

PROCESO DE MECANIZADO POR ELECTROEROSIÓN

50038

Por: José Ramiro Rúa
Técnico SENA CDT-ASTIN

INTRODUCCIÓN

La electroerosión es un proceso que permite el mecanizado de piezas, que bajo sistemas convencionales de maquinado no se logra realizar.

Se puede emplear para dar formas sencillas o complejas, desprendiendo virutas muy finas, mediante una herramienta llamada electrodo, el cual se acerca a la pieza sin tocarla, originándose entre ellos una serie sucesiva de descargas eléctricas.

Con este proceso se logra trabajar materiales como aceros, que pueden estar endurecidos, el metal duro aluminio, bronce y todos aquellos que presentan como características una buena conductividad.

LA ELECTROEROSIÓN

DEFINICIÓN

Este proceso lo podemos definir como un método de arranque de viruta, sin que exista contacto entre la pieza y la herramienta (electrodo), en donde se presentan una serie de chispas (descargas eléctricas), que saltan entre dos polos, con un tiempo de separación determinado, retirando, poco a poco, material de las superficies.

Para lograr un aumento de la potencialidad de las descargas eléctricas, se sumerge la pieza y el electrodo en un líquido aislante (dieléctrico), que, a la vez, se utiliza para dar limpieza a la zona de trabajo.

PROPIEDADES FUNDAMENTALES

Podemos mencionar dos características fundamentales:

- Su cualidad para mecanizar metales o aleaciones duras (aceros endurecidos, metal duro etc).
- Su utilización para construir figuras complejas bien definidas.

TIPOS DE ELECTROEROSIÓN

Electroerosión por penetración.

En este caso se presenta entre el electrodo y la pieza, un movimiento relativo vertical, manteniéndose generalmente fija la pieza y desplazándose de esta forma el electrodo (Figura 1).

Electroerosión por hilo

Existe un movimiento relativo pieza-electrodo, animado en los tres ejes

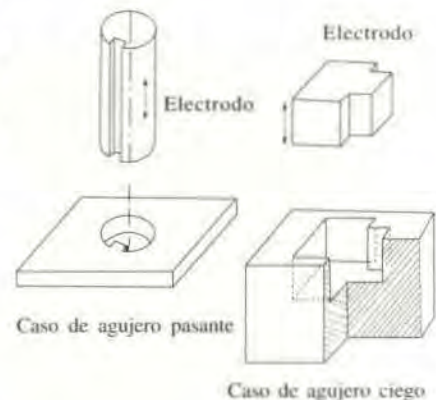


Figura 1. Electroerosión por penetración

del espacio; se pueden efectuar operaciones de corte y formas muy complicadas, que con el sistema de electroerosión por penetración no sería factible realizar (Figura 2).

FORMACIÓN DE ARCO ELÉCTRICO

Se origina por la tensión creada entre el electrodo y la pieza. Lo podemos representar en las siguientes fases:

FASE 1

Se forma un campo eléctrico en la totalidad del espacio intermedio, concentrándose en un dieléctrico, partículas conductoras suspendidas

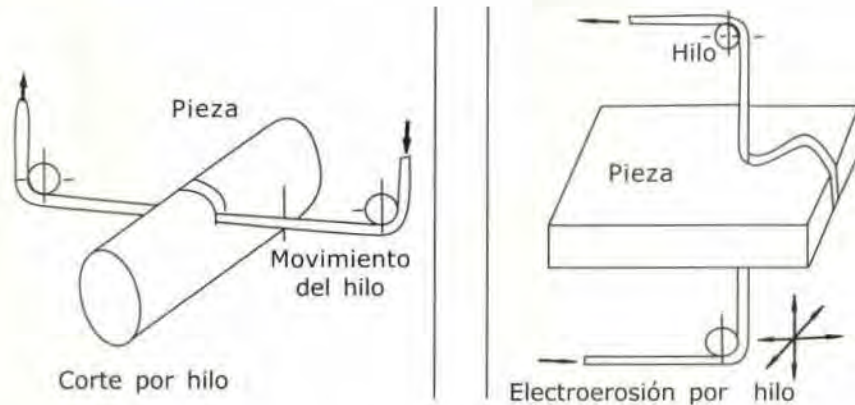


Figura 2. Electroerosión por hilo

en el lugar de mayor fuerza de campo, generándose un puente entre la pieza y el electrodo. Se produce una ionización por choque, creándose, así, partículas de carga positiva y negativa (Figura 3).

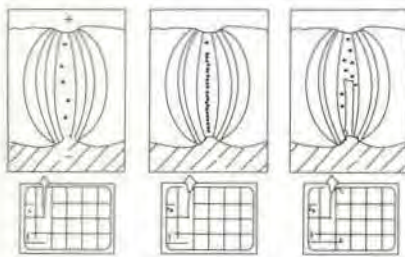


Figura 3. Fase 1

FASE 2

Se genera un flujo de corriente eléctrica, aumentando la temperatura y la presión en la zona, apareciendo también una burbuja de vapor (Figura 4).

FASE 3

Se produce un flujo de calor y, en forma simultánea, se reduce la cantidad de partículas cargadas eléctricamente, disminuyendo la presión y, con ella, el arco eléctrico (canal de descarga). Esto eleva la temperatura, en donde la superficie

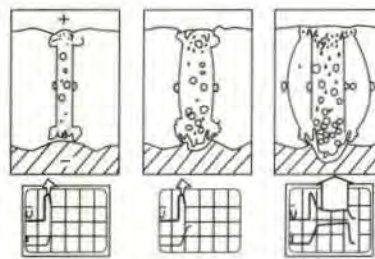


Figura 4. Fase 2

sobrecalentada se evapora de forma explosiva y arranca material fundido, arrojando como resultado finísimas partículas metálicas y productos desintegrados del dieléctrico (Figura 5).

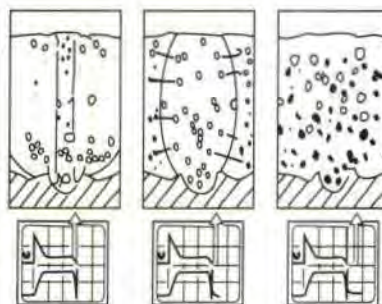


Figura 5. Fase 3

RUGOSIDAD

Se puede definir como las desigualdades que presenta una superficie. En electroerosión, las chispas o descargas eléctricas dejan sobre la superficie ciertas asperezas sobre el área trabajada, que nos puede generar un acabado tosco o un acabado fino.

Se puede aclarar que al aplicar elevadas descargas de energía, se obtiene mayor rugosidad, lo que equivale a decir "a mayor velocidad de erosión, mayor rugosidad y viceversa".

Los valores de distribución generalmente se llaman:

- Rugosidad máxima: nos indica la máxima profundidad, o sea, la mayor distancia tomada desde la cima hasta un valle.
- Rugosidad a R_a : que nos da el valor medio aritmético de la medida (Figura 6).

COMPONENTES DE UNA EROSIONADORA

La erosionadora como toda máquina de herramienta consta de tres (3) elementos fundamentales que son:

Estructura metálica

1. Bastidor
2. Columna
3. Regla de coordenadas (mecánicas y electrónicas, tambores, nonius)
4. Servo cabezal móvil
5. Regulador de profundidad
6. Portaelectrodo
7. Tope de seguridad
8. Bombas para sistemas hidráulicos

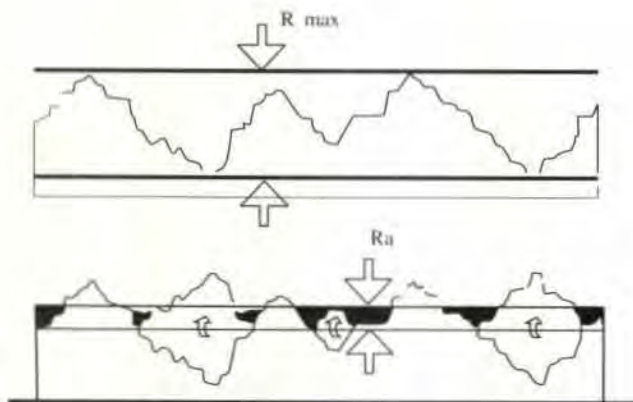


Figura 6. Rugosidad

- a. Material arrancado
- b. Material fundido o en fusión
- c. Material sobrecalentado

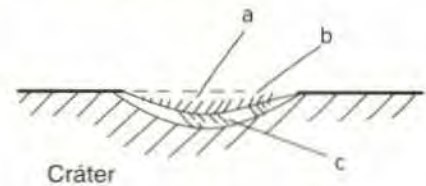


Figura 8. Cráter

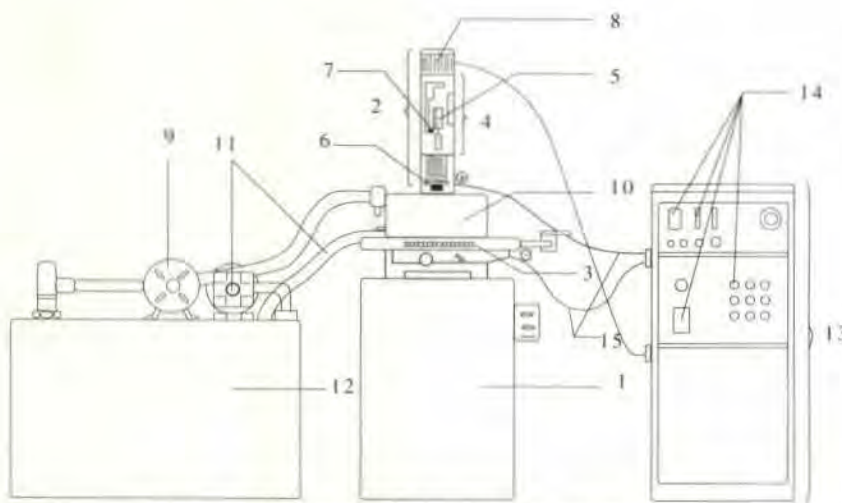


Figura 7. Componentes de una electroerosionadora

DESGASTE: Se denomina desgaste volumétrico relativo (Q_v) a la relación de volumen de material arrancado del electrodo con el volumen arrancado de la pieza. Se mide tanto por 100.

$$Q_v = \frac{\text{Volumen arrancado del electrodo}}{\text{Volumen arrancado de la pieza}} \times 100$$

Se puede medir también el desgaste frontal, que es la zona desgastada del electrodo (Figura 9).

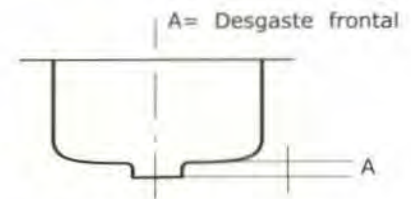


Figura 9. Desgaste

Instalación de filtraje

- 9. Bomba de sistema dieléctrico
- 10. Recipiente de mesa
- 11. Sistema de recuperación y filtrado del dieléctrico
- 12. Depósito del líquido dieléctrico

Estructura eléctrica

- 13. Generador conmutador
- 14. Panel de mandos
- 15. Cables de polaridad
- 16. Instalación eléctrica en general (Figura 7).

TERMINOLOGÍA DE LA ELECTROEROSIÓN

Terminología general

ARCO: Sucesión de descargas eléctricas que se sitúan localizada-mente en un punto. Tienen efecto destructor.

ASPIRACIÓN: Succión del líquido dieléctrico a través de la pieza o electrodo.

CORTOCIRCUITO: Situación dada cuando existe contacto directo entre los dos electrodos (electrodo y pieza). Tiene efecto destructor.

CRÁTER: Cavidad realizada por cada uno de los impulsos sobre la superficie que se está mecanizando (Figura 8).

DESIONIZACIÓN: Retorno después de cada descarga eléctrica a la situación normal no conductora de líquido dieléctrico.

DIELÉCTRICO: (líquido). Líquido no conductor de electricidad que se utiliza en electroerosión. En él se sumerge la pieza y el electrodo.

ELECTRODO: Es la herramienta de trabajo que se utiliza en electroerosión.

ESTABILIDAD DE FUNCIONAMIENTO: Una máquina de electroerosión trabaja de forma estable cuando hay ausencia de cortocircuitos y de arcos; además, el amperímetro no oscila y el reloj comparador de medida de profundidad sigue una marcha uniforme.

ESTADO DE SUPERFICIE: El estado superficial de electroerosión no es direccional como en otros procesos, si no multidireccional. Dicho estado superficial se relaciona con la rugosidad media (R_a) por medio del número de rugosidad (N_r), VDI 3400. Se cumple la relación:

$$N_r: 20 \lg_{10} R_a$$

R_a expresado en μm .

GAP: Espacio entre electrodo y pieza en el cual se dan las descargas. Se puede distinguir:

- **GAP FRONTAL:** Cuando dicho espacio no es paralelo a la dirección del eje de penetración. Figura 10
- **GAP LATERAL:** GAP paralelo al eje de penetración. Es mayor el GAP en este caso (Figura 10).

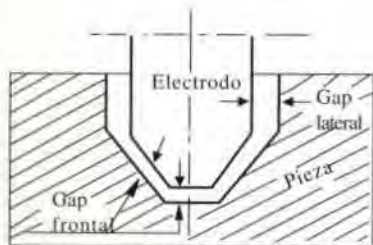


Figura 10. Gap frontal y lateral

INYECCIÓN DE DIELECTRICO (limpieza por): Introducción de dieléctrico en el GPA por inyección a una presión dada.

IONIZACIÓN: Periodo anterior al paso de la descarga eléctrica durante el cual el líquido dieléctrico se convierte en conductor en zona dada. Para ello se ha de aplicar tensión eléctrica a ambos polos.

LAVADO: Limpieza de dieléctrico que se encuentra polucionado dentro del GAP, sustituyéndolo por otro limpio.

MEDIDA MENOR POR LADO: Medida lateral de seguridad empleada en el cálculo de los electrodos de desbaste, para tener en cuenta eventuales errores en el centrado del electrodo.

PIEZA: Pieza que se mecaniza con el electrodo.

POLUCIÓN: Grado de suciedad del dieléctrico del GAP. Este contiene restos del craking del dieléctrico y del material erosionado.

PRESIÓN DEL DIELECTRICO: Unidades: Fuerza por unidad de superficie que actúa sobre las paredes por las que circula el dieléctrico; sus unidades son:

$$Kg/cm^2 \text{ y bar. } 1 \text{ bar} = 1 \text{ Decanewton} / 1 \text{ cm}^2 = 1 \text{ daN} / 1 \text{ cm}^2.$$

$$1 \text{ kg} / \text{cm}^2 = 0.981 \text{ bar (1)}.$$

RENDIMIENTO: Se define como la conjunción entre una buena velocidad de arranque de material y un desgaste lo más bajo posible. Para un buen rendimiento, la primera condición es una buena estabilidad en el trabajo.

RIGIDEZ DIELECTRICA: Se define "rigidez dieléctrica de un dieléctrico", al campo eléctrico que es capaz de aguantar dicho dieléctrico sin perforarse, o sin volverse conductor. Se mide en kilovatios /cm.

VISCOSIDAD: La viscosidad de un fluido corresponde a la resistencia de rozamiento que ejerce el

desplazamiento relativo de sus moléculas cuando se halla el fluido en movimiento.

La viscosidad dinámica de un fluido es la fuerza por unidad de superficie que hay que aplicar a una superficie plana sólida, que está en contacto con el fluido para desplazarla en su plano, manteniendo la superficie plana considerada y un plano paralelo a esta superficie, tomado en el fluido a una distancia de la superficie igual a la unidad.

La viscosidad cinética de un fluido es igual a su viscosidad dinámica dividida por la masa. Unidad: Stoke (s), sentistike (cts).

Terminología eléctrica

DESCARGA: Paso de corriente a través de algún punto del GAP, debido a un impulso de tensión.

DESCARGA ISOENERGÉTICA: Caso en el que se cumple que todas las descargas tienen la misma energía.

DESCARGA ISOFRECUENCIAL: Caso en el que se cumple que la frecuencia de descargas es constante.

FRECUENCIA DE IMPULSO (f_p): Número de impulsos que se dan en un segundo.

PERÍODO (t_p): Tiempo que pasa desde el comienzo de un impulso hasta el comienzo del impulso siguiente.

RELACIÓN DE IMPULSO (τ): Relación que existe entre el tiempo de impulso y el período, medida en tantos por 100.

$$\tau = \frac{t_i}{T_p} \cdot 100$$

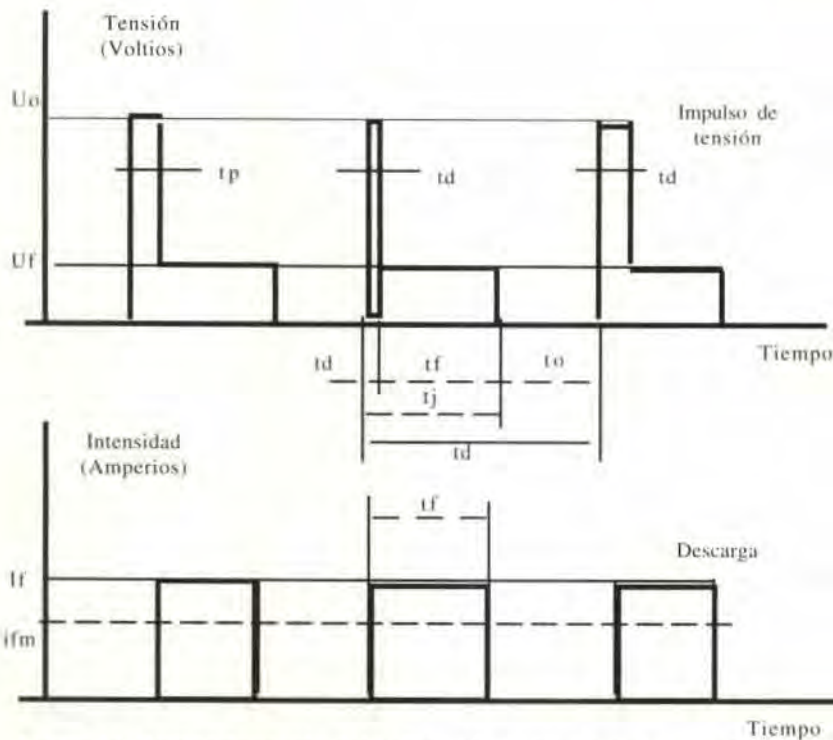


Figura 11. Comportamiento del voltaje y la corriente con respecto al tiempo

TENSIÓN DE DESCARGA (U_f): Tensión entre electrodo y pieza, después de creada la descarga.

TENSIÓN EN VACÍO (U_o): Idem antes de creada la descarga, o tensión entre electrodos si no hay descarga (Figura 11).

IMPULSO DE TENSION: Tensión aplicada a ambos electrodos durante un tiempo muy corto.

INTENSIDAD MEDIA DE CORRIENTE (I_{fm}): Valor medio de la corriente que circula por el GAP durante todo el mecanizado. Es el valor leído en el amperímetro (Figura 11).

INTENSIDAD DE IMPULSO (i_f): Intensidad que circula por el GAP durante una descarga (Figura 11).

TIEMPO DE DESCARGA (t_f): Tiempo durante el cual pasa la descarga hasta que eléctricamente se corta la corriente (Figura 11).

TIEMPO DE IMPULSO (t_i): Tiempo que dura el impulso de erosión entre ambos electrodos (Figura 11).

TIEMPO DE PAUSA (t_o): Intervalo de tiempo que transcurre entre el final de un impulso y el comienzo del siguiente. Se verifica que $t_p = t_i + t_o$ (Figura 11).

TIEMPO DE RETRASO O DE DESCARGA (t_d): Tiempo que transcurre entre la aplicación de impulso de tensión y el comienzo de descarga. Suele ser muy pequeño, de 0,5 a 2 s.

Se cumple que: $t_i = t_d + t_f$ (Figura 11).

LIMPIEZA, RIEGO O LAVADO

Es la circulación de dieléctrico entre el electrodo y la pieza, para evacuar las finas partículas producidas por las chispas (descargas eléctricas), durante el erosionado.

Las ventajas del riego o lavado las podemos enumerar así:

- Ayuda a mejorar el rendimiento del mecanismo
- Evita los cortos circuitos producidos por suciedades acumuladas en el GAP.
- Se evita el excesivo desgaste del electrodo.

Las impurezas se acumulan en el GAP; son el resultado de las disociaciones que sufre el dieléctrico, produciendo gases particulares que provienen del craking del dieléctrico y las virutas resultantes del electrodo y la pieza.

Influencia de la contaminación del GAP en el proceso de electroerosión

Al iniciarse el proceso de electroerosión, el GAP se encuentra libre de impurezas, el dieléctrico se puede considerar puro, viene de ser filtrado y todavía no se presentan partículas en él; por lo tanto, la resistencia de éste al paso de la corriente eléctrica es mayor a la que presenta cuando se encuentra cargado de impurezas, por lo que se requiere un tiempo para romper esta resistencia e iniciar la primera descarga.

Cuando el dieléctrico se encuentra polucionado, permite que las descargas se produzcan más fácilmente; sin embargo, si la contaminación es muy grande, puede presentar los siguientes fenómenos:

- Se pierde rendimiento en el mecanizado al deformarse el canal de descarga, por la excesiva presencia de gases en el GAP.
- Las chispas se pueden dar entre el electrodo y las partículas, disminuyendo el rendimiento.

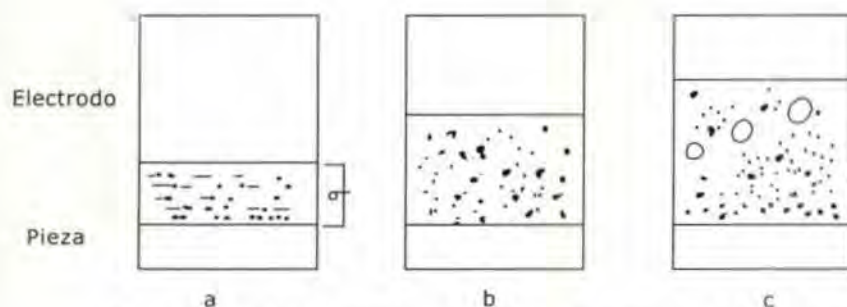


Figura 12. Grado de contaminación y dimensión del GAP

Puede formarse cortos circuitos que deterioran tanto el electrodo como la pieza. Por estas razones, es importante que el lavado retire de la zona (GAP) partículas y gases a través del dieléctrico, aunque el riesgo no debe ser ni muy fuerte ni muy débil, ya que para obtener un buen rendimiento es preciso que el GAP esté un poco contaminado (Figura 12).

Métodos de limpieza

Las máquinas generalmente vienen equipadas para realizar la limpieza por distintos procedimientos, aunque la selección de uno u otro depende del tipo de trabajo a realizar. Podemos indicar las siguiente formas:

Limpieza por presión o inyección

En este caso, se inyecta el dieléctrico a presión, bien sea a través de la pieza o del electrodo (Figura 13).

Este tipo de lavado nos deja una ligera conicidad en la pieza, debido a que en la salida de las partículas por el GAP lateral se generan descargas que actúan sobre la pieza y el electrodo gastándolos.

Limpieza por aspiración

Cuando se emplea este método, se succiona el dieléctrico a través de la pieza, utilizando el vaso soporte o por el electrodo. Con este sistema, se evita el chispeo lateral, obteniéndose, así, paredes prácticamente verticales,

permitiendo también elevadas velocidades de mecanizado.

La depresión de aspiración no puede llegar a valores más elevados de 0,8 kg/cm² (Figura 14).

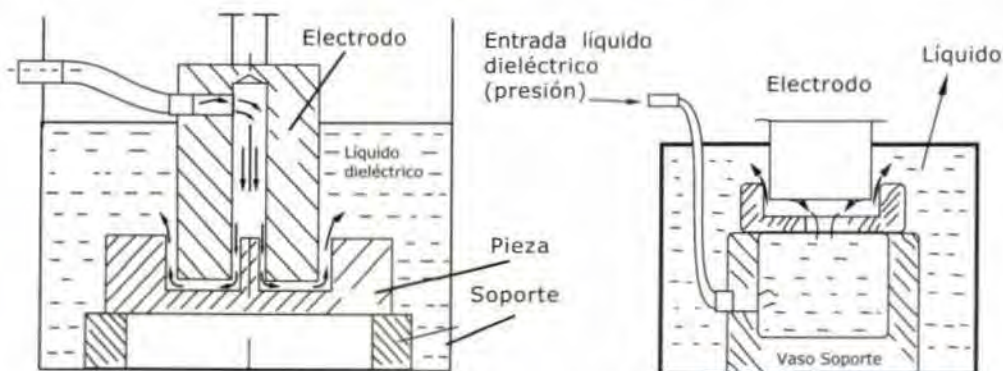
Limpieza por lanza lateral (externo)

Este tipo de lavado es utilizado cuando la pieza o el electrodo no permite la construcción de agujeros para facilitar los riegos.

Para realizar este tipo de riegos, se hace necesario el empleo de coquillas o rampas de inyección, que se orientan cuidadosamente, para asegurar el desalojo total de partículas cuando el electrodo se levante temporalmente. Para dar entrada al dieléctrico limpio en el GAP, nunca debe introducirse por los lados opuestos de la herramienta porque se anularían ambas corrientes (Figura 15).

Limpieza de remoción

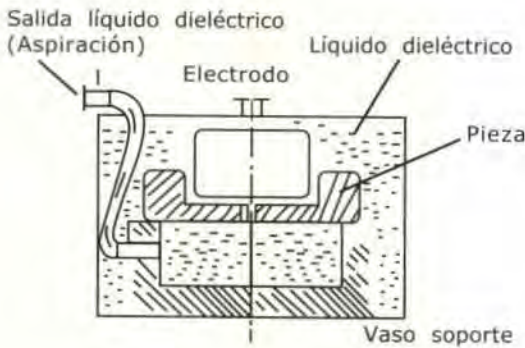
Este modo de lavado se obtiene por medio del movimiento de pulsación del electrodo, el cual al retirarse de la zona, aumenta el volumen, entrando en dieléctrico limpio, que se combina con el contaminado. Cuando la herramienta baja, las partículas son evacuadas al ser arrastradas por el líquido.



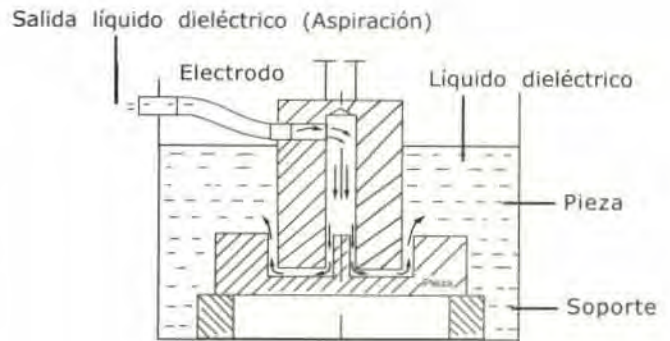
Limpieza por presión a través del electrodo

Limpieza por aspersion a través de la pieza

Figura 13. Limpieza por presión



Limpieza por aspiración a través de la pieza



Limpieza por aspiración a través del electrodo

Figura 14. Limpieza por aspiración

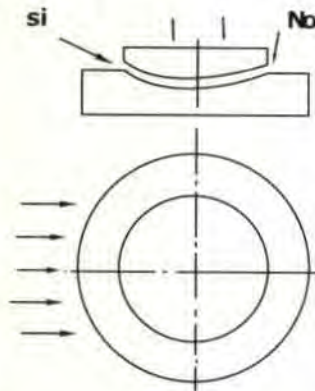


Figura 15. Limpieza por lanza lateral

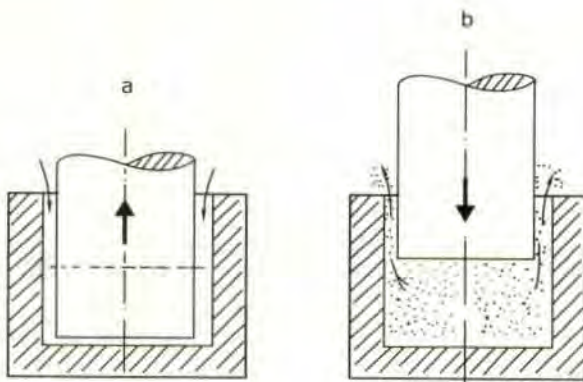


Figura 16. Limpieza por remoción

Este sistema es interesante, ya que permite la realización de orificios profundos sin circulación forzada de dieléctrico (Figura 16).

Limpieza por temporizador

En el erosionado, el temporizador es un instrumento que controla el tiempo de mecanizado con el objeto de retirar brevemente el electrodo de la zona de trabajo, aumentando, así, el volumen del GAP para facilitar la evacuación de las partículas (Figura 17).

Limpieza con presión intermitente

Consiste en una alimentación no continua de fluido dieléctrico, hacia el GAP. Con ello se obtienen desgastes menores en zonas críticas, como son las salidas y entradas del líquido en orificios y en cambios bruscos de sección.

Este tipo de lavado, evita desgaste excesivo en el electrodo (Figura 18).

LÍQUIDOS DIELECTRICOS

El dieléctrico es un aislante que, en el proceso de erosión, permite que se forme el arco eléctrico o canal de descarga donde se presenta el flujo de partículas.

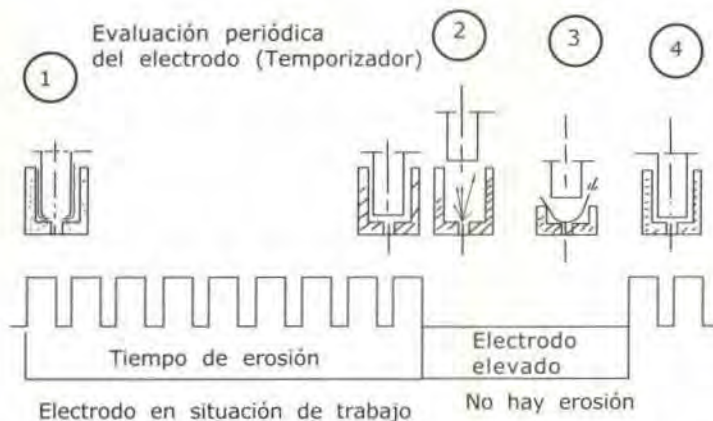
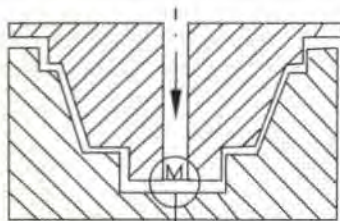
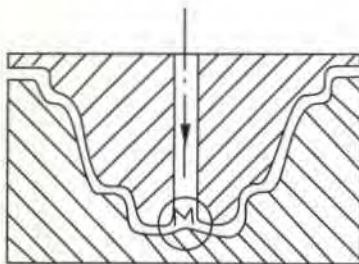


Figura 17. Limpieza por temporizador



Limpieza con presión intermitente



Limpieza con presión continua

Figura 18. Limpieza con presión continua e intermitente

Funciones

Concentrar en un punto la descarga, para lograr una mayor capacidad de erosión, superior a la que se daría si entre el electrodo y la pieza hubiese un gas o aire.

- Actuar como aislante entre el electrodo y la pieza. Durante el erosionado, al ir aumentando la

tensión entre el electrodo y la pieza, se produce la ionización del líquido, que, poco a poco, permite el paso de una pequeña corriente eléctrica, que, a su vez, hace aumentar la ionización, bajando la resistencia del líquido dieléctrico. Esto provoca una avalancha que caracteriza las descargas erosivas.

- Arrastrar las partículas de la zona de trabajo, mediante un procedimiento de limpieza adecuada para lograr dar al proceso estabilidad y rendimiento.

- Refrigerar el electrodo y la pieza que, debido al efecto térmico de las descargas, tienen la tendencia a calentarse durante el mecanizado.

Características del dieléctrico

Básicamente debe presentar las siguientes características :

- Tener rigidez dieléctrica para soportar los campos eléctricos que se forman por la tensión entre ambos electrodos y que permita el paso de corriente en forma de descarga para que haya erosión.

- Presentar baja viscosidad y baja tensión, para que entre con facilidad en el GAP y constituir las condiciones de aislamiento.

- Químicamente deben ser neutros

para que no ataquen al electrodo, a la pieza o partes de la máquina que entren en contacto con él.

- Baja volatilidad para evitar pérdidas.
- Deben tener puntos de inflamación elevados, para evitar los riesgos de incendios.
- No deben desprender vapores nocivos, que originen irritaciones en la piel, ni olores desagradables.
- Conservar sus propiedades en todas las condiciones de mecanizado.

Tipos de dieléctricos

Podemos identificar dos familias de dieléctricos: el agua y los hidrocarburos.

- El agua es utilizado como dieléctrico para los micromecanizados, y para máquinas de corte por hilo, debe estar totalmente desmineralizada.

- Los hidrocarburos son los líquidos que mejor cumplen estas características. Los podemos mencionar así:

MATERIALES PARA ELECTRODOS

Los materiales empleados para la fabricación de electrodos deben presentar las siguientes características:

- Elevado punto de fusión; considerando que este proceso es de tipo térmico, se alcanzan altas temperaturas que funden pequeñas partículas tanto de la pieza como del electrodo, de tal manera que entre mayor sea la temperatura de fusión de éste, menor será su desgaste.

- Buena conductividad térmica y eléctrica; considerando que el calor se da localizado en tiempos muy cortos, es indispensable que éste se difunda rápidamente por el resto del electrodo.

LÍQUIDOS DIELECTRICOS RECOMENDADOS.

MARCA	VISCOSIDAD cst	A 20°C Eº	PUNTO DE INFLAMACIÓN °C
BP dieléctrico 250	6	1,48	120
Castrol honilo 409	6,4	1,52	135
Chevron EDM fluid 71	5,7	1,46	116
Esso MENTOR 28/ SOMENTOR 43	7,4	1,6	124
Esso Lector 40	6,8	1,55	132
Esso Univolt 64	20	2,9	156
Fuch Ratak FE	5,6	1,46	115
Gulf Mineral Seal Oil	5,8	1,48	132
Mobil Oil Velocite	9	1,75	118
Mobil Oil Velocite	19,1	2,8	158

- Propiedades mecánicas que permitan su fácil maquinado. Deben poseer un Coeficiente de Dilatación pequeño, de tal forma que conserven sus medidas durante el trabajo, tener bajo peso específico para que su peso no sobrepase los límites admitidos por la máquina, y también debe conservar buena estabilidad dimensional, para que durante el mecanizado no cambien sus dimensiones.

Podemos clasificar los materiales para electrodos en dos grupos: Metálicos y no metálicos. Entre los metálicos podemos mencionar los siguientes:

- Cobre electrolítico
- Cobre al tungsteno
- Latón
- Acero
- Aleaciones de aluminio
- Tungsteno puro (principalmente bajo forma de hilo)
- Tungsteno plata

En los materiales No-metálicos, se considera el grafito, bajo todas sus variedades. Los más empleados para fabricar los electrodos son: el cobre, el electrolítico y el grafito.

Cobre electrolítico

Se puede considerar como el más empleado par construir electrodos; sus propiedades físicas son:

- Temperatura de fusión : 1083 °C
- Resistividad eléctrica: 0,017mm²/m

Podemos mencionar que en cuanto a sus propiedades mecánicas, no se máquina con facilidad; posee un coeficiente de dilatación aceptable para el trabajo de electroerosión; tiene un alto peso específico 8,9 gm/ cm³, lo cual limita su uso en electrodos voluminosos.

Métodos de fabricación

Se puede subdividir en:

Mecanizados convencionales

Como lo son el torneado y fresado, en donde se deben emplear abundante refrigeración para evitar la adherencia de las virutas en la herramienta. Los electrodos se pueden rectificar utilizando piezas de carburo de silicio, con grano de 46 a 80 según el acabado requerido, una dureza H-K, con porosidad 13-15 y empleando una velocidad tangencial de 30 m/seg. En

este caso, también, se hace necesaria una buena refrigeración.

Fabricación por extrusión

Se emplea este método especialmente para elaborar electrodos con perfiles constantes y para ser producidos en grandes cantidades.

Deformación en frío o en caliente

En estos casos se requiere de moldes apropiados para realizar las operaciones, aunque como desventaja podemos resaltar las tensiones internas que le quedan al electrodo después del proceso.

Fundición de cobre electrolítico

Se pueden obtener electrodos, utilizando moldes para vaciar en ellos la colada, y crear el electrodo como desventaja. Presentan impurezas o poros que, en el momento del erosionado, pueden ocasionar cortos circuitos, que disminuyen el rendimiento del mecanizado.

Podemos mencionar otros métodos de fabricación, que comúnmente no son muy usados en nuestro medio, como son: Reducción por medio de ácidos, por procedimientos de galvanoplastia.

Comportamiento del cobre en la electroerosión

De experiencias adquiridas podemos concluir lo siguiente:

- Empleando condiciones normales de trabajo logran desgastes volumétricos de 0,5 por 100 en operaciones con intensidad menores de 80 A.

- Para intensidades de unos 18 A, se logran desgastes inferiores a 0,5 por 100, pero, al mismo tiempo, se disminuye la capacidad erosiva. Cuando se pretende lograr mejores acabados, se presentan mayores desgastes, aproximadamente de 1 a 5 por 100.

Si se compara la eficiencia en el desbaste, no es tan alta como la obtenida con el grafito, pero la rugosidad dejada en la superficie es menor.

Grafito

Es uno de los materiales más empleados en la construcción de electrodos. Existen muchos tipos de grafito que se utilizan en la fabricación de estas herramientas.

Características mecánicas y eléctricas

- Temperatura de sublimación: 3600 -3700°C
- Resistividad eléctrica: 8 a 15 mm³/ m
- Peso específico 1.6 – g/cm³
- Carga a la rotura: 200–700 kg/cm²
- Grano: 0,01 a 0,045 m

El grafito es fácil de mecanizar y tiene gran estabilidad dimensional. La gran diferencia con el cobre es que sólo se pueden obtener por métodos de mecanizado.

Comportamiento del grafito en el mecanizado

Considerando que el grafito es un material muy frágil, se debe tener mucho cuidado con la sujeción entre las máquinas; se debe procurar que la presión quede repartida.

El grafito se puede mecanizar con tolerancias muy estrechas, utilizando herramientas de acero rápido, por lo general en seco y con elevadas velocidades, aunque resulta, en muchos casos, beneficioso lubricarlos con el mismo dieléctrico que se emplea en el proceso.

La viruta de grafito es polvo, por lo que es necesario emplear dispositivos de aspiración; éste es muy abrasivo, lo que hace indispensable limpiar muy bien las guías y partes de las máquinas que entran en contacto con él.

En el torneado, se utilizan herramientas de acero rápido, carburo de tungsteno o, también, herramientas diamantadas. Cuando de producir grandes cantidades se trata, los fabricantes recomiendan: (Cuadro 1)

Considerando que el grafito es muy abrasivo, se hace necesario afilar muy a menudo las herramientas. En el rectificado, se recomienda utilizar muelas con las siguientes características:

- Abrasivo: Carborundium verde
- Aglomerante: Vitrificado
- Grano: 60 para acabado, 35 para desbaste
- Dureza: J
- Estructura: 5

En el fresado, se emplean velocidades de corte elevadas (100-200 m/min) y avances de 100-200 mm/min, tiempos de 5 a 10 veces inferiores a los que se utilizarían cuando se mecaniza el cobre; además, se pulen fácilmente con lija.

Comportamiento del grafito en la electroerosión.

- Cuando se requiere mecanizar el carburo de tungsteno, resulta difícil lograrlo utilizando electrodos de este material, ya que se generan descargas anormales que son

	ACERO RÁPIDO	CARBURO	HERRAMIENTAS DIAMANTADAS
Ángulo de incidencia	8 - 10°	8 - 10°	10 - 20°
Ángulo de ataque	16 - 20°	16 - 20°	- 10°
Velocidad de corte	80 m/min	150 m/min	250 - 400 m/min

Cuadro 1. Parámetros de mecanizado

mayores a las que se presentan cuando se utilizan electrodos metálicos.

- Cuando tenemos formas complejas y aristas vivas en el electrodo, resulta importante utilizar grafitos densos, los cuales presentan mayor resistencia al desgaste.

- El grafito por su bajo peso específico

se puede emplear en la fabricación de electrodos voluminosos, ya que su peso es mucho menor, si lo comparamos con el que tendría la herramienta si la fabricamos en material metálico.

- Los electrodos en grafito conservan sus propiedades mecánicas a

elevadas temperaturas, siendo sus deformaciones prácticamente nulas. Cuando se requiera obtener superficies muy finas al elaborar el mecanizado con grafito, sólo se consiguen del orden Nr 27-30 (Nr: Número de rugosidad), que son acabados muy rugosos si los comparamos con los obtenidos con los electrodos fabricados en cobre.

