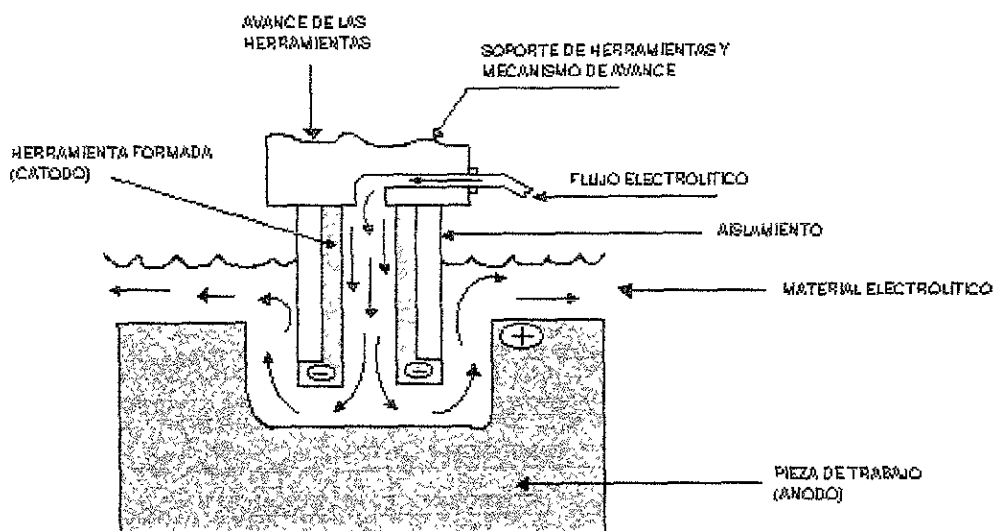


Figura No. 5 Maquinado Electroquímico (ECM)

2.3.2 REMOCIÓN ELECTROQUÍMICA DE VIRUTAS

La remoción electroquímica de virutas, REV (Electrochemical Deburring; ECD), es una adaptación del ECM diseñada para retirar las virutas o para redondear las esquinas agudas de partes de trabajo metálico mediante disolución anódica.

En la siguiente figura, se muestra una disposición posible para la ECD.

El diámetro en la parte del trabajo tiene una viruta filosa del tipo que se produce en una operación de taladrado convencional a través de un orificio.

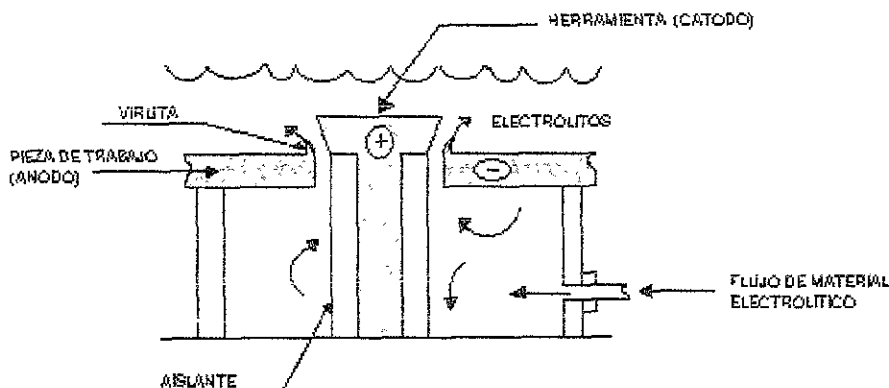


Figura No. 6 Remoción Electroquímica de Virutas (ECD).

La herramienta de electrodos está diseñada para concentrar la acción de remoción de metal en la viruta. Se aíslan las partes de la herramienta que no se usan para el maquinado. El material electrolítico fluye por el orificio para alejar las partículas de la viruta. En la ECD se aplican los mismos principios de la operación de ECM. Sin embargo, dado que se retira mucho menor material en una ECD, los ciclos de tiempo son mucho más breves. Un ciclo de tiempo normal en la remoción electroquímica de virutas es menor de un minuto. El tiempo aumenta si se pretende redondear una esquina además de remover la viruta.

2.3.3 ESMERILADO ELECTROQUÍMICO

El esmerilado electroquímico, EE (Electrochemical Grinding; ECG), es una forma especial del ECM, en el cual se usa una rueda de esmeril rotatoria con un material de enlace conductivo para aumentar la disolución anódica del exterior metálico de la parte de trabajo como se muestra en la figura No. 7

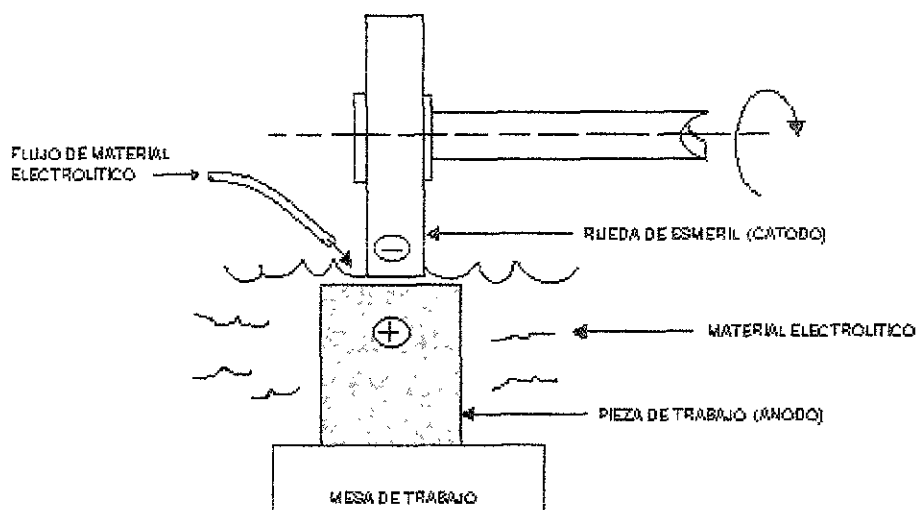


Figura No 7 Esmerilado Electroquímico (ECG)

Los abrasivos usados en el ECG incluyen el óxido de aluminio y el diamante. El material de enlace es metálico (para abrasivos de diamante) o es resina impregnada con partículas metálicas para hacerlo eléctricamente conductor (para el óxido de aluminio). Los granos abrasivos que sobresalen de la rueda de esmeril y entran en contacto con la pieza de trabajo, establecen la distancia de separación en el ECG. Los electrolitos fluyen por la separación entre los granos para cumplir su función en la electrólisis.

La remoción de chapa es responsable del 95% o más del retiro de metal en el esmerilado electroquímico, y la acción abrasiva de la rueda de esmeril elimina el 5% restante o menos, sobre todo en forma de películas salinas que se producen en la superficie de trabajo durante las reacciones electroquímicas. Debido a que gran parte del maquinado se consigue mediante acción electroquímica, una rueda de esmeril en este proceso dura mucho más que una rueda en el esmerilado convencional. El resultado es una velocidad de esmerilado mucho más alta. Además, el revestimiento de la rueda de esmeril se realiza con menor frecuencia, éstas son las ventajas importantes del proceso. Las aplicaciones del ECG incluyen el afilado de herramientas de carburo endurecido y el esmerilado de agujas quirúrgicas, aparte de tubos de pared delgada y partes frágiles.

2.4 PROCESOS DE ENERGÍA TÉRMICA

Los procesos de remoción de material basados en la energía térmica se caracterizan por temperaturas locales muy altas con calor suficiente para

remover material mediante fusión o vaporización. Debido a las altas temperaturas, estos procesos producen daños físicos y metalúrgicos en la nueva superficie de trabajo. En algunos casos, el acabado resultante es tan pobre que se requiere un procesamiento posterior para alisar la superficie.

Los procesos son los siguientes:

- 2.4.1 Maquinado por descarga eléctrica.
 - 2.4.1.1 Penetración
 - 2.4.1.2 Descarga eléctrica por alambre
- 2.4.2 Maquinado con haz de electrones.
- 2.4.3 Maquinado con rayo láser.
- 2.4.4 Procesos de corte con arco eléctrico
 - 2.4.4.1 Arco-Plasma
 - 2.4.4.2 Electrodo de Carbono y aire
 - 2.4.4.3 Otros procesos de corte con arco
- 2.4.5 Procesos convencionales de corte térmico.

2.4.1 PROCESOS CON DESCARGA ELÉCTRICA

Los procesos de remoción de material con descarga eléctrica retiran metal mediante una serie de descargas eléctricas discontinuas (chispas) que producen temperaturas localizadas suficientemente altas para fundir o vaporizar el metal en la región inmediata a la descarga. Los dos procesos principales en esta categoría son:

- 2.4.1.1 Maquinado por descarga eléctrica (penetración).
- 2.4.1.2 Maquinado por descarga eléctrica con alambre.

Estos procesos solo pueden usarse en materiales de trabajo eléctricamente conductivos.

2.4.1.1 MAQUINADO POR DESCARGA ELÉCTRICA

El maquinado por descarga eléctrica (Electric Discharge Machining; EDM), es uno de los procesos no convencionales de uso más amplio. En la figura No. 8 mostramos una disposición de EDM. La forma de la superficie de trabajo acabada se produce mediante una herramienta formada por electrodos.

Ocurren chispas a través de una pequeña separación entre la herramienta y la superficie de trabajo. El proceso de EDM debe realizarse en presencia de un fluido dieléctrico, el cual crea una trayectoria para cada descarga conforme se ioniza el fluido en la separación. Las descargas se generan mediante un transformador de corriente directa pulsante conectado entre el material de trabajo y la herramienta.

En la figura No. 8 (parte de abajo) se muestra un acercamiento de la separación entre la herramienta y el trabajo. La descarga ocurre en la posición donde están más cerca las dos superficies. El fluido dieléctrico se ioniza en esta posición a fin de crear una trayectoria para la descarga. La región en la que ocurre la descarga se calienta a temperaturas muy altas, de modo que se derrita repentinamente y se remueva una pequeña parte de la superficie de trabajo. Después, el flujo dieléctrico aleja la partícula pequeña (viruta). Dado que la superficie del trabajo en la posición previa de la descarga está ahora separada de la herramienta por una distancia mayor, ésta es la posición menos probable para que ocurra otra chispa hasta que las regiones que la rodean se hayan reducido al mismo nivel o uno inferior. Aunque las descargas individuales retiran material en puntos muy localizados, ocurren cientos o miles de veces por segundo, de modo que sucede una erosión gradual de toda la superficie en el área de separación.

Dos variables importantes en el proceso de EDM son la corriente de descarga y su frecuencia. Conforme aumenta cualquiera de estos parámetros, se incrementa la velocidad de remoción de metal.

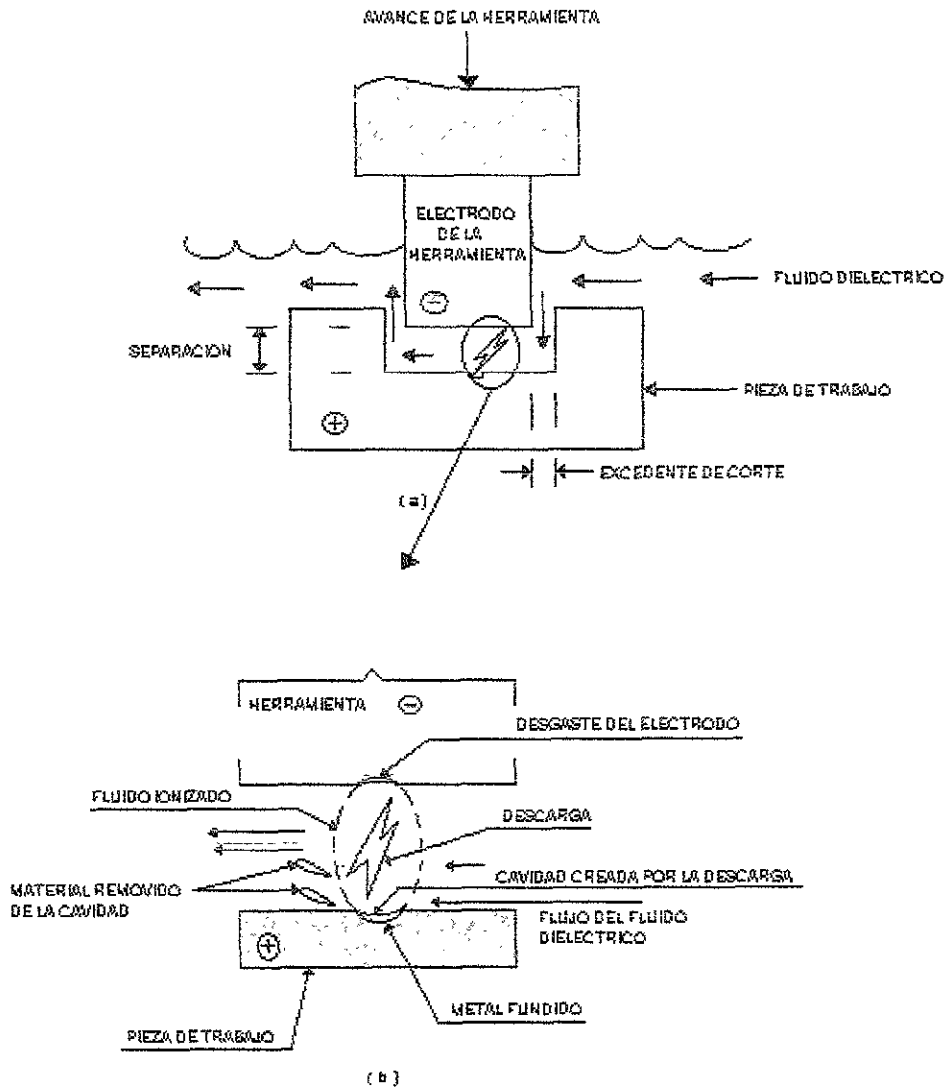
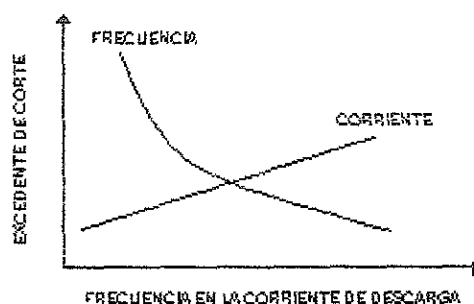


Figura No. 8 Maquinado por Descarga Eléctrica (EDM)

- disposició n general
- vista de acercamiento de la separación, mostrando la descarga y la remoción del metal.

Conforme el electrodo penetra en la pieza de trabajo ocurre un excedente de corte. El excedente de corte en el EDM es la distancia que rebasa el tamaño de la herramienta para producir un orificio de maquinado más grande en la pieza de trabajo. Este efecto se debe a que las descargas eléctricas ocurren tanto a los lados de la herramienta, como en el extremo. El excedente de corte es una función de la corriente y la frecuencia, como lo podemos apreciar en la siguiente gráfica y puede ascender a varias milésimas de pulgada.



Gráfica No. 1 Excedente de corte en el maquinado por descarga eléctrica (EDM), como una función de la corriente de descarga y la frecuencia de las descargas.

Debe señalarse que las altas temperaturas de chispa que funden el trabajo también afectan a la herramienta, creando una pequeña cavidad en la superficie opuesta a la cavidad producida en el trabajo. Por lo general, el desgaste de la herramienta se mide como la razón del material de trabajo removido entre el desgaste del electrodo (es igual a la razón de esmerilado). Esta razón de desgaste varía entre 1.0 y 100** o un poco más, dependiendo de la combinación del trabajo y los materiales de los electrodos.

Los electrodos están hechos de grafito, cobre, bronce, tungsteno plata y otros materiales. La selección depende del tipo de circuito del transformador de corriente disponible en la máquina para EDM, el tipo de material de trabajo que se va a maquinar y si se va a pulir o dar un acabado al material.

**La relación de esmerilado es un término usado para indicar la pendiente de la curva de desgaste de la rueda. Específicamente:

$$GR = V_w/V_g$$

donde: V_w = Volumen de trabajo removido

V_g = Volumen correspondiente de la rueda del esmeril que se gasta durante el proceso. **

Las aplicaciones del maquinado por descarga eléctrica incluyen tanto la fabricación de herramientas como la producción de partes. Con frecuencia, la fabricación de herramientas para muchos de los procesos mecánicos se hacen mediante EDM, incluyendo moldes para inyección en plásticos, dados para extrusión, dados para estirado de alambres, dados para forja y recalcado y dados para estampado en láminas metálicas.

Para varias de estas aplicaciones, los materiales usados para habilitar herramientas son difíciles (o imposibles) de maquinar por métodos convencionales. Ciertas partes de un producto también requieren de una aplicación de EDM. Los ejemplos incluyen algunas partes delicadas que no son lo bastante rígidas para soportar las fuerzas de corte convencionales, como en el taladro de orificios en ángulo agudo con respecto a la superficie, donde con un taladro convencional no sería posible de iniciar el barreno y en el maquinado para producción de metales duros y poco comunes.

2.4.1.2 CORTE POR DESCARGA ELÉCTRICA CON ALAMBRE

El corte por descarga eléctrica con alambre (Electric Discharge Wire Cutting; EDWC), es una forma especial del EDM, que usa un alambre de diámetro pequeño como electrodo para cortar un canal delgado en el trabajo. La acción de corte en el EDWC se obtiene por medio de energía térmica, a partir de las descargas eléctricas entre el electrodo (alambre) y la pieza de trabajo. El EDWC lo podemos apreciar en la figura No. 9. La pieza de trabajo se alimenta en forma continua y lenta a través del alambre para obtener la trayectoria de corte deseada, de un modo parecido a una operación con sierra-cinta. El control numérico se usa para fijar los movimientos de la parte de trabajo durante el corte. Conforme procede la operación de corte, el alambre avanza en forma continua entre un carrete de alimentación y uno de recuperación del mismo para presentar un electrodo nuevo de diámetro constante para el trabajo. Esto ayuda a mantener un ancho de corte constante durante el proceso. Al igual que el EDM, el maquinado por descarga eléctrica con alambre debe realizarse en presencia de un material dieléctrico. Éste puede aplicarse ya sea mediante boquillas dirigidas a la interfase herramienta-trabajo o por inmersión de la parte de trabajo en un baño dieléctrico.

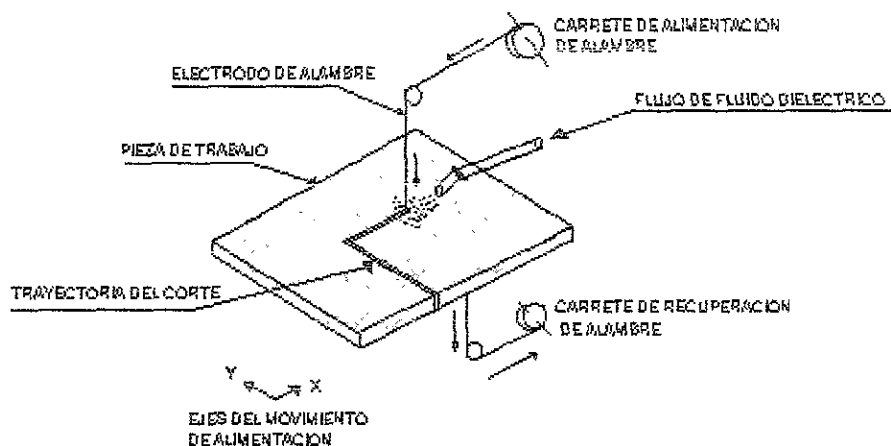


Figura No. 9 Corte por Descarga Eléctrica con Alambre (EDWC).

Los diámetros del alambre varían entre 0.076 a 0.30 mm dependiendo de la anchura de corte requerida. Los materiales que se usan para el alambre incluyen el latón, el cobre, el tungsteno y el molibdeno. Los fluidos dieléctricos incluyen el agua desionizada o el aceite.

Al igual que el EDM simple, en el maquinado por descarga eléctrica con alambre también existe un exceso de corte, que provoca que el corte sea mayor que el diámetro del alambre (esto lo podemos apreciar en la figura No. 10). Este excedente de corte está en el rango de 0.020 a 0.051 mm. Una vez establecidas las condiciones de corte para una acción determinada, el excedente de corte permanece constante y predecible.

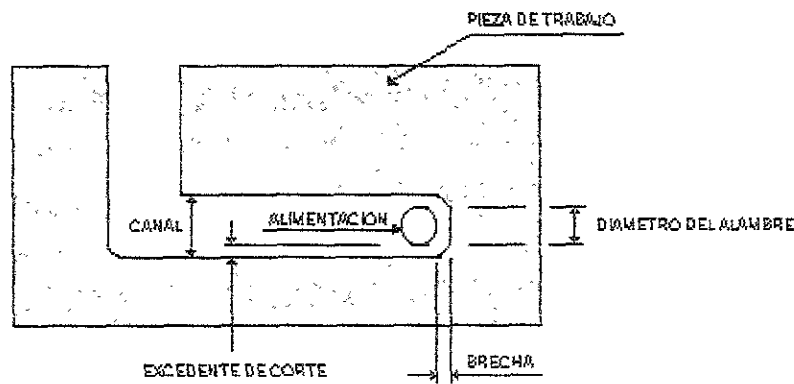


Figura No. 10 Definición del canal y el excedente en el corte por descarga eléctrica con alambre.

Aunque el EDWC se asemeja a una operación con sierra-cinta, su precisión es mucho mayor que la de esta. El canal es más estrecho, es posible hacer más agudas las esquinas y, por lo tanto, las fuerzas de corte en contra del trabajo son nulas. Además, la dureza y la resistencia del material de la pieza de trabajo no afectan el rendimiento del corte. El único requisito es que el material de trabajo debe ser eléctricamente conductivo.

Las características especiales del EDWC lo hacen ideal para fabricar componentes para dados de estampado. Debido a que el canal es tan estrecho, con frecuencia es posible fabricar matriz y punzón simultáneamente. El corte mediante EDWC también incluye las manufacturas de otras herramientas y partes con formas de contornos complicados, tales como herramientas en forma de torno, dados para extrusión y plantillas planas

2.4.2 MAQUINADO CON HAZ DE ELECTRONES

El maquinado con haz de electrones. MHE (Electron Beam Machining; EBM), es uno de los varios procesos industriales que usan haces de electrones. Además del maquinado, otras aplicaciones de la tecnología incluyen el tratamiento térmico y la soldadura. El maquinado con haz de electrones utiliza una corriente de electrones a alta velocidad dirigida hacia la superficie de la pieza de trabajo para remover material mediante fusión y vaporización.

En la figura No. 11 podemos apreciar un esquema del proceso EBM.

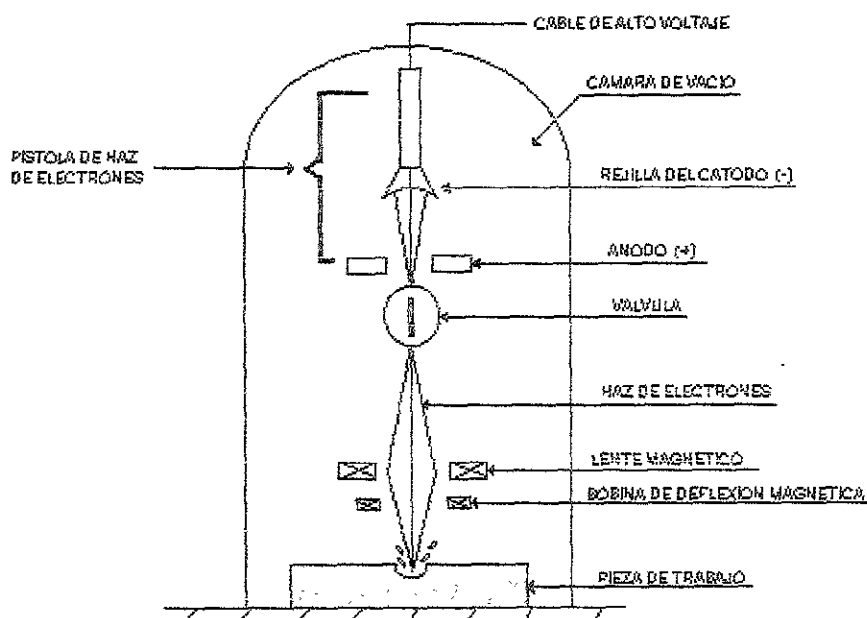


Figura No. 11 Maquinado con Haz de Electrones (EBM)

Un cañón de haz de electrones genera una corriente continua de electrones que se aceleran aproximadamente a tres cuartas partes de la velocidad de la luz y se enfocan a través de una lente electromagnética sobre la superficie de trabajo.

El lente es capaz de reducir el área del haz a un diámetro tan pequeño como 0.025 mm. Al chocar contra la superficie, la energía cinética de los electrones se convierte en energía térmica de una densidad muy alta, la cual funde o vaporiza el metal en el área localizada. El EBM debe realizarse en una cámara de vacío para eliminar la colisión de los electrones con las moléculas de gas.

El maquinado con haz de electrones se usa para diversas aplicaciones de corte de alta precisión sobre cualquier material conocido. Las aplicaciones incluyen el taladrado de barrenos de diámetros muy pequeños (de hasta 0.05 mm) de diámetro, taladrado de orificios cuya relación entre profundidad y diámetro sea muy alta, mayores que 100:1, y el corte de ranuras con una anchura de 0.025 mm. Estos cortes pueden hacerse con tolerancias muy pequeñas sin fuerzas de corte ni desgaste de herramientas.

El proceso es ideal para el micromaquinado y por lo general se limita a operaciones de corte en partes delgadas en el rango de 0.25 a 6.3 mm de espesor. Otras limitaciones o desventajas del maquinado con haz de electrones, son la necesidad de realizar el proceso de vacío, la alta energía requerida y el equipo costoso.

2.4.3 MAQUINADO CON RAYO LÁSER

El rayo láser se ha usado para diversas aplicaciones industriales que incluyen el tratamiento térmico, la soldadura y la medición, así como en los procesos de marcado, taladrado y corte. El término láser esta formado por las siglas en inglés de “amplificación luminosa de emisiones de radiación estimulada” (light amplification of simulated emission of radiation). Un láser es un transductor óptico que convierte energía eléctrica en un haz luminoso altamente coherente. Un rayo láser tiene varias propiedades que lo distinguen de otras formas de luz. Es monocromático (en teoría, la luz tiene una longitud de onda única) y muy alineado (los rayos de luz en el haz están casi perfectamente paralelos).

Estas propiedades permiten enfocar la luz generada por un láser, mediante lentes ópticos convencionales sobre un punto muy pequeño, produciendo densidades muy potentes, dependiendo de la cantidad de energía que contiene el rayo de luz y su grado de concentración en el punto, se realizan diversos procesos industriales.

El maquinado por rayo láser, MRL (Láser Beam Machining; LBM), usa la energía luminosa de un láser para remover material mediante vaporización y desgaste. La instalación para el LBM la podemos apreciar en la siguiente ilustración.

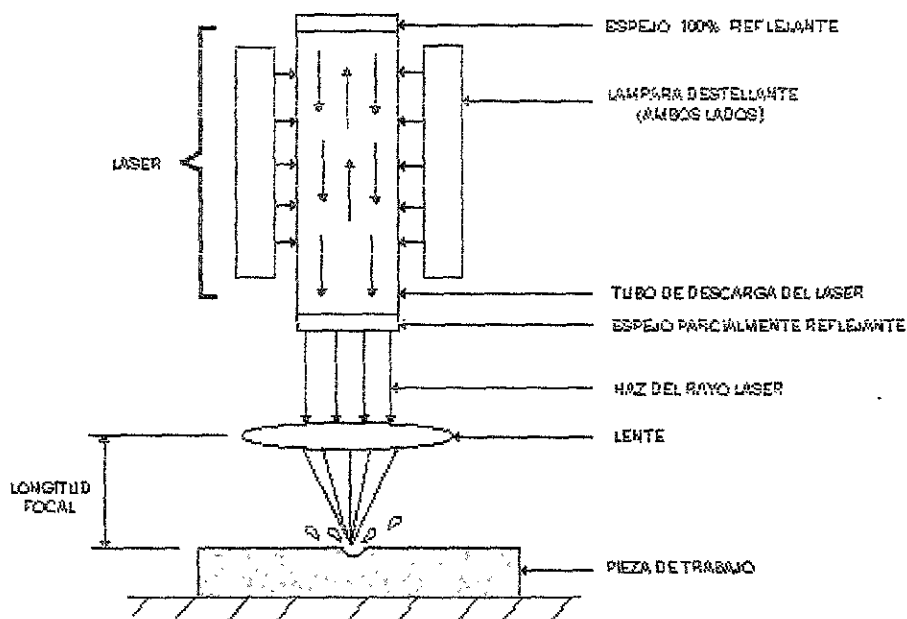


Figura No. 12 Maquinado con Rayo Láser (LBM).

Los tipos de rayo láser usados en este proceso son de gas de dióxido de carbono y los de estado sólido (de los cuales hay varios tipos). En el maquinado por rayo láser se concentra la energía del rayo de luz coherente no solo en forma óptica, sino también en términos de tiempo. El rayo de luz se dirige para que la energía liberada produzca un impulso contra la superficie de trabajo, y a su vez una combinación de evaporación y fusión, dando como resultado la salida rápida del material fundido de la superficie de trabajo.

El maquinado por rayo láser se usa para realizar diferentes tipos de operaciones de taladrado, corte en tiras, ranurado y marcado. Es posible obtener un taladro con orificios de diámetro pequeño, hasta de 0.025 mm.

Para orificios más grandes, cuyo diámetro es superior a 0.50 mm, el rayo láser se controla para cortar el contorno del orificio. El maquinado por rayo láser no se considera un proceso de producción masiva y, generalmente, se usa en materias primas delgadas. El rango de materiales de trabajo que se pueden maquinar mediante este proceso es supuestamente limitado.

Las propiedades ideales de un material para LBM incluyen una alta absorción de energía luminosa, baja reflectividad, buena conductividad térmica, baja temperatura específica, baja temperatura de fusión y baja temperatura de evaporación. ningún material posee esta combinación ideal de propiedades. La lista real de materiales de trabajo procesados mediante LBM incluye metales con alta dureza y resistencia, metales suaves, cerámica, vidrio y cristal epóxico, plástico, hule, textiles y madera.

2.4.4 PROCESOS DE CORTE CON ARCO ELÉCTRICO

En este proceso se usa el intenso calor que proviene de un arco eléctrico para fundir implícitamente cualquier metal para soldar o cortar. Casi todos los procesos de corte usan el calor generado por un arco entre un electrodo y una parte de trabajo metálica (por lo general una placa o lámina plana) para fundir un canal que separa la parte. Los procesos de corte con arco eléctrico más comunes son

2.4.4.1 El corte con arco de plasma

2.4.4.2 El corte con electrodo de carbono y aire.

2.4.4.3 otros procesos de corte con arco

2.4.4.1 CORTE CON ARCO DE PLASMA

Un plasma se define como un gas supercalentado eléctricamente e ionizado. El corte con arco-plasma, CAP (Plasma Arc Cutting; PAC), usa una corriente de plasma que opera a altas temperaturas situadas en el rango de 10,000 a 14,000 °C para cortar metal por fusión. En la acción de corte se dirige la corriente de plasma rápidamente hacia la pieza de trabajo, esta misma acción funde e impulsa el metal fundido por el canal. Las características generales del corte con arco plasma las ilustramos en la figura No. 13

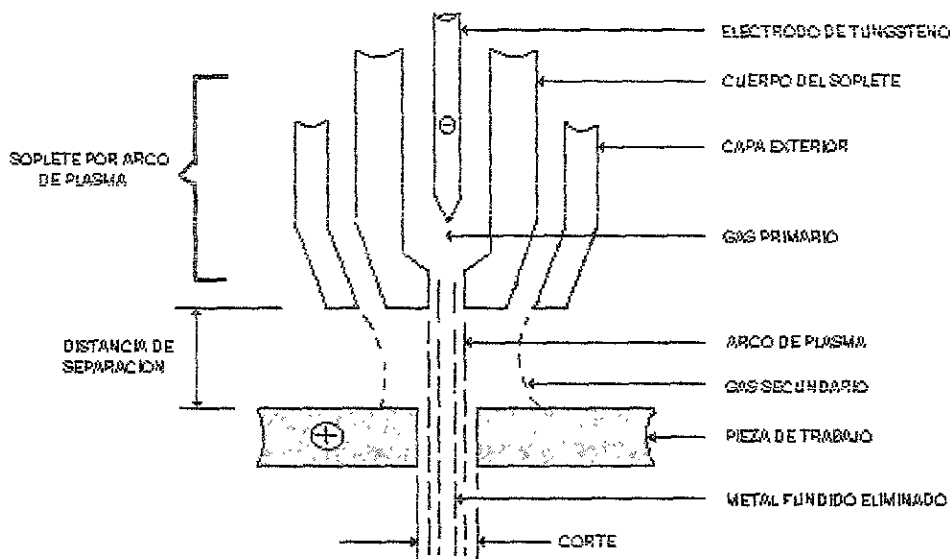


Figura No. 13 Corte con arco de plasma (PAC)

El arco del plasma se genera entre un electrodo (dentro del soplete) y la pieza de trabajo (ánodo). El plasma fluye a través de una boquilla enfriada por agua, que controla y dirige la corriente a la posición deseada del trabajo. El chorro de plasma resultante es una corriente de alta velocidad bien alineada con temperaturas extremadamente altas en su centro y con el calor suficiente para cortar a través de un metal, que en algunos casos tiene un espesor de 152 mm (6").

Los gases usados para crear el plasma con PAC incluyen el nitrógeno, el argón con hidrógeno o una mezcla de todos estos. Tales fluidos se denominan los gases primarios en el proceso. Con frecuencia se dirigen gases secundarios o agua para rodear el chorro de plasma, a fin de ayudar a confinar el arco y limpiar el canal de metal fundido para evitar la acumulación de este último.

La mayoría de las aplicaciones del PAC implican el corte de láminas de metal y placas planas. Las operaciones incluyen el barrenado y el corte a lo largo de una trayectoria definida. La trayectoria definida se corta ya sea mediante un soplete manual controlado por una persona o dirigiendo la trayectoria del corte del soplete bajo control numérico (NC).

Para una producción más alta y rápida se prefiere el NC, debido a que se supervisan mejor las variables más importantes del proceso, tales como la distancia de separación y la velocidad de alimentación.

El corte con arco-plasma se usa para cortar casi cualquier metal eléctricamente conductivo. Con frecuencia los metales cortados mediante PAC incluyen aceros al carbono simple, el acero inoxidable y el aluminio. En estas aplicaciones, la ventaja del corte con arco de plasma sobre el NC es la alta productividad. Las velocidades de alimentación a lo largo de la trayectoria de corte pueden ser tan altas como 0.182 m/s para una placa de aluminio de 6.35 mm de espesor y de 0.084 m/s para una placa de acero de 6.35 mm de espesor. Para materiales de mayor espesor, las velocidades de alimentación deben reducirse. Por ejemplo, la velocidad de alimentación máxima para cortar materia prima de aluminio de 100 mm (4") de espesor es de alrededor de 8.5 mm/s. Las desventajas del corte con arco-plasma son las siguientes:

- 1- La superficie de corte es áspera
- 2- El daño metalúrgico en la superficie es el más severo entre los procesos metalúrgicos no tradicionales.

2.4.4.2 CORTE CON ELECTRODO DE CARBONO Y AIRE

En este proceso, el arco se genera entre un electrodo de carbono y un metal, y se usa un chorro de aire a alta velocidad para alejar la parte fundida del metal, Este procedimiento se usa con el propósito de formar un canal para separar la pieza o para formar una cavidad en la parte. La cavidad prepara los bordes de las placas para soldadura, por ejemplo; para crear un surco en forma de "u" en una junta empalmada. El corte con electrodo de carbón y aire se usa en diversos metales, incluyendo el hierro forjado, acero al carbono, las aleaciones bajas y el acero inoxidable, así como diversas aleaciones no ferrosas. La salpicadura del metal fundido es un riesgo y una desventaja del proceso.

2.4.4.3 OTROS PROCESOS DE CORTE CON ARCO

Otros procesos de arco eléctrico se utilizan para aplicaciones de corte, aunque no con tanta frecuencia como el corte con plasma de arco o con electrodo de carbón y aire, estos otros procesos incluyen:

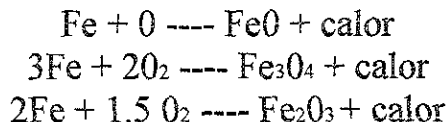
- a) El corte de metal con arco eléctrico y gas.
- b) El corte con arco protegido.
- c) El corte con arco eléctrico por tungsteno y gas.
- d) El corte con arco de carbono.

Las tecnologías son las mismas que se usan en la soldadura de arco, excepto que el calor del arco eléctrico se usa para cortar.

2.4.5 PROCESOS CONVENCIONALES DE CORTE TÉRMICO

2.4.5.1 PROCESOS DE CORTE CON OXÍGENO Y GAS COMBUSTIBLE

Una familia de procesos de corte térmico de uso muy difundido, conocida como el “corte con flama”, usa el calor de combustión de ciertos gases combinado con la reacción exotérmica del metal con el oxígeno. El soplete de corte que se usa en estos procesos está diseñado para proporcionar una mezcla de gas combustible y oxígeno en las cantidades correctas y dirigir una corriente de oxígeno a la región de corte. El mecanismo principal de la remoción de material en el corte con oxígeno y gas combustible (en inglés: Oxyfuel Cutting; OFC), es la reacción química del oxígeno con el metal base. El propósito de la combustión del oxígeno y el gas es elevar la temperatura en la región de corte para soportar la reacción. Normalmente, estos procesos se usan para cortar placas metálicas ferrosas, en las cuales ocurre una rápida oxidación del hierro de acuerdo con las reacciones siguientes:



La segunda de estas reacciones, es la más importante en términos de generación de calor.

El mecanismo de corte para metales no ferrosos es distinto en cierta forma. En general, estos metales se caracterizan por temperaturas de fusión más bajas que los metales ferrosos y hay más resistencia a la oxidación. En estos casos, el calor de la combustión de la mezcla de oxígeno y gas combustible tiene una función más importante en la creación del canal.

Asimismo, para promover la reacción de oxidación del metal, con frecuencia se añaden flujos químicos o polvos metálicos a la corriente de oxígeno.

Los combustibles usados en el OFC incluyen el acetileno (C_2H_2), el MAPP (metilacetileno-propadieno, C_3H_4), el propileno (C_3H_6) y el propano (C_3H_8). El acetileno arde a la máxima temperatura de flama y es el combustible de mayor uso para soldar y cortar. Sin embargo, deben considerarse ciertos riesgos con el almacenamiento y manejo del acetileno.

2.5 MAQUINADO QUÍMICO

El maquinado químico, MQ (en inglés: Chemical Machining; CHM), es un proceso no tradicional en el cual ocurre una remoción de materiales mediante el contacto con sustancias de ataque químico fuerte. Las aplicaciones dentro del proceso industrial empezaron poco después de la segunda guerra mundial en la industria de las aeronaves. El uso de materiales químicos para remover secciones no deseadas de una pieza de trabajo se aplica en varias formas y se han desarrollado términos distintos para diferenciar las aplicaciones.

Estos términos incluyen el fresado químico, el suajado químico, el grabado químico y el maquinado fotoquímico (en inglés PCM). Todos emplean el mismo mecanismo de remoción de material.

2.5.1 MECÁNICA Y QUÍMICA DEL MAQUINADO QUÍMICO

El proceso de maquinado químico consta de varios pasos. Las diferencias en las aplicaciones y las secuencias en que se realizan las etapas establecen las diferentes formas del CHM. Los pasos a seguir son los siguientes:

- 1- Limpieza: El primer paso en una operación de limpieza para asegurar que el material se remueva en forma uniforme de las superficies que se van a atacar.
- 2- Enmascarillado: Un recubrimiento protector se aplica a ciertas zonas de la parte. Este protector está hecho de material químicamente resistente al material de ataque químico (el término resistente se usa para el material protector). Por tanto, solamente se aplica a aquellas porciones de la superficie de trabajo que no se van a atacar.
- 3- Ataque Químico: Éste es el paso de remoción del material. La pieza de trabajo se sumerge en un material de ataque químico que afecta a aquellas porciones de la superficie de la pieza que no están protegidas. En el método normal de ataque, el material de trabajo (por ejemplo, un metal) se convierte en una sal que se disuelve dentro del material de ataque químico, y posteriormente se remueve de la superficie. Una vez que se ha removido el material, se retira la parte del material de ataque químico y se enjuaga para detener el proceso.
- 4- Desenmascarillado: Se retira el protector de la parte.

2.5.2 PROCESOS DE MAQUINADO QUÍMICO

Los principales procesos de maquinado químico son:

- 2.5.2.1 Fresado Químico.
- 2.5.2.2 Suajado Químico.
- 2.5.2.3 Grabado Químico.
- 2.5.2.4 Maquinado Fotoquímico.

2.5.2.1 FRESADO QUÍMICO

El fresado químico fue el primer proceso de CHM que se comercializó durante la segunda guerra mundial, una compañía de aeronaves de los Estados Unidos empezó a usar el dicho proceso para remover el material de algunos componentes de las aeronaves, al cual denominaron fresado químico todavía se utiliza ampliamente en la industria aeronáutica para retirar material de las alas y el fuselaje, con el propósito de reducir el peso. El método es aplicable a partes grandes, de las cuales se retiran cantidades sustanciales de metal durante el proceso. Se emplea el método de protección de corte y desprendimiento. Por lo general se usa una plantilla, que toma en cuenta el excedente de corte que se producirá durante el ataque químico. La secuencia del procedimiento de este proceso la podemos apreciar en la figura No. 14

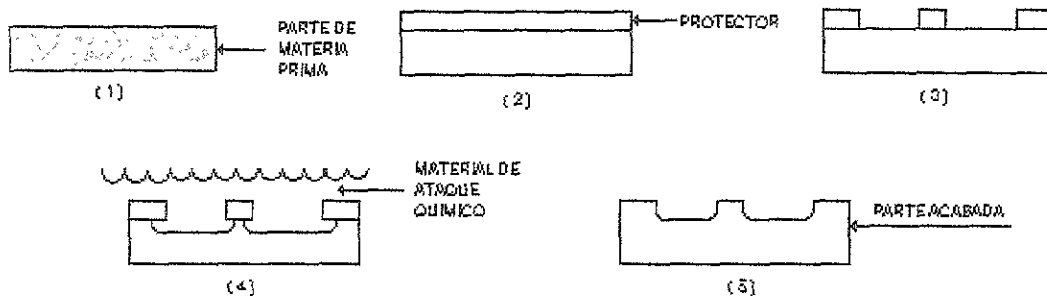


Figura No. 14 Secuencia de pasos en el procedimiento de Fresado Químico.

- 1- Limpiar una parte de la materia prima.
- 2- Aplicar el protector.
- 3- Marcar, cortar y desprender el protector de las áreas que se van a atacar
- 4- Atacar con material químico
- 5- Remover el protector y limpiar para producir una parte acabada

El fresado químico produce un acabado de superficie que varía con cada material. El acabado de la superficie depende de la profundidad de penetración.

2.5.2.2 SUAJADO QUÍMICO

El suajado químico usa la erosión química para cortar partes de láminas metálicas muy delgadas, con un espesor de hasta 0.025 mm (0.001in), o para patrones de corte complicados. En ambos ejemplos, los métodos convencionales para perforado y troquelado no funcionan, debido a que las fuerzas de troquelado pueden dañar las láminas metálicas, además, el costo de habilitación de herramientas es muy alto. El suajado químico produce partes sin rebabas y aventaja a otras operaciones convencionales de corte.

Los métodos que se usan para aplicar el protector en el suajado químico son el fotorresistente* o el resistente de pantalla.** Para patrones de corte pequeños o complicados, así como para tolerancias reducidas, se usa el método fotorresistente; de lo contrario, se usa el método resistente de pantalla. Cuando el tamaño de la pieza de trabajo es pequeño, el suajado químico excluye el método de corte y desprendimiento del protector. La secuencia de este proceso se muestra a continuación

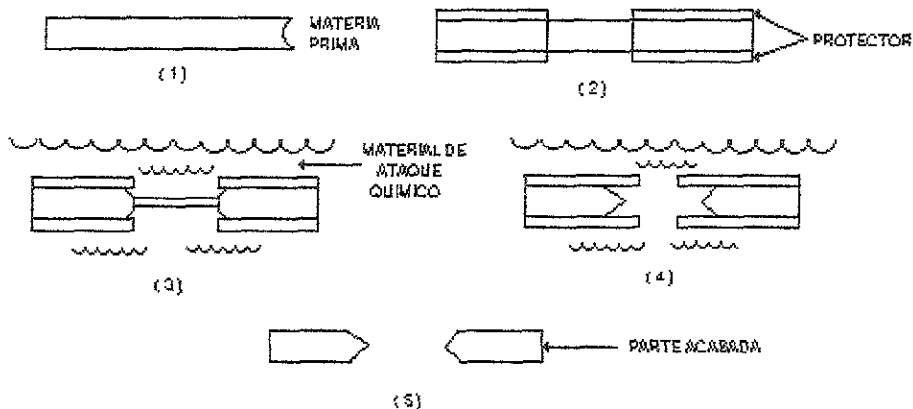


Figura No. 15 Secuencia de pasos en el procesamiento por Suajado Químico

- 1- Limpieza de la parte.
- 2- Aplicación de un protector resistente, a través de la pantalla.
- 3- Ataque con un material químico (parcialmente terminado).
- 4- Ataque con un material químico (terminado).
- 5- Remoción del protector y limpieza para producir una parte terminada.

* Método Fotorresistente: Utiliza técnicas fotográficas para realizar el paso de enmascarillado. Los materiales enmascarillados contienen químicos fotosensibles. Estos se aplican a la superficie de trabajo y la pieza recubierta se expone a la luz a través de una imagen en negativo de las áreas que se van a atacar, posteriormente las áreas protegidas, se retiran de la superficie usando técnicas de revelado fotográfico.

**Método Resistente de Pantalla: Aplica el protector mediante métodos de serigrafía. En estos métodos el protector se aplica sobre la superficie de la parte de trabajo mediante una malla de seda o de acero

inoxidable, la malla tiene incorporado un estencil que protege la aplicación con barniz protector y deja expuestas las áreas que se van a atacar. Por tanto el protector recubre las áreas de trabajo que no se van a atacar.

Dado que en este proceso el ataque químico ocurre en ambos lados de la parte, es importante que el procedimiento de enmascarillado proporcione un registro preciso entre los dos lados. De lo contrario, la erosión de la parte no podrá alinearse desde direcciones opuestas. Esto es sumamente importante con partes de tamaño pequeño y patrones complicados.

Por las razones expuestas, la aplicación del suajado químico se limita a materiales delgados o patrones complicados. El grosor máximo de la materia prima es de alrededor de 0.762 mm. Asimismo, es posible procesar materiales endurecidos y frágiles mediante el suajado químico, que sería imposible por métodos mecánicos porque seguramente se fracturaría la pieza de trabajo.

Cuando se utiliza el método fotorresistente para enmascarillar, pueden mantenerse tolerancias tan reducidas como ± 0.0025 mm sobre materiales que tengan un grosor tan pequeño como 0.025mm. Conforme aumenta el grosor de la materia prima, deben permitirse tolerancias más amplias. Los métodos de enmascarillado con resistente de pantalla no son tan precisos como el fotorresistente. De acuerdo con esto, cuando se requieren tolerancias mínimas en la parte, debe usarse el método fotorresistente para realizar el paso de enmascarillado.

2.5.2.3 GRABADO QUÍMICO

El grabado químico es un proceso de maquinado químico para hacer placas con nombres y otros paneles planos que tienen letras o dibujos en un lado. De otra forma, estas placas y paneles se harían usando una maquina convencional de grabado o un proceso similar. El grabado químico se usa para hacer paneles con las letras hundidas o elevadas, con solo invertir las partes del panel a las que se va a aplicar el ataque químico. El enmascarillado se hace con el método fotorresistente o el resistente de pantalla. La secuencia de grabado químico es similar a la de otros procesos de CHM, excepto que después del ataque con material químico se hace una operación de rellenado.

El propósito del rellenado es aplicar pintura u otra protección en las áreas hundidas formadas por el material de ataque químico. Después, el panel se sumerge en una solución que disuelve el protector pero no ataca el material de recubrimiento. Por tanto, cuando se retira el protector, el recubrimiento permanece en las áreas atacadas, resaltando el patrón.

2.5.2.4 MAQUINADO FOTOQUÍMICO

En el maquinado fotoquímico, MF (Photochemical Machining; PCM), se usa el método de fotorresistente para enmascarillar. Por tanto, el término se aplica correctamente al suajado químico y al grabado químico cuando estos métodos usan resistente fotográfico. El PCM se emplea en el procesamiento de metales cuando se requieren tolerancias mínimas o patrones complicados sobre partes planas. Los procesos fotoquímicos también se usan ampliamente en la industria de la electrónica para producir diseños de circuitos complicados sobre plantillas de semiconductores. Esta tecnología hace posible una integración a una escala muy grande en la microelectrónica.

En la figura No. 16 mostramos la secuencia de pasos para el maquinado fotoquímico.

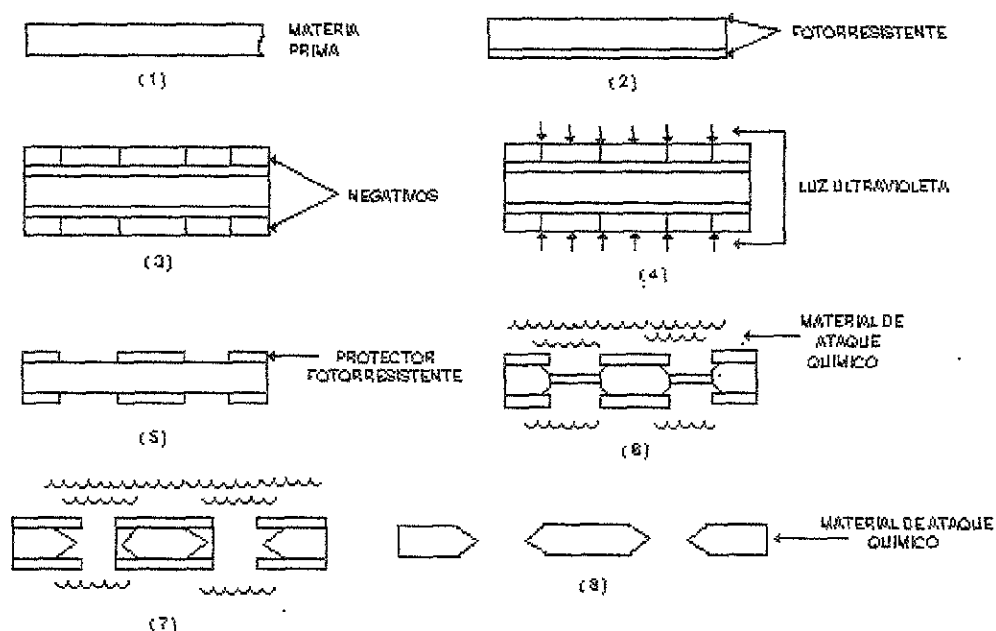


Figura No. 16: Secuencia de pasos de procesamiento en el Maquinado Fotoquímico.

- 1- Limpiar una parte de materia prima.
- 2- Aplicar un protector por inmersión, pulverización o pintura.
- 3- Colocar un negativo sobre el protector.
- 4- Exponer a una luz ultravioleta.
- 5- Revelar para remover el protector, sólo en áreas que se van a atacar.
- 6- Atacar con un material químico (se muestra un efecto parcial)
- 7- Atacar con un material químico (efecto terminado).
- 8- Remover el protector y limpiar para producir una parte terminada

Cuando éste se aplica al suajado químico. Hay varias formas de exponer fotográficamente la imagen deseada sobre el protector. La figura muestra el negativo en contacto con la superficie del protector durante la exposición. Ésta es una impresión de contacto, pero se cuenta con otros métodos de impresión fotográfica que exponen el negativo a través de un sistema de lentes para ampliar o reducir el tamaño del patrón impreso en la superficie del protector. Los materiales fotoprotectores de uso actual son sensibles a la luz ultravioleta, pero no a la luz de otras longitudes de onda.

Por tanto, con una iluminación adecuada en la fábrica, no es necesario realizar los pasos del procesamiento en un ambiente de cuarto oscuro. Una vez que se efectúa la operación de enmascarado, los pasos restantes del procedimiento son similares a los de otros métodos de maquinado químico.

2.6 CONSIDERACIONES PARA LA APLICACIÓN DE PROCESOS DE CORTE NO CONVENCIONALES

Las aplicaciones normales de los procesos no tradicionales incluyen la geometría con características de partes especiales y los materiales de trabajo que no se procesan con facilidad mediante las técnicas convencionales.

2.6.1 MATERIALES DE TRABAJO

Como grupo, los procesos no tradicionales se aplican a casi todos los materiales de trabajo, tanto metales como no metales. Sin embargo, ciertos procesos no son convenientes para ciertos materiales de trabajo, como lo veremos en la tabla No. 1 que relaciona la facilidad de aplicación de los procesos no tradicionales a diversos tipos de materiales.

Varios de estos procesos pueden usarse sobre metales, pero nunca sobre no metales. Por ejemplo, el ECM, el EDM y el PAM requieren materiales de trabajo que sean conductores eléctricos. Esto generalmente limita su utilidad en partes metálicas. El maquinado químico depende de la disponibilidad de un material de ataque químico apropiado para el material de trabajo determinado. Dado que los metales son más susceptibles al ataque químico de ciertos materiales, por lo general se usa el CHM para procesar metales.

Con algunas excepciones, es posible usar el maquinado ultrasónico, el maquinado con chorro abrasivo, el maquinado con haz de electrones y el maquinado con rayo láser tanto en metales como en no metales.

Generalmente, el WJC está limitado al corte de plásticos, cartulinas, textiles y otros materiales que no poseen la resistencia de los metales.

TABLA No. 1
UTILIDAD DE PROCESOS DE MAQUINADO NO CONVENCIONALES, SELECCIONADOS PARA MATERIALES DE TRABAJO

MATERIALES DE TRABAJO.	PROCESOS DE CORTE NO CONVENCIONALES												
	MECÁNICOS			ELÉCTRICOS			TÉRMICOS				QUÍMICOS		CONVENCIONALES
	USM	WJC	ECM	EDM	EBM	LBM	PAC	CHM	FRESADO	ESMERILADO			
ALUMINIO	C	C	B	B	B	B	A	A	A	A			A
ACERO	B	D	A	A	B	B	A	A	A	A			A
SUPER-ALEACIONES	C	D	A	A	B	B	B	B	B	B			B
CERÁMICA	A	D	D	D	A	A	V	C	D	B			B
VIDRIO	A	D	D	D	B	B	B	B	D	B			B
SILICIO (a)			D	D	B	B	B	B	D	B			B
PLÁSTICO	B	B	D	D	B	B	C	C	B	C			C
CARTULINAS (b)	D	A	D	D			D	D	D	D			D
TELAS (c)	D	A	D	D			D	D	D	D			D

Para establecer comparaciones, se incluyen el fresado y el esmerilado convencionales.

A= Buena aplicación.

B= Aplicación regular.

C= Aplicación deficiente

D= No es aplicable

Los espacios en blanco indican que no se encontraron datos disponibles durante la recopilación.

(a) Se refiere al silicio usado en la fabricación de chips de circuitos integrados.

(b) Incluye otros productos de papel.

(c) Incluye fieltro, cuero y materiales similares

Tabla No. 1 Utilidad de los procesos de maquinado no convencionales, seleccionados para diversos materiales.

2.7 RENDIMIENTO DE LOS PROCESOS NO CONVENCIONALES

En general, los procesos no convencionales se caracterizan por las velocidades bajas en la remoción del material y energías específicas altas, en relación con las operaciones de maquinado convencional. La capacidad de control de las dimensiones y el acabado superficial de los procesos no convencionales varían bastante, por que mientras algunos proporcionan una enorme precisión y buenos acabados, otros producen acabados y precisiones deficientes, otras consideraciones es el daño en las superficies. Algunos de estos procesos producen muy poco daño metalúrgico sobre e inmediatamente debajo de la superficie de trabajo, en tanto que otros (sobre todo los térmicos) causan un daño considerable a las superficies.

En la siguiente tabla se señalan estas características importantes de los procesos no convencionales y toma el fresado y esmerilado de superficie de superficie convencional como patrones o marcos de referencia comparativos. Un análisis de los datos revela amplias deferencias en las características de maquinado.

Al comparar las características de los maquinados convencional y no convencional no debe olvidarse que los procesos no convencionales se usan generalmente cuando los métodos convencionales no son prácticos o económicos.

TABLA No. 2

CARACTERÍSTICAS DE MAQUINADO EN LOS PROCESOS DE CORTE NO CONVENCIONALES													
MATERIALES DE TRABAJO.	PROCESOS DE CORTE NO CONVENCIONALES										PROCESOS CONVENCIONALES		
	MECÁNICOS			ELECTRÍCOS			TÉRMICOS				QUÍMICOS		FRESADO
	USM	WJC	ECM	EDM	EBM	LBM	PAC	CHM					
VELOCIDAD DE REMOCIÓN	C	C	B	C	D	D	A	B-D a				A	B
CONTROL DE DIMENSIONES	A	B	B	A-D b	A	A	D	A-B b				B	A
ACABADO DE EXTERIORES	A	A	B	B-D b	B	B	D	B				B-C b	A
DAÑO A SUPERFICIES EXTERIORES	B	B	A	D	D	D	D	A				B	B-C b

A = Excelente
 B = Bueno
 C = Regular
 D = Deficiente

(a) La valoración depende del tamaño del trabajo y el método de enmascarillado

(b) La valoración depende de las condiciones de corte

(c) En el daño de superficies exteriores, una buena calificación significa un daño mínimo y una calificación deficiente significa una profunda penetración que daña la superficie, los procesos térmicos pueden producir un daño de hasta 0.50 mm. Bajo la nueva superficie de trabajo

Tabla No. 2 Características de maquinado en los procesos de corte no convencionales

CAPITULO III

DESARROLLO DEL PROCESO DE CORTE CON ARCO-PLASMA

Objetivo: Dar a conocer de manera breve la historia del proceso de corte no convencional con arco-plasma, así como su evolución a partir de la década de 1950, hasta los más recientes desarrollos conocidos de este proceso en la actualidad.

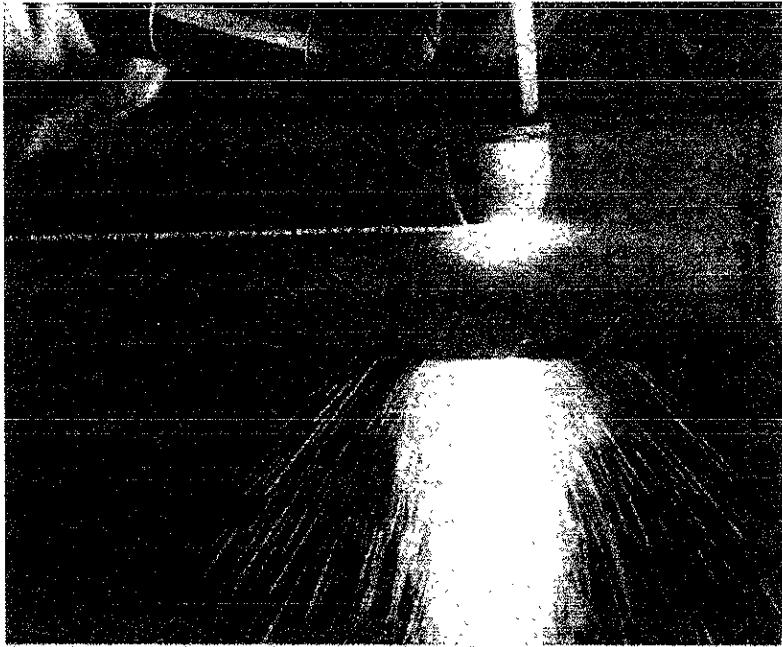


Figura No. 1 Corte con Arco-Plasma

3.1 Introducción

Las primeras perspectivas para el corte de materiales por el método de corte con arco-plasma fueron hechas a principios de la década de 1950, cuando inicialmente la técnica fue considerada como una alternativa del corte de acero inoxidable, aluminio y otros metales no ferrosos por medio de la flama oxi-gas, el corte de estos metales fue virtualmente más difícil de realizar por dicho método, debido a las reacciones químicas producidas, sin embargo los experimentos de corte por medio del arco-plasma fueron de uso limitado.

La principal razón de esta limitación fue la pobre calidad del maquinado, la incapacidad de los operadores para poder maniobrar fácilmente las maquinas y poder conseguir altas velocidades de corte y en general la poca confianza que ofrecía el equipo en general.

Significativos avances han sido hechos desde el momento en que el corte con arco-plasma empezó a llamar la atención de los usuarios por las características propias del mismo.

A continuación se muestra un resumen de cómo ha evolucionado el proceso de corte por arco-plasma.

3.2 DATOS IMPORTANTES DE LA TECNOLOGÍA DEL CORTE POR ARCO-PLASMA

1950

3.2.1 Inicio de la Soldadura TIG (Tungsteno Gas Inerte).

1957

3.2.2 Corte convencional con arco-plasma; Usando técnicas de restricción de “arco seco”.

1962

3.2.3 Arco-plasma con doble flujo; Incorporando una capa secundaria de gas, alrededor de la boquilla.

1965

3.2.4 Corte con arco-plasma y capa de agua (sustituyendo la capa de gas por la de agua); Usando agua para incrementar la restricción del arco.

1968

3.2.5 Corte por medio de arco-plasma con inyección de agua; Usando agua para incrementar la restricción del arco.

1972

3.2.6 Silenciador y mesa de agua; Reduciendo humo, ruido y gases durante el corte con arco-plasma.

1977

3.2.7 Corte bajo el agua; Reduciendo ruido y contaminación.

1980

3.2.8 Corte con arco plasma-aire; utilizando bajo amperaje e introduciendo el corte con arco-plasma a un nuevo mercado.

1983

3.2.9 Corte con arco plasma-oxígeno; incrementando la velocidad de corte y la calidad del mismo en aceros al carbono.

1985

3.2.10 Corte con arco-plasma inyectando oxígeno; Usando nitrógeno como gas-plasma e inyectando oxígeno bajo chorro en la boquilla.

1989

3.2.11 Corte con arco-plasma bajo el agua (permitiendo cortes a mas de treinta metros bajo el agua)

1990

3.2.12 Alta densidad (hiper-plasma) en el corte con arco-plasma; Rivalizando con el corte con rayo láser en calidad y velocidad.

PLASMA: EL CUARTO ESTADO DE LA MATERIA.

La siguiente figura muestra un resumen del proceso de arco-plasma con alta velocidad de flujo de gas, lo cual es esencial para el proceso de corte con arco-plasma.

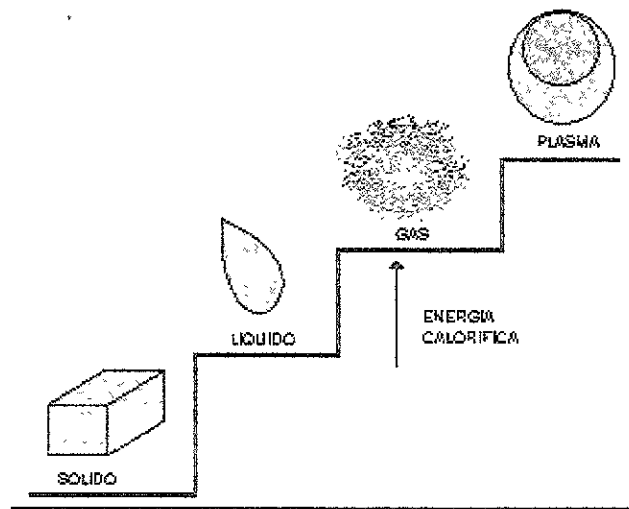


Figura No. 2 Plasma; El Cuarto Estado de la Materia

3.2.1 DESARROLLO DEL PROCESO ARCO-PLASMA (1950)

En 1941, la industria de la defensa de Estados Unidos buscaba mejores formas o vías para la unión de metales ligeros (mejoramiento de dispositivos para la guerra y en especial la producción de aeroplanos), gracias a este esfuerzo un nuevo proceso de soldadura fue creado. Un arco eléctrico fue usado para derretir el

metal, así como una capa de gas inerte alrededor del arco y el aire fue usado para desplazar el metal fundido, este nuevo proceso fue llamado TIG (Tungsteno Gas Inerte), el cual parecía ser la solución perfecta para los requerimientos específicos de alta calidad en soldadura.

El proceso de soldadura TIG llegó a ser de gran interés para los fabricantes de gas industrial (por el alto consumo de argón y helio), estas compañías productoras de gas industrial y en particular “Unión Carbide’s Linde División” llegó a ser activa y al mismo tiempo tuvo bastante éxito con el proceso TIG. También conocido como “Argonarc” o “Heliar C”, hoy, este proceso es conocido como “GTAW” (Soldadura con Arco Gas-Tungsteno).

En la figura No. 3 se muestra como se lleva a cabo la soldadura con arco TIG.

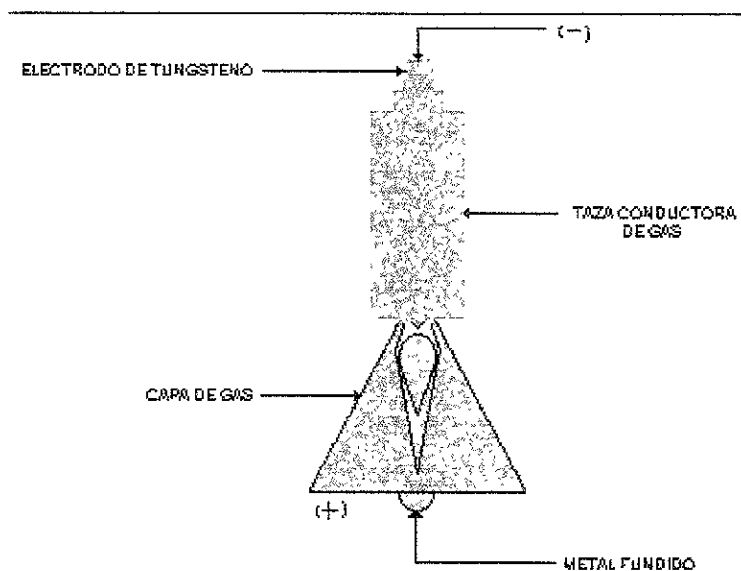


Figura No. 3 Soldadura con Arco TIG

En 1950, el proceso TIG había establecido formalmente un método propio de soldadura de alta calidad, la cual comprendía los materiales no comunes.

Más adelante, realizando trabajos de investigación sobre este mismo proceso, científicos descubrieron que cuando reducían el diámetro de la boquilla que dirigía el gas inerte desde el electrodo de la antorcha (cátodo) hacia la pieza de trabajo (ánodo), las propiedades del arco TIG resultaban alteradas en forma notable debido a la variación de dicho diámetro,

La reducción del diámetro de la boquilla, trajo como consecuencia la reducción del arco eléctrico y la reducción del flujo de gas, pero al mismo tiempo se incremento la velocidad de este así como la resistencia calorífica. La temperatura del arco y el voltaje se elevaron en forma considerable, y en el

momento de la Ionización y no Ionización el gas eliminaba el material derretido de la pieza de trabajo, debido a la alta velocidad, en vez de ser soldado el material fue cortado por la inyección del plasma.

En la siguiente figura, ambos arcos están operando con argón a 200 amperes, la inyección del plasma es solamente controlada por la restricción del diámetro de la boquilla $\varnothing = 4.8 \text{ mm}$ (3/16"), pero opera con el doble de voltaje y produce mucho más calor que el arco correspondiente al proceso TIG.

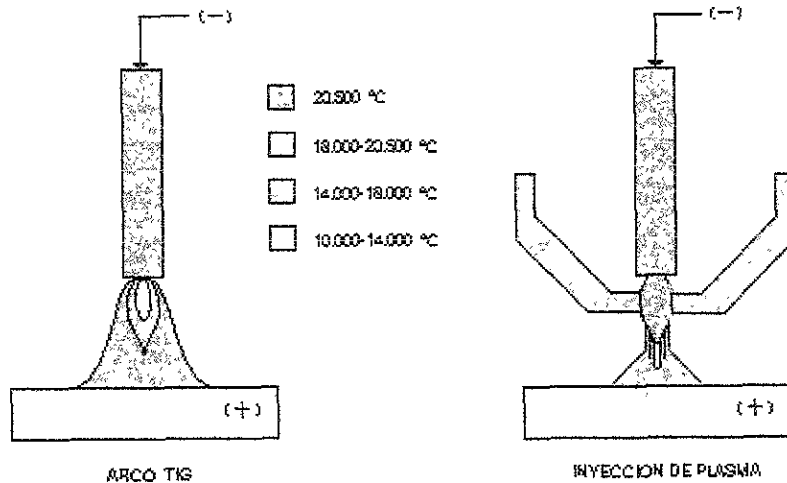


Figura No. 4 Temperatura del Arco TIG. e Inyección del Plasma

Si la misma corriente es forzada a pasar a través de la boquilla con un diámetro aun más pequeño, la temperatura y el voltaje se incrementarían. Al mismo tiempo, la mayor energía cinética del gas permite a la boquilla expulsar el metal fundido, creando un corte.

El corte con arco-plasma fue un proceso considerado con mayor desprendimiento de energía calorífica que el proceso con arco TIG. (mostrado en la figura No. 4). Estas grandes temperaturas fueron posibles debido a que el alto flujo del gas en la boquilla de la antorcha del plasma, formó una relativa capa fría de gas no Ionizado a lo largo de la pared de la boquilla, permitiendo un alto grado de restricción en el arco. El mayor espesor de esta capa frontera pudo ser incrementado más adelante por la acción de arremolinamiento del gas cortante, la acción de arremolinamiento forzó al gas no Ionizado (más frío y pesado) a moverse radialmente hacia afuera y formar una capa frontera de mayor espesor, más antorchas para corte con arco-plasma fueron diseñadas para arremolinar el gas cortante y así obtener una máxima restricción del arco.

3.2.1.1 MODO TRANSFERIDO Y NO TRANSFERIDO

Una inyección de plasma puede ser operada en modo transferido y no transferido. Es modo transferido cuando la corriente eléctrica fluye entre el electrodo de la antorcha del plasma (cátodo) y la pieza de trabajo (ánodo). El modo no transferido se realiza cuando la corriente eléctrica fluye entre el electrodo y la boquilla de la antorcha.

Ambos modos de operación son mostrados en la siguiente figura

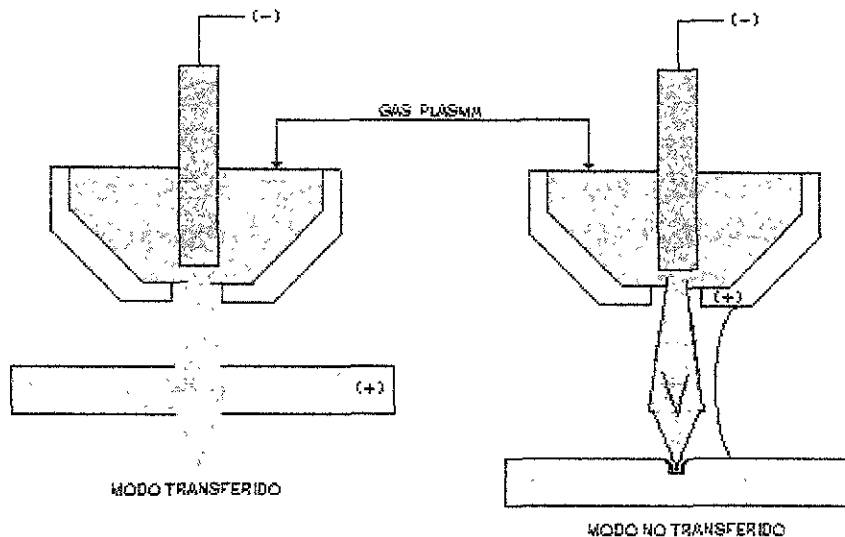


Figura No. 5 Arco en modo Transferido y no Transferido

Aunque una gran cantidad de gas-plasma es expulsado por la boquilla en ambos modos de operación, el modo transferido es más usado en el corte con arco-plasma porque la energía calorífica consumida por la pieza de trabajo es aprovechada de manera más eficiente cuando el arco está en contacto eléctrico con la pieza de trabajo.

3.2.1.2 ALTERANDO LAS CARACTERÍSTICAS DE LA INYECCIÓN DE PLASMA

Las características de la inyección del gas plasma pueden ser alteradas de manera notable tomando en consideración las siguientes razones; Según el tipo de gas que se va a utilizar, bajo flujo de gas, corriente en el arco, voltaje en el arco y diámetro de la boquilla. Por ejemplo; si un bajo flujo de gas es usado (gas raro), la inyección del plasma llegará a ser altamente concentradora de calor, lo que dará

origen a la soldadura. Contrariamente, si el flujo de gas es incrementado lo suficiente, la velocidad de la inyección de plasma será tan grande que expulsará el metal fundido, creado por la alta temperatura del arco-plasma y cortará a través de la pieza de trabajo.

3.2.2 CORTE CONVENCIONAL CON ARCO-PLASMA (1957)

La inyección de plasma, generada por la técnica convencional de “Arco Seco” fue introducida en el año de 1957 por “Unión Carbide`s Linde División”, en el mismo año el Dr. Robert Gage obtuvo una patente por 17 años, lo cual dio a la “Unión Carbide`s” un supuesto monopolio, esta técnica pudo ser usada para varios metales con grandes espesores de corte, el espesor de una placa pudo tener rangos desde una delgada hoja de metal, hasta una placa con espesor de 254 mm (10”).

Los espesores de corte dependían de la capacidad de carga de corriente de la antorcha y de las propiedades físicas del metal. Una antorcha diseñada para trabajo pesado, con una capacidad de flujo de corriente de 1,000 amperes fue capaz de cortar a través de 254 mm. de espesor aceros inoxidable y aluminio, sin embargo, en la mayoría de las aplicaciones industriales, los espesores de los materiales rara vez excedían de 50.8 mm (2”), dentro de este rango de espesores, los cortes convencionales con arco-plasma fueron generalmente cortes biselados (no eran cortes rectos a 90°) y tenían el borde superior redondeado.

Cortes con bisel fueron el resultado de un desbalance en la energía calorífica absorbida en la superficie del corte, un ángulo de corte positivo resultó porque la energía calorífica en la superficie del corte se dispersó así como el desarrollo del corte fue truncado.

Este desequilibrio calorífico fue reducido acercando la antorcha lo más posible a la pieza de trabajo y aplicando el principio de restricción del arco (como es mostrado en la fig. No. 4), incrementada la restricción del arco, se causo un perfil de la temperatura del arco eléctrico para extenderse y llegar a ser más uniforme, por lo que el corte llegó a ser mas recto a 90°, desafortunadamente la restricción de la boquilla convencional fue limitada por la tendencia de restricción, incrementada para desarrollar dos arcos en serie; un arco entre el electrodo y la boquilla y un segundo arco entre la boquilla y la pieza de trabajo.

Este fenómeno se conoció como “doble arco”, en el cual se dañaban el electrodo y la boquilla, dicho proceso de corte limitó severamente la longitud del mismo, por lo cual la calidad del corte con arco-plasma pudo ser mejorada. Desde la introducción de tal proceso a mediados de la década de 1950, investigadores de renombre se enfocaron en incrementar el proceso del arco restringido, sin la

creación del arco-doble, el corte con arco-plasma, como se le conocía, ahora era referido como “corte-plasma convencional”.

Era incómodo para aplicar, si el operador estaba cortando una amplia variedad de metales y a su vez diferentes espesores de placas, por ejemplo; si el proceso convencional de corte con arco-plasma es usado para cortar aceros inoxidable, aceros suaves y aluminio, era necesario usar diferentes gases y también variar la velocidad de dichos gases para optimizar la calidad del corte en estos tres metales. En la siguiente ilustración mostramos estos dos procesos.

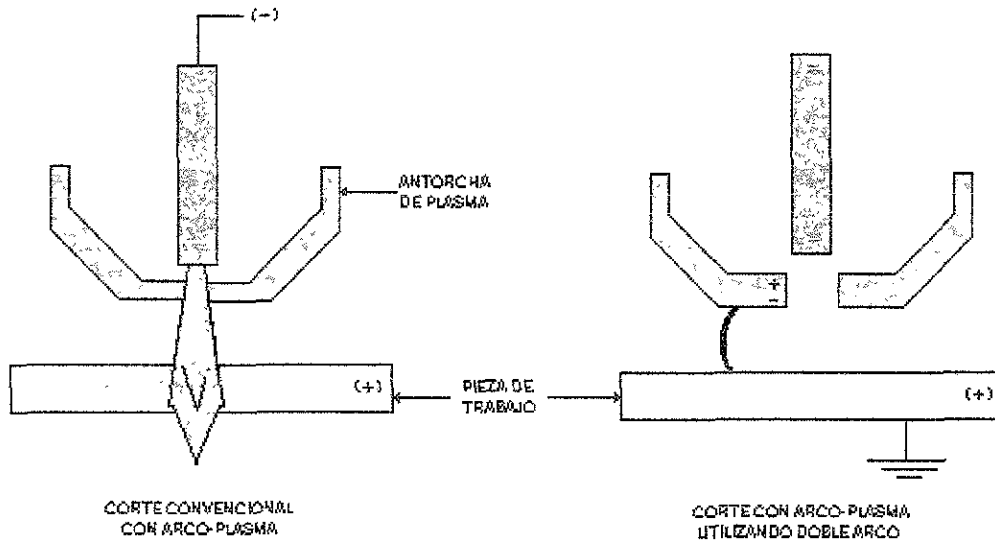


Fig. No 6 Corte Convencional con Arco-Plasma

Fig. No. 7 Corte con Doble Arco

3.2.3 ARCO-PLASMA CON DOBLE FLUJO (1962)

La técnica del doble flujo la desarrollo y patento “Thermal Dynamics Corporation” y James Browning, presidente de la misma, en 1963 realizó una pequeña modificación del proceso de corte con arco-plasma convencional, este proceso estaba constituido esencialmente con las mismas características de un corte con arco-plasma convencional, excepto que una capa secundaria de gas fue agregada alrededor de la boquilla del plasma. Usualmente en operaciones de corte con doble flujo o arco-plasma, el gas utilizado fue nitrógeno y la capa secundaria de gas fue seleccionada de acuerdo al metal a ser cortado.

Los gases típicos usados para la capa secundaria fueron aire u oxígeno para aceros templados, dióxido de carbono para aceros inoxidable y una mezcla de argón/hidrogeno para el aluminio.

Las velocidades de corte fueron aun mejor que con el corte convencional en aceros templados, sin embargo, la calidad del corte era inadecuada para algunas aplicaciones. Velocidades de corte y calidad del mismo en aceros inoxidable y aluminio, fueron esencialmente las mismas que con el proceso convencional.

La mayor ventaja de este proceso de corte consistía en que la boquilla pudo ser recubierta dentro de una taza protectora como es mostrada en la siguiente ilustración, evitándose así que la boquilla estuviera a una distancia demasiado corta de la pieza de trabajo y reduciendo la tendencia para un doble arco.

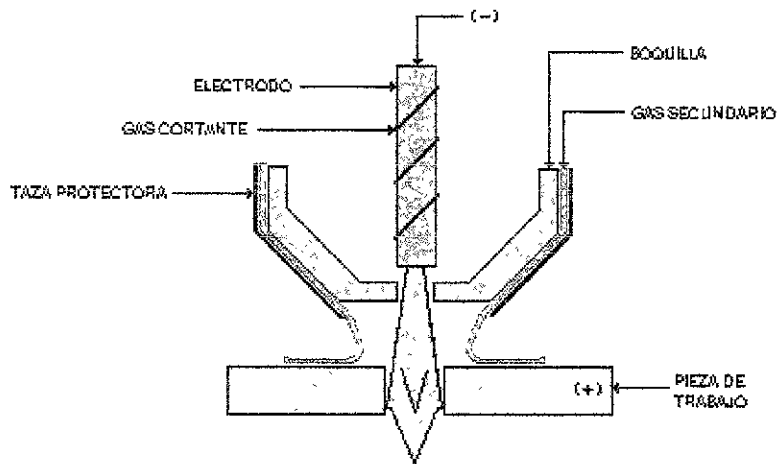


Figura No. 8. Flujo Doble en el Corte con Arco-Plasma

El gas protector también recubrió la zona de corte, mejorando la calidad y velocidad del mismo, así como el enfriamiento de la boquilla y la taza protectora.

3.2.3.1 CORTE CON ARCO PLASMA-AIRE (1963)

El corte con aire fue introducido a principios de la década de 1960 para cortes de acero suave, el oxígeno en el aire, aportó una energía adicional desde la reacción exotérmica con dicho acero. Esta energía adicional incrementó la velocidad de corte por cerca del 25% sobre el corte con arco-plasma, por medio del nitrógeno.

Aunque el proceso pudo ser usado para cortes de acero inoxidable y aluminio, las superficies de corte de estos materiales resultaban muy oxidadas e inaceptables para muchas aplicaciones.

El problema más grande en el corte con aire, consistía en la rápida erosión del electrodo de la antorcha del plasma, electrodos especiales hechos de zirconio, hafnio o aleaciones de hafnio, fueron necesarios desde que los electrodos de tungsteno se erosionaron en segundos si el gas cortante contenía oxígeno, aun con

estos materiales especiales, la vida del electrodo, usando plasma-aire fue mucho menor que la del electrodo utilizado el proceso de plasma-convencional.

Aunque el corte con plasma-aire no continuo después de la década de 1960 en los Estados Unidos y en el mundo occidental, un firme progreso fue desarrollado en el este de Europa con la introducción del "Feinstrahl Brenner" (antorcha Produciendo Restricción en el Arco), desarrollada por "Manfred Van Ardenne"; Esta tecnología fue adoptada en Rusia y eventualmente en Japón. El mayor suministrador llegó a ser "Mansfeld del este de Alemania".

Varios astilleros en Japón fueron los primeros usuarios del equipo de corte con plasma-aire. Sin embargo, la vida del electrodo fue relativamente corta y estudios revelaron que la cara de la pieza de trabajo en donde se efectuó el corte tenía un alto porcentaje de nitrógeno en solución, el cual pudo causar porosidad cuando posteriormente fuera soldada.

Este proceso de corte es mostrado en la siguiente figura.

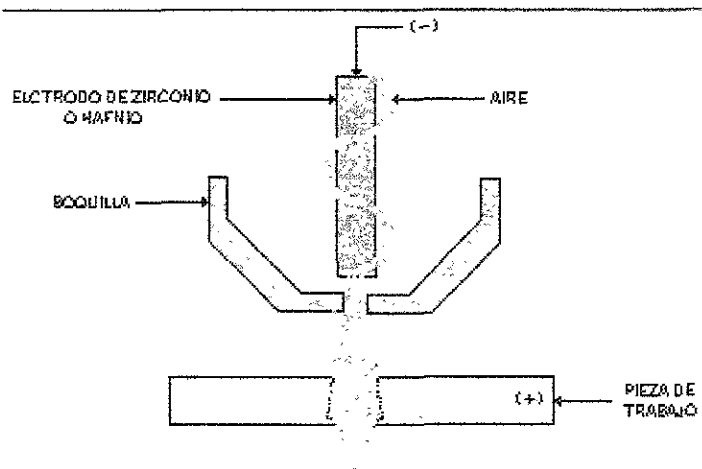


Figura No. 9 Corte con Arco Plasma-Aire

3.2.4 CAPA DE AGUA EN EL CORTE CON ARCO-PLASMA (1965)

La capa de agua en el corte con arco-plasma fue similar al flujo doble, excepto que el gas fue sustituido por una capa de agua. La apariencia del corte y la vida de la boquilla fue mejorada por el efecto de enfriamiento aportado por el agua.

Cortes rectos a 90°, velocidad de corte y acumulación de escoria no fueron mejorados en gran medida, comparados con el corte con arco-plasma de doble flujo, debido a que el agua no aportó una restricción adicional del arco. La siguiente ilustración nos da una idea del funcionamiento de dicho proceso

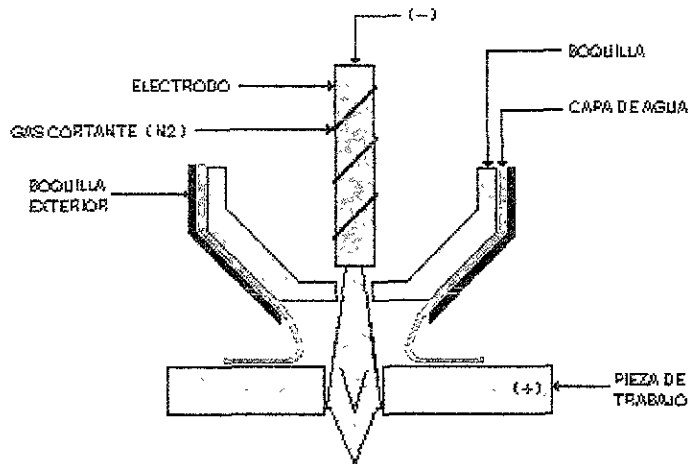


Figura No. 10 Corte con Arco-Plasma y Capa de Agua

3.3.5 INYECCIÓN DE AGUA EN EL CORTE CON ARCO-PLASMA (1968)

Al principio, el elemento que sirvió para mejorar la calidad del corte fue el desarrollo de la restricción del arco (tratando de evitar el doble arco).

En el proceso de corte con arco-plasma e inyección de agua; El agua fue inyectada radialmente dentro del arco de una manera uniforme como es mostrado en la figura No. 11

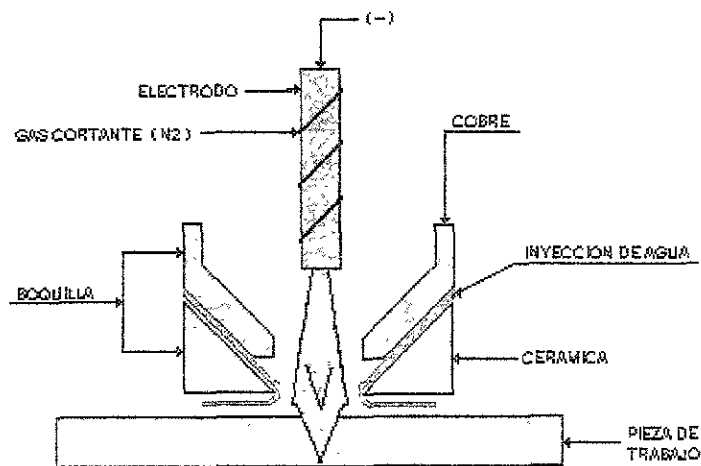


Figura No. 11. Corte con Arco-Plasma e Inyección de Agua

La inyección radial del agua en el arco aportó un alto grado de restricción del mismo, que pudo ser llevado a cabo por una boquilla fabricada de cobre.

Temperaturas de arco en esta región eran estimadas aproximadamente en $49,725\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($50,000\text{ }^{\circ}\text{K}$) o 9 veces la temperatura en la superficie del sol y más que el doble de la temperatura del arco-plasma convencional. El resultado final fue el mejoramiento de cortes rectos a 90° , incremento de velocidades de corte y la eliminación de escoria en el corte de aceros suaves. La restricción del arco por medio de inyección radial de agua, fue desarrollada y patentada en 1968 por Richard W. Couch Jr., Presidente de "Hypertherm, Inc."

Otra aproximación tomada para la restricción del arco con agua, fue desarrollando un vórtice de agua, dando vueltas alrededor del arco, con esta técnica, la restricción del arco dependió de la velocidad del giro necesitada para producir un vórtice en el agua, la fuerza centrífuga creada por la alta velocidad de giro era utilizada para aplanar la película anular del agua en contra del arco y además llevar a cabo menos efectos de restricción que con la inyección radial de agua. Lo anterior es mostrado en la siguiente figura.

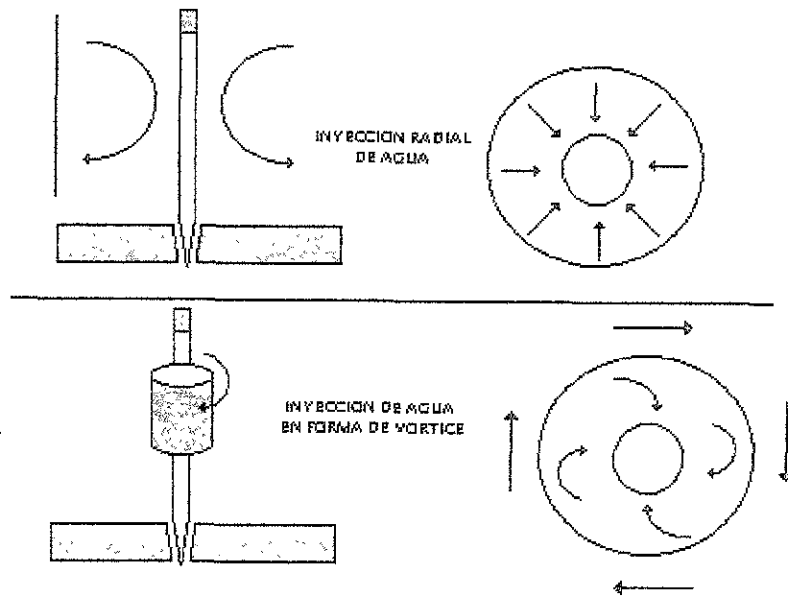


Figura No. 12. Dirección de la Inyección de Agua

Este proceso de corte, comparándolo con el proceso convencional descrito al principio, era muy diferente, ya que, con el proceso de corte con arco-plasma e inyección de agua se obtuvo una óptima calidad del corte en todos los metales, usando nitrógeno como gas.

Este singular gas fue requerido para hacer el proceso más económico y fácil de usar. Físicamente el nitrógeno fue ideal por su superior habilidad para transferir calor desde el arco hacia la pieza de trabajo y la energía calorífica absorbida por el nitrógeno cuando este era disociado fue dispersada al combinarse con la pieza de

trabajo. A pesar de las elevadas temperaturas en el punto donde el agua invadía el arco, menos del 10% del agua fue vaporizada. La restante agua fue expulsada desde la boquilla en la forma de un spray cónico, la cual enfriaba la superficie superior de la pieza de trabajo. Este adicional enfriamiento, evitó la formación de óxidos en la superficie de corte y se obtuvo una mayor eficiencia de enfriamiento de la boquilla en el punto de máxima carga calorífica.

La razón por la que se origino una restricción del arco en la zona de inyección de agua, fue la formación de una capa frontera aislante de vapor entre la inyección de plasma y la inyección de agua, esta capa frontera de vapor denominada "La línea Frost Laves" (Capa Escarcha Extensa) es el mismo principio que permite a una gota de agua bailar alrededor de una placa de metal caliente, mejor dicho que vaporización inmediata.

La vida útil de las boquillas se incremento de manera notable con la técnica de inyección de agua, porque la capa frontera de vapor aisló a la boquilla del intenso calor del arco y el agua enfrió y al mismo tiempo protegió a la misma en el punto de máxima restricción y temperatura del arco. La protección proporcionada por la capa frontera de vapor de agua, también permitió una única innovación designada; La parte baja de la boquilla pudo ser cerámica, consecuentemente, doble arco, una de las mayores causas de la destrucción de la boquilla se elimino supuestamente. Este proceso es mostrado en la siguiente ilustración.

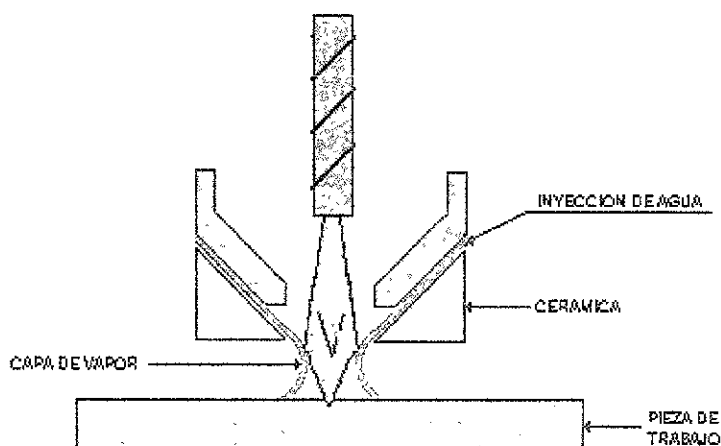


Figura No.13 Capa de Vapor

Una característica importante en los bordes de los cortes consistía en que el lado derecho del corte era un corte recto a 90° y el lado izquierdo escasamente biselado. Lo anterior mencionado no fue causado por la inyección del agua, sino que resultó a causa del sentido de giro a favor de las agujas del reloj del gas plasma

Este giro fue la causa de más energía en el arco para ser expandido en el lado derecho del corte, este mismo corte asimétrico se logró usando el proceso convencional de "arco seco" cuando el gas cortante estuvo girando. Esto quiere decir que es muy importante seleccionar la dirección de propagación del gas, para producir un corte recto a 90° de manera correcta en la pieza de trabajo.

En la siguiente figura No. 14 el aro mostrado tiene el corte exterior hecho con un giro en la dirección de las agujas del reloj, lo cual originó un corte recto a 90° en el lado derecho. Similarmente el corte interior esta hecho con un sentido de giro en contra de las agujas del reloj para conservar un filo o borde recto a 90° en el interior del aro. Un sentido de giro en contra de las manecillas del reloj en el aro puede ser suministrado, lo cual revertiría el sentido del giro del flujo del gas y obtendríamos como resultado el óptimo lugar del corte para el lado izquierdo, esto sería usado si en un sistema de corte diseñado con dos antorchas a la vez, se contara con un pantógrafo y así lograr cortes simultáneos.

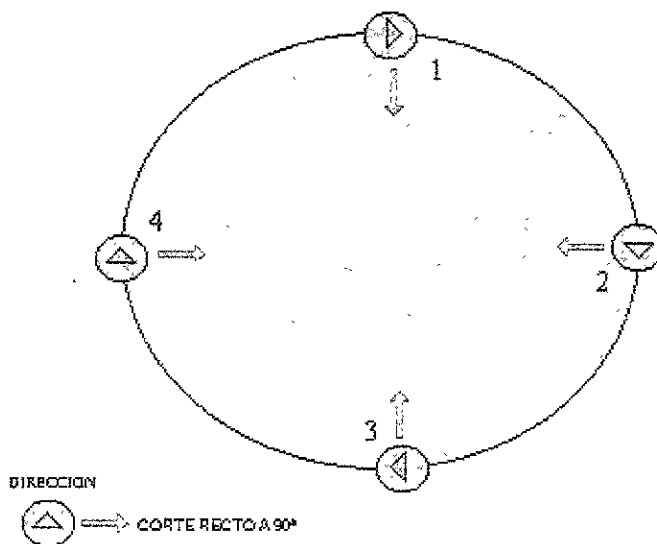


Figura No. 14 Dirección del Corte

3.2.6 SILENCIADOR DE AGUA Y MESA DE AGUA (1972)

Desde que el proceso de arco-plasma fue una fuente de alta concentración de calor (por arriba de los 49,725 °C), hubo algunos efectos negativos que son los siguientes:

- 1- Alta corriente en el arco; el corte con arco-plasma generaba un intenso nivel de ruido, por encima del normalmente permitido en áreas de trabajo (90 decibeles), requiriendo protección para los oídos.
- 2- Humo y gases tóxicos desarrollados en el área de trabajo, requiriendo una Buena ventilación.
- 3- Radiación ultravioleta, la cual se podía introducir potencialmente en la piel y en los párpados, requiriendo ropa protectora y lentes oscuros.

En 1972, Hypertherm introdujo y patentó el “Silenciador de Agua” y la “Mesa de Agua”, sistemas de control para la contaminación, la cual controló los efectos potencialmente peligrosos del corte con arco-plasma.

3.2.6.1 SILENCIADOR DE AGUA

El sistema “Silenciador de Agua” creó una capa de agua con alto flujo alrededor de la antorcha, lo cual produjo los siguientes resultados benéficos, cuando se usó en una mesa de agua.

- 1- El alto nivel de ruido del arco-plasma fue repentinamente reducido a través del efecto silenciador de la cortina del agua.
- 2- Humo y gases tóxicos fueron desviados hacia el área de la cortina de agua, la cual actuó como un filtro, eliminando las partículas de humo al ser filtradas en dicha cortina.
- 3- La acción de deslumbramiento del arco fue reducido a un nivel, menos peligroso para los ojos.
- 4- Con el tinte apropiado en el agua, la radiación ultravioleta fue disminuida.

3.2.6.2 MESA DE AGUA

El depósito de la mesa de agua se localizaba debajo de la pieza de trabajo, la función de esta mesa de agua era encapsular la alta intensidad de ruido, la cual escapaba por la parte inferior del corte y al mismo tiempo absorbía las partículas del humo (realizando también la función de un filtro).

3.2.7 CORTE BAJO EL AGUA (1977).

Más adelante, en Europa intentaron disminuir el nivel de ruido en el proceso de corte con arco-plasma y para eliminar el humo desarrollaron procesos encabezados por el corte bajo el agua. Este método de alto poder de corte con arco-

plasma con corrientes por arriba de los 100 amperes llegó a ser tan popular que todavía en estos días varios sistemas de alto poder de arco-plasma cortan bajo el agua.

Para el proceso de corte con arco-plasma bajo el agua, la pieza de trabajo es sumergida entre 50 y 75 mm y bajo el agua y la antorcha del plasma corta mientras esta sumergida en la misma. El nivel de humo y ruido así como el deslumbramiento del arco fueron reducidos grandemente. Un efecto negativo de este método de corte es que la pieza de trabajo no era observada mientras existía el corte y la velocidad de este fue reducida entre 10% y 20%, además, el operador no podía determinar la distancia ideal para un arco correcto, aun así, este procedimiento de corte fue aceptable y además los artículos de consumo fueron producidos con una buena calidad de corte.

Finalmente, cuando se efectuaba el corte bajo el agua, cierta cantidad de agua alrededor de la zona de corte era disociada dentro del oxígeno e hidrógeno, el oxígeno libre tendía a combinarse con el metal fundido desde el corte (especialmente en el aluminio y otros metales ligeros) para formar óxido de metal, lo cual permitía al gas-hidrógeno liberarse en el agua, cuando este hidrógeno era recolectado formaba una especie de bolsa bajo la pieza de trabajo, creaba pequeñas explosiones cuando se producía la reignición con la inyección del plasma, hasta entonces el agua necesitaba ser constantemente agitada mientras cortaba dichos metales.

3.2.7.1 SILENCIADOR BAJO EL AGUA

Basados en la popularidad del corte bajo el agua, en 1986, "Hypertherm" diseñó y patentó un silenciador bajo el agua, el cual inyectaba aire alrededor de la antorcha, estableciendo una burbuja de aire en la cual el corte podía proceder. Este desarrollo llegó a ser denominado el proceso de corte bajo el agua con inyección de aire, el cual era frecuentemente utilizado en el corte con oxígeno hasta con una capacidad de 260 amperes. El uso de éste proceso incrementó la calidad del corte y produjo velocidades de corte relativamente altas, logradas por la línea de agua y "entrada de aire" en las técnicas de corte con arco-plasma.

3.2.8 BAJO AMPERAJE EN CORTE CON ARCO PLASMA-AIRE (1980)

En 1980 el equipo para proceso de corte con arco-plasma manufacturado en la "Western Hemisphere" introdujo nuevo equipo usando aire como gas-plasma, enfocado a un menor consumo de amperaje en este tipo de sistema. A principios de 1983 "Thermal Dynamics" lanzó el PAK3 y "SAF" introdujo el ZIP-Cut.

Ambas unidades obtuvieron bastante éxito, una en Estado Unidos y otra en Europa. Esto abrió una nueva era para el corte con arco-plasma, la cual incrementó el éxito en el mercado mundial alrededor de 50 veces en la década de 1980 y creó muchas nuevas industrias manufactureras. El corte con arco-plasma es finalmente aceptado como un nuevo método para corte de metales y considerado como una valiosa herramienta en todos los segmentos de la industria del moderno trabajo en metales.

3.2.9 CORTE CON ARCO PLASMA-OXÍGENO (1983)

Ya que, el método tradicional de corte del acero fue el proceso de inyección de oxígeno, fue lógico que los ingenieros que desarrollaron el corte con arco-plasma trataran desde el principio usar oxígeno como gas-plasma, sin embargo, la elevada temperatura en la punta del electrodo y la presencia de oxígeno puro causó que todos los materiales conocidos para la fabricación de electrodos se deterioraran rápidamente, por lo que los cortes no podían ser realizados satisfactoriamente, esto causó que el oxígeno y el aire no fueran aceptados como gases-plasma, el corte con oxígeno hasta entonces fue abandonado en los primeros años del desarrollo de la tecnología de corte con arco-plasma.

A principios de 1970 fue descubierto que el Hafnio y el Zirconio (disponibles en la industria), opusieron resistencia al rápido deterioro del electrodo que ocurría en el corte con arco plasma-oxígeno, por lo que el aire y el oxígeno llegaron a ser nuevamente de extremo interés como gases-plasma.

“Hypertherm” tomó este reto e inicio una serie de grandes esfuerzos, en 1983 la compañía tuvo éxito con un diseño que mejoró la antorcha e hizo todo lo posible para usar oxígeno como gas-plasma, una patente para efectuar cortes con inyección de agua en el proceso de corte con arco plasma-oxígeno fue conseguida y así dicho desarrollo llegó ser el mas reciente en la tecnología de corte con arco-plasma. El corte con arco plasma-oxígeno ofreció un amplio rango de condiciones en velocidades de corte, libres de escoria (incremento en dichas velocidades de hasta un 30%) además de operar con un bajo nivel de corriente.

Por otra parte se producían cortes rectos a 90° y bordes con acabados aceptables, el resultado de los buenos acabados en los bordes facilitó la fabricación de dobleces así como los biseles para la aplicación de las soldaduras. Todos los aceros, incluyendo los de alta resistencia y aceros de baja aleación, fueron cortados libres de escoria con este nuevo proceso.

La parte crítica continuaba siendo la vida del electrodo, el cual aún usando Hafnio para su fabricación permanecía con un tiempo de vida limitada, de cualquier modo la calidad del corte en el acero con arco plasma-oxígeno fue

excelente, más adelante los usuarios aceptarían que la corta vida de estos electrodos se compensaba con las ventajas que ofrecían.

3.2.10 INYECCIÓN DE OXÍGENO EN EL CORTE CON ARCO-PLASMA (1985)

El corte con arco-plasma con inyección de oxígeno evitó el problema de la vida del electrodo por usar nitrógeno como el gas-plasma e inyectando oxígeno debajo del chorro a la salida de la boquilla como el mostrado en la siguiente figura.

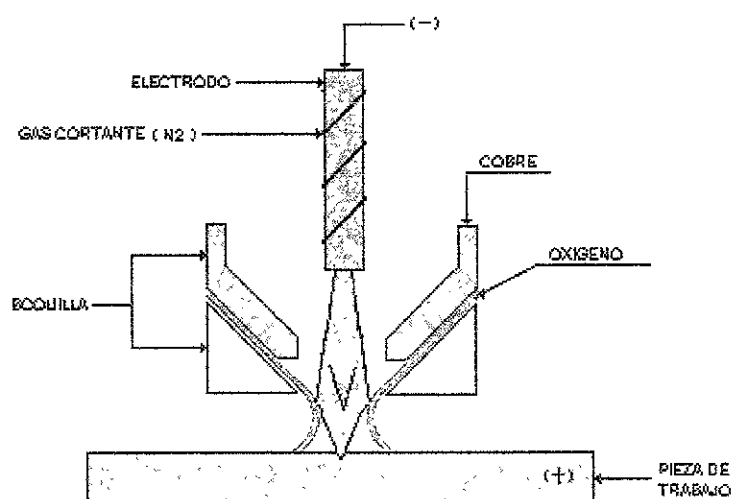


Figura No. 15 Corte con Arco-Plasma e Inyección de Oxígeno

Este proceso fue usado exclusivamente en aceros suaves e incrementaba insignificadamente la velocidad de corte, de cualquier modo la mayor desventaja fue la falta de cortes rectos a 90° , excesiva remoción de escoria, corta vida de la boquilla y versatilidad limitada (en aceros suaves).

Mientras este proceso aun se usa en algunas localidades, el incremento limitado en su desempeño, asociado con la no justificada alza de precio, además de esto el complicado y delicado diseño de la antorcha siguen siendo sus desventajas más notables.

3.2.11 CORTE CON ARCO-PLASMA EN EL FONDO DEL AGUA (1989)

En la década de 1990 la industria del poder atómico contaba con dos retos mayores.

- 1- Como alargar la vida útil de las plantas nucleares existentes.
- 2- Como desmantelar las plantas ya inactivas.

Mientras la industria del poder atómico estaba trabajando arduamente para desarrollar procedimientos para reparar componentes en la cámara del reactor, las comisiones atómicas de varios estados estaban en busca de métodos para lograr cortes en los reactores desgastados y otros componentes en pequeñas piezas para su eliminación.

Desde que un reactor nuclear y sus componentes auxiliares tuvieron que ser guardados en una gran cisterna de agua, todas las reparaciones y desmantelaciones también fueron realizadas bajo el agua. Desde que la mayoría de los componentes de dichos reactores fueron construidos de acero inoxidable, el corte con arco-plasma fue el método mas solicitado para estas operaciones. Superar los problemas del corte bajo el agua había sido un reto para la fabricación de equipos de corte con arco-plasma que no eran utilizados y así lograr incluirlos en el proceso, "Hypertherm" trabajo con varios contratistas de la industria del poder nuclear para desarrollar equipos de corte con arco-plasma bajo el agua

En 1990 "Hypertherm's" dio a conocer el PAC500-1000 amperes; Sistema de corte con arco-plasma que fue usado exitosamente para cortar espesores mayores de 114 mm (4-1/2") placas de acero inoxidable a 4.56 m de altura bajo el agua (15ft.). También en 1990 el MAX100 y MAX200 fueron usados bajo el agua en varios lugares con una profundidad de 7.62 m (25 ft). Varios proyectos fueron hechos para cortar bajo 30.48 m (100 ft) de profundidad para aplicaciones en mar adentro.

3.2.12 ALTA DENSIDAD EN CORTE CON ARCO-PLASMA (1990)

El corte con rayo láser ha llegado a ser un importante competidor en la industria del corte de metal, por su habilidad para producir cortes de alta calidad con exactitud y precisión. Para conseguir un lugar en el mercado del corte de metal con buena calidad, fabricantes de equipos para corte con arco-plasma incrementaron sus esfuerzos para diseñar y más adelante mejorar la calidad de corte de su equipo.

A principios de la década de 1990 se dio a conocer el primer equipo de corte con arco-plasma de gran calidad, con un consumo de 40 a 90 amperes, la cual producía un corte recto a 90°, reducía el ancho de la viruta, contando con un incremento en la velocidad de corte. Algunas unidades fueron fabricadas en Japón. “Hypertherm” ha introducido su tecnología “HyDefinition” para competir en este lugar del mercado. Las expectativas eran misma calidad como un corte con rayo láser, desde entonces el equipo de corte con arco-plasma es mucho más bajo en costo que una unidad de corte con rayo-láser, y la compañía espera que este tipo de corte con arco-plasma llegue a ser un mayor competidor en el mercado de corte con rayo láser.

3.3 LARGA DURABILIDAD EN PARTES CONSUMIBLES (1990)

Desde que el corte con arco plasma-aire y plasma-oxígeno habían llegado a ser más populares, la única consecuencia negativa era el ciclo corto de la vida útil de sus partes consumibles, la mayor manufacturera de sistemas de corte con arco-plasma se encontraba trabajando para resolver este problema. Es esperado que en un futuro cercano, el tiempo de vida de los electrodos que son usados en el proceso de corte con arco-plasma aire/oxígeno sean extendidos en el mercado sustancialmente, reduciendo el costo de dicho proceso de corte, y por lo tanto este será usado mas ampliamente para cortes de aceros. “Hypertherm” ha introducido esta tecnología de larga vida en varios modelos, logrando mejores resultados de vida útil en sus partes.

Por lo anterior, nos damos cuenta de la necesidad que existe de contar con los accesorios adecuados para realizar cortes de perfiles rectos y circulares en un equipo de corte con arco-plasma, facilitando con estos dicho trabajo y a la vez mejorando la calidad de los cortes.

En el siguiente capítulo, se muestra un análisis detallado de los accesorios que se pueden utilizar para efectuar cortes de perfiles rectos y circulares con un equipo de corte con arco-plasma, valorando la importancia de estos accesorios en un proceso de producción.

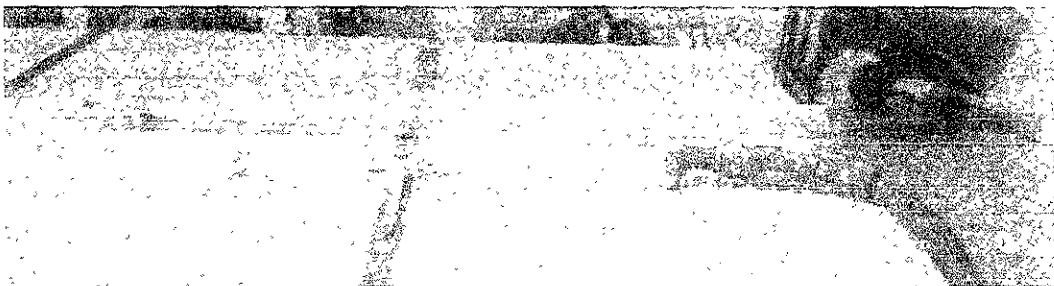
CAPITULO IV

ACCESORIOS Y/O HERRAMENTAL DEL PROCESO DE CORTE CON ARCO-PLASMA

Objetivo: Conocer de manera amplia, los dispositivos que se utilizan normalmente para integrar un sistema de corte con arco-plasma, incluyendo los accesorios y/o herramental para efectuar dichos cortes de perfiles rectos y circulares, debido a su gran utilidad en el proceso de producción. Esto se debe a sus características de flexibilidad, las cuales facilitan de manera notable dichos cortes reflejándose en el tiempo requerido para desarrollar dicho trabajo.



a) Accesorio para Cortes Circulares (Compás)



b) Accesorio para Cortes Rectos (Guía)

Figura No. 1 a) Compás para Equipo de Corte con Arco-Plasma
b) Guía para Cortes Rectos

4.1 Introducción

El gas plasma es comúnmente producido desde un generador de corriente directa, un electrodo de tungsteno (cátodo) y una boquilla de cobre (ánodo) enfriada por medio de agua, estos son los dispositivos utilizados para mantener un arco de corriente continua entre ellos y así generar dicho arco.

Recientemente (para la fabricación de antorchas), se han desarrollado materiales a los que la oxidación a altas temperaturas no les afecta considerablemente. Con base a esto, la tecnología moderna ha desarrollado equipos para el proceso de corte con arco-plasma, en los que el gas-plasma es aire seco y limpio, almacenado a alta presión. Es sabido que el mayor componente en porcentaje del aire es el gas nitrógeno y es este el gas que realiza la operación de corte. La presencia de oxígeno no afecta considerablemente a los elementos de la antorcha ni al material base, con este método se logran cortes en materiales con un espesor de hasta 38.1 mm (1-1/2").

Estos equipos de corte pueden usar indistintamente aire comprimido o nitrógeno puro como gas-plasma (sin hacer cambios en los componentes de la antorcha) prefiriéndose el nitrógeno cuando se requieren cortes más perfectos y limpios, lo cual hace sobresaliente a la línea de corte con arco plasma-nitrógeno

4.2 Tipo y Encendido del Gas-Plasma.

Cuando se emplea un gas inerte (como el nitrógeno) en un corte metálico con proceso de corte con arco-plasma, se protege a dicho metal contra la oxidación, y se tiene un mínimo de alteración en el material cortado; esto trae consigo un excelente corte en metales donde se necesita una mínima alteración. También es muy común el uso de un gas secundario, para expulsar el metal fundido fuera del metal base y con propósitos de enfriamiento en las partes componentes de la antorcha.

El sistema de arranque en la antorcha utiliza alta frecuencia para encender el arco piloto. Este arco piloto se establece entre el electrodo y la punta de la antorcha (tip). El arco piloto establece un camino para el arco principal hacia el punto de corte, la luz producida por el arco piloto permite ver la posición de la antorcha un instante antes del corte como se muestra en la figura No. 2

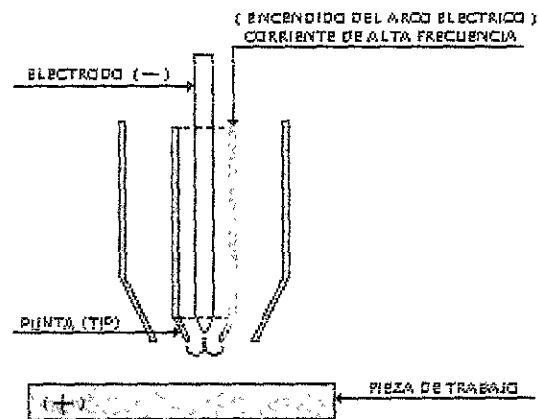


Figura No. 2 Sistema de Arranque en la Antorcha

Los gases típicos usados como plasma son el nitrógeno, mezcla de argón e hidrógeno o mezcla de nitrógeno e hidrógeno. El uso de algún gas secundario ayuda a eliminar el metal fundido, reduce la escoria en las orillas del corte, proporciona un enfriamiento adicional a la antorcha alargando la vida útil de las piezas expuestas a la alta temperatura desarrollada en el corte. El bióxido de carbono es el gas secundario de mas uso.

4.3 Sistema de Corte con Arco-Plasma

Los sistemas de corte que usan el proceso de arco-plasma se dividen en sistemas de alta corriente y sistemas de baja corriente.

Los sistemas de alta corriente usan de 150 amperes para cortar 3.17 mm de espesor a 1,000 amperes para cortar 152.4 mm de espesor y se usan preferentemente con máquinas de alta velocidad de corte (automatización). Un operador en corte manual perdería rápidamente su capacidad productiva, por el alto contenido de trabajo que este sistema implica.

Los sistemas de baja corriente utilizan corrientes de 70 a 100 amperes para cortes de buena calidad en metales de hasta 25.4 mm de espesor. Este sistema requiere de antorchas ligeras, de fácil manejo en cortes bajo operación manual. Se usa gas nitrógeno y bióxido de carbono como gas-plasma y gas secundario respectivamente en la mayoría de las aplicaciones.

Mezclas de 80% argón y 20% hidrógeno como gas-plasma se usan para mejorar la calidad del corte de metales no ferrosos de 12.7 mm y 25.4 mm de espesor. El gas nitrógeno se usa como gas secundario.

4.4 Componentes de un Sistema de Corte con Arco-Plasma

Un sistema de corte con arco-plasma se forma básicamente de los siguientes componentes:

- 4.4.1 Antorcha para corte.
- 4.4.2 Suministro de energía eléctrica.
- 4.4.3 Suministro de alimentación de gas, con sistema de interconexión y regulación.
- 4.4.4 Sistema de enfriamiento con gas o agua

El siguiente diagrama de flujo muestra los componentes básicos de un sistema de corte con arco-plasma.

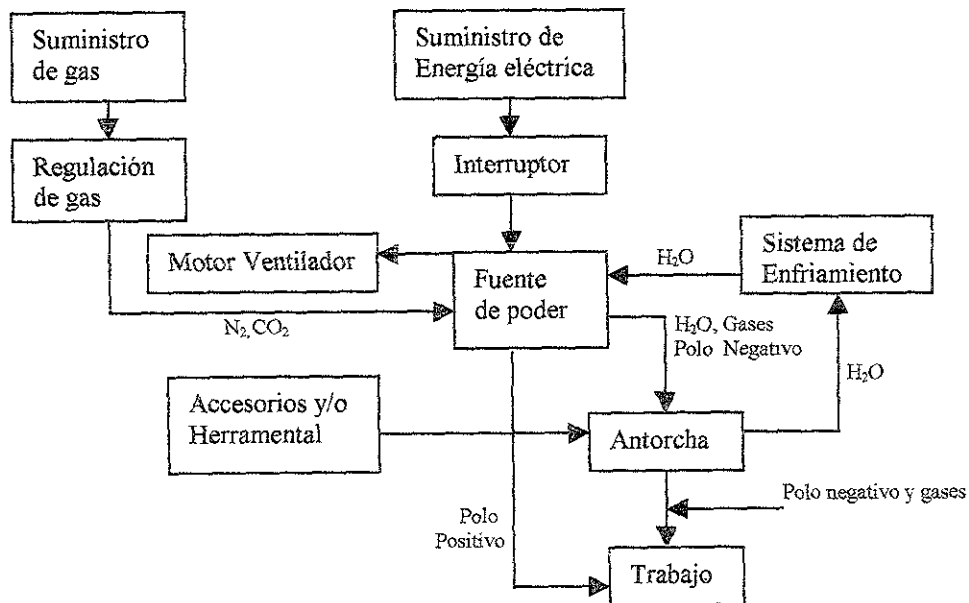


Diagrama No. 1 Componentes de un Sistema de Corte con Arco-Plasma

En los últimos años, los equipos para aplicación del método de corte con arco-plasma, han logrado avances en su diseño que permiten el uso de bajas corrientes para aplicaciones especiales de corte, de tal modo que actualmente existen diversos sistemas de corte con el proceso de arco-plasma en uso comercial.

El diseño de los nuevos equipos se basa en una serie de necesidades fundamentales de la industria metal-mecánica como son las siguientes:

- 1- Facilidad de instalación, operación y mantenimiento.
- 2- Movilidad del equipo en la planta, para que este pueda ser llevado al lugar en donde se va a realizar el trabajo y no el trabajo venga al equipo de corte.
- 3- Facilidad y rápido reemplazo de las partes componentes sin el uso de herramientas especiales.
- 4- Cortes de calidad razonable cuando se opera bajo condiciones difíciles.
- 5- Los más bajos costos posibles del equipo y partes de reemplazo.

4.4.1 Antorchas para Corte y sus Componentes

De acuerdo con los criterios anteriores, se han desarrollado cuatro tipos básicos de antorchas para corte con proceso de arco-plasma que son los siguientes:

- a) Antorchas para un solo gas (el gas-plasma). Son diseñadas para manejar hasta 200 Kilowatts y en cortes hasta de 152.4 mm de espesor, en material acero suave
- b) Antorchas de doble flujo: Estas antorchas usan el gas-plasma protegido por una columna de gas secundario, la cual esta diseñada para cortes de mas calidad y hasta 101.6 mm de espesor. En operación manual corta hasta 76.2 mm de espesor.
- c) Antorchas con agua como protección del gas-plasma: El agua sustituye al gas secundario y ayuda a obtener cortes de alta calidad, cortes rectos a 90° con reducción de rebaba en los filos. Su capacidad es de hasta 76.2 mm de espesor.
- d) Antorchas para baja corriente: Produce cortes con buena calidad en metales no ferrosos de hasta 12.7 mm de espesor utilizando bajas velocidades de corte.

Maneja corrientes en un rango de 70 a 100 amperes, usa un bajo flujo de nitrógeno como gas-plasma (aproximadamente 9.44 litros/minuto), para la mayoría de sus aplicaciones. El gas CO₂ es normalmente usado como gas secundario. Una mezcla de 80% argón y 20% hidrógeno como gas-plasma y finalmente como gas secundario se utiliza el nitrógeno, todo lo anterior mencionado se usa para mejorar la calidad del corte en espesores de 12.7 mm a 25.4 mm de espesor

Con esta combinación de gases se logran cortes con un acabado fino y de superficie pulida utilizando los mismos flujos de gas.

En la siguiente ilustración, se muestra el modelo de una antorcha que utiliza un solo gas.

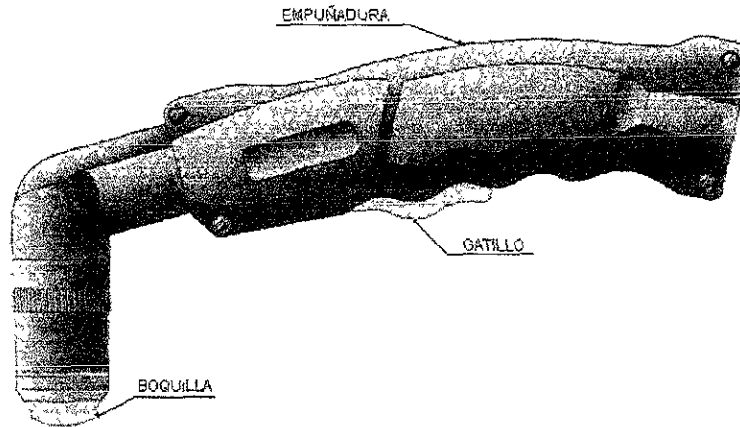


Figura No. 3 Ejemplo de una antorcha para corte con arco-plasma, diseñada para utilizar un solo gas como gas plasma (en este caso aire)

4.4.1.1 Partes de la Antorcha

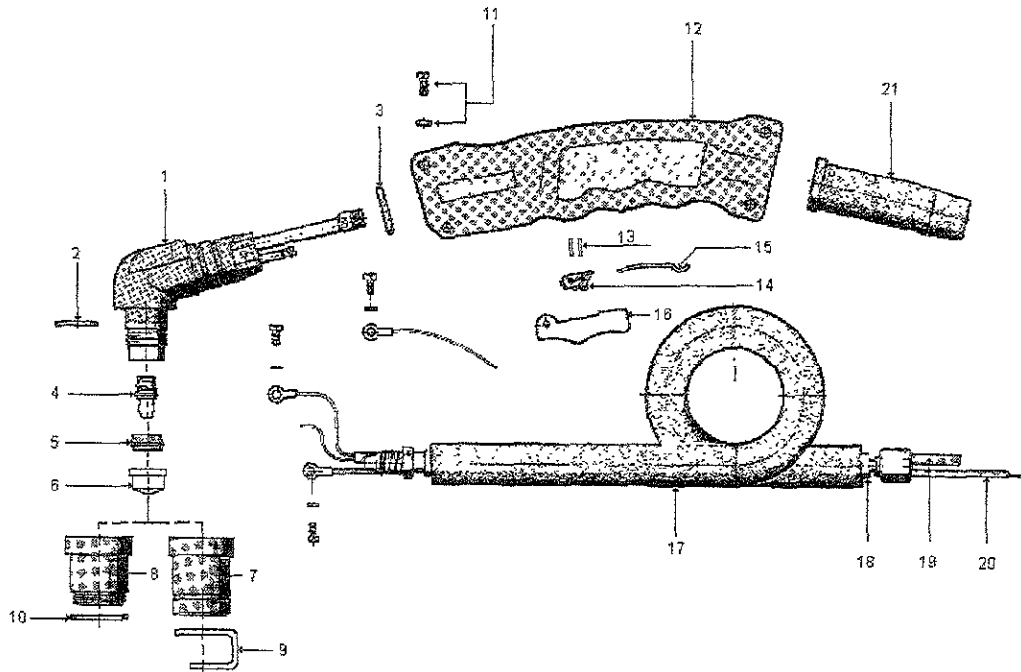


Figura No. 4 Partes de una Antorcha para Corte con Arco-Plasma

4.4.1.2 Relación de los componentes de la antorcha

No	Nombre
1	Cabeza de la antorcha
2	O-ring
3	O-ring
4	Electrodo
5	Difusor del Aire
6	Punta
7	Boquilla
8	Aislador para el contacto de corte
9	Guía distanciadora
10	Aro para el sello del aislador
11	Tornillo y tuerca
12	Empuñadura
13	Enchufe para el switch
14	Microswitch
15	Resorte del switch
16	Gatillo
17	Forro del cable
18	Cable de poder y del paso de aire
19	Cable del control principal
20	Cable del arco-piloto
21	Soporte del cable

Cuadro No. 1 Componentes de la Antorcha para Corte con Arco-Plasma

4.4.2 Fuente de Poder de Corriente Eléctrica.

La fuente de poder empleada en un proceso de corte con arco-plasma, es en su diseño muy parecida a una fuente de poder de corriente constante y voltaje variable, empleada en el proceso de soldadura por electrodo revestido.

En la siguiente ilustración se muestra el ejemplo de una fuente de poder característica de un equipo de corte con arco-plasma.

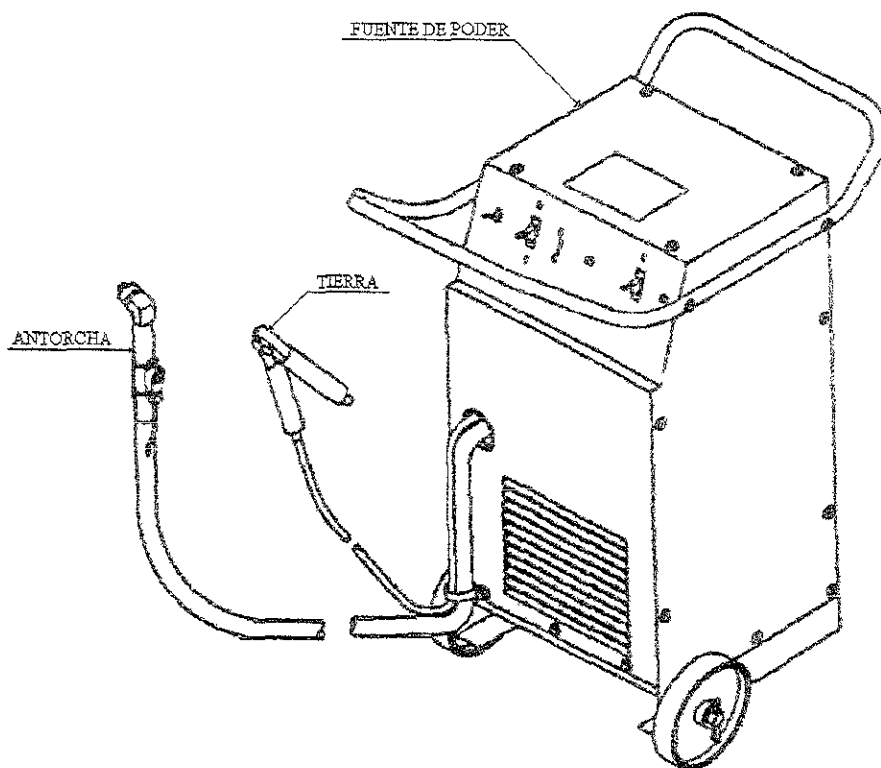


Figura No. 5 Fuente de Poder de un Equipo de Corte con Arco-Plasma

Utiliza energía eléctrica trifásica de 220 o 440 volts, 60 Hz. Su voltaje de circuito abierto es alto comparado con los voltajes empleados en equipos de soldadura convencional. El voltaje utilizado en el proceso de corte con arco-plasma es del orden de los 200 volts de circuito abierto en corriente directa y de 100 a 125 volts en corriente directa bajo carga.

A continuación se presenta un diagrama de flujo que nos muestra cada uno de los componentes de una fuente de poder.

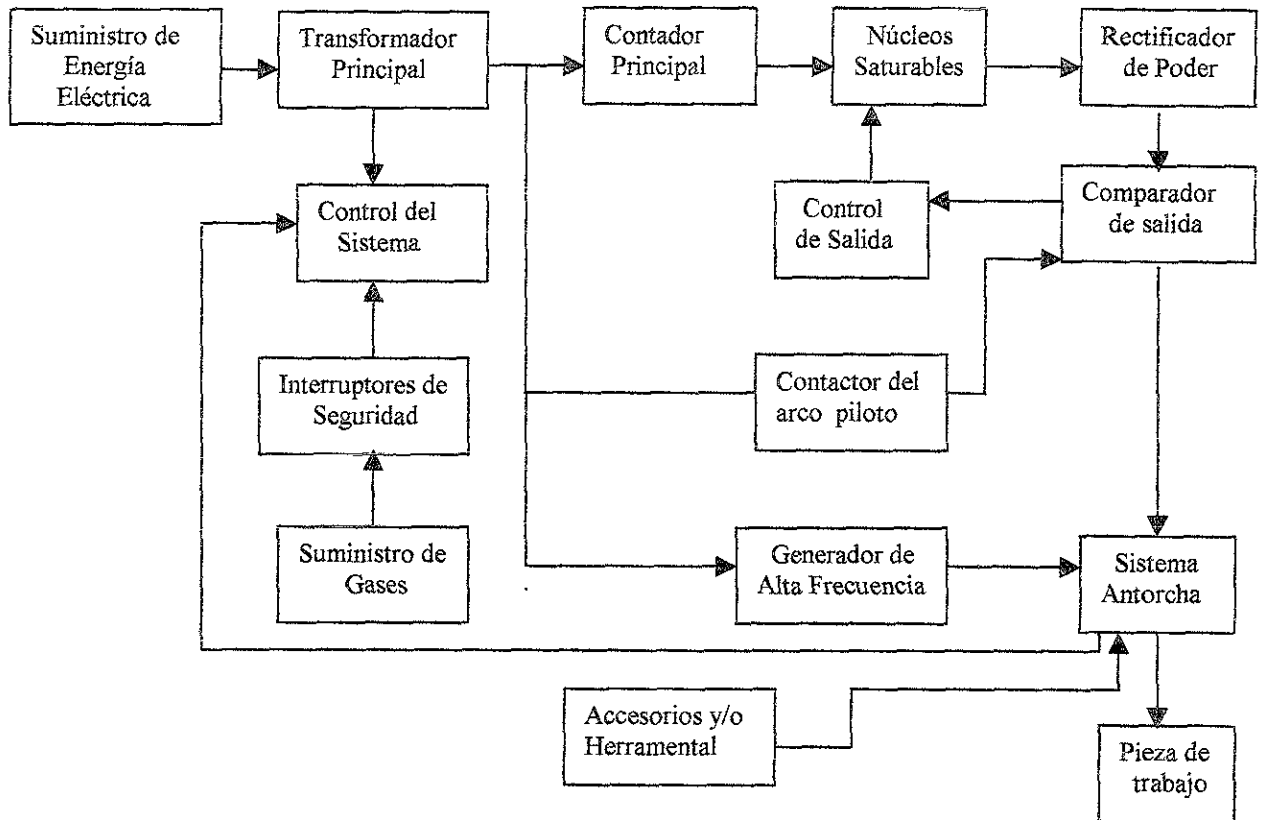


Diagrama No. 2 Componentes de una Fuente de Poder Para Corte con Arco-Plasma

En el diagrama de bloques No. 2, se pueden apreciar los elementos que constituyen la fuente de poder para el proceso de corte con arco-plasma. La función de cada elemento la vamos a explicar a continuación.

4.4.3 Suministro de Energía Eléctrica

El suministro de energía debe ser de dos o tres fases de 220 o 440 volts, 60 Hz. Para sistemas de corte con baja corriente, el suministro de energía debe ser capaz de proporcionar hasta 20 KVA de potencia. Para sistemas de corte con alto consumo de corriente, el suministro debe estar capacitado para proporcionar hasta 150 KVA de potencia.

4.4.4 Transformador Principal

La energía proporcionada por el suministro es transformada en esta sección. los voltajes de línea de 220 o 440 volts, son transformados a 127 ó 254 volts entre fases del devanado secundario. Aparentemente se observa una pérdida pero no es así, ya que la corriente para el corte se eleva considerablemente y además puede ser controlada.

En esta sección, también obtenemos energía a 127 y 24 volts para alimentar al control del sistema.

4.4.5 Control del Sistema

Aquí es donde la energía eléctrica proporcionada por el transformador es controlada paso a paso. Esta sección es a su vez controlada por los interruptores de seguridad correspondientes al suministro de gas y a la puerta de acceso a terminales de la antorcha. Al oprimir el interruptor de la antorcha, el control manda señal al contactor del arco-piloto y al generador de alta frecuencia para el encendido del arco, una vez encendido, el control elimina estas dos secciones y manda una señal al contactor principal quien pone en operación a la siguiente sección.

4.4.6 Núcleos Saturables

La corriente alterna proporcionada por el transformador principal, es pasada a esta sección por medio del contactor principal y controlada su magnitud por la corriente de saturación que manda el control de salida antes de ser enviada al rectificador de poder.

4.4.7 Rectificador de Poder

La corriente alterna enviada por los núcleos saturables es convertida en corriente directa y pasada a la antorcha. La cantidad de corriente es analizada por el comparador de salida.

4.4.8 Comparador de Salida

Este dispositivo compara la magnitud de corriente que sale con la que fue seleccionada o ajustada con el potenciómetro instalado en el frente de la máquina y manda la señal de ajuste al control de salida si es necesario, para de este modo mantener una corriente de corte prácticamente estable (esto compensa las variaciones de voltaje de línea y las del pulso del operador).

4.4.9 Sistema de Enfriamiento

La fuente de poder esta provista de un sistema de enfriamiento, para que las partes que al funcionar generan calor se mantengan a una temperatura adecuada. El sistema más popular de este tipo de enfriamiento es utilizando la ventilación forzada por medio de un ventilador.

4.5 ACCESORIOS PARA CORTE

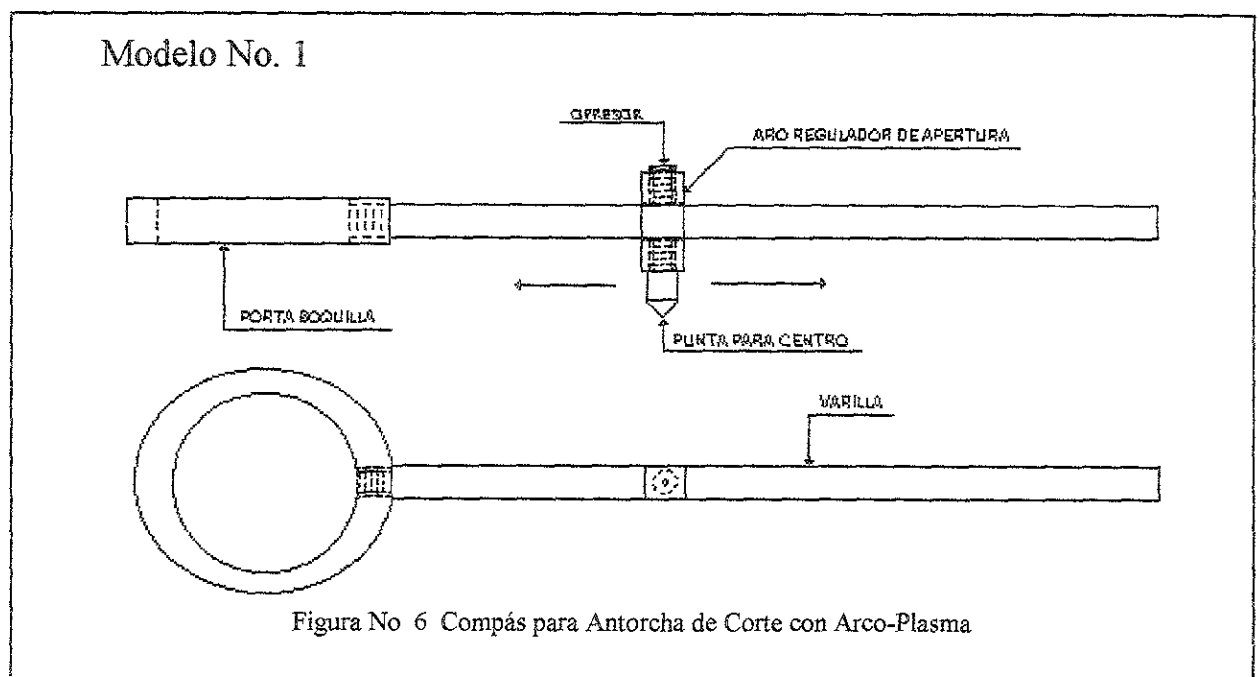
Estos accesorios son dispositivos auxiliares en el corte con arco-plasma, con los cuales se pueden realizar cortes que con el pulso del operador serian difíciles y a veces imposibles de realizar, además podemos lograr características propias en estos cortes como son mayor exactitud, rapidez y lo que es más importante mejor acabado. Dichos accesorios a continuación los vamos a clasificar y posteriormente a analizar cada uno de ellos.

Accesorios para corte: - Compás para cortes Circulares
- Guía para Cortes Rectos

4.5.1 Compás para Cortes Circulares

Es un accesorio auxiliar para poder realizar cortes circulares en metales los cuales pueden ser cortados con arco-plasma, este tipo de cortes son muy comunes en la industria para el conformado de materiales,

Las figuras No.7 y No. 8 muestran dos ejemplos de este tipo de accesorios.



Modelo No. 2)

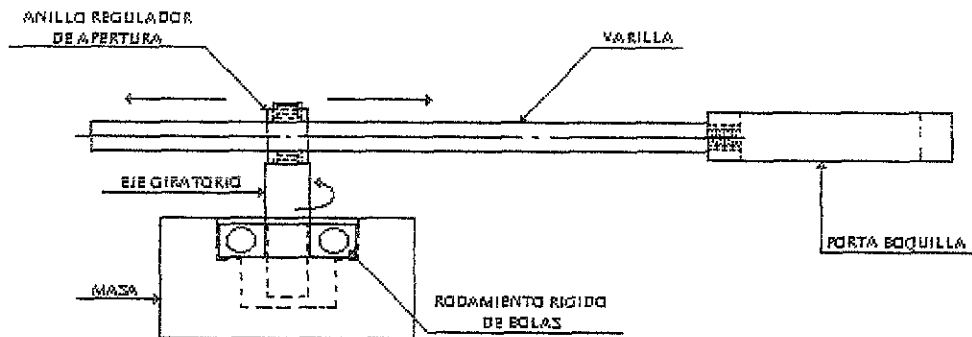


Figura No. 7 Compás para Antorcha de corte con arco-plasma

4.5.2 Guía para Cortes Rectos

Es un accesorio auxiliar, cuya finalidad es facilitar la realización de cortes rectos en tramos considerables (mayores de 100 mm), los cuales opondrían un alto grado de dificultad para su realización.

Tanto el compás de corte como la guía para cortes rectos es de gran utilidad en la elaboración de perfiles circulares y rectos en la industria, debido a su amplia aplicación que tienen en el conformado de materiales (maquinado de piezas mecánicas, pailería, mantenimiento industrial en general).

A continuación se ilustran dos modelos de este tipo de accesorios, una vez presentados los diseños del compás y de la guía para cortes rectos. En el siguiente capítulo se analizará detalladamente cada uno de ellos para hacer la elección más conveniente, según nuestras necesidades y así escoger un solo modelo de cada accesorio.

Modelo No. 1

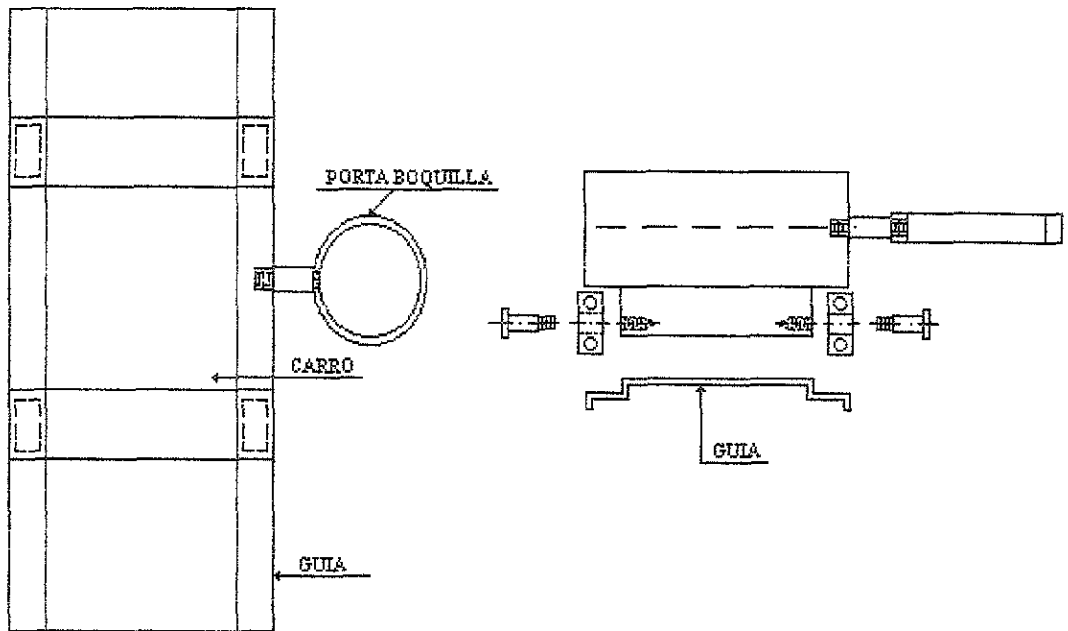


Figura No. 8 Guía para Cortes Rectos No. 1

Modelo No 2

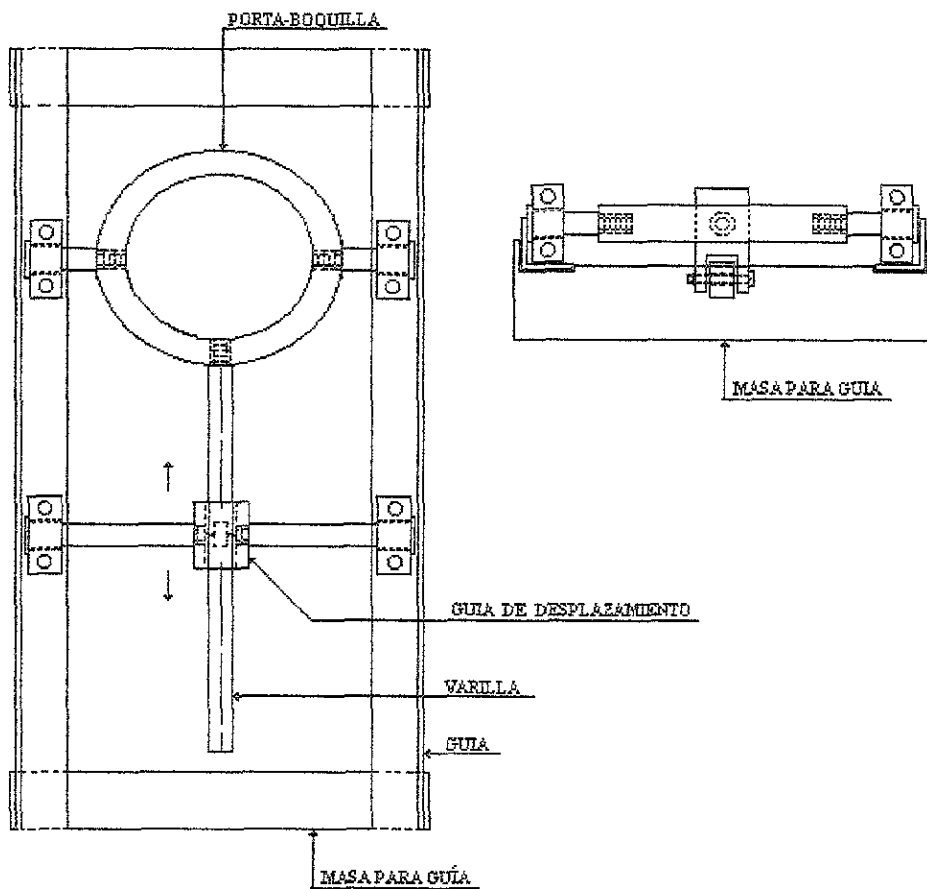


Figura No. 9 Guía para Cortes Rectos No.2

4.6 Teoría de Operación Básica en un Equipo de Corte con Arco-Plasma

El suministro de gases es controlado con reguladores externos a la fuente de poder, la presión de cada gas es indicada en los manómetros instalados en el frente de la máquina. Las válvulas solenoides activan o desactivan a los gases, los interruptores de presión ponen fuera a la fuente de poder si la presión del gas-plasma cae debajo de los 1.8 kg/cm^2 (25 psi) o el gas secundario cae debajo de los 2.15 kg/cm^2 (30 psi). El gas-plasma fluye alrededor del electrodo, por el distribuidor de gas y a través del diámetro de la punta, en forma de columna que gira a lo largo de su eje, El gas secundario fluye por los orificios del porta-electrodo y sale alrededor del gas-plasma.

Cuando el gatillo de la antorcha es oprimido, el contactor del arco piloto se acciona estableciendo un flujo de corriente entre el electrodo y la punta de corte. El arco piloto forma una trayectoria para la corriente de corte (arco-plasma), pero la corriente directa del arco piloto no es suficiente para ionizar el gas, y por esta razón, se sobrepone una corriente de alta frecuencia sobre la corriente directa para encender el arco (produciendo el primer gas-plasma) y el cual se transfiere al material a cortar cuando se aproxima.

El rectificador principal convierte la energía de corriente alterna de las tres fases del secundario a energía de corriente directa para el arco piloto y el arco principal de corte. El polo negativo se conecta al electrodo de la antorcha, el polo positivo se conecta a la pieza de trabajo (a través del cable de tierra) y a través del contactor y resistor a la punta de corte de la antorcha.

La corriente de corte deseada se selecciona con la perilla de ajuste de corriente. Un circuito de control estabiliza la corriente de corte contra fluctuaciones en las líneas de voltaje, espesor del material, posición de la antorcha y velocidad de corte. Cuando se cambia la cantidad de corriente de saturación en el reactor, se cambia la cantidad de corriente alterna que las fases del secundario envían al rectificador principal. La cantidad de corriente de saturación es controlada por un comparador que realiza la operación de comparar la cantidad de corriente de corte actual con la corriente seleccionada por el potenciómetro.

A continuación se dan a conocer las características y especificaciones de la máquina de corte con arco-plasma, con la que cuenta el laboratorio de corte de materiales de la Facultad de Ingeniería

4.6.1 Sistema de Corte con Arco Plasma-Aire Harris 65

El sistema de corte con arco plasma-aire Harris 65 brinda los últimos avances en la tecnología de cortes con arco-plasma, para altos rendimientos en corte de aceros, metales y aleaciones, en espesores de 16 mm. (5/8"). Así como mejoramiento en eficiencia de operación y facilidad de manejo para el usuario.

En la siguiente lista se presentan las características de este sistema, en la cual se hace notar la mayor eficiencia y productividad que ofrece.

4.6.2 Operación General y Características de Rendimiento

- 1- Unidad de poder diseñada para producir una máxima eficiencia en el corte, una cantidad de energía de entrada dada.
- 2- Concepto de Balance: La energía de poder decrece cuando el corte es lento y se incrementa cuando el movimiento del mismo es mayor o cuando el espesor del material es mayor. Lo anterior mencionado logra cortes con menos escoria desprendida, así como menor energía calorífica consumida, facilitando su uso en general.
- 3- Arco-Piloto de mayor alcance: Mejora el paro-arranque en la antorcha y tiene mayor capacidad para perforar el metal.
- 4- Mejor protección y enfriamiento de electrodos, los cuales tienen mas horas de trabajo efectivas, además del fácil reemplazo de estos
- 5- Filtros Dobles: Con un exclusivo micro filtro en la línea de aire, que atrapan impurezas desde la entrada de este, mejorando el rendimiento del corte.
- 6- Alta Movilidad; (unidad de poder compacta).
- 7- Antorcha diseñada para un mayor tiempo de vida, equipada con una boquilla de cobre (resistente al desgaste).

4.6.3 Características de Seguridad

- a) Regulador de seguridad en la línea del aire del compresor para proteger la antorcha.
- b) Led indicador, colocado en la antorcha, el cual monitorea el período del ciclo y permite la operación evitando un sobre calentamiento.
- c) Conexión rápida para desconectar el cable de la unidad de poder, eliminando los conectores roscados,
- d) Led indicador de baja presión de aire
- e) Un sensor en el circuito que apaga la unidad de poder hacia la antorcha, si el corte no se inicializó dentro de los tres segundos después de activar la antorcha.

- f) Botón de paro de emergencia; El cual se identifica fácilmente en el panel de control.

Especificaciones del Sistema Harris 65

- Voltaje de entrada: 220/440 volts
- Corriente de entrada: 36/38 amperes
- Corriente de salida: 26/44 amperes
- Ciclo de trabajo: 50-100 %
- Gas-Plasma: Aire comprimido
- Capacidad normal del flujo del gas: 300 pies cúbicos/hora
- Presión de trabajo: 5 bar (70 Psig)

Dimensiones Físicas:

- Altura: 0.86 m
- Ancho: 0.48 m
- Largo: 0.70 m
- Peso: 110 Kg

Con la información presentada hasta el momento, ya tenemos bases suficientes para que en el siguiente capítulo seleccionemos un accesorio para corte de perfiles circulares y otro para realizar cortes rectos, en base a las características que presenta la máquina para corte con arco-plasma.

CAPITULO V

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE LOS ACCESORIOS

Objetivo: Analizar de manera general los modelos de los accesorios para cortes rectos y perfiles circulares diseñados en el capítulo IV. y posteriormente de cada dos casos mostrados seleccionar uno solo, en base a las ventajas que presente un modelo con respecto al otro.

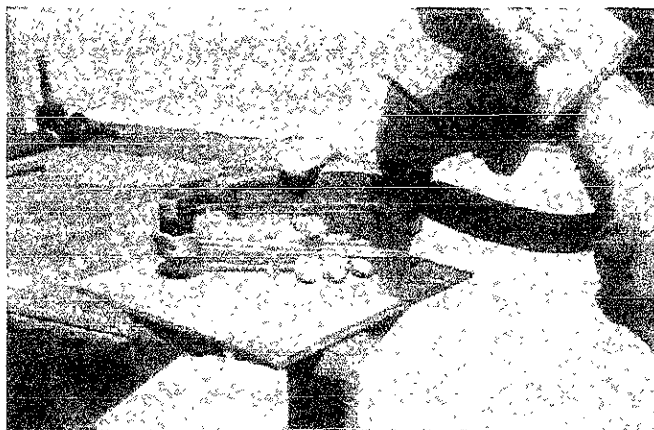


Figura No.1 Presentación del Compás para Cortes Circulares

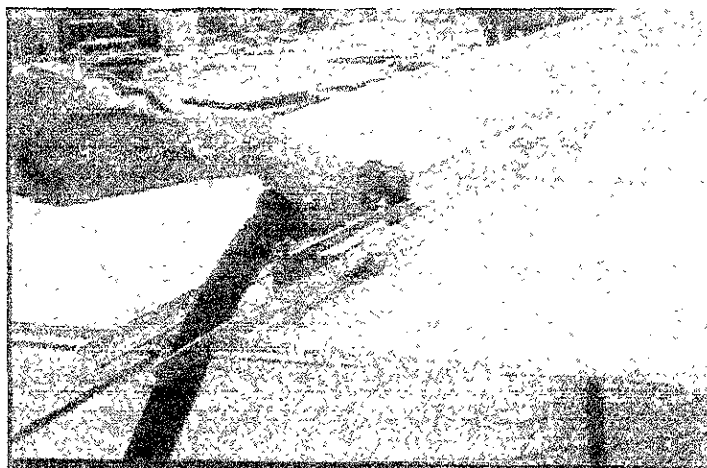


Figura No. 2 Presentación de la Guía para Cortes Rectos

5.1 Finalidad y Características Principales para el Diseño de un Compás de Corte

La finalidad de un compás de corte es él poder realizar cortes de perfiles Circulares, los cuales son muy comunes en la industria para el conformado de materiales diversos. Por otra parte, en los siguientes incisos mencionamos las características principales que debe cumplir para ser funcional.

- a) Versatilidad (fácil manejo y todas sus partes desarmables), además de un amplio rango de alcance con respecto a los diámetros a cortar.
- b) Alto grado de exactitud en el corte
- c) Práctico y ligero: El uso de estos accesorios para corte no tiene que representar al operador una pérdida de tiempo extra y además dificultad al momento de ensamblarlo.
- d) Poder realizar un perfil circular con un diámetro mínimo de 100 mm y máximo de 1,000 mm (es poco común un corte de este diámetro a nivel de laboratorio y más aún por las características físicas de un equipo de corte con arco-plasma como lo es la antorcha para permitir la flexibilidad del corte de esta dimensión).
- e) Todos los elementos que componen este dispositivo deben ser construidos de material adecuado, a modo de evitar la oxidación de los mismos que es muy común en el medio ambiente de la industria, garantizando con esto un tiempo de vida elevado en los componentes y en general de todo el dispositivo.

A continuación se presentan dos diseños de un compás de corte, para ser analizados de acuerdo a las características y ventajas que presenta uno contra el otro, posteriormente se presenta una tabla comparativa entre ellos para que sirva de base a una selección del mas adecuado.

5.1.1 Modelos Para Corte de Perfiles Circulares

5.2.1.1 Modelo No. 1

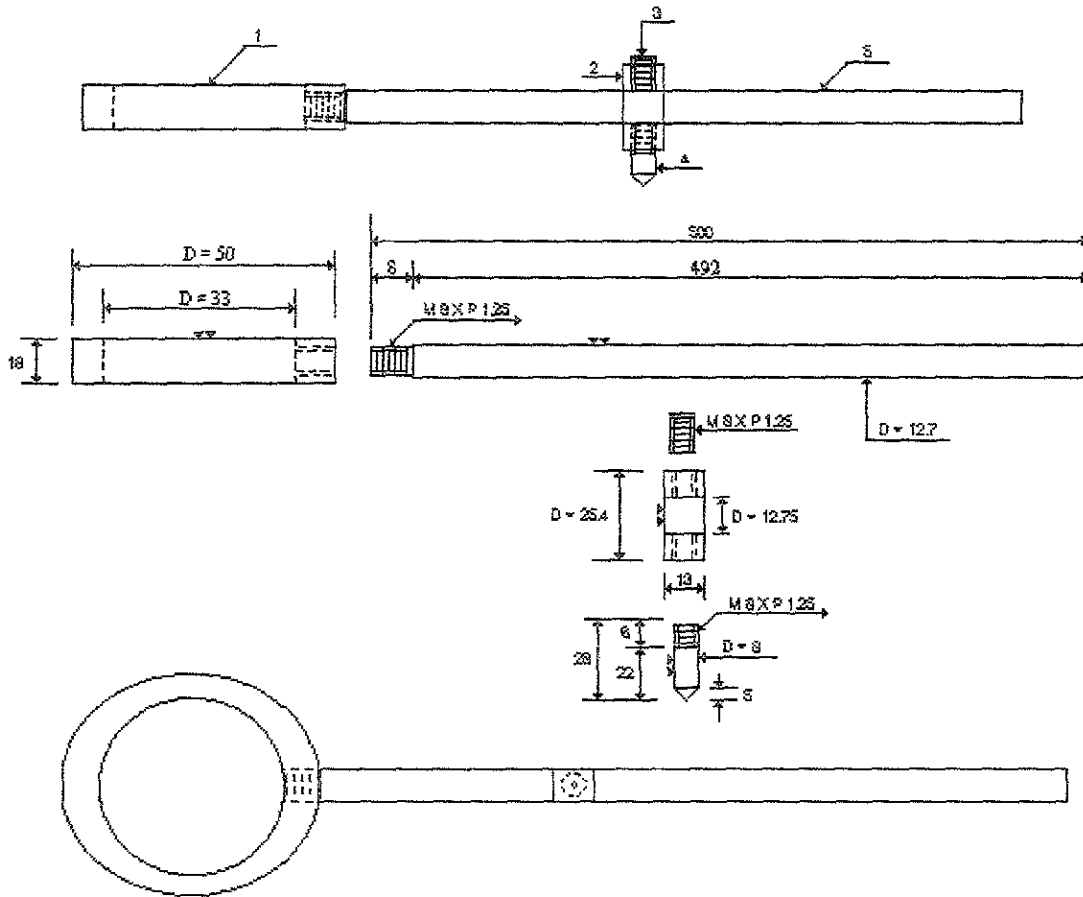


Figura No. 3 Primer Modelo de Compás Para Corte con Arco-Plasma

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO		
ACOTACION: mm	PRIMER MODELO DE COMPÁS PARA CORTE	MATERIAL: AISI SS-304
ESCALA 1:1.25		TOLERANCIA: + - 0.01 mm

Como se puede apreciar en este primer modelo, es un compás para corte el cual tiene el mismo principio de funcionamiento que el de un compás convencional para trazar círculos, tomando en cuenta que es la forma más sencilla y a la vez más exacta.

5.1.1.2 Relación de Componentes y Características Generales de Maquinado

Relación de Componentes				
No.	Nombre	Material	Peso (g)	
1	Porta Boquilla	AISI SS-304	150	
2	Anillo Regulador de Apertura	AISI SS-304	35	
3	Opresor Cabeza de Tambor	AISI SS-316	2	
4	Punta de centrado	AISI SS-304	10	
5	Varilla	AISI SS-304	495	
			Peso Total	692

Tabla No. 1 Componentes y Características del Material. Modelo No. 1

Parámetros de Maquinado				
Nombre	r.p.m.	Avance (mm/rev)	Profundidad De corte (mm)	Máquina en la cual se efectúa la operación
Porta Boquilla	450	0.35	1.5	Torno Paralelo *DxV=1.60x0.4 m
Anillo Regulador	450	0.35	1.5	Torno Paralelo DxV=1.60x0.4 m
Punta de Centrado	450	0.35	1.5	Torno Paralelo DxV=1.60x0.4 m
Varilla	450	0.35	1.5	Torno Paralelo DxV=1.60x0.4 m

*DxV= Distancia entre puntos x Alcance de volteo

Tabla No. 2 Relación de Maquinado de los Componentes

Analizando este segundo modelo, se observa que este compás de corte consiste principalmente de una masa sólida, la cual sirve como contrapeso sobre la pieza de trabajo a cortar, también cuenta con un rodamiento rígido de bolas al centro de dicha masa, el cual tiene como función permitir el movimiento de rotación de la antorcha, una vez que se ha iniciado el corte.

5.1.2.1 Relación de Componentes y Características Generales de Maquinado

Relación de Componentes			
No.	Nombre	Material	Peso (g)
1	Varilla	AISI SS-304	495
2	Porta Boquilla	AISI SS-304	150
3	Opresor Cabeza de Tambor	AISI SS-304	2
4	Anillo Regulador de Apertura	AISI SS-304	35
5	Eje Giratorio	AISI SS-304	20
6	Rodamiento Rígido de bolas 16003 SKF (17 X35 X 8)	Acero Inoxidable	10
7	Masa	AISI SS-304	650
Peso Total:			1362

Tabla No 3 Componentes y Características del Material. Modelo No 2

Parámetros de Maquinado			Maquina en la cual se efectúa la operación
Nombre	r.p.m.	Avance (mm/rev)	
Varilla	450	0.35	Torno Paralelo *DxV=1.60x0.40 m
Porta Boquilla	450	0.35	Torno Paralelo DxV=1.60x0.40 m
Anillo Regulador	450	0.35	Torno Paralelo DxV=1.60x0.40 m
Eje Giratorio	450	0.35	Torno Paralelo DxV=1.60x0.40 m
Masa	450	0.35	Torno Paralelo DxV=1.60x0.40 m

*DxV = Distancia entre puntos x Alcance de volteo

Tabla No. 4 Relación de Maquinado de los Componentes

5.1.3 Tabla de Comparación entre los Modelos 1 y 2 del Compás para Corte

	Versatilidad	Exactitud de Corte	Práctico	Material
MODELO 1	E Facilidad de usar en diferentes posiciones y amplio rango de corte 50 mm < D < 1m	E Debido a la punta de centrado que permite mayor exactitud en la medición del diámetro, teniendo un excedente de + - 2 mm máximo	E Ligero y todas sus partes desarmables	E ** AISI SS-304
MODELO 2	R No es posible cortar perfiles circulares muy pequeños como en el modelo 1 debido al diámetro de la masa de este modelo	R Debido a la masa que tiene por centro, la cual se puede desplazar al momento del corte	B Este modelo abarca mayor espacio y es más difícil centrar el diámetro a cortar	E ** AISI SS-304

E = EXCELENTE

B = BUENO

R = REGULAR

Tabla No. 5 Comparación entre los Modelos 1 y 2 de Accesorios para Corte de perfiles Circulares

** Características del Acero Inoxidable SS-304

Es un acero inoxidable austenítico, antimagnético no templable, con excelentes propiedades de ductilidad y resistencia al golpe, posee buena resistencia a la corrosión, su bajo contenido de carbono lo hace apropiado para someterse a procesos de soldadura.

Propiedades Mecánicas:

- Resistencia Máxima a la Tensión: 5,976 Kg./cm²
- Límite de Fluencia en Tracción: 2,460 Kg./cm
- Modulo de Elasticidad: 1.968 x 10⁻⁶ Kg./cm²
- NDB: 150
- Densidad: 7.92 Kg./dm³

Aplicaciones: Evaporadores, Tanques de oxígeno, Piezas maquinadas en general. Este material entre los aceros inoxidables es el más comercial.

De acuerdo al análisis realizado en los dos modelos de compás para corte con arco-plasma, nos damos cuenta de que el modelo No.1 es el que mejor reúne las características necesarias que se presentaron como base, de acuerdo a las necesidades expuestas para considerarlo un accesorio útil en el corte de materiales a nivel industrial y de laboratorio. Las ventajas más notorias que se presenta el modelo No.1 sobre el modelo No.2 son las siguientes:

- a) Mayor facilidad de operación
- b) Todos sus componentes son desmontables, lo cual lo hace muy práctico, se pueden cortar perfiles circulares de menor diámetro debido a que con el modelo No. 2 la masa tiene un diámetro inicial de 50 mm mas el espesor de pared del porta-boquilla que son 8.5 mm dando como resultado que el perfil circular que podemos cortar de menor diámetro es de aproximadamente $D_{\text{mínimo}} = 120 \text{ mm}$, mientras que con el modelo No. 1 el diámetro mínimo de un perfil circular el cual podemos cortar es de aproximadamente $D_{\text{mínimo}} = 80 \text{ mm}$
- c) La fabricación de los componentes de este accesorio es más fácil de realizar por la geometría de estos, con respecto al modelo No. 2 y por consiguiente, si se requiere la reposición de alguno de los dispositivos que lo componen se tiene la seguridad de que su tiempo de maquinado será mínimo.
- d) Se tiene un máximo de error de $+ - 2 \text{ mm}$ en total en el corte

5.2 Accesorios Para Cortes Rectos

El siguiente análisis corresponde a dos modelos diseñados para efectuar cortes rectos con equipo de arco plasma, los cuales al igual que los modelos para cortes de perfiles circulares se analizaran de manera detallada para posteriormente seleccionar uno de ellos. En base a una serie de características que debe cumplir para considerarlo un dispositivo de corte funcional a nivel industrial.

5.2.1 Finalidad y Características Principales en el Diseño de un Accesorio Para Cortes Rectos

Una guía para cortes rectos es un accesorio auxiliar, el cual su finalidad es facilitar dichos cortes, tomando en cuenta que un corte recto que tiene mas de 100 mm de longitud en una placa de 6.35 mm de espesor o mayor, efectuado con un equipo de corte con arco-plasma a pulso, se dificulta bastante el poder realizarlo con una calidad aceptable (tolerancia, acabado, tiempo de realización), siendo lo más probable que después dicho corte se tenga que esmerilar o aplicar otro proceso de conformado para mejorar su calidad de acabado.

Las características que vamos a tomar en cuenta para considerar esta guía como un accesorio útil en el proceso de cortes rectos son las siguientes:

- a) Práctica
- b) Fácil de operar
- c) Su diseño debe de tal forma que la fabricación de sus componentes no sea demasiado complicada.
- d) Poder efectuar un corte recto con una longitud mínima de 200 mm y máxima de 1,000 mm (evitando que con una longitud mayor pierda lo práctico, que es una de las características principales).
- e) Fabricada en material adecuado a modo de evitar su pronto deterioro

A continuación se presentan dos diseños de una guía para cortes rectos, para ser analizadas de acuerdo a las características y ventajas que presenta una respecto a la otra, posteriormente se presenta una tabla comparativa entre estas para que sirva de base a una selección de la mas adecuada.

5.2.1.1 Modelo No. 1

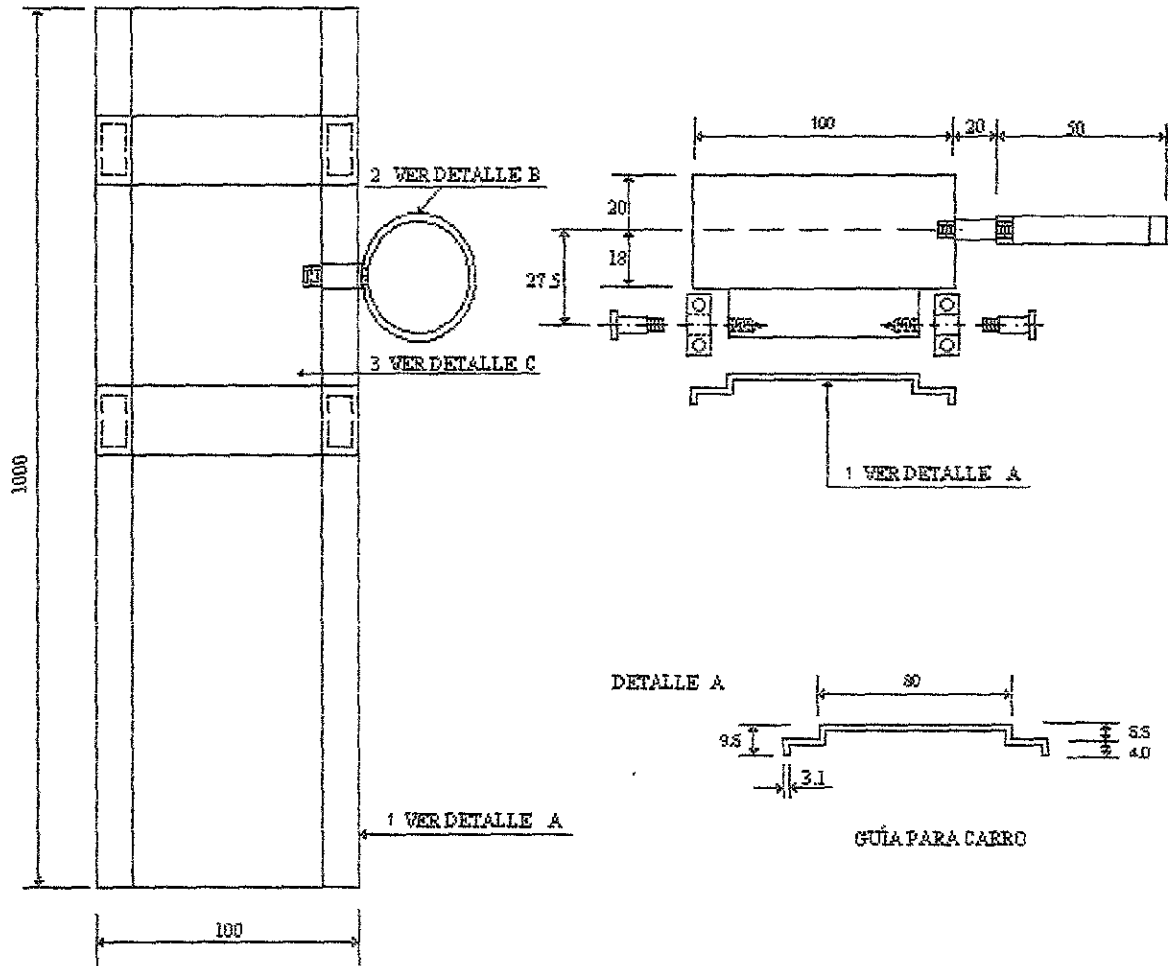


Figura No. 5 Modelo No. 1 de Guía para Cortes Rectos

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO		
ACOTACION: mm	MODELO No. 1 DE LA GUÍA PARA	MAT. INDICADO TABLA No.6
ESCALA: 1:1.25	CORTES RECTOS	TOLERANCIA: + - 0.01 mm

DETALLE B

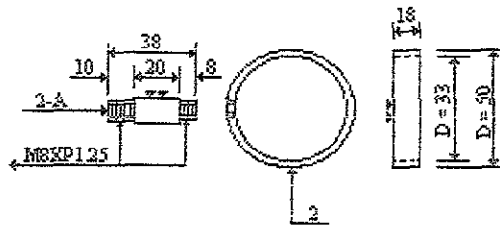
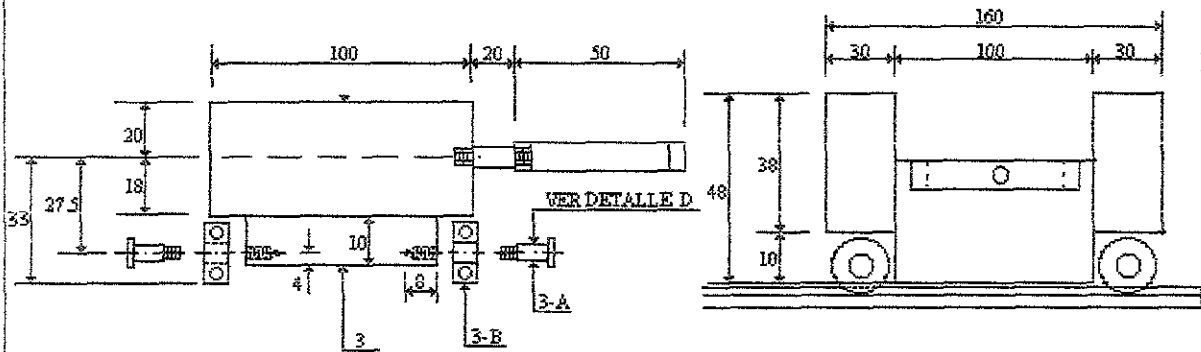


Figura No. 6 Detalle de Porta-Boquilla

DETALLE C



DETALLE D

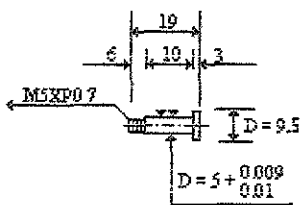


Figura No. 7 Detalle de Carro

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO		
ACOTACION: mm	DETALLES B C D. DEL PRIMER MODELO	MAT. INDICADO TABLA 6
ESCALA: 1:1.25	DE LA GUÍA PARA CORTES RECTOS	TOLERANCIA: + - 0.01 mm

Como se puede apreciar en este primer modelo, es un accesorio para efectuar cortes rectos, el cual consiste principalmente en una guía en forma de riel y una masa en forma de carro que se desliza sobre la guía por medio de rodamientos, el corte se efectúa de manera lateral con respecto a la pieza de trabajo.

5.2.1.2 Relación de Componentes y Características Generales de Maquinado

Relación de Componentes			
No.	Nombre	Material	Peso (g)
1	Guía para Carro (Dobles)	Lámina A-36 de 1/8"	1800
2	Porta-boquilla	AISI SS-304	150
2-A	Cople	AISI SS-304	40
3	Carro	AISI 1018	2,2000
3-A	Tornillo porta Rodamiento	AISI SS-304	30
3-B	Rodamiento Rígido de Bolas	Acero Inoxidable	15
	W628/5 2Z		
		Peso Total	4235

Tabla No. 6 Componentes y Características del Material. Modelo No. 1

Parámetros de Maquinado				
Nombre	r. p. m.	Avance (mm/rev)	Profundidad De corte (mm)	Maquina en la cual se efectúa la operación
Porta Boquilla	450	0.35	1.5	Torno Paralelo *DxV=1.60x0.4 m
Cople	450	0.35	1.5	Torno Paralelo DxV=1.60x0.4 m
Carro	450	0.35	1.5	Torno Paralelo DxV=1.60x0.4 m
Tornillo	450	0.35	1.5	Torno Paralelo DxV=1.60x0.4 m

*DxV = Distancia entre puntos x Alcance de volteo

Tabla No. 7 Relación de Maquinado de los Componentes del Modelo No. 1

5.2.2 Modelo No. 2

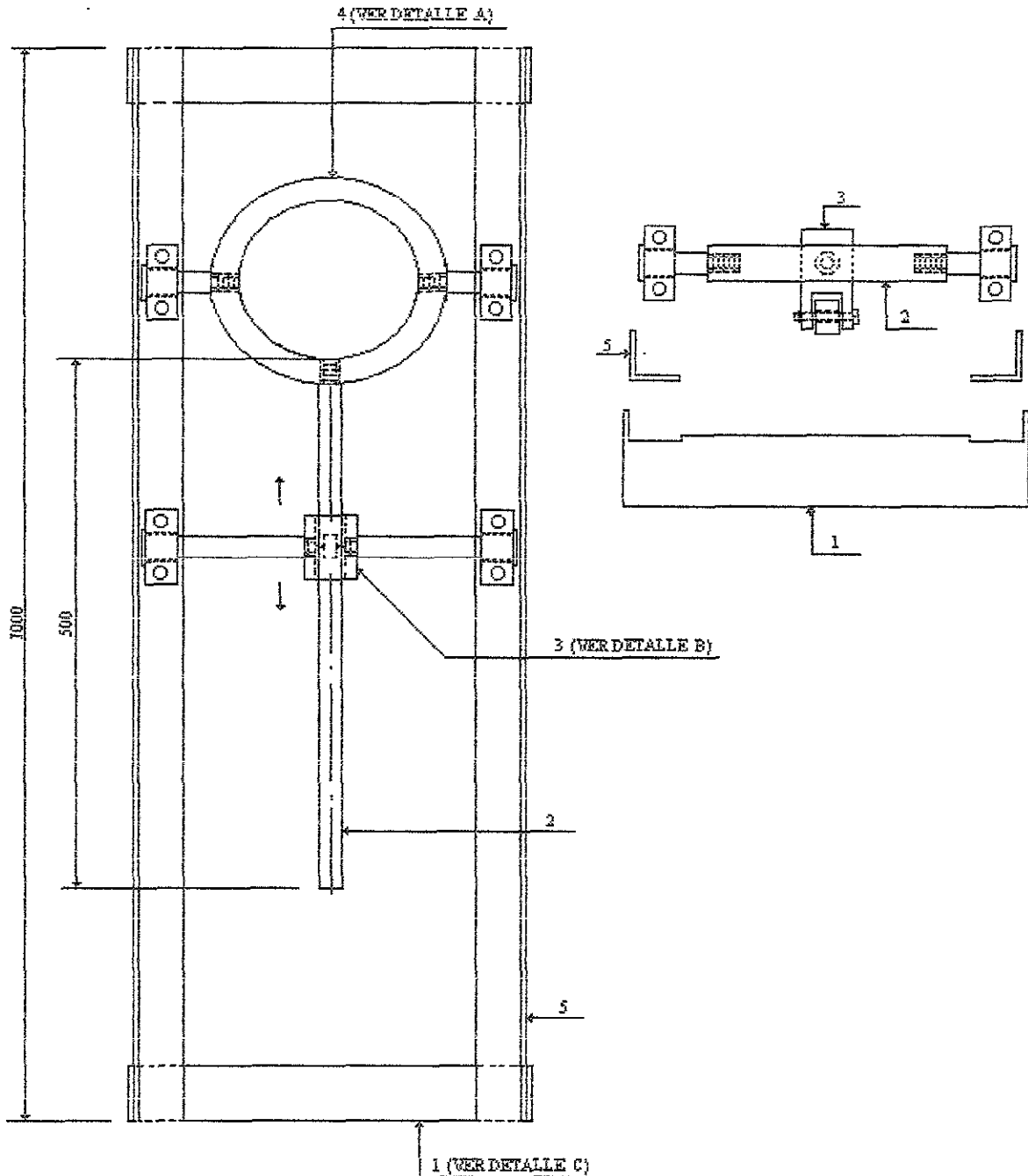
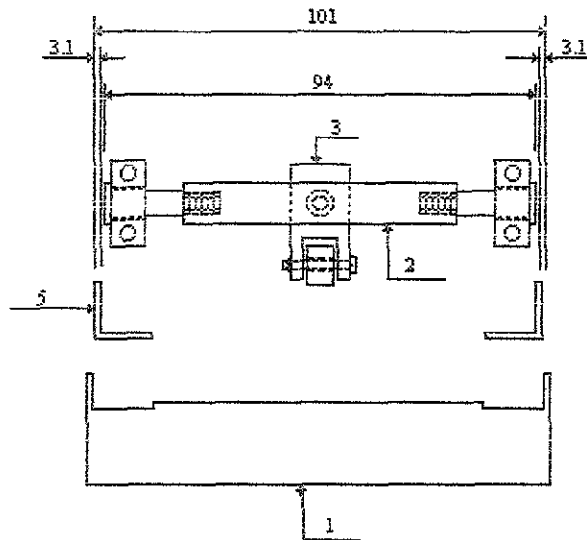


Figura No. 8 Modelo No. 2 de un Accesorio para Cortes Rectos

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO		
ACOTACION: mm	SEGUNDO MODELO DE LA GUÍA	MAT. INDICADO TABLA No. 8
ESCALA: 1:1.25	PARA CORTES RECTOS	TOLERANCIA: ± 0.01 mm



DETALLE A

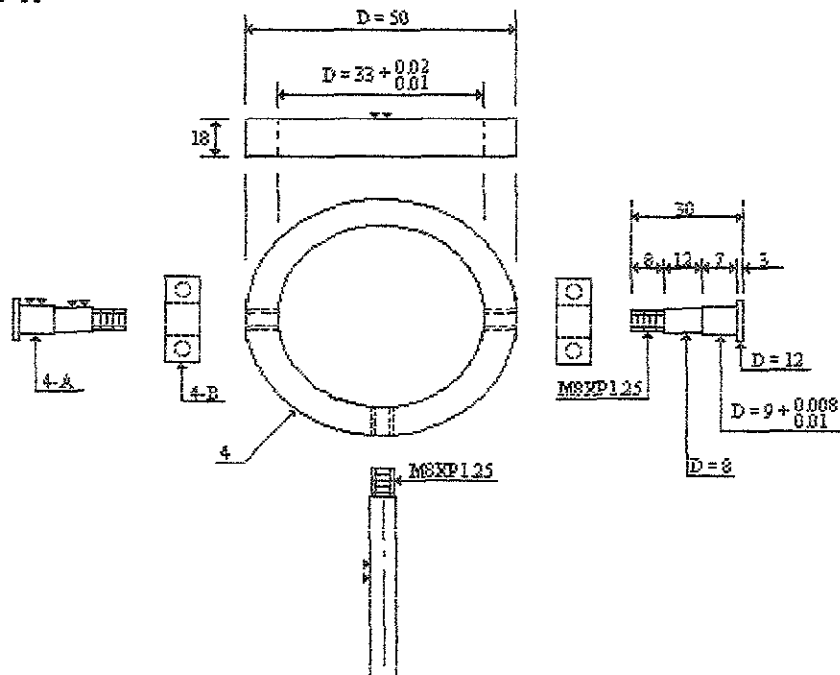


Figura No. 9 Detalle del Porta-Boquilla

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO		
ACOTACIÓN: mm	DETALLES DEL SEGUNDO MODELO	MAT. INDICADO TABLA No. 8
ESCALA. 1:1.25	DE LA GUÍA PARA CORTES RECTOS	TOLERANCIA: ± 0.01 mm

DETALLE B

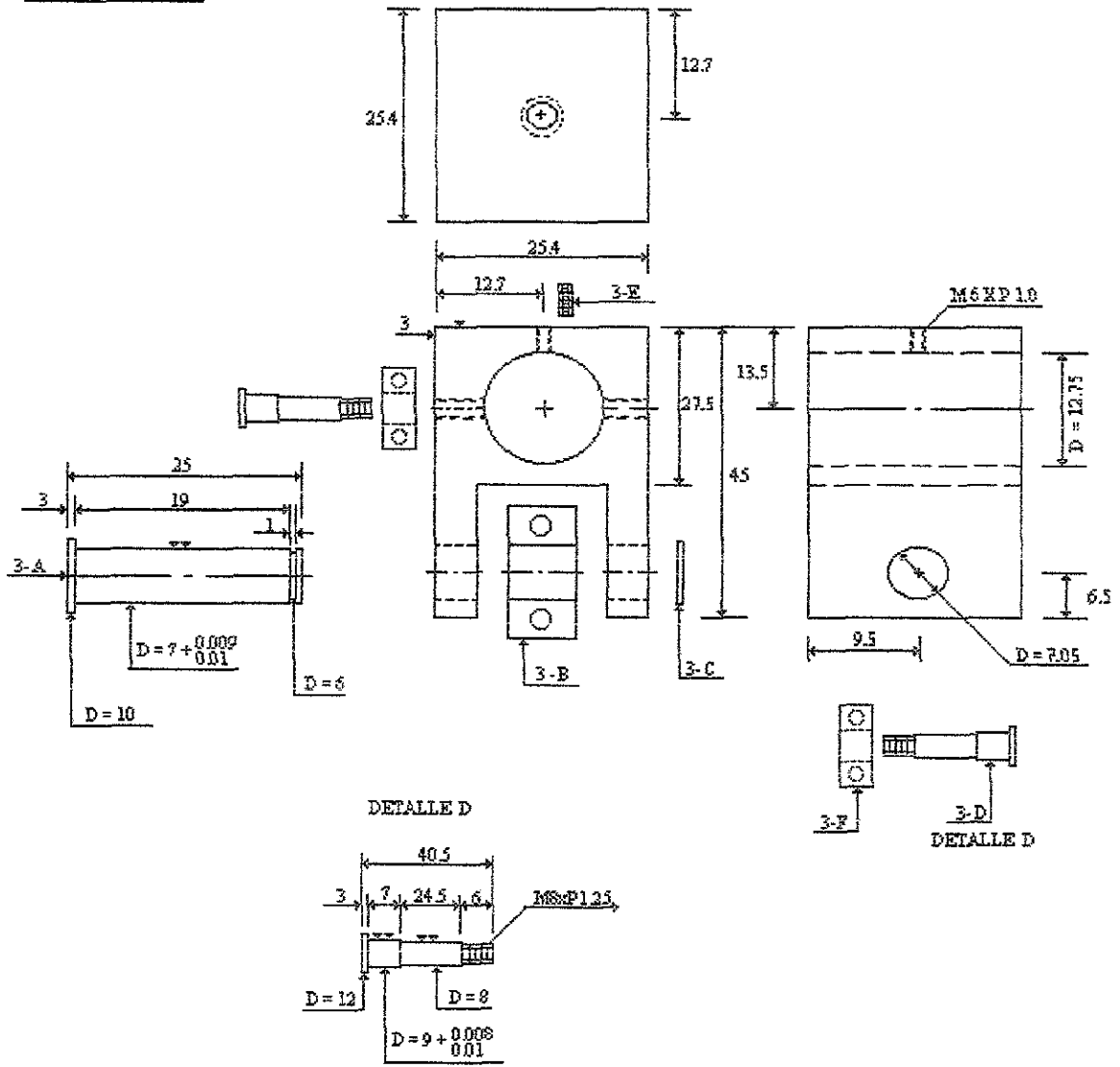


Figura No. 10 Detalle de la Guía para Desplazamiento

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO		
ACOTACIÓN: mm	DETALLE GUÍA PARA DESPLAZAMIENTO	MAT. INDICADO TABLA No. 8
ESCALA: 1:1.25		TOLERANCIA: + - 0.01 mm

DETALLE C

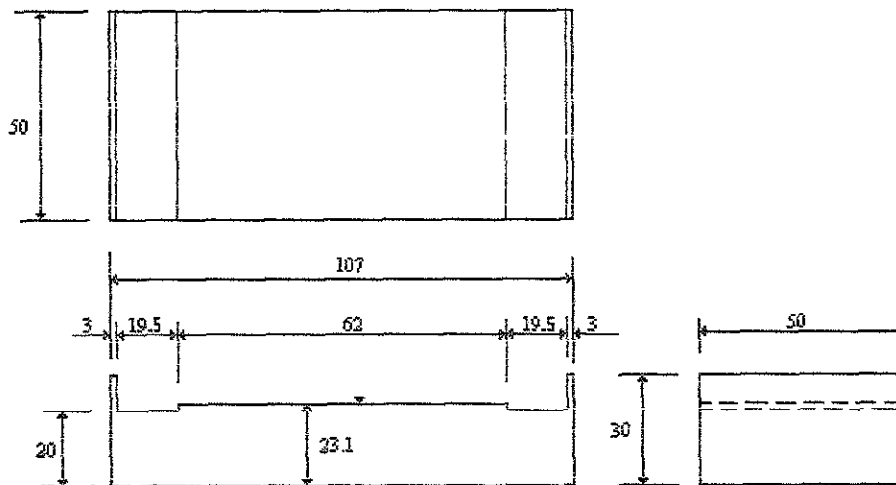


Figura No. 11 Detalle de la Guía para Carro

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

ACOTACIÓN: mm

DETALLE GUÍA PARA CARRO

MATERIAL: AISI 1018

ESCALA: 1:1.25

TOLERANCIA: ± 0.01 mm

Este segundo modelo para corte de perfiles rectos esta compuesto por un porta-boquilla con guías en los extremos los cuales de desplazan libremente sobre un perfil angular, este desplazamiento se lleva acabo por medio de rodamientos rígidos de bolas con la finalidad de evitar la fricción que podría existir contra la guía, a su vez este accesorio cuenta con una segunda guía que se desplaza libremente sobre la varilla y también cuenta con rodamientos en los extremos, el objetivo principal de esta segunda guía en el mejor centraje del porta-boquilla en el perfil angular y evitar al mismo tiempo movimientos laterales en la antorcha al momento de efectuar el corte.

5.2.2.1 Relación de Componentes y Características Generales de Maquinado

Relación de Componentes			
No.	Nombre	Material	Peso (g)
1	Masa para Guía (2 piezas)	AISI 1018	1900
2	Varilla	AISI SS-304	495
3	Guía de Desplazamiento (2 piezas)	AISI SS-304	80
3-A	Perno	AISI SS-304	12
3-B	Rodamiento Rígido de bolas 607 2Z 7 x 19 x 6 mm	Acero	10
3-C	Seguro tipo truack para exteriores de D = 6 mm	Fe.	1
3-D	Tornillo para Rodamiento (2 piezas)	AISI SS-304	36
3-E	Opresor allen cabeza de tambor D = 6 mm	AISI SS-316	2
4	Porta Boquilla	AISI SS-304	150
4-A	Tornillo para Rodamiento (2 piezas)	AISI SS-304	40
4-B	Rodamiento Rígido de bolas 609 2Z 9 x 24 x 7 mm (2 piezas)	Acero	28
Peso Total			2754

Tabla No. 8 Componentes y Características del Material. Modelo No. 2

Parámetros de Maquinado				
Nombre	r.p.m.	Avance (mm/rev)	Profundidad De corte (mm)	Maquina en la cual se efectúa la operación
Masa para Guía	400		1.5	Fresadora Horizontal
Varilla	450	0.35	1.5	Torno Paralelo *DxV=1.60x0.4 m
Guía de Desplazamiento	400		1.5	Fresadora Horizontal
Perno	450	0.35	1.5	Torno Paralelo DxV=1.60X0.4 m
Tornillo para Rodamiento	450	0.35	1.5	Torno Paralelo DxV=1.60X0.4 m
Porta boquilla	450	0.35	1.5	Torno Paralelo DxV=1.60X0.4 m

*DxV = Distancia entre puntos x Alcance de volteo

Tabla No. 9 Relación de Parámetros de Maquinado de los Componentes

5.2.3 Tabla de Comparación entre los Modelos 1 y 2 de los accesorios para Cortes Rectos

	Versatilidad	Exactitud de Corte	Práctico	Material
MODELO 1	B Los cortes se realizan únicamente de manera lateral	R El corte debe realizarse en forma lateral, lo cual resta visión al momento de efectuar el corte	B Ligero y sus partes desarmables, excepto la guía del carro (longitud mínima de 1 metro)	E Indicado
MODELO 2	E Fácil de usar en diferentes posiciones y aun sin una guía lateral (si esta dificultara el corte)	E El corte se realiza de frente, además este dispositivo cuenta con dos guías de seguimiento, lo cual impide el movimiento lateral Su error máximo de corte es + - 2 mm	E Todas sus partes son desarmables y se pueden acortar las guías laterales si se efectúan cortes pequeños	E Indicado

E = EXCELENTE

B = BUENO

R = REGULAR

Tabla No 10 Comparación entre los Modelos 1 y 2 de Accesorios para Corte de perfiles Rectos.

De acuerdo al análisis realizado en los dos modelos de un accesorio para realizar cortes rectos en un equipo de corte con arco-plasma, se llega a la conclusión de que el modelo No.2 es el que mejor reúne las características necesarias que se presentaron como base (tolerancia, acabado, tiempo de realización), de acuerdo a las necesidades expuestas para considerarlo un accesorio útil en el corte de materiales a nivel industrial. Las ventajas más notorias que se presenta el modelo No.2 sobre el modelo No.1 son las siguientes:

- a) El grado de dificultad para su operación es menor
- b) Todos sus componentes son desmontables, lo cual lo hace muy práctico
Se pueden cortar perfiles rectos con mas exactitud, debido a que cuenta con dos guías de seguimiento, lo cual impide movimiento lateral en la antorcha al momento de efectuar el corte.
- c) Es más práctico que el modelo No. 1 debido a que funciona con una masa en cada extremo en la cual va sobrepuesta una guía en cada lado (la guía es un perfil rectangular a diferencia de la guía del modelo 1 que es un doblez más difícil de realizar y con una longitud mínima de 1 m) y si el espacio es muy reducido uno de estos perfiles se puede quitar, no restando exactitud en el corte.
- d) Debido a la geometría de sus componentes con respecto al modelo No.1, estos dispositivos son más fáciles de maquinar para una futura reposición.
- e) Se logran cortes con un error de ± 2 mm como máximo. Que es bastante aceptable comparándolo con un corte a pulso en circunstancias parecidas.
- f) Las roscas en los componentes son milimétricas en ambos modelos, las cuales tienen la ventaja sobre las roscas estándar en que son mas finas en los hilos y tienen mayor área de contacto entre ellos, evitando de esta manera una posible trasroscación en dichos componentes.
- g) La fabricación en general de este modelo y su forma de operar, es más sencilla que el modelo No. 1, tanto por la geometría de sus componentes como por la forma en que se lleva a cabo el proceso de operación.

En el siguiente capítulo se muestra la secuencia de un corte de perfil circular en una placa de acero inoxidable AISI SS-316 de 7.9 mm de espesor, así como un corte recto en una placa de acero inoxidable AISI SS-316, cada uno realizado con el accesorio para corte seleccionado en este capítulo, demostrando así la utilidad de dichos accesorios en un proceso de corte con arco-plasma

CAPITULO VI

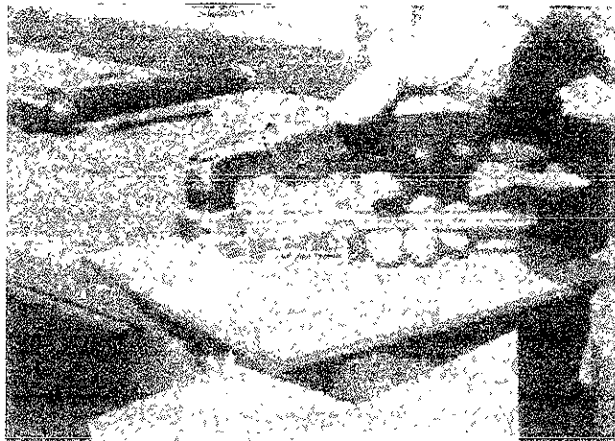
RESULTADOS Y CONCLUSIONES

6.1 RESULTADOS

Este proyecto surge por la necesidad que existe de realizar cortes de perfiles rectos y circulares en materiales no ferrosos con una calidad aceptable, debido a la frecuencia que se tiene a nivel industrial y de laboratorio de realizar dichos cortes. Otro punto a favor de este diseño es que en el mercado de partes consumibles para la soldadura y corte de metales (Infra, UTP, Miller, etc.) no manejan accesorios para cortes rectos y circulares como herramental, de acuerdo a las necesidades antes señaladas, razón por la cual no es posible adquirir un accesorio de este tipo sino fabricarlo, y la mejor forma de diseñarlo es de acuerdo a una serie de características de operación y fabricación (como lo son calidad en el acabado, tolerancias de excedente de corte aceptables, tiempo de maquinado de las piezas que lo conforman aceptable. Etc.) que se deben cumplir para considerarlo como un herramental y así poder incluirlo en la lista de partes consumibles.

A continuación se presenta la secuencia completa de un corte circular y posteriormente de un corte recto por medio de ilustraciones, auxiliándose con los herramientas diseñados en el capítulo anterior, demostrando así que se cumplió con los objetivos propuestos al principio de este proyecto.

6,2 Secuencia de un Corte Circular



1) Presentación



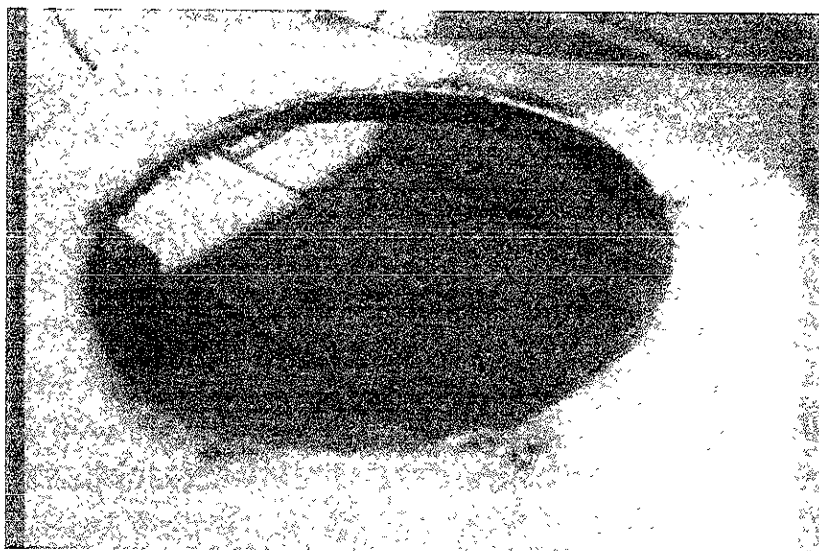
2) Inicio del Corte



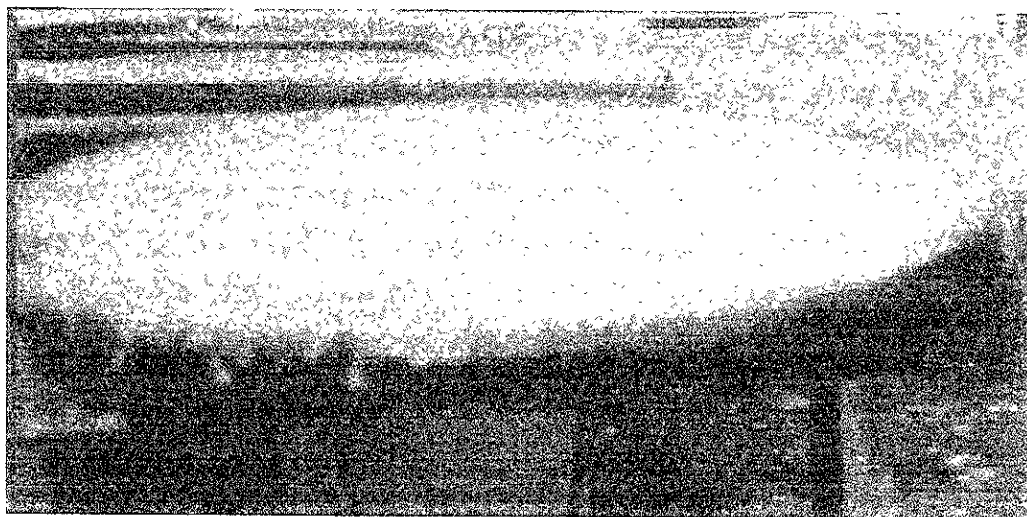
3) Mitad del Proceso



4) Finalización del Corte



5) Area de Placa Cortada.



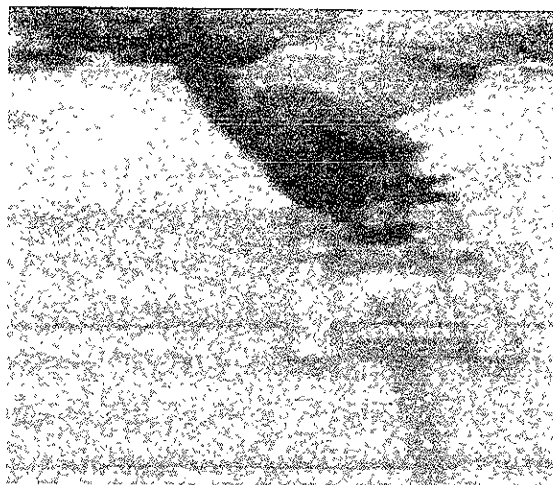
6) Terminado de pieza de trabajo teniendo un error máximo de + 2 mm

Figura No 1 Secuencia de un corte circular de diámetro = 184 mm en una placa de 7.9 mm de espesor de material AISI SS-316

6.3 Secuencia de un Corte Recto



1) Presentación



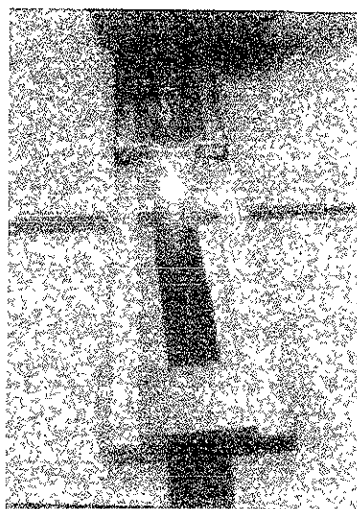
2) Inicio del Corte



3) Longitud del corte = 600 mm



4) Longitud del corte = 600 mm



5) Fin del Corte del Primer Cuadro



5) Facilidad de usar este accesorio sin una guía lateral en caso de que esta obstaculice el corte con un error máximo de + 2 mm

Figura No. 2 Secuencia de un corte recto en una placa de AISI SS-304 de 12.7 mm de espesor (cortando varios cuadros de 600 x 600 mm)

6.4 Características Generales del Proceso de Corte con Arco-Plasma

En las tablas siguientes se especifican las características generales del proceso de corte con arco-plasma, las cuales han hecho de este proceso, un método de corte versátil y aceptable en cuestión de operación con respecto a otros.

6.4.1 Máxima temperatura en velocidades de transferencia de calor

	Máxima temperatura °C	Máxima velocidad de transferencia de calor Mega watts/m ²
Aire-propano flama bunsen	1,800	1.64
Aire-propano flama rocket	1,800	8.18
Oxy-propano flama bunsen	2,900	8.18
Oxy-propano flama rocket	2,900	19.6
Flama plasma (arco no transferido)	16,600	68.7
Flama plasma (arco transferido)	33,300	24.5

Tabla No. 1: Máxima temperatura en velocidades de transferencia de calor del arco plasma, comparándolo con otros tipos de flama

6.4.2 Comparación de Velocidades de Remoción

Material	Remoción por método convencional (desprendimiento de viruta) mm ³ /seg	Arco-plasma	
		Corte burdo mm ³ /seg	Corte fino mm ³ /seg
Rene 41	128	1365	546
Acero templado	490	1230	546
Acero inoxidable (inconel)	560	1090	410

Tabla No. 2: Comparación de velocidades de remoción

6.4.3 Comparación Entre los Diferentes Sistemas de Corte con Arco-Plasma

	Sistema con doble capa de gas						Sistema de inyección de agua			Sistema con plasma aire		
	3.2	6.4	15.9	3.2	6.4	15.9	3.2	6.4	15.9	3.2	6.4	15.9
Espesor	3.2	6.4	15.9	3.2	6.4	15.9	3.2	6.4	15.9	3.2	6.4	15.9
Velocidad de corte	106	51	32	74	64	34	106	95	32	106	95	32
Potencia consumida	15	15	15	58	70	89	49	58	64	49	58	64
Amperaje	150	150	150	300	350	400	200	235	250	200	235	250
Flujo de aire							2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8
Flujo de nitrógeno	1.7	1.7	1.7	4.7	4.7	4.7						
Flujo de CO2	5.9	5.9	5.9									

Tabla No. 3 Comparación entre los diferentes sistemas del corte con Arco-Plasma

6.4.4 Relación de Operación del Equipo de Corte con Arco-Plasma Harris 65

En la siguiente tabla se muestra la relación de operación del sistema Harris 65, la cual se refiere a la velocidad de corte con respecto al espesor y al tipo de material en proceso.

Material	Espesor in-mm	Velocidad in/min.	Velocidad m/min.
Acero Suave	5/8"-15.8mm	10	0.25
	1/2"-12.7mm	20	0.50
	3/8"-9.52mm	40	1.0
	1/4"-6.35mm	60	1.5
	1/8"-3.17mm	120	3.0
	1/16"-1.5mm	180	4.5
	Calibre 24	320	8.1
	Calibre 28	400	10.1
Acero Inoxidable	5/8"-15.8mm	8	0.20
	1/2"-12.7mm	16	0.40
	3/8"-9.52mm	36	0.9
	1/4"-6.35mm	50	1.2
	1/8"-3.17mm	80	2.0
	1/16"-1.5mm	100	2.5
	Calibre 24	180	4.5
	Calibre 28	280	7.1
Acero Suave Galvanizado	1/16"-1.5mm	180	4.5
	Calibre 24	320	8.1
	Calibre 28	400	10.1
Aluminio	5/8"-15.8mm	6	0.15
	1/2"-12.7mm	12	0.30
	3/8"-9.52mm	17	0.4
	1/4"-6.35mm	40	1.0
	1/8"-3.17mm	105	2.6
	1/16"-1.5mm	220	5.5
	1/32"-0.75mm	240	6.0

Tabla No. 4 Relación de operación

Otros metales y aleaciones que pueden ser cortados con el sistema Harris 65 son: cobre, bronce, lamina galvanizada, acero tratado, titanio, níquel, latón, hierro fundido y metales blandos.

Con todo lo mencionado a lo largo de estos seis capítulos es claro que el proceso de corte con arco-plasma ha logrado un gran progreso en los últimos 35 años, particularmente en los últimos 5, conforme al avance de este proceso de corte podemos mencionar tres tendencias que son las siguientes:

- 1) El mercado para unidades ligeras de corte manual, con niveles de corrientes, abajo de 200 amperes, continuará expandiéndose. Esta expansión en el mercado atraerá más competidores, los cuales producirán sistemas mejorados y ampliarán el mercado para equipos de corte con arco plasma-aire y consumo de bajo amperaje.
- 2) El mercado para máquinas de corte y robots continuará en busca de alta calidad, tolerancias cerradas de corte para dichos sistemas con arco-plasma, atractivos precios en plasma-oxígeno, unidades sencillas y ligeras de bajo amperaje, competirán favorablemente con el equipo de corte con rayo láser. "Hypertherm" con su dirección técnica continuará jugando un papel dominante en este segmento del mercado.
- 3) Tanto investigaciones como desarrollos en partes consumibles y antorchas para corte continuarán, aumentando la vida útil de las partes consumibles y mejorando la calidad del corte.

El plasma como proceso de corte se aproxima a una etapa de madurez, la industria tiene el reto de mejorar la exactitud en las antorchas, partes consumibles y fuentes de poder de tecnología avanzada.

6.5 CONCLUSIONES

- 1) En todo proceso de corte de materiales, es importante el acabado y la exactitud de estos, por que de ello depende el que se tenga que realizar un proceso de conformado extra. Con los herramientales para cortes de perfiles circulares y rectos diseñados, se logro un excedente máximo de ± 2 mm, que comparándolo con un corte realizado con oxi-acetileno es bastante aceptable.
- 2) La importancia de los herramientales para la realización de perfiles rectos y circulares radica en la necesidad que existe de efectuar dichos cortes con una mayor exactitud (para evitar un conformado posterior al material ya cortado) y disminuir a la vez el tiempo de realización de este proceso, aportando de esta manera un ahorro considerable de tiempo y mano de obra. Con el compás para corte y analizando el excedente de material total en la realización de este (± 2 mm), nos encontramos en el rango de una tolerancia bastante aceptable, para que en un caso dado se tuviera que realizar una segunda operación de conformado (por ejemplo; torneado) el tiempo de operación de este proceso de corte convencional sea mínimo.
Lo mismo sucede al analizar un corte recto y se tenga la necesidad de realizar una segunda operación de conformado (por ejemplo; fresado) para una exactitud mayor en el trabajo realizado en un tiempo aceptable.
- 3) La fabricación de estos accesorios debe ser diseñada para realizarse con relativa facilidad (en lo que respecta a su geometría y tiempo de maquinado) para que no sean considerados como un gasto que se va a recuperar a largo plazo. Si analizamos las formas geométricas que presentan tanto el compás de corte como la guía para cortes rectos nos damos cuenta que el tiempo requerido para su fabricación será aceptable, por que no presentan formas en las que se tenga que utilizar aditamentos especiales para el maquinado de las piezas que conforman cada uno de los herramientales.

- 4) Es importante la selección adecuada del material para la fabricación de dichos accesorios, para asegurar con esto un tiempo de vida considerable y evitando a la vez un rápido deterioro de estos. En este caso, en la mayoría de las piezas maquinadas se selecciono material AISI SS-304, por que nos proporciona un excelente acabado en el maquinado y además con este tipo de material se previene la corrosión, ya que es una de las principales causas del deterioro de las piezas mecánicas.
- 5) Con el compás para corte de perfiles circulares y la guía para cortes rectos se asegura un error de exactitud de $+ - 2$ mm que es bastante aceptable, comparándolo con cualquier corte de un material que se realice a pulso.
- 6) Tanto el compás para cortes de perfiles circulares como la guía para cortes rectos, además de su diseño teórico fueron fabricados y utilizados en procesos de corte, demostrando así físicamente su correcto funcionamiento, que fue la meta trazada al principio de este proyecto, concluyendo finalmente que se puede llevar a cabo tanto el diseño teórico como el desarrollo físico.

BIBLIOGRAFÍA

- 1) Mikell P. Groover
Fundamentos de Manufactura Moderna, Materiales, Procesos y Sistemas.
Capítulo 27. Maquinado no Tradicional y Procesos de Corte Térmico
Editorial: Prentice Hall, pp. 681-706

- 2) Theodore Baunmeister, Eugene A. Avallone
Marks Manual del Ingeniero Mecánico
Octava Edición, Capítulo 13, Proceso de taller, pp. 13-39

- 3) Hypertherm
A History of Plasma Cutting, Milestones in the Development of a new
Technology
[www. Hypertherm. Com/history.htm](http://www.Hypertherm.Com/history.htm)

- 4) Harris Air Plasma. Cutting Systems
The New "State of the Art", System 65. Air Plasma Cutting Outfit
Sanco, Soldaduras Especiales, Form No. HCP65-338

- 5) Advance Methods of Machining
J.A. McGeough
Chapman and Hall, Capítulo 7 "Plasma Arc Machining"
pp. 153-151

- 6) Manual de Operación, Sistema de Corte de Metales
PCA 60J y 65J, Plasma Aire

- 7) Manual de Mantenimiento
Torce Plasma A.90 (Antorcha para Plasma), Trafimet

- 8) Revista Manufactura, "Sistema de Corte por Plasma"
Mes de junio de 1999, pp. 48

- 9) Catálogo Miller de México
Spectrum "La Nueva Fuerza en Corte a Plasma"

- 10) ¿Qué es el plasma?, Revista Conozca mas
conozcamas-mas@siedi.spin.com.mx pp. 6