

Electroerosión

1a. Parte

Mediante este trabajo se quiere dar a conocer los principios básicos que gobiernan el proceso de electroerosión, las partes principales de los equipos que se utilizan en el proceso y sus funciones, al igual que los principios de operación y sus principales parámetros tecnológicos. También se pretende dar algunos criterios que se deben tener en cuenta para la selección de un equipo de electroerosión y se hacen algunas consideraciones sobre el diseño de piezas que se van a obtener mediante este proceso.

JOSE WILLIAM MORENO PORTILLO
Ingeniero Mecánico - Médico Cirujano
Profesor Asistente Facultad de Ingeniería, U.N.

Pág. 54-59
Ingeniería e Investigación
Volumen 4 - Nº 2
Trimestre 1 de 1987

INTRODUCCION

Electroerosión: proceso en el cual mediante descargas eléctricas se logra remover el material de la pieza que se va a maquinar valiéndose para ello de un modelo (electrodo), fabricado de un material buen conductor, que tiene la forma en negativo de aquella que queremos obtener. Este par de piezas (pieza-electrodo) se mantienen sumergidas en un líquido dieléctrico.

Dentro de los métodos no convencionales de maquinado, la electroerosión (EE) se convirtió en uno de los pioneros, pues con ella se obvió la necesidad de trabajar con herramientas más duras que el material a maquinar, utilizando como herramientas piezas hechas con materiales blandos (cobre, grafito, aluminio, etc.) y además porque permitía la configuración de piezas que serían casi imposibles de obtener con los maquinados de arranque de viruta tradicionales.

La EE es de gran aplicación en la industria moderna, especialmente en la fabricación de matrices, moldes para plásticos, forja, estampación, herramientas de corte y en maquinado de piezas que por su complejidad, tamaño o labilidad no son factibles de conformar mediante otros procesos.

Veamos algunas de las ventajas y desventajas de este método:

- Se pueden maquinar piezas con una dureza tal que no es posible maquinarlas por los métodos tradicionales o que para ello necesitarían el uso de abrasivos.
- Se conforman piezas que pueden haber recibido un tratamiento térmico previo sin que pierdan sus propiedades y eliminando posibles deformaciones inherentes a este tratamiento térmico.
- Es factible obtener formas y figuras complejas que serían casi imposibles de obtener por otros métodos.
- Se puede maquinar materiales blandos o frágiles sin peligro de distorsión o ruptura pues no hay

contacto entre la herramienta y la pieza.

- Se obtienen piezas que no requieren maquinados posteriores para quitar rebabas o mejorar acabados.

Como desventajas citaremos:

- La eficiencia medida como volumen de material arrancado por unidad de tiempo es muy inferior a la de las máquinas herramientas convencionales (torno, taladro, fresadora, etc.).
- Se requiere de 40 a 80 veces más energía para remover una misma cantidad de material en un tiempo determinado mediante el proceso de EE que con los procesos convencionales.
- Se generan microgrietas en la superficie de las piezas trabajadas que pueden actuar como concentradores de tensión disminuyendo la resistencia a la fatiga.

FUNDAMENTOS DEL PROCESO DE EE

A pesar de conocerse desde 1889 los principios de maquinado mediante descargas eléctricas, sólo en 1943 se empieza a utilizar éste método como procedimiento de fabricación; para ello fue necesario que los científicos soviéticos Boris y Nicolai Lazarenko propusieran su teoría térmica. (Figura 1).

Teoría de Lazarenko

Una carga de electrones que salta de un conductor eléctrico al punto más próximo de otro conductor produce un aumento repentino de la temperatura y un choque mecánico de tal magnitud que el material de la superficie del conductor alcanzado se funde y es desalojado por el impacto producido por la descarga. Si existe un medio (fluido dieléctrico) que arrastre la microburbuja de material fundido antes que esta se adhiera de nuevo a la pieza, se obtendrá una cavidad en el sitio en donde se presentó la descarga eléctrica. Como en el lugar donde ocurrió la descarga eléctrica hay ahora una cavidad, la menor distancia entre los dos conduc-

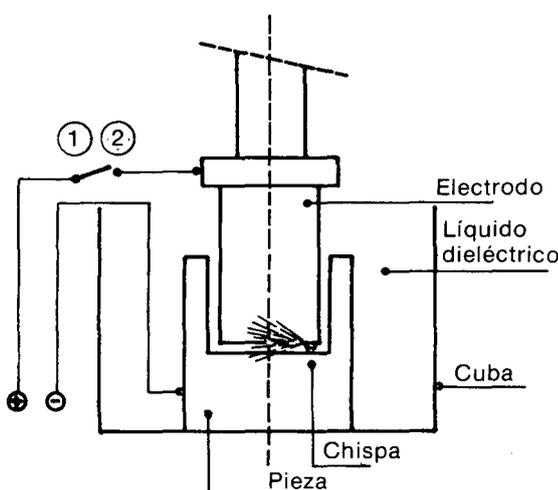


FIGURA 1. Mecanizado por electroerosión.

tores será otra, por tanto el lugar donde se registrará la siguiente descarga estará en otro punto diferente al primero.

Se deduce de esta teoría que la rata de remoción de material no estará determinada por sus características mecánicas sino por sus características termoeléctricas, por la magnitud de la energía suministrada en cada descarga y por la frecuencia de éstas.

PRINCIPIOS ELECTRICOS QUE GOBIERNAN ESTE PROCESO

Distancia de descarga

Es la distancia a la cual se producirá la descarga entre el ánodo y el cátodo cuando entre ellos existe una diferencia de potencial (V_d) (figura 2). Se puede calcular mediante la ecuación:

$$d_{(mm)} = \frac{V_d \text{ (voltios)}}{E \text{ (voltios/mm)}} \tag{1}$$

E = constante de rompimiento dieléctrico que depende de las características dieléctricas del fluido, este es generalmente un aceite pesado como kerosene o petróleo, aunque actualmente se han desarrollado fluidos dieléctricos especiales para EE.

d : Se conoce también como entrehierro o Gap

Velocidad de descarga

- Sea W = Energía total
- U = Energía potencial
- $E_c = 1/2(mv^2)$ = Energía cinética
(m = masa, v = velocidad.)

tenemos que:

$$W = U \times E_c = U \times 1/2 (mv^2)$$

$$U = q \cdot V$$

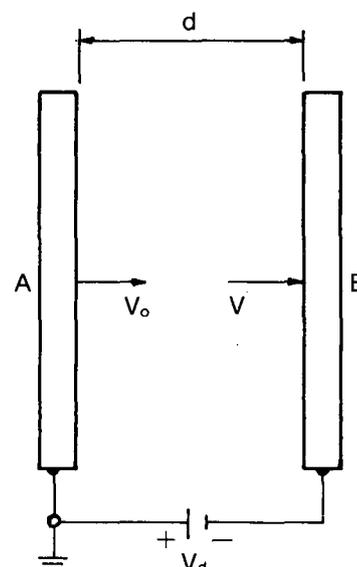


FIGURA 2. Descarga a través de un medio dieléctrico.

en donde:

V = potencial entre electrodos

q = carga eléctrica presente en el punto que se considere. Si consideramos la carga de un electrón entonces $q = -e$.

El electrodo **A** en la figura 2, tiene un potencial de referencia cero por estar conectado a tierra, luego el potencial de referencia del electrodo **B** es $V = V_d$.

La energía potencial en **B** será:

$$U_B = (-q) \cdot (-V_d) = q \cdot V_d$$

En **A** la energía será totalmente cinética:

$$W_A = 1/2(mv^2)$$

La energía total en **B** será:

$$W_B = q \cdot V_d \times 1/2 (mv^2)$$

$$\text{igualando } W_A = W_B$$

tenemos que:

$$1/2(mv_0^2) = 1/2(mv^2) \times q \cdot V_d \quad (2)$$

De la ecuación 2 se deduce que: V_0 es mayor que v (velocidad de salida del electrón mayor que la velocidad de llegada (impacto) y depende solamente de la magnitud de la diferencia de potencial (V_d). La magnitud de la descarga está gobernada por el número de iones que incide sobre el cátodo y no influye sobre la velocidad de impacto que es el factor determinante para la remoción de material.

Energía potencial de barrera (E_B)

Es la energía necesaria para que un electrón escape de la superficie de un metal

Función de trabajo del metal (ϕ)

Representa la mínima cantidad de energía que debe suministrarse a un electrón para permitir que este escape del metal, y está dada por la diferencia que existe entre la energía potencial de barrera (E_B) y el nivel de energía Fermi (E_f) o energía característica del metal que es el máximo nivel de energía que puede poseer un electrón a cero grados absolutos de temperatura. De donde:

$$\phi = E_B - E_f$$

Cuando el material conductor requiere el suministro de poca energía para emitir electrones se dice que tiene una función de trabajo baja, tal es el caso del cobre; lo contrario se dice del grafito que requiere gran cantidad de energía para emitir electrones y de quien se dice tiene una función de trabajo alta.

Distribución de la energía en la descarga

La energía suministrada por pulso es:

$$E = I \cdot V \cdot T \text{ (Joules)}$$

en donde: I = Corriente del pico del pulso. (Amp)

V = Diferencial del potencial de descarga (volts).

t = tiempo de pulso (segundos).

Esta energía se divide en tres componentes:

- Energía suministrada a la pieza de trabajo: es la que más contribuye a la remoción del material.
- Energía suministrada al electrodo: contribuye a su desgaste sin producir trabajo útil.
- Energía disipada en el entre hierro: se manifiesta principalmente en la forma de luz y calor; parte de ella contribuye a la evacuación del material.

La eficiencia del proceso depende de la relación entre estas tres componentes.

Contracorrientes de erosión

La teoría de Lazarenko no explica el desgaste del electrodo emisor (ánodo), que ocurre de tal manera que en muchas aplicaciones del proceso se logra erosionar más eficientemente la pieza, utilizándola como emisora y no como receptora de las descargas. Es lo que se conoce como conexión de polaridad inversa.

Estudios desarrollados en el Japón, tendientes a encontrar una expresión para la potencia disponible en el cátodo, han concluido que:

- La potencia del cátodo, y por ende la rata de erosión entre ánodo y cátodo, depende del desequilibrio en la distribución de energía disipada en el entre hierro, que a su vez depende principalmente de la emisión de electrones desde el cátodo.
- Un aumento de la función de trabajo del cátodo reduce su potencia y disminuye su erosión. Así mismo una disminución de la función de trabajo, aumentará la erosión por descarga.

Luego la selección tanto del electrodo como la de la polaridad dependerá de las funciones de trabajo del electrodo y de la pieza por maquinarse. Por ejemplo: si el electrodo tiene una función de trabajo alta, como el grafito, es conveniente trabajar con el electrodo como polo negativo y, si tiene una función de trabajo baja, como es el caso del cobre, entonces debe usarse el electrodo como polo positivo.

EQUIPO DE ELECTROEROSION

El equipo de electroerosión está conformado por: la fuente de potencia, la electroerosionadora propiamente dicha, la instalación hidráulica, el electrodo y el líquido dieléctrico (figura 3).

La fuente de potencia

Su función es transformar la corriente de entrada generando un voltaje suficiente para lograr el paso de corriente a través del dieléctrico y cortar súbitamente el suministro de corriente para permitir observar cómo se verá después la evacuación del material fundido. La fuente de potencia suministra la corriente en forma de pulsos y además cumple funciones de control y

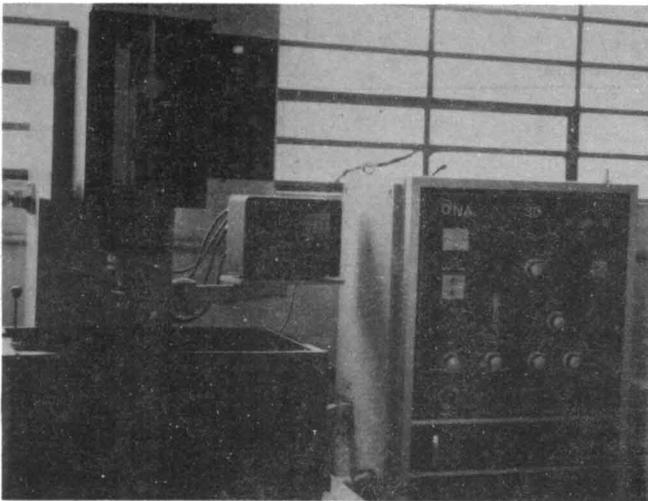


FIGURA 3. Equipo de electroerosión.

protección. Las frecuencias de operación son muy altas para minimizar los tiempos de maquinado.

Con la fuente de potencia se pueden seleccionar los siguientes parámetros del proceso:

Intensidad de pulso (I_p)

Determina la capacidad de erosión del equipo, y su máximo valor es igual al valor nominal del amperaje pico de la fuente. Para la electroerosión convencional se utilizan fuentes con capacidad de 15 a 400 amperios, en uno o varios canales.

Voltaje de operación (V_p)

Depende de las características dieléctricas del líquido y de las propiedades térmicas de los materiales involucrados en el proceso. Usualmente es posible seleccionar este voltaje en dos o tres posiciones para diferentes etapas del proceso.

Tiempo de descarga (t_i)

Tiempo durante el cual se produce la descarga. Sus valores oscilan entre dos y dos mil microsegundos.

Tiempo de pausa (t_o)

Tiempo requerido para la reionización del dieléctrico.

Tiempo de pulso (t_p)

Corresponde a $t_i + t_o$ (figura 4).

Las fuentes de potencia utilizadas son de dos tipos:

- Fuentes de potencia de tipo resistencia-capacitancia o tipo R-C.
- Fuentes de potencia de tipos de pulsos.

Fuente de potencia de tipo R-C

Conocida también como fuente de relajación; utiliza la posibilidad de los condensadores de almacenar energía y luego descargarla cuando ocurre el rompimiento dieléctrico. Fue el primer tipo utilizado en las máquinas de electroerosión pero hoy está en desuso por su poca capacidad de frecuencia de ciclo y por no generar una intensidad constante durante el tiempo de pulso (figura 5).

Fuente de potencia del tipo de pulsos

En estas fuentes las descargas están gobernadas por pulsos de una frecuencia y tipo definido de onda generados en un circuito interruptor de estado sólido. Usualmente el generador de pulsos es controlado por un multivibrador de baja potencia y frecuencia variable que produce las formas requeridas del pulso con tiempos de descarga y pausas controlables de manera

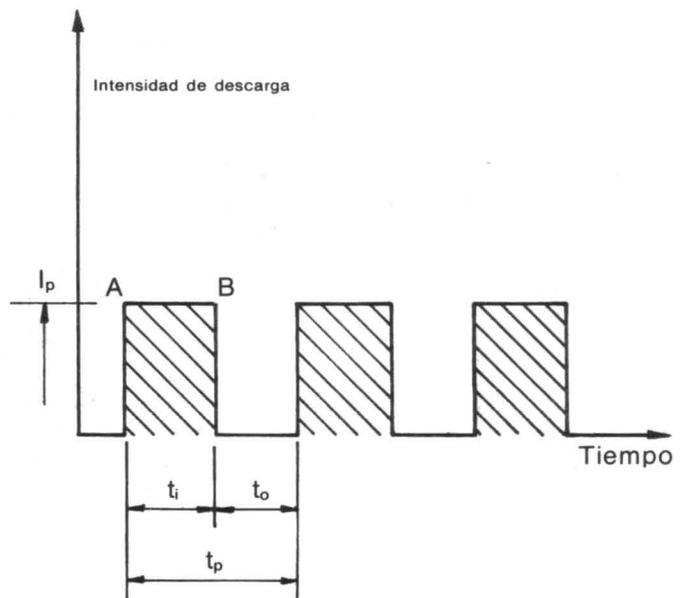


FIGURA 4. Tiempos en electroerosión.

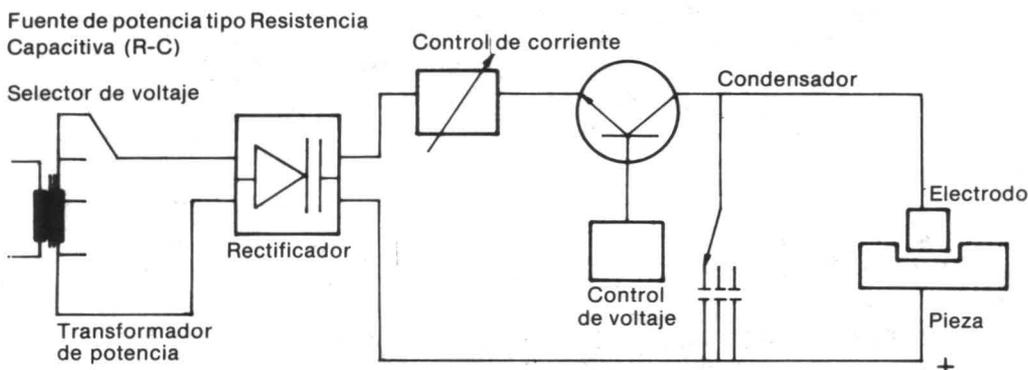


FIGURA 5. Esquema de un equipo de electroerosión del tipo R-C.

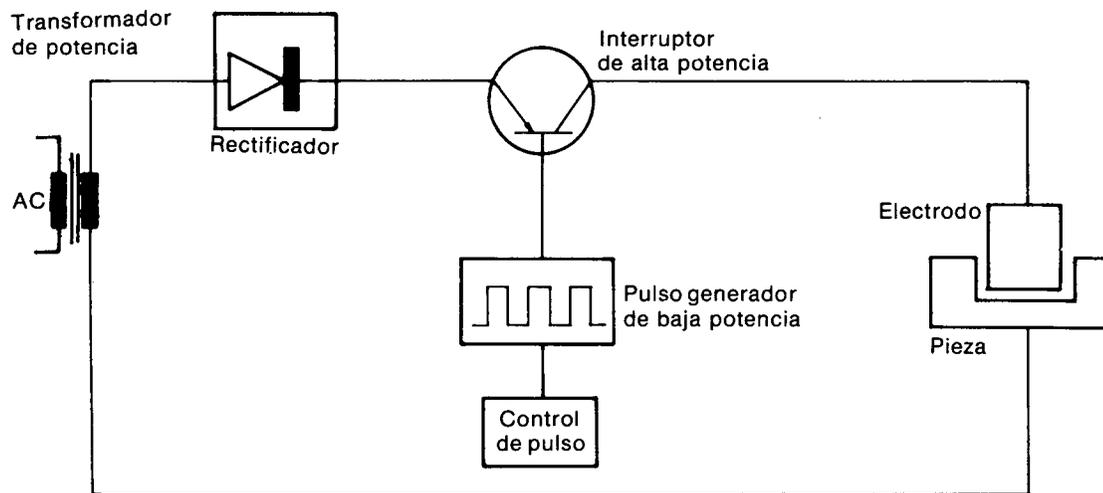


FIGURA 6.
Esquema de una fuente de potencia de pulsos de estado sólido.

independiente. Esta onda es amplificada por medio de transistores de alta velocidad de disparo y alta potencia que son los que suministran la energía de descarga a la máquina (figura 6). Puede lograrse con este tipo de fuente tiempos más cortos que con la de tipo R-C, además este tipo de fuentes son más estables y fáciles de controlar que la de tipos R-C, lo cual es más notorio en circuitos de alta potencia.

Funciones adicionales de la fuente de potencia

Es la encargada de mantener constante la distancia de entrehierro, controlando el movimiento del cabezal hidráulico y permitiendo el levantamiento periódico del cabezal para facilitar la limpieza de la zona de trabajo, reposicionando el cabezal a la distancia de entrehierro para continuar el proceso hasta la profundidad de erosión prefijada. Cuenta además la fuente con algunos dispositivos de seguridad como:

Sensor de temperatura del dieléctrico: apaga el equipo cuando la temperatura del dieléctrico contenido en la cuba se acerca al punto de inflamación:

Regulador de sensibilidad a cortocircuito electrodo-pieza: indica el cortocircuito y señala la corriente de cortocircuito.

En la fase de desbaste se presenta ocasionalmente el estado de cortocircuito, mientras que en la fase de acabado, por el pequeño entrehierro de operación, se presenta con más frecuencia.

Circuitos de relación tiempos-amperajes: El cortocircuito puede presentarse no solo por contacto electrodo-pieza sino a través del dieléctrico, cuando el tiempo de pausa es demasiado corto. Este circuito opera externamente por medio del regulador de sensibilidad desconectando la máquina.

Sensor del nivel del dieléctrico: apaga el equipo cuando el nivel del líquido está por debajo del

necesario para cubrir completamente la zona de trabajo.

La electroerosionadora propiamente dicha

Tiene por función posicionar el electrodo preconformado respecto a la pieza que se va a maquinar, mediante un servomecanismo, con el fin de producir la cavidad correspondiente al electrodo en esta pieza metálica.

La instalación hidráulica

Conformada por la cuba, la bomba y los filtros, contiene, hace circular y filtra el dieléctrico en el cual están sumergidas tanto la pieza como el electrodo.

El electrodo

Puede ser fabricado en cobre, bronce, tungsteno, acero, resinas epóxicas conductoras, grafito. Su principal requisito es ser conductor de electricidad. Los más utilizados son el cobre y el grafito; este último debe obtenerse por sinterización.

El electrodo debe ser maquinado según el negativo de la figura que se quiera obtener sobre la pieza por maquinar.

Electrodos de cobre

Utilizado en gran parte de las aplicaciones de erosión con acero, cuando el costo del electrodo es más importante que el costo de la operación. Este tipo de electrodos junto con los de cobre y tungsteno, producen mejores acabados y detalles más precisos.

Electrodos de bronce

Se utilizan cuando es necesaria rigidez en el electrodo; tal es el caso cuando se maquinan microcavidades.

Electrodos de tungsteno

Su alta resistencia al desgaste, fundamentada en su alto punto de fusión, obliga a utilizarlos en producciones donde no es aceptable la rigidez y el gran desgaste que presentan los electrodos de cobre y bronce.

Electrodos de grafito

Poseen excelentes propiedades térmicas y eléctricas que, junto con su fácil maquinabilidad, su bajo desgaste y su alta rata de remoción, obligan a elegirlos en muchas aplicaciones. No se recomienda este tipo de electrodos para trabajar sobre tungsteno debido al gran recalentamiento que se produce.

El dieléctrico

Son sus funciones servir de medio de arrastre del material erosionado, refrigerar pieza y electrodo, y la principal, proporcionar una propiedad dieléctrica constante en el entrehierro. Debe actuar como un aislante y súbitamente convertirse en un conductor cuando se alcanza un voltaje específico (ver ecuación 1). Para que el dieléctrico permita el paso de corriente entre el electrodo y la pieza debe haberse ionizado.

La efectividad del dieléctrico se mide por la rapidez en el rompimiento, asegurando con ello que la descarga tenga toda la energía del pulso creado por la fuente de potencia; además su tiempo de pausa (t_0), debe ser lo más corto posible para prevenir múltiples descargas en la misma área.

La mayoría de los fluidos utilizados como dieléctricos en el proceso de electroerosión son aceites de baja viscosidad destilados del petróleo, con aditivos que permiten aumentar la velocidad de corte y elevar su punto de ignición.

Propiedades del dieléctrico y su influencia en el proceso

Resistencia al rompimiento dieléctrico

Influye en la precisión del contorno pues, entre más alta sea esta, el entrehierro puede ser más pequeño y consistente y el contorno mejor.

Tiempo de desionización

Entre menor sea este, menor será t_0 y mayor será el % de ciclo de carga y mejor la eficiencia del proceso.

Viscosidad

Se escoge según la cantidad de energía que se esté empleando. Si se utilizan pulsos de baja energía se elige una viscosidad baja que facilite el movimiento de las partículas de metal desprendidas, más si se usan pulsos de alta energía que producen partículas de metal más grandes, es necesario utilizar un líquido de alta viscosidad, el cual garantice que la onda de choque del fluido al

explotar la burbuja expulse el material fundido de la cavidad.

Calor específico

Debe ser lo más alto posible, para que pueda almacenar una gran cantidad de energía térmica sin que su temperatura se eleve demasiado.

Ratabilidad de temperatura y límite de destilación

Debe tener buena estabilidad a temperaturas elevadas, para evitar que sus propiedades varíen. El límite de destilación debe ser lo más pequeño posible para que mantenga su constitución homogénea y no haya fraccionamiento en los componentes básicos por evaporación selectiva de las fracciones más volátiles.

Factores de seguridad industrial

El fluido dieléctrico y sus vapores deben ser inocuos para la salud del trabajador.

Su punto de llama debe ser adecuado a las condiciones de trabajo. Para labores de acabado se pueden utilizar fluidos dieléctricos con puntos de llama bajos (50 a 80°C); para desbaste se utilizan fluidos con puntos de llama mayor (mínimo 100°C), esto con el fin de evitar incendios.

Tipos de dieléctrico

Se reúnen en tres grandes grupos de acuerdo con: la aplicación, viscosidad, punto de llama y rugosidad deseada.

Grupo A

Aceites dieléctricos de propósito general, no se recomiendan para aplicaciones en donde se requiera un acabado superficial de menos de 50 RMS. Su punto de llama es del orden de 160°C.

Grupo B

Dieléctricos de viscosidad media, se utilizan para límites de rugosidad entre 50 y 30 RMS, o cuando las posibilidades de evacuación del material de la zona de trabajo se encuentran restringidas. No usarlos para trabajar a más de 80 amperios. Su punto de llama es del orden de 90°C.

Grupo C

Aceites dieléctricos de baja viscosidad, recomendados para rugosidades de menos de 30 RMS y para el maquinado de pequeñas cavidades con mala evacuación. No recomendados para trabajar con más de 15 amperios. Su punto de llama es de alrededor de 110°C.