



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

**ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
ARAGON**

**DISEÑO Y FABRICACION DEL PROTO-
TIPO DE UN EQUIPO PARA MAQUINADO
DE METALES POR DESCARGA
ELECTRICA**

**TESIS PROFESIONAL
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA**

P R E S E N T A

MARIO OROZCO AGUILAR

ASESOR: ING. DANIEL ALDAMA AVALOS

ENEP ARAGON MEXICO, D. F.

MARZO DE 1993

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



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 está 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.

PROLOGO.

El maquinado de metales por descarga eléctrica (electroerosión), es uno de los procesos de producción de piezas metálicas más modernos en lo que se refiere a la época de su aparición y a la tecnología que se utiliza en su funcionamiento; y debido a sus características ha venido a satisfacer importantes necesidades que los métodos convencionales de producción (forja, desprendimiento de viruta, fundición, etc.) no podían satisfacer. Las principales aplicaciones de este método se dan en el maquinado de aceros aleados de gran dureza, en la obtención de piezas de forma compleja como matrices y troqueles, y en la elaboración de pequeños orificios en láminas muy delgadas que requieren de gran exactitud y de ausencia de esfuerzos mecánicos.

El objetivo del presente trabajo es el diseño y la fabricación del prototipo de una unidad de electroerosión, por lo que el resultado final del proyecto consta de dos partes; la primera es el reporte escrito que contiene toda la información y el desarrollo analítico que se requirieron para la elaboración del prototipo, y la segunda es la presentación física del prototipo el cual demuestra en forma real el principio teórico de funcionamiento del proceso de electroerosión.

DISEÑO Y FABRICACION DEL PROTOTIPO DE UN EQUIPO PARA
MAQUINADO DE METALES POR DESCARGA ELECTRICA.

PROLOGO.	
I. GENERALIDADES.	1
II. MARCO TEORICO.	22
III. DISEÑO, DESCRIPCION Y COSTO DE LOS CIRCUITOS Y SISTEMAS QUE COMPONEN EL PROTOTIPO.	59
IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	106
BIBLIOGRAFIA.	114
APENDICES.	115

CAPITULO I. GENERALIDADES.

I.1. EVOLUCION HISTORICA.

- I.1.1. Surgimiento de las máquinas herramienta.
- I.1.2. Aparición y transformaciones que ha sufrido la máquina de mecanizado por descarga eléctrica (MDE).

I.2. PRINCIPIO FISICO.

- I.2.1. Descripción del MDE.
- I.2.2. Tipos de máquinas de electrodescarga.
 - I.2.2.1. De electrodo.
 - I.2.2.2. De hilo.
 - I.2.2.3. De disco giratorio.

I.3. SISTEMAS BASICOS Y COMPONENTES FUNDAMENTALES QUE CONSTITUYEN CUALQUIER UNIDAD DE MDE.

- I.3.1. Sistema de descarga eléctrica.
- I.3.2. Sistema de avance de la herramienta o de la pieza de trabajo.
- I.3.3. Sistema de circulación del dieléctrico.
- I.3.4. Funcionamiento específico de cada uno de los componentes que constituyen los tres sistemas básicos.
 - I.3.4.1. Componentes del sistema de descarga eléctrica.
 - I.3.4.2. Componentes del sistema de avance de la herramienta o de la pieza de trabajo.
 - I.3.4.3. Componentes del sistema de circulación del dieléctrico.

I.4. VENTAJAS Y DESVENTAJAS CON RESPECTO A LOS METODOS CONVENCIONALES DE MAQUINADO.

- I.4.1. El MDE como método no-convencional de maquinado.
- I.4.2. Ventajas y desventajas.

CAPITULO I. GENERALIDADES.

I.1. EVOLUCION HISTORICA.

I.1.1. Surgimiento de las máquinas herramienta.

Con el nombre de máquinas herramienta se designa a aquellas que para desarrollar su labor necesitan de un utensilio o herramienta, o sea, un cuerpo (metálico o no) convencionalmente perfilado y muchas veces cortante, que la máquina pone en contacto con la materia a trabajar, produciendo en esta el cambio de forma o dimensiones deseado mediante el arranque de partículas o virutas o bien por simple deformación.

Estas máquinas ejecutan actualmente, con suma rapidez, potencia y precisión el trabajo que antiguamente se hacía a mano, sirviéndose de unas pocas herramientas rudimentarias. Su desarrollo se debe al incremento de las necesidades de una civilización que, después de los esplendores de Roma, desdichadamente extinguidos en la Edad Media, al delinearse los primeros descubrimientos de importancia (incluido infortunadamente el de las armas de fuego), reclamaba nuevo herramental y cada vez mayor producción para subvenir a las necesidades de la población rápidamente creciente y con exigencias cada vez más complicadas e imperiosas.(1)

La historia del maquinado de los metales comienza en la segunda mitad del siglo XVIII. Antes de esa época las máquinas herramienta no existían y el siguiente extracto del diario de un ingeniero inglés, Richard Reynolds, de octubre de 1760, da una idea de los problemas de manufactura que se afrontaban. Reynolds estaba tratando de producir un cilindro para una máquina de vapor. El cilindro de latón fundido tenía un largo de 9 pies y un diámetro interior de 28 pulgadas. Reynolds escribió: "habiendo preparado dos maderos de pino de forma apropiada para que sirvieran de apoyo al cilindro, un plomero fundió una masa de plomo de 300 libras aproximadamente, la cual se coló dentro del cilindro limitada con madera gruesa y greda por ambos lados y quedó de una forma bastante aproximada a la

circunferencia, por lo cual el terminado de la masa fue más rápido. Entonces se adaptaron dos barras de hierro alrededor de la masa y de ellas se ataron las sogas; así, con seis robustos y ágiles hombres tirando de cada soga y habiendo untado al cilindro con polvo esmeril y aceite, se hizo deslizar la masa hasta que la superficie trabajada alcanzó un buen acabado; luego se giró un poco el cilindro y se reinició el pulido hasta que con mucho esfuerzo la superficie completa fue repasada a tal grado de redondez que la holgura máxima no superaba el espesor de mi dedo meñique. Esto me alegró mucho ya que era lo mejor que habíamos alcanzado".

En 1778 James Watt construyó con éxito el primer motor de vapor, y una de sus mayores dificultades en el desarrollo de la máquina fue el maquinado interior del cilindro. Su primer cilindro fue construido de lámina pero no obtuvo buen sellamiento. Los intentos de llenar la holgura entre el pistón y el cilindro con tela, cuero o sebo, fallaron. El problema fue resuelto por John Wilkinson cuando inventó la mandrinadora. Esta máquina consistía en una herramienta de corte montada en una barra de mandrinar que se montaba en chumaceras fuera del cilindro. La barra podía hacerse rotar y avanzar a través del cilindro generando con la herramienta una superficie cilíndrica independiente de las irregularidades de la pieza en bruto. Esta fue la primera máquina herramienta efectiva y permitió a James Watt producir con éxito su motor de vapor.(2)

I.1.2. Aparición y transformaciones que ha sufrido la máquina de MDE.

En el año de 1788 el físico inglés Priestley descubrió los efectos erosivos de las descargas eléctricas. Sin embargo, es hasta el año de 1943 cuando los físicos soviéticos D.R. y N.I. Lazavenko crean la primera máquina de MDE como respuesta a la necesidad que se tenía de desintegrar trozos de herramientas fabricadas con materiales de alta dureza, como brocas y machuelos que quedaban incrustados al romperse éstas en el momento de maquinar alguna pieza y que no era posible extraerlos o

desintegrarlos por medio de alguno de los métodos de maquinado existentes. Esta primer máquina de MDE constaba únicamente de una fuente de corriente directa, cuya señal además de no tener una frecuencia definida, se aplicaba a la pieza de trabajo en forma continua, es decir, más que una descarga eléctrica, lo que se producía era un cortocircuito, que provocaba la fusión y evaporación del material de la pieza. El electrodo o herramienta era fabricado de cualquier material maleable que además fuera buen conductor eléctrico.

Fue en 1950, cuando aparecieron los generadores de relajamiento, (que vinieron a sustituir a la fuente de corriente continua), que producían por medio de la carga y descarga de un banco de capacitores, una señal de corriente directa pero con cierta frecuencia y a determinados intervalos, lo que ayudó a obtener aceptables velocidades de remoción de material y buenos acabados. Para ese entonces ya se utilizaba un fluido dieléctrico en el que se sumergían la herramienta y la pieza de trabajo (en el proceso de electroerosión el fluido dieléctrico funciona como medio para que fluya la corriente eléctrica de la herramienta a la pieza de trabajo, esto sucede al momento en que la diferencia de potencial en el espacio que hay entre pieza y herramienta (GAP), alcanza una magnitud suficiente para romper la rigidez dieléctrica del fluido). El último gran paso en lo que se refiere a la generación de la descarga eléctrica se dió en el año de 1984 en que aparecieron los generadores rotatorios de impulso, que proporcionan señales de alta frecuencia y la posibilidad de regular los intervalos y las pausas de descarga, lo cual contribuye a obtener mejores condiciones de trabajo y sobre todo mejores acabados.

En lo que se refiere al movimiento tanto de la herramienta como de la pieza de trabajo, estos han ido evolucionando desde avances manuales de la herramienta hasta movimientos y avances de herramienta y pieza controlados por servomecanismos automáticos pasando por sistemas electromecánicos y electromagnéticos de avance.

La disposición de la herramienta y la pieza de

trabajo ha tenido, más que una evolución, una diversificación, ya que a partir del surgimiento del generador rotatorio de impulso, que proporciona un mejor control en la magnitud y en la dirección de las descargas eléctricas, se pudieron implementar diferentes arreglos del mismo MDE, pero que satisfacían diferentes necesidades de maquinado. A partir de esta diversificación de arreglos se tienen máquinas de MDE para reproducción de formas, para corte (de hilo, de cuchilla, de disco, etc.) y para rectificar (de rodillos y discos giratorios).

I.2. PRINCIPIO FISICO.

I.2.1. Descripción del MDE.

El mecanizado por electrodescarga como ya se indicó se produce cuando la pieza a maquinar y la herramienta se colocan en posición de trabajo, sumergidas en un dieléctrico, y se someten a una tensión de descarga disruptiva entre electrodo y pieza. Para ello es necesario que exista una separación entre ambas piezas, ocupada por el líquido aislante. Por lo que el trabajo se realiza en un recipiente.

La pieza a maquinar y la herramienta están conectadas a través de cables con una fuente de corriente continua (c.c.) en los diseños de este tipo.

La descarga ocurre cuando la diferencia de potencial entre la herramienta (electrodo) y la pieza de trabajo, es lo suficientemente grande para causar una descomposición en el medio (dieléctrico), y generar un canal o camino de chispa eléctricamente conductor. El potencial de descomposición se establece comunmente conectando los dos electrodos de las terminales de un capacitor cargado por una fuente de energía. (4)

En la práctica, la razón de remoción de material depende de:

- La corriente promedio en el circuito de descarga.
- El espacio entre electrodo y pieza (GAP).
- Las características del electrodo.

-El poder aislante del dieléctrico.

-El número de descargas por segundo o la energía por descarga.

El efecto erosionador es producto directo por tanto de todos estos factores.

Inicialmente no fluirá la corriente, ya que se verá aislada por el dieléctrico; al disminuir el espacio entre electrodo y pieza, saltará la chispa una vez alcanzada una distancia muy pequeña, del orden de centésimas de milímetro.

Bajo la acción del campo eléctrico, unos iones positivos y unos electrones van a encontrarse aceleradamente, constituyendo el canal ionizado y por tanto conductor. En esta fase de descarga se transformará la corriente en calor, calentando la superficie de material intensamente dentro del campo del canal de descarga.(3)

Al mantener el electrodo una polaridad negativa, arroja partículas de carga negativa, estas chocan con las partículas neutrales dentro del espacio intermedio (alojamiento del dieléctrico), dividiéndose y formándose así partículas de carga negativa y positiva. Esta fase crece y se extiende como una avalancha denominada ionización por choque. Puentes de partículas conductoras fomentan este desarrollo. Prácticamente lo que a nuestra vista no es perceptible es el hecho de que las partículas de carga positiva pasan al electrodo negativo y las negativas al positivo.

La fluidez de la corriente eléctrica que aumenta hasta un valor máximo, eleva la presión, incrementando su temperatura por encima de los 5000 °C. Cuando las partículas de la pieza han logrado suficiente energía cinética, son arrancadas como producto de la fusión sobrecalentada; en este mismo instante se desarrollan a consecuencia de la vaporización del metal, burbujas de gas, removiendo hasta cierta profundidad material fundido. Formando un pequeño cráter en la pieza de trabajo.(4)

Para minimizar el desgaste de la herramienta la polaridad se elige de manera que la mayor cantidad de calor sea generada sobre la pieza de trabajo. Los pulsos de voltaje cortos

ponen en movimiento más partículas negativas que positivas, los pulsos largos movilizan más partículas positivas que negativas; por ésto, si los pulsos son cortos la herramienta se conecta al polo negativo, si los pulsos son largos la herramienta tendrá polaridad positiva.(4 y 5)

En el momento en que se interrumpe la corriente, y por ende las descargas, se produce una disminución rápida de temperatura que provoca la explosión de las burbujas, proyectando el material fundido al exterior del cráter. Este se solidifica en el dieléctrico en forma de pequeñas esferas, siendo evacuadas por el sistema de limpieza.

Realmente las condiciones bajo las cuales puede saltar una chispa en el aire desde un conductor a otro, son mucho más complicadas que lo que resulta establecer que la intensidad de campo eléctrico no puede exceder de 3×10^6 N/Coulomb como ejemplo del caso de la rigidez dieléctrica del aire a la presión atmosférica. Se debe tener en cuenta la diversidad de factores implicados en el proceso y de los cuales ya se han señalado algunos.(9)

El bombardeo constante de los electrones por efecto de la aplicación del campo eléctrico y la ionización del medio, producidos en el salto de las descargas, dá lugar a la formación del plasma. El choque de los electrones contra las moléculas produce dislocaciones e ionizaciones parciales. Generando el proceso de remoción de material.

La SME (Society of Manufacturing Engineers) ha definido al plasma como un gas calentado a alta temperatura y que se ioniza en forma parcial. Siendo el plasma producto de una reacción acelerada.

Técnicamente siempre que los átomos de un medio físico sean ionizados para producir un número igual de iones y electrones, tendremos el término conocido como plasma; en donde la densidad media de carga en el tiempo es cero. Es decir:

$$\begin{array}{l} \text{núm. de partículas / volúmen} = \text{núm. de partículas} \\ \text{negativas} \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \text{positivas} \end{array}$$

Siempre y cuando las partículas tengan la misma magnitud de carga.(10)

La representación esquemática del principio de operación y funcionamiento del MDE y de la electroerosionadora en sí, se constituye de la forma siguiente:

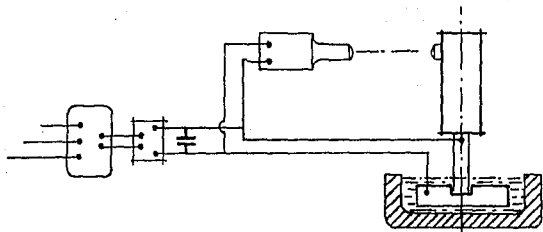


Fig. I.1 Principio de operación del MDE.

El condensador en paralelo con el electrodo y la pieza de trabajo, recibe la carga de c.c. a través de una resistencia elevando su potencial rápidamente. El incremento en la diferencia de potencial da origen a la ruptura de la rigidez dieléctrica, provocando la chispa.

Como la separación entre electrodo y pieza mantiene un estricto control y una relevante importancia, el control manual es difícil de mantener.

La respuesta de los materiales al proceso no depende de su dureza o resistencia, si no más bien de sus propiedades térmicas, la capacidad térmica, la conductividad eléctrica, los calores latentes de fusión y evaporación, que sí son importantes.(7)

I.2.2. Tipos de máquinas de electrodescarga.

Las máquinas de electrodescarga se encuentran disponibles en muchos tipos y tamaños. Al seleccionarlás se deben

considerar ciertos factores, de entre los cuales están:

- El volumen de producción.
- Las tolerancias dimensionales.
- El tamaño de la pieza de trabajo.
- El tamaño del electrodo necesario.

Al tratar de definir alguna máquina electroerosionadora es importante caracterizar el trabajo a desarrollar, de manera tal que sea posible elegir de entre las siguientes:

I.2.2.1. De electrodo.

En esta clasificación, al maquinar, la pieza de trabajo adopta la forma del electrodo manteniendo la posibilidad de generar configuraciones complejas y operando la herramienta en un solo eje.

El mecanizado con electrodo es más utilizado industrialmente por las incontables ventajas que ofrece y que más adelante comentaremos.

Este tipo de maquinado por electrodo pertenece al particular grupo de la reproducción de formas, penetrando en la pieza; pudiendo generar orificios pasantes de sección constante o cavidades tridimensionales. Ejemplo de ello son las siguientes figuras:

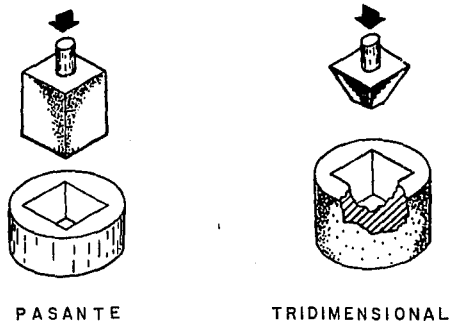


Fig. I.2 Reproducción de formas.

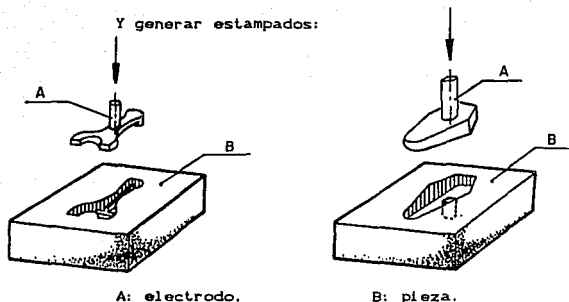


Fig. I.3 Estampación por electrodo.

I.2.2.2. De hilo.

Durante el maquinado la pieza es cortada por medio de hilo o alambre giratorio, variando la forma original del electrodo pero manteniendo el mismo principio.

Su uso industrial se limita a operaciones que requieren una severa precisión acompañada de formas de calado especiales y texturas finas de acabado.

La electroerosión por hilo viene a sustituir a los mecánicos ajustadores que como ejemplo a la mano, trabajan la fabricación de troqueles y sus respectivas matrices. Realizándolos con versatilidad e incluso efectuando operaciones de angulación en los mismos.

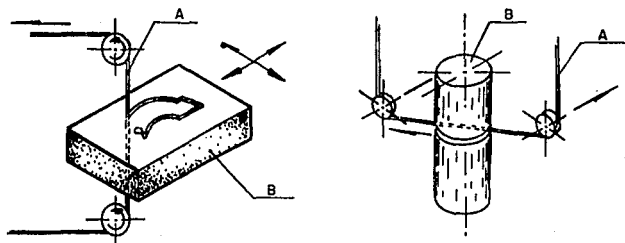


Fig. I.4 CORTE MEDIANTE MDE.

I.2.2.3. De disco giratorio.

Su empleo implica la utilización de un elemento giratorio, en donde la velocidad de giro no depende de la velocidad de avance.

Por la forma de operación, es posible realizar una combinación de movimiento en los tres ejes y conseguir como aplicaciones principales el rectificado de superficies en diferentes fases e incluso corte.

Los rectificandos pueden ser de las formas: interiores, exteriores planos, que con un preformado del disco giratorio la variedad en configuraciones y perfilados se incrementa; elaborando con ello una gama de terminados especiales o caprichosos. (5 y 6)

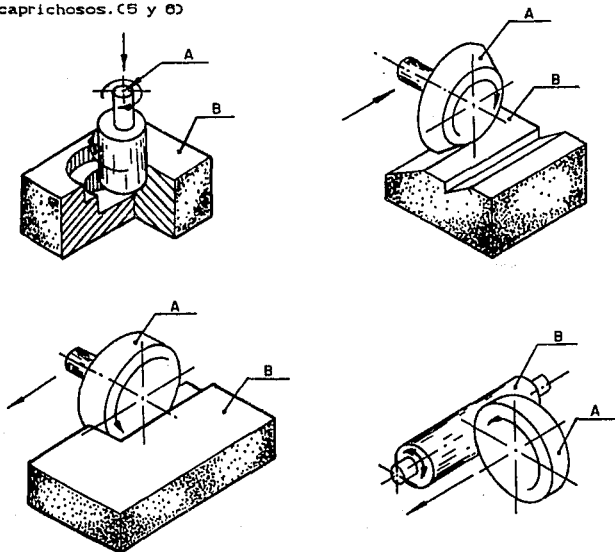


Fig. I.5 Electrodo giratorio.

I.3. SISTEMAS BASICOS Y COMPONENTES FUNDAMENTALES QUE CONSTITUYEN CUALQUIER UNIDAD DE MDE.

Una unidad de MDE está compuesta básicamente por tres sistemas fundamentales, estos son:

- Sistema de descarga eléctrica.
- Sistema de avance de la herramienta o de la pieza de trabajo.
- Sistema de circulación del dieléctrico.

I.3.1. Sistema de descarga eléctrica.

Proporciona la señal eléctrica con las características requeridas para efectuar la remoción del material de la pieza. Esta parte de la máquina tiene gran importancia para el resultado final del maquinado ya que la calidad obtenida en un trabajo de electroerosión depende en gran medida de la magnitud de los parámetros eléctricos como son:

- frecuencia de descarga.
- voltaje de la descarga.
- intensidad de la descarga.

Los componentes fundamentales que constituyen este sistema son:

- Para el sistema que opera con corriente directa (C.D.):
 - rectificador de corriente.
 - control de corriente.
 - banco de capacitores.

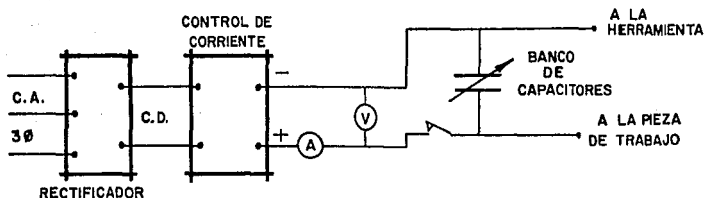


Fig. I.6 Sistema de descarga eléctrica (c.d.)

- Para el sistema que funciona con corriente alterna (C.A.):
- convertor de frecuencia.
- rectificador de selenio.

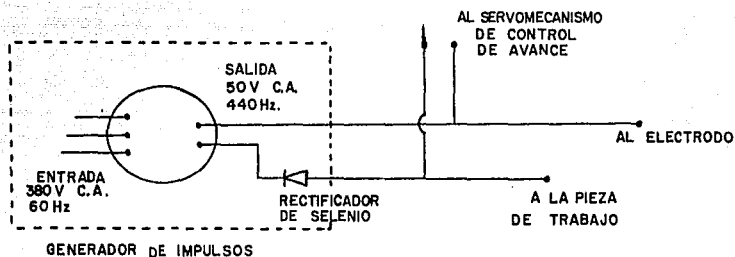


Fig. I.7 Sistema de descarga eléctrica (c.a.)

I.3.2. Sistema de avance de la herramienta o de la pieza de trabajo.

Su función es la de dar movimiento a la herramienta o a la pieza de trabajo con el fin de compensar el espacio que se genera con la remoción de material en la pieza de trabajo y mantener así la separación adecuada entre la herramienta y la pieza, para que se continúen dando las condiciones de electroerosión. Este sistema, por su principio de funcionamiento puede ser de tres tipos:

- electromecánico.
- electromagnético.
- servomecanismo de control automático.

I.3.3. Sistema de circulación del dieléctrico.

Realiza la circulación y filtración del fluido dieléctrico para que de ese modo, éste mantenga las características de temperatura, limpieza y rigidez dieléctrica que son necesarias durante el proceso y además dá movimiento y

proporciona presión al fluido dieléctrico para que éste realice sus funciones de limpieza y refrigeración en la zona de trabajo. Los componentes básicos de este sistema son:

- fluido dieléctrico.
- bomba.
- filtro.
- válvula reguladora.

I.3.4. Funcionamiento específico de cada uno de los componentes que constituyen los tres sistemas básicos.

En este apartado se hará una descripción somera de la función que realiza cada uno de los componentes básicos que constituyen cualquier unidad de MDE.

I.3.4.1 Componentes del sistema de descarga eléctrica.

Los elementos de este sistema varían dependiendo de el tipo de corriente que se maneja, (C.D. o C.A.).

a) Del sistema de corriente directa (C.D.):

-Rectificador de corriente.

Convierte la corriente alterna de la línea, en corriente directa (la rectifica).

-Control de corriente.

Regula el voltaje de la señal eléctrica que va al banco de capacitores.

-Banco de capacitores.

Almacena energía eléctrica y la descarga al llegar a cierto voltaje, después de lo cual, se comienza a cargar nuevamente, produciendo así las chispas requeridas entre la herramienta y la pieza de trabajo.

b) Del sistema de corriente alterna (C.A.).

-Convertidor.

Aumenta la frecuencia y disminuye el voltaje de la corriente alterna de la línea para darle a ésta las características necesarias para la electroerosión.

-Rectificador de selenio.

Su función es dejar pasar la corriente en un solo sentido; de la herramienta a la pieza de trabajo.

I.3.4.2. Componentes del sistema de avance de la herramienta o de la pieza de trabajo.

-Tipo electromecánico.

Se compone de un motor eléctrico de C.D., un engrane reductor de velocidad y una cremallera, la cual transmite el movimiento lineal de avance.

-Tipo electromagnético.

Consta de un solenoide el cual, al energizarse, forma un campo magnético que provoca el ascenso de un núcleo ferromagnético acoplado a la corredera o porta-herramienta y de este modo no permite que la herramienta haga contacto con la pieza de trabajo.

-Tipo de servomecanismo de control automático.

Controla automáticamente el avance de la herramienta o la pieza de trabajo, retroalimentándose con una señal proveniente del GAP (espacio entre herramienta y pieza), que puede ser, por ejemplo la intensidad de la corriente que atraviesa por éste.

I.3.4.3. Componentes del sistema de circulación del dieléctrico.

-Fluido dieléctrico.

Además de servir como medio dieléctrico para el paso de la descarga eléctrica de la herramienta a la pieza de trabajo, tiene la función de refrigerar la zona de trabajo y de arrastrar las partículas desprendidas y así mantener limpia dicha zona.

-Bomba.

Proporciona movimiento y presión al fluido dieléctrico para que éste pase por el filtro, mantenga su temperatura e incida con cierta presión sobre la zona de trabajo.

-Filtro.

Mantiene limpio el fluido dieléctrico, retirándole las partículas de material que éste ha arrastrado de la zona de trabajo.

-Válvula reguladora.

Controla la velocidad y la presión con que el fluido dieléctrico incide sobre el GAP.

I.4. VENTAJAS Y DESVENTAJAS CON RESPECTO A LOS METODOS CONVENCIONALES DE MAQUINADO.

I.4.1. El MDE como método no-convencional de maquinado.

El maquinado por descargas eléctricas (MDE) se ha constituido como un moderno proceso en la remoción de metales, ofreciendo considerables ventajas, causa por la cual hoy en día se sigue manteniendo en continua expansión.

El acelerado incremento de necesidades que se presentan en el maquinado de metales para la fabricación de piezas con características tales como alta resistencia mecánica, dureza y estabilidad a temperaturas elevadas; tornan a los medios de fabricación con máquinas herramienta convencionales, lentos, ineficientes, y en algunos casos obsoletos.

Ante la imposibilidad de adecuar los elementos tradicionales para una mayor versatilidad en problemas concretos implantados por las presentes necesidades, se acelera la introducción de los métodos no-convencionales de maquinado. En estos modernos medios de manufactura destaca el MDE, que debido a su sencillo manejo y dinámica de operación ha sido ocasionalmente designado como uno más de los métodos convencionales de maquinado. Pero su característica forma de operación dentro de la maquinabilidad lo han puesto por encima de los anteriores, realizando operaciones superiores a los trabajos generados con herramientas punzo-cortantes, con facilidad y precisión.

I.4.2. Ventajas y desventajas.

De los innumerables alcances en este tipo de maquinado, es posible ejemplificar de forma práctica la fabricación de moldes para arreglos en vidrio. La complejidad en su diseño y conformación no presentan problema alguno para su fabricación rápida y precisa.

En la operación con una máquina de electrodescarga, un operario sin ser calificado puede trabajarla. Esto no es posible en cambio por la forma tradicional, debido que para ello requeriría en la operación ser un operario aparatista, un buen ajustador, y necesariamente estar capacitado para la utilización de las diversas máquinas herramienta que intervienen de una u otra forma en el proceso. Por mencionar algunas de ellas encontramos:

- | | |
|------------------|---------------------|
| -fresadoras. | -sierras cinta. |
| -cepillos. | -tornos. |
| -rectificadoras. | -sierras mecánicas. |
| -taladros. | -etc. |

Uno de los mejores aprovechamientos se confirma en la fabricación de moldes para fundición, debido a que el acabado de la superficie erosionada no aparece brillante y reflectiva como resulta en el caso de superficies mecanizadas con métodos convencionales, sino que aparece una superficie aperdigonada con valores de rugosidad de hasta 0.2 - 0.3 micras.

La superficie conseguida con el erosionado favorece particularmente el desmoldeo de las piezas fundidas y aquellas otras de función similar, esto se debe a que se mantiene una capa que retiene el aceite depositado, gracias a las microcavidades generadas en su superficie.(8)

Es factible constatar por ello que el acabado de la superficie es de primordial importancia. En el maquinado convencional generalmente con un corte grande se obtiene una superficie áspera y con un corte pequeño se obtiene una superficie fina. En MDE el factor determinante de acabado es la frecuencia de las descargas, es decir, el número de pulsos por segundo aplicados entre electrodo y pieza de trabajo.

Algunas más de las ventajas principales que se

obtienen al trabajar los metales por el MDE respecto a los métodos de tipo convencional son:

a) Facilidad para maquinar metales duros.

La dureza del material de la pieza de trabajo no representa ninguna barrera a las descargas eléctricas, con la condición única de que el material sea conductor de la electricidad. De hecho pueden cortarse materiales muy duros como el Carburo de Tungsteno, Molibdeno o aceros templados; que de otra forma únicamente se les podría aplicar un maquinado con herramientas ABRASIVAS del tipo: piedras esmeriladoras, discos de carburo, óxidos o diamante; empleados en rectificadoras, bandas motrices, rehiletes, moto-tools, etc.

b) Facilidad de reproducción de formas.

Todas las formas que se le den a la herramienta (en el MDE), es decir al electrodo, se reproducen íntegramente en la pieza de trabajo. En el caso de figuras muy complejas es posible construir el electrodo en secciones y luego pegarlo con un adhesivo que tenga la propiedad de ser conductor de la electricidad.

Aplicaciones como producción de troqueles complejos intrincados, la ejecución y formas de estampas en condiciones difíciles, matrices y trabajos diversos que se presentan industrialmente, son algunos de sus objetivos.

c) Eliminación de la distorsión en el maquinado.

La ausencia de todo tipo de fuerzas mecánicas (excepto la presión del dieléctrico), hace posible el maquinado en el caso de las máquinas con electrodo, utilizar electrodos súmamente frágiles o dúctiles sin que se presente ninguna distorsión salvo un mínimo desgaste tras un considerable tiempo de operación bajo condiciones normales.

Debido también a la no existencia de contacto entre herramienta y pieza de trabajo, elimina la zona de deformación plástica que resulta del corte o cizallamiento efectuado por

máquinas herramienta convencionales y que se denota claramente en el plano de corte.

Esta muy práctica ausencia de contacto entre los elementos actuantes permite a su vez la operación de maquinados en piezas de constitución frágil, y que por otros medios no sería posible lograr.

d) Ahorro de tiempo.

Se puede conseguir que la fabricación de algún producto en particular requiera de un menor tiempo de operación, ya que se sustituyen en casi todos los casos el uso de la serie de diferentes máquinas y herramientas que intervendrían en el proceso.

El tiempo en la construcción particularmente en lo que se refiere a la fabricación de troqueles, suele reducirse en ocasiones hasta un 70% y en adición a tal ventaja el acoplamiento de equipos de control numérico en éstos, aumenta el ahorro hasta en un 80%. Lo que industrialmente representa una apreciable economía. (7 y 8)

e) Mejor acabado.

Se logra un mejor ajuste en el acabado por el hecho de que se elaboraron conjuntamente las partes más importantes de la pieza de trabajo, y se puede hacer uso conjunto de electrodos de desvaste y terminación.

f) Reducción de costos.

Una considerable reducción en el costo. Por la drástica simplificación de la variedad de máquinas herramienta utilizadas, horas máquina, horas hombre y desgaste de las mismas. De igual forma se observa en el ahorro de brocas, buriles, rimas, seguetas, limas, cortadores y otros.

g) Garantía del útil.

Una mayor duración de la máquina se aprecia con respecto a otros equipos de maquinado debido a que en ésta, las

vibraciones, fricciones y golpeteos no se presentan. Las únicas partes de apreciable desgaste se sitúan en el electrodo después de largos tiempos de operación. Pero sin que se presenten calentamientos.

DESVENTAJAS.

Por otro lado y tal como sucede para cada tipo de máquina, se presentan en el proceso algunas limitaciones.

El MDE presenta un inconveniente de grado menor al verse limitado por las profundidades de corte aplicadas, la carrera del cabezal y la velocidad de remoción de material.

También debido a su principio de operación el MDE resulta obsoleto en el maquinado de materiales no metálicos como lo es el caso de los plásticos y cerámicas, que en máquinas herramienta de tipo convencional se tornan rutinarios.

Un aspecto importante resulta al observar que en la fase de maquinado de una superficie más áspera a más fina la podemos obtener reduciendo la energía de descarga, pero tiene como consecuencia un incremento en el desgaste del electrodo.

PERTURBACIONES EN LA SUPERFICIE MECANIZADA POR MDE.

El fenómeno térmico producto del MDE trae consigo la característica de provocar algunas modificaciones evidentes en la estructura del material que ha sido mecanizado por este medio; producto directo de las elevadas temperaturas en la descarga.

En una superficie de acero que ha sido mecanizada por este método se pueden distinguir tres zonas perturbadas:

- I. Una zona blanca de metal fundido y carburo frágil.
- II. Una zona endurecida, por una combinación de un fenómeno de carburación y un efecto de temple.
- III. Una zona blanda, por haber sufrido una especie de revenido.

Además de estas zonas, se encuentran después en algunos mecanizados debido a unos tiempos de impulso demasiado

largos o niveles de intensidad de corriente muy grandes, algunos inicios de grietas y microfisuras que afectan directamente la calidad de la pieza.(8)

La máquina de electrodescarga es apropiada para mecanizar grandes y pequeñas piezas, trátase de moldes (para metal, plástico, vidrio, caucho), estampados, construcción de aparatos de precisión, extracción de machos rolos, brocas, troqueles, etc. Por ello el futuro del MDE en México ha adquirido singular relevancia y aceptación, considerando que tan sólo en el D. F. y zonas circunvecinas están instaladas una gran mayoría de industrias en las cuales se cuenta para la realización de diferentes procesos (fabricación de dados de extrusión, tuercas, tornillos, joyería) con un equipo de electrodescarga, constituyéndose como potenciales usuarios de la electroerosión.

CAPITULO II. MARCO TEORICO.

II.1. SISTEMAS DE FUNCIONAMIENTO DEL MDE.

- II.1.1. El sistema de generación de la descarga que opera con C.D. (generador de relajamiento).
- II.1.2. El sistema de generación de la descarga que opera con C.A. (generador rotatorio de impulsos).

II.2. EVALUACION ACERCA DE CUAL DE LAS DOS OPCIONES DE GENERADORES DE DESCARGA ES EL MAS APROPIADO PARA UTILIZARSE EN LA ELABORACION DEL PROTOTIPO.

- II.2.1. Ventajas y desventajas entre ambos sistemas.
- II.2.2. Tendencia actual de los equipos.
- II.2.3. Tipo de sistema de generación de descarga que se utilizará en la elaboración del prototipo.

II.3. PARAMETROS PRINCIPALES DEL MDE.

II.3.1. Parámetros eléctricos

- II.3.1.1. Frecuencia de descarga.
- II.3.1.2. Intensidad de la descarga.
- II.3.1.3. Voltaje de descarga.
- II.3.1.4. El dieléctrico.

II.3.2. Parámetros mecánicos.

- II.3.2.1. Velocidad de avance de la herramienta.
- II.3.2.2. Material y desgaste del electrodo.
- II.3.2.3. Material de la pieza de trabajo.
- II.3.2.4. El dieléctrico.

II.1. SISTEMAS DE FUNCIONAMIENTO DEL MDE.

Considerando la forma de funcionamiento de las unidades de MDE desde su aparición hasta las existentes actualmente, y basándonos principalmente en el sistema de generación de la descarga eléctrica, sistema que es la base fundamental en la electroerosión, podemos clasificar dichas unidades en dos tipos:

- las que producen la descarga mediante C.D.
- las que producen la descarga mediante C.A.

II.1.1. El sistema de generación de la descarga que opera con C.D. (generador de relajamiento).

Este sistema se alimenta de C.A. proveniente de la línea industrial trifásica, esta señal eléctrica se convierte a C.D. mediante un rectificador de corriente. Se suministra C.D. al circuito la cual es regulada mediante un control de corriente. Conectado en paralelo se localiza un banco de capacitores, el que una vez que se ha cargado, manda una descarga eléctrica que viaja a través del fluido dieléctrico desde la herramienta hacia la pieza de trabajo, provocando así la erosión de ésta última. El sentido de la descarga se obtiene conectando el borne negativo (cátodo) del banco de capacitores, a la herramienta, y el positivo a la pieza de trabajo. En el momento en que el banco de capacitores se descarga, inmediatamente se comienza a cargar nuevamente. Este ciclo se repite cientos de veces por segundo dependiendo de la intensidad de la corriente, de la capacidad de los condensadores, de el tipo de dieléctrico y de la distancia que exista entre la herramienta y la pieza de trabajo.

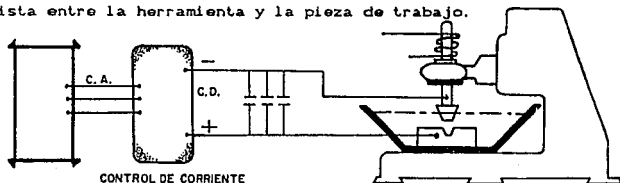


FIG. II.1. Generador de relajamiento. (C.D.)

II.1.2. El sistema de generación de la descarga que opera con C.A. (generador rotatorio de impulsos).

A la corriente de la línea industrial trifásica, (usualmente 240 volts C.A. y 60 hertz de frecuencia), se le reduce su voltaje a unos 50 volts y se eleva su frecuencia a 1,500 hertz aproximadamente, mediante un convertidor. En serie con el convertidor se coloca un rectificador de selenio, el cual tiene la función de permitir pasar la corriente eléctrica en un solo sentido, para que de esta manera la corriente fluya desde la herramienta hacia la pieza de trabajo, provocando así la erosión.

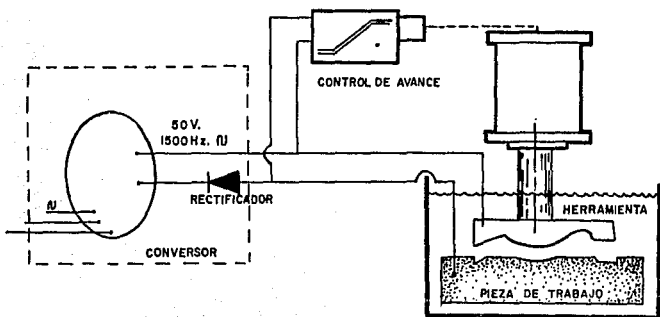


FIG. II.2. Generador rotatorio de impulsos. (C.A.)

II.2. EVALUACION ACERCA DE CUAL DE LAS DOS OPCIONES DE GENERADORES DE DESCARGA ES EL MAS APROPIADO PARA UTILIZARSE EN LA ELABORACION DEL PROTOTIPO.

Para decidir cual de los dos generadores de descarga se utilizará en la elaboración de nuestro prototipo y por lo tanto en el análisis y desarrollo de éste, consideraremos dos aspectos determinantes; las ventajas y desventajas entre ambos sistemas y la tendencia actual de los equipos.

II.2.1. Ventajas y desventajas entre ambos sistemas.

Debido a que el sistema de generación con C.A. es de los dos sistemas, el de más reciente creación, de los libros y manuales consultados solamente dos, el libro de N.N. Chernov (11) (de los consultados, el que suponemos más actualizado ya que se editó por primera vez en 1974), y el manual de operación de la unidad METBA (6) hacen mención a dicho sistema, y por consiguiente los únicos que comparan las características de los dos tipos de generadores. Chernov señala que el sistema de C.A. (generador rotatorio de impulsos) ha ido desplazando poco a poco al de C.D. (generador de relajamiento) y menciona como principal causa de esto al hecho de que el sistema de C.A. presenta un gasto de corriente eléctrica mucho menor al de C.D., ya que este último disipa bastante energía en el proceso de carga y descarga de los capacitores. También menciona que debido al tipo de la señal eléctrica, el sistema de C.A. proporciona un mayor rendimiento, es decir, mayor remoción de material por unidad de tiempo y un menor desgaste del electrodo. Como única desventaja del generador rotatorio frente al generador de relajamiento Chernov señala que la calidad del acabado superficial es de 1 a 3 veces menor. Por su parte el manual de operación de la unidad METBA (6) señala que en ésta se utiliza, por las características de cada sistema, una combinación de los dos tipos de generadores, es decir que para operaciones de desbaste se emplea el generador rotatorio de impulsos y para operaciones de acabado el generador de relajamiento.

II.2.2. Tendencia actual de los equipos.

Basándonos en el manual METBA (6) y en la observación del funcionamiento de la misma unidad, podemos decir que aparentemente la tendencia en los equipos de electroerosión es la combinación de los dos tipos de generadores de descarga eléctrica, es decir, se utiliza el generador rotatorio de impulsos (C.A.) para desbastar el material de trabajo y el generador de relajamiento (C.D.) para el acabado final.

II.2.3. Tipo de sistema de generación de descarga que se utilizará en la elaboración del prototipo.

Debido a que la intención final de este trabajo es la elaboración de un prototipo con fines didácticos y que además pueda ser utilizado en pequeños talleres, es decir nos interesa tanto la calidad de los acabados como el rendimiento de la máquina (o sea el material removido por unidad de tiempo) y el consumo de energía eléctrica, consideramos que el sistema adecuado para nuestro prototipo es la combinación de los dos tipos de generadores, es decir, el rotatorio de impulsos para operaciones de desbaste y el de relajamiento para el acabado final.

II.3. PARAMETROS PRINCIPALES DEL MDE.

Con el fin de identificar más específicamente los diferentes sistemas que intervienen en la conformación de la máquina de electrodescarga, se plantea la separación de los parámetros en dos particulares grupos:

- parámetros eléctricos.
- parámetros mecánicos.

II.3.1. Parámetros eléctricos.

A esta clasificación referimos a la frecuencia de descarga, voltaje de descarga e intensidad de la descarga; sin que por ello se consideren como parámetros aislados o independientes. Las especificaciones presentes son expuestas y apoyadas en base a las referencias del capítulo I.

II.3.1.1. Frecuencia de descarga.

Hemos mencionado con anterioridad que la frecuencia de las descargas eléctricas o pulsaciones en un periodo determinado entre herramienta y pieza de trabajo, tiene una influencia directa en el acabado de la superficie. En forma similar a los métodos convencionales de maquinado, también al erosionar obtenemos una superficie no completamente lisa, sino ligeramente áspera y hondonada. Dicha superficie es típica para

erosión y su condición o estado debe de conocerse para determinar el funcionamiento de la pieza sobre la cual es aplicada, así como el acoplamiento de piezas maquinadas individualmente.

El estado de la superficie viene dado por $R_r = R_a$ (según norma adoptada por Verein Deutscher Ingenieure: VDI 3400). (6). Con el fin de poder prescribir la rugosidad, se creó el sistema de referencia y medida de superficie. De manera que las dimensiones o valores de distinción y de medidas se llaman generalmente $R_{máx}$ y R_a .

$R_{máx}$ indica la profundidad máxima de rugosidad. En Alemania y Francia, este valor también se denomina R_t ; y en los Estados Unidos $H_{máx}$.

En el caso de tener que pulir o bruñir una pieza después del erosionado, como medida más importante se considera $R_{máx}$. Con R_a se indica el valor medio aritmético de rugosidad que siempre es de importancia si se trabaja con miras a un ajuste. En Inglaterra se distingue el CLA y en Estados Unidos AA.

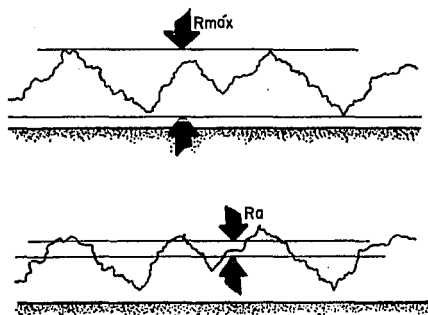


FIG. II.3. Referencias y medidas de superficie.

$R_{máx} = R_t$ (Alemania) = $H_{máx}$ (E. U. A.)

$R_a = R_r = \text{CLA}$ (Inglaterra) = AA (E. U. A.)

El sistema más práctico para comprobar las rugosidades es por comparación táctil o visual; pudiéndonos auxiliar con la ayuda de tablas de comparación de rugosidades como la de la norma VDI-3400.

Es importante señalar que bajo un régimen determinado de trabajo, la rugosidad lateral es siempre menor que la frontal.

Desbaste	Acabado	Super-acabado
45-33	30-21	18-12

TABLA II.1. Regimenes de trabajo en Nr logrados en equipos METBA.

Nr	Ra(μm)CCCLAD	Rt(μm)	Nr	Ra(μm)CCCLAD	Rt(μm)
0	0.1		16	0.63	
1	0.112		17	0.7	
2	0.125		18	0.8	5.5
3	0.14		19	0.9	
4	0.16		20	1.0	
5	0.18		21	1.12	7.5
6	0.2		22	1.26	
7	0.22		23	1.4	
8	0.25		24	1.6	13.0
9	0.28		25	1.8	
10	0.32		26	2.0	
11	0.35		27	2.24	15.0
12	0.4	2.5	28	2.5	
13	0.45		29	2.8	
14	0.5		30	3.15	20.0
15	0.56	4.0	31	3.5	

TABLA II.2. Tabla comparativa de rugosidades.

Aunque se utilizan otros instrumentos, en el método común para medir la aspereza de una superficie se emplea una amplificación eléctrica del movimiento de un estilote que pasa sobre la superficie.

La rugosidad producida principalmente por aristas cortantes y por la alimentación de la herramienta se expresa por el promedio aritmético de los valores medios en micropulgadas según ANSI. (FIG. II.4.)

La anchura de la rugosidad se especifica en pulgadas por el espaciamiento máximo admisible entre las rayas u otras marcas que se repiten en el dibujo de la superficie.

El término ondulación designa irregularidades de mayor espaciamiento que en la rugosidad resultantes de factores tales como deformación y vibración.

Huella es la dirección predominante de las rayas señaladas en la superficie producidas por marcas de la herramienta o por los granos de la superficie, originados éstos por el procedimiento de producción empleado.

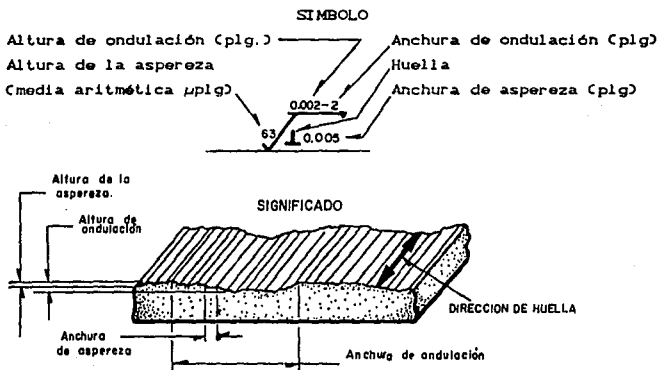
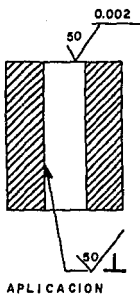


FIG. II.4. Asperezas de las superficies (ANSI).

63
32
M
0.002-2

SÍMBOLO. Para especificar la designación de la huella, se utiliza el símbolo respectivo a la derecha del trazo largo.



$\sqrt{=}$
PARALELA

$\sqrt{\perp}$
PERPENDICULAR

\sqrt{X}
ANGULAR

\sqrt{M}
MULTIDIRECCIONAL

\sqrt{C}
CIRCULAR

\sqrt{R}
RADIAL

FIG. II.5. Simbología para la calidad de superficie.

Un incremento en la frecuencia mejora el acabado superficial debido a la reducción de energía por chispa.(10)

Un gran volumen de chispas finas proporciona un acabado fino.

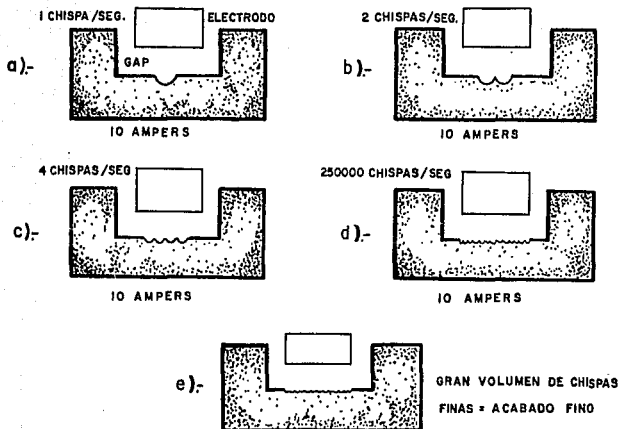


FIG. II.6. Efecto de la frecuencia en el MDE.

Al sucederse descarga tras descarga, se forma un cráter al lado de otro y el resultado es una remoción constante de material en la superficie de la pieza a maquinar.

Es posible y conveniente el poder modificar la frecuencia con la alteración de las constantes del circuito. Normalmente los valores usados en electroerosión varían de 500 a 150,000 pulsos/segundo.

La FIG. II.6. visualiza la forma en que la frecuencia afecta el acabado. En la FIG. II.6.(a), una descarga de 10 amperes remueve un volumen determinado de material, el caso (b) muestra 2 descargas/segundo, actuando cada una con la mitad de energía que en el caso (a), como la corriente permanece constante, el volumen removido también se conserva constante.

La superficie resultante en el segundo caso, es más fina que en el primero debido a que los cráteres que se forman son

más pequeños.

La FIG. II.8.(c) aplica la misma corriente pero ahora con 4 descargas/seg. El volúmen total de material removido es igual al del caso (a) sin embargo la energía de descarga es una cuarta parte del total al producir cuatro cavidades en lugar de una, obteniendo por tanto una superficie mucho más fina que en los casos (a) y (b).

La experiencia ha demostrado que para obtener buen resultado en el maquinado por MDE, es necesario que la relación de tiempo de pulso a no pulso sea como máximo de 1 a 2. (Más adelante se profundiza en este aspecto).

Por otro lado, si la energía almacenada en los condensadores es menor, menor será la corriente que se puede usar.

Es posible aumentar considerablemente la frecuencia de las descargas con una fuente de poder del tipo RLC, en donde la inductancia ayuda a controlar la velocidad con la que el condensador se carga y descarga, se estima que la inductancia en el circuito puede duplicar la frecuencia con respecto al de RC.(8)

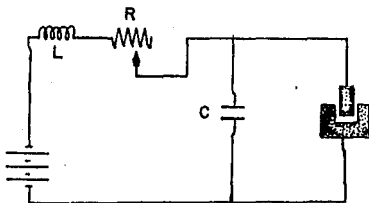


FIG. II.7. Generador de relajamiento.

El tipo de generador de relajamiento (FIG. II.7.) se utiliza para operaciones de super-acabado comprendidas entre Nr12 y Nr20, y para mecanizar micro-orificios de diámetros de 0-0.8 mm.

Más aún existe una segunda clase de fuente llamada

de pulso. Esta además de el condensador, emplea una serie de circuitos que permiten generar y controlar los pulsos.

La FIG. II.8. ilustra esta segunda alternativa, que en su circuito contiene en diodo D que presenta una mínima resistencia cuando el condensador se carga, y máxima cuando se descarga; la mínima resistencia disminuye el tiempo de carga del condensador y la máxima asegura que la descarga sea en la zona de trabajo, por lo que puede visualizarse la acción del diodo como un interruptor que opera y deja de operar a muy altas velocidades. (8)

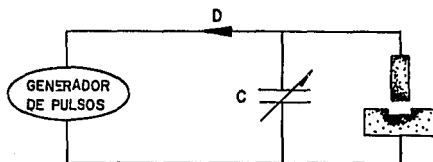


FIG. II.8. Fuente de pulsos.

Pruebas efectuadas bajo condiciones similares con los dos tipos de fuentes de poder, indican que con el tipo pulsante se trabaja ocho veces más rápido que con el RC, para producir un acabado de 1.524 micras (60 μ plg.).

Un circuito pulsante generalmente se opera a bajos voltajes (30 a 80 volts) en el GAP, baja capacidad (alrededor de 40 μ f o menos) y descargas de bajo nivel de energía (hasta 1 amper). (8)

La ventaja principal de este tipo de fuente es su versatilidad aunque desde luego, son mucho más complicadas que una fuente RC, debido a que se requiere de todo un sistema electrónico para la generación y control de los pulsos.

II.3.1.2. Intensidad de la descarga.

La intensidad de corriente media en amperes, nos dará la velocidad de remoción de material. El amperaje máximo debe ser seleccionado de acuerdo con la remoción deseada en la unidad de tiempo. Algunos equipos llegan a remover más de 15 $\text{plg}^3/\text{hr.}$ de acero templado.

Este factor debe ser considerado fundamentalmente en moldes o cavidades, pues nos determina el tiempo de desbaste de la cavidad.

El tipo de fuente de poder usada en los primeros equipos de electroerosión es conocido como resistencia - condensador.

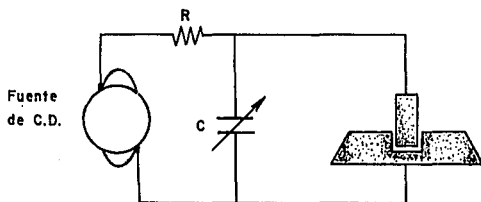


FIG. II.9. Fuente R-C.

El propósito de la resistencia en la FIG. II.9., es aumentar el tiempo que tarda el condensador en cargarse, para permitir que exista un lapso suficiente para la desionización del dieléctrico entre las descargas.

En este tipo de fuente, un incremento en la remoción del metal depende más de una mayor corriente y capacidad de los condensadores que del incremento del número de descargas por segundo. Esto origina que el sobrecorte sea mayor, debido a que las descargas son de mayor energía y producen partículas más grandes, que a su vez requieren mayor espacio para removerse, así como un voltaje más elevado necesario para mantener las descargas.

Por las razones anteriores, una fuente R-C no es muy práctica para trabajos que requieran un buen acabado superficial.

En electroerosión, la profundidad de corte esta limitada por la carrera máxima del portaelectrodos de la máquina herramienta. Y observamos que la velocidad de remoción de material depende de la cantidad de corriente que se emplea para el maquinado.

Cuando se aumenta la corriente para una frecuencia particular de descarga, la velocidad de remoción aumenta proporcionalmente. Por ejemplo usando un electrodo de grafito sobre una pieza de trabajo de acero, pueden obtenerse velocidades de remoción como las de la TABLA II.3.

MODELO	CORRIENTE MAXIMA (AMPERS)	VELOCIDAD DE REMOCION	
		(cm ³ /hr)	(pulg ³ /hr)
NPS 20	20	24.585	1.5
NPS 40	40	49.160	3.0
NPS 60	60	73.745	4.5

TABLA II.3. Velocidades de remoción de las fuentes de poder ELOX

La forma en que la intensidad de corriente afecta la remoción de metal es semejante a la frecuencia. Si consideramos tres condiciones similares de maquinado manteniendo en cada caso la misma frecuencia, por ejemplo una sola descarga y que la pieza de trabajo y el electrodo sean iguales, variando únicamente la corriente, tendremos:

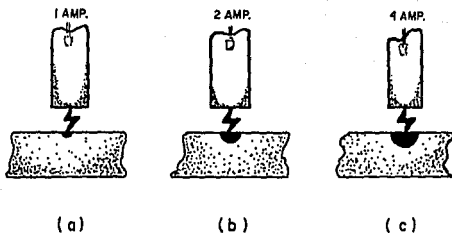


FIG. II.10. Efecto de la corriente en la remoción de metal.

Una descarga de un amper contiene una cantidad de energía que consecuentemente removerá un volumen determinado de material de la pieza de trabajo. FIG. II.10.(a). Si la corriente se duplica como se muestra en (b), la energía de la descarga también se duplica, por lo que el volumen de material removido será el doble.

La ilustración (c) muestra el efecto de incrementar la corriente a 4 ampers, consecuentemente se removera 4 veces más material que en el caso (a).

El efecto que se observa con el incremento de la corriente es el acabado de la superficie, pero aquí la rugosidad de la superficie no es directamente proporcional a la corriente.

Parte integrante y de importancia en cada equipo de MDE es como hemos visto, el generador. Este convierte la corriente alterna procedente de la red y suministra los impulsos de tensión en forma rectangular. Es necesaria una serie de instalaciones, interruptores o dispositivos de conmutación para poder ajustar la dimensión de los rectángulos y la distancia entre los mismos, para corresponder a cualquier requerimiento de trabajo.

La secuencia de rectángulos es una ilustración gráfica de los tiempos de apertura y cierre del interruptor o sea de duración de descarga y pausa, así como de la tensión y la

corriente en el trayecto de la chispa.

La corriente de descarga corresponde a la altura del rectángulo. El ancho corresponde a la duración del impulso, medido con la millonésima parte de un segundo (μs). La distancia entre los impulsos, determina la duración de las pausas en las cuales queda interrumpido el flujo de corriente.(4)

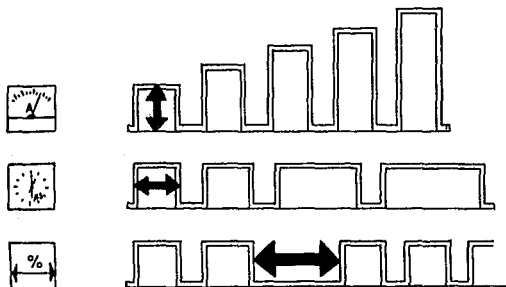


FIG. II.11. Pulsaciones de tensión rectificadas.

Erosionar con una pequeña duración de impulso, significa un desgaste del electrodo creciente. Si se incrementa la duración del impulso se obtiene un menor desgaste.(4)

El tiempo de impulso mediante el cual la corriente atraviesa el GAP, es la suma del tiempo de ionización más el tiempo de descarga.(6)

El tiempo de pausa es el tiempo en el que el GAP está exento de tensión, normalmente ajustado por un conmutador rotatorio digital en equipos actuales. Con pausas pequeñas se pueden obtener capacidades grandes de remoción y poco desgaste del electrodo. El tiempo de pausa es también necesario para la limpieza y refrigeración de la zona de trabajo. Normalmente el tiempo de pausa será del 10-20 % (6).

Tiempo de ionizado, es el periodo anterior a la descarga en el cual el GAP se hace conductor por el desplazamiento de electrones e iones bajo los efectos de un campo eléctrico.

La intensidad seleccionada en el maquinado tendrá una incidencia directa por tanto en:

- la velocidad del mecanizado.
- la rugosidad.
- el desgaste del electrodo.
- la magnitud del GAP.

Un sistema de selección de intensidad de forma en que podamos elegir diferentes niveles nos permitiría condiciones diversas de maquinado acordes a las necesidades que pretenda la operación.

MATERIAL	POLARIDAD	ACERO	CARBURO-TUNGSTENO
Cobre	+	15-20	15-20
Grafito	+	10-12	-----
Grafito	-	6-8	-----
Cupro-tungsteno	+ -	8-15	15-25
Cupro-grafito	+ -	12-17	12-17
Aluminio	+	2-5	-----

TABLA II.4. Amperios por cm^2 .

SELECCION DE LA INTENSIDAD.

En desbaste, la sección frontal del electrodo se utilizará para seleccionar el nivel de intensidad. Para mecanizados tridimensionales cónicos hay que tener cuidado al empezar el maquinado, utilizando un nivel de intensidad bajo hasta que la penetración tenga sección suficiente para poder aumentar la intensidad. TABLA II.4.

SECCION FRONTAL EN C.m ²	0.02 - 0.05	0.05 - 0.1	0.1 - 0.3	0.3 - 1.0	1 - 5	5 - 15	15 - 35	35 - 60
CU + CUW +	0.5-1	1-3	3-6	6-15	15-30	30-60	30-60	30-60
Gr +	0.5-1	1-3	3-6	6-15	15-30	30-80	80-120	110-160
Siluminum +	—	—	—	—	—	40-60	60-80	80-90

TABLA II.5. Nivel de intensidad en amperes.

Los mecanizados con electrodos de cobre, los cuales son los más comunes, no deberán utilizar en principio intensidades superiores a 60 amperes debido al desgaste elevado y problemas de dilatación o deformaciones.

Si la sección frontal lleva detalles finos que tienen que ser reproducidos, se utilizarán los niveles de intensidad más bajos, (1-5 amperes).

Un apartado importante en la electroerosión es la recopilación de datos. Conviene anotar los reglajes en una tabla, ya que muchas veces los trabajos se repiten o son similares. Podemos ahorrar el volver a calcular los tiempos de mecanizado y buscar modelos ideales.

MATERIAL DEL ELECTRODO	SUPERFICIE Nº DESEADA	PARAMETROS BASICOS					LIMPIEZA mm ³ /min	INTENSIDAD MEDIA	ELECTRODO			DESGASTE %L	DESGASTE %	TIEMPO REAL MECANIZADO	OBSERVACION
		POLARIDAD	INTENSIDAD	TI	TP	GAP			GAP DESBASTE	GAP ACABADO	LONGITUD				

TABLA II.6. Tabla técnica de reglajes de operación.

II.3.1.3. Voltaje de descarga.

La tensión aplicada entre electrodo y pieza de trabajo, es alimentada por un interruptor electrónico contenido en el generador de impulsos que contiene la fuente de corriente continua. El interruptor electrónico permite aplicar periódicamente la tensión en el GAP, con lo que se producen los impulsos de corriente; siempre y cuando el estado físico-químico y la magnitud del espacio (GAP) esté dentro de ciertos límites.

Es conveniente tener un indicador de la tensión de trabajo como el voltmetro, con objeto de visualizar las condiciones de operación y la estabilidad del maquinado. La tensión en el GAP durante las descargas varía de 15 a 25 voltios, según la naturaleza del electrodo y el material de la pieza de trabajo.

Un incremento en la tensión del GAP generado por mediación de un impulso adicional simultáneo a mayor tensión, acorta el tiempo de ionización y facilita la formación de la chispa traduciéndolo en ventajas tales como:

- Mayor estabilidad en el mecanizado.
- Aumento en la velocidad de mecanizado.
- Menor desgaste del electrodo en super-acabado.
- Facilita la limpieza, por trabajar con un GAP más abierto.

El espacio entre electrodo y pieza, permite modificar la tensión de trabajo. Si reducimos el GAP, disminuirá la tensión. Por tanto se acorta el tiempo de ionización al disminuir la resistividad entre electrodo-pieza, esto produce un aumento de la corriente media de mecanizado.

De forma contraria, si se incrementa el GAP, aumentará la tensión y el tiempo de ionización; disminuyendo por tanto la corriente media de mecanizado.(6)

II.3.1.4. El dieléctrico.

Hemos definido con anterioridad al dieléctrico como un medio aislante entre electrodo y pieza de trabajo que cumple además con la función de refrigerante en la zona de mecanizado. En términos eléctricos resulta no menos importante recalcarlo debido a que es por sus propiedades de rigidez dieléctrica por las que

podemos catalogarlo como propio y admisible para ser utilizado en electroerosión.

La rigidez dieléctrica de una sustancia se referirá por tanto a la máxima intensidad del campo eléctrico que ésta pueda soportar sin que se presente la ruptura o conducción. No existen en este fluido (o al menos hay relativamente pocas) partículas cargadas capaces de moverse bajo la influencia de un campo eléctrico.

Comunmente se usa un aceite como dieléctrico, aunque podría utilizarse agua destilada o el mismo aire.

Comercialmente existe una variedad amplia de dieléctricos; el problema se presenta en el momento de escoger el más adecuado para el tipo de trabajo particular a realizar con cada máquina.

La viscosidad es también un punto importante a tener en cuenta, los dieléctricos de alta viscosidad convienen para las operaciones de desbaste, en cambio para operaciones de acabado es lo contrario ya que el GAP es muy pequeño y tiene problemas para circular, por lo que es mejor uno de baja viscosidad.

Actualmente dentro de los tipos de dieléctricos se mantienen los hidrocarburos y el agua. Los hidrocarburos a su vez se subdividen en:

a) Aceites minerales.

Ampliamente utilizados, contienen pocos aditivos y en ocasiones hay ausencia de los mismos; siendo a su vez poco aromáticos. Prácticamente son los que dan mejores resultados.

b) Petróleos.

En condiciones finas de operación, sean acabados finos o super-acabados, dan muy buenos resultados, pero su punto de inflamación es bajo por lo que tiende a evaporarse y a mantener propiedades aromáticas.

El agua como dieléctrico, filtrada y desionizada, es utilizada preferiblemente en máquinas de hilo y micromaquinados

dando muy buenos resultados y rendimiento.

Como ejemplo de las condiciones eléctricas a las que se somete un dieléctrico, mencionemos el caso de los hidrocarburos, en los cuales podemos encontrar alguno que soporte un voltaje de ruptura de 170 volts por milésima de pulgada (70 volts por milésima de cm.). Esto significa que podrán producirse las descargas solamente cuando se apliquen voltajes que revasen al de ruptura.

Si el voltaje es menor, por ejemplo 85 volts por milésima de pulgada, será necesaria una separación más pequeña para efectuarse las descargas.

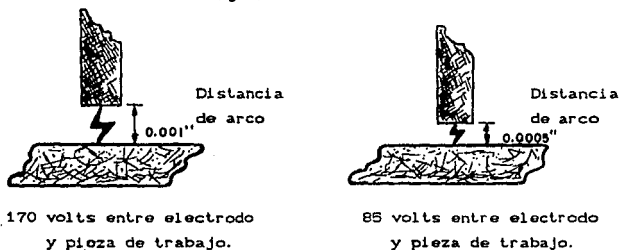


FIG. II.12. Voltaje de ruptura en un hidrocarburo.

De la FIG. II.12. podría pensarse que esa separación es la correspondiente al GAP de mecanizado, pero en la práctica se observa que no es así; la razón es que el dieléctrico nunca está perfectamente limpio debido al continuo desprendimiento de partículas de metal que son conductoras, las cuales pueden servir de trayectoria para las descargas.

Algunos de los dieléctricos recomendados en relación al tipo de trabajo que se desarrolle se presentan en la TABLA II.7. Es importante rescatar de ella los valores de viscosidad para cada tipo de fluido, ya que mediante éstos es posible conseguir algún otro de condiciones semejantes y que en ocasiones pudiera representar un cuantioso ahorro.

MARCA	Viscosidad (E° a 20°C)	Punto de inflamación (°C)	Peso especifico (gr/cm ³)	UTILIDAD
ESSO UNIVOLT 64	2.9	156		Mecanizados de piezas gruesas con estados de superficies bastos superiores a Nr 38, recomendable para máquinas de 240 amp.
MOBIL-OIL VELOCIT 8	2.8	158		
MOBIL-OIL VELOCIT 4	1.75	118		Mecanizados de piezas medianas con estados de superficies finos, recomendables para máquinas de 60 y 120 amperios.
ESSO MENTOR 28	1.6	124	0.820	
DELTA VINCOR 21	1.2	125		
MOBIL-OIL VELOCIT 3	1.10	73	0.814	Mecanizados de pequeñas piezas con estados de superficies finos Nr 12-18 sólo recomendables para máquinas de 30 amperios.
PETROLEO		68	0.79	

TABLA II.7. Selección de dieléctricos recomendados.

II.3.2. Parámetros mecánicos.

En relación a las características más importantes dentro de los parámetros mecánicos, subdivididos con objeto de una explicación individual en: velocidad de avance de la herramienta, material y desgaste del electrodo, material de la pieza de trabajo, flujo y velocidad de circulación del dieléctrico. De forma análoga a los parámetros eléctricos, se presenta el desarrollo analítico posteriormente.

II.3.2.1. Velocidad de avance de la herramienta.

La posición de trabajo implica como ya mencionamos, colocar en la máquina-herramienta el electrodo y la pieza de trabajo.

El maquinado puede efectuarse en dos sentidos, uno cuando la alimentación del electrodo durante el trabajo se controla por algún sistema de moción que lo desplace en dirección vertical, en este caso la mesa de trabajo está colocada en una posición fija, y es el método de operación más usual. Un segundo método consiste en aplicar el movimiento del servomecanismo a la mesa de trabajo y mover ésta de forma horizontal o transversal, mientras el electrodo está fijo. El ejemplo más práctico es el de rectificación por electroerosión con piedra de grafito.

Las máquinas modernas de MDE se construyen con cabezales de movimiento hidráulico, accionados por servoválvulas eléctricas que operan con respuestas instantáneas.

La carrera del porta-herramienta (electrodo) debe ser aquella que permita la introducción en su totalidad del electrodo en la pieza de trabajo. De forma similar, la operación con las carreras longitudinales y transversales deben permitir la operación sin mover la pieza de trabajo en su máximo de coordenadas.

Estas carreras tienen su mayor aplicación en el perforado de placas y en moldes múltiples o de producción.

Otro factor a considerar en el porta-electrodo es la capacidad o fuerza para poder soportar como mínimo al punzón completo, incluyendo al porta-punzón en los casos que lo requiera.

Es importante que al considerar el diseño de un equipo de este orden, se estudien cuidadosamente las características, pues de lo contrario podríamos incurrir en un exceso de inversión o tener un equipo que no realice el trabajo deseado.

La velocidad de avance en el maquinado por MDE es una de las condiciones más delicadas en el proceso, hablando por supuesto de la estabilidad en el trabajo. La razón viene dada por la interconexión que debe existir entre la unidad generadora de impulsos de tensión y esta velocidad. No es posible como señalamos un control manual del desplazamiento de la herramienta; no tal vez por que no se pudieran conseguir las velocidades ideales en el cabezal para evitar que el electrodo se estrelle con la pieza de trabajo, sino por que sería un proceso de constantes interrupciones de operación, en el cual se tendría que volver a desplazar al electrodo una vez culminada la remoción de cierto material, debido a que no se mantiene una retroalimentación directa con la tensión existente en el GAP y que pudiera determinar el avance de la herramienta.

Las características propias de la unidad de potencia de cada tipo de máquina en particular, son las que de acuerdo a su capacidad nos determinan la velocidad de avance. Es posible entonces advertir unidades de potencia que remuevan de 3 plg³/hr. hasta 15 plg³/hr.

Para la máquina que se ha considerado como modelo, el electrodo se desplaza en dirección vertical y su movimiento se origina en un cilindro hidráulico al cual se le aplica un flujo de aceite a presión y dependiendo de que a éste se le aplique en la parte superior o inferior del cilindro, el pistón se desplazará hacia arriba o hacia abajo. La velocidad con que se desplaza el pistón depende del flujo que circule a través de él, el cual está controlado por una servoválvula.

En la servoválvula se transforman los impulsos eléctricos en movimientos de la válvula, la que a su vez permite un mayor o menor flujo de aceite.

Si se trabaja con presiones altas de aceite del

orden de las 500 - 1000 lb./pulg.² (35 - 70 kg./cm.²), aplicadas sobre el pistón de la máquina, permitirá soportar electrodos muy grandes (10" X 20").

El diagrama de flujo del sistema hidráulico se muestra en la FIGURA II.13.

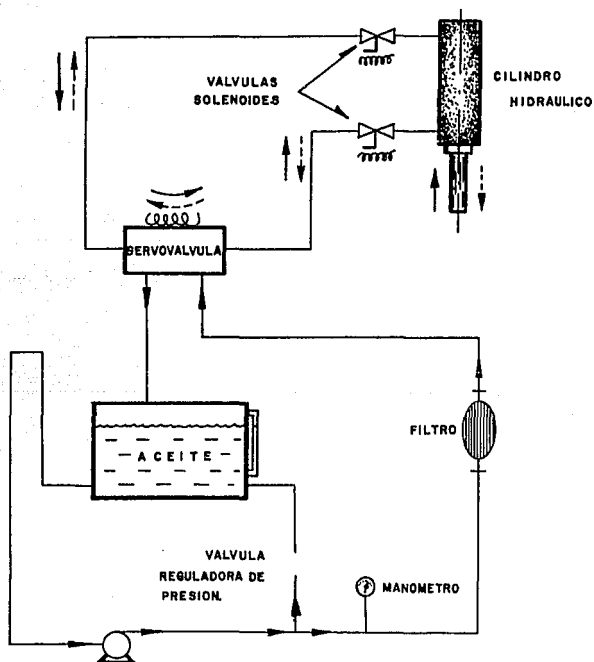


FIG. II.13. Diagrama de flujo del sistema hidráulico.

De la FIG II.13. observamos que la presión del dieléctrico es originada en la bomba accionada por un motor eléctrico; mediante una derivación se ajusta la presión de descarga del aceite al valor deseado, observando el comportamiento en el manómetro. En la misma red se instala un filtro para contener las partículas fundidas que provienen del área de trabajo.

El aceite es llevado a la entrada de la servoválvula donde se regula el flujo y la dirección de circulación que tendrá sobre el cilindro hidráulico, habiendo pasado por las válvulas solenoides que sirven para cerrar la circulación en una posición. De la salida de la servoválvula el aceite se lleva al depósito de almacenamiento.

Este tipo de sistema se conoce con el nombre de electro-hidráulico.

En realidad la unidad de mayor importancia es la servoválvula que es donde se transforma la energía eléctrica en hidráulica y de esta manera a partir de 1 ó 2 watts de señal se controla el movimiento de un cuerpo que puede pesar toneladas.

Un circuito en la fuente de poder constantemente está monitoreando los cambios de voltaje entre electrodo y pieza de trabajo para luego compararlos contra un voltaje de referencia preseleccionado, la diferencia entre los dos voltajes es la señal de entrada a la servoválvula, y en esta forma la máquina - herramienta es capaz de controlar la velocidad de alimentación del electrodo, el punto en que debe retirarse y el momento preciso de volver al corte.

Cuando las partículas que se desprenden reducen el voltaje del arco a un nivel crítico, el servomecanismo inmediatamente origina que el pistón retire el electrodo y permita el flujo de dieléctrico para lavar la pieza de trabajo.

Un buen servomecanismo es aquel que no es sensible a los voltajes transitorios pues de otra manera constantemente se estaría retirando el electrodo y se reduciría seriamente la eficiencia del maquinado. Un servomecanismo que no es demasiado sensible a los voltajes transitorios puede alimentar el electrodo

a una relación constante y suficiente para mantener la distancia de arco preseleccionada conforme el metal va siendo removido.

II.3.2.2. Material y desgaste del electrodo.

Los electrodos en electroerosión pueden compararse con las herramientas de corte convencionales, éstas en algunos materiales proporcionan el máximo de duración con el menor desgaste, igualmente cada material usado como electrodo tendrá las mejores características de maquinado bajo ciertas condiciones.

El desgaste del electrodo como se ha mencionado es producto de la energía de las descargas que se disipa en el GAP, aunque de menor grado que en la pieza de trabajo.

La cantidad que se desgasta el electrodo depende principalmente del material del electrodo, del de la pieza de trabajo, de la polaridad aplicada en ellos, de el valor de la frecuencia y de la corriente usados, entre otros.

El efecto de desgaste se acentúa en las esquinas del electrodo más que en las caras planas, causa de ello es que el área o ángulo de trabajo es mayor. FIG II.14.

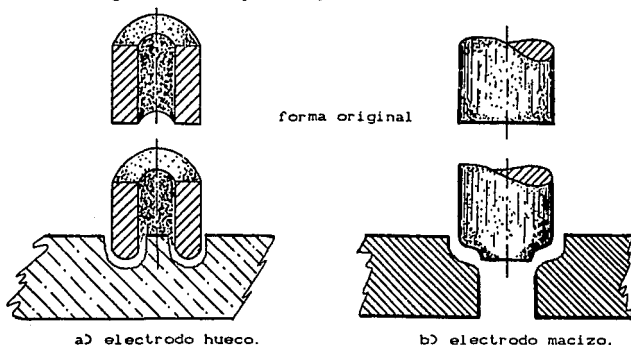
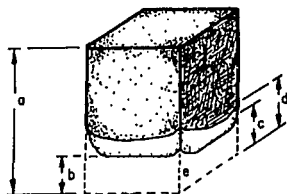


FIG. II.14. Desgaste en electrodos diferentes.

El desgaste del electrodo puede clasificarse en cuatro tipos (FIG. II.15.):

- a) desgaste longitudinal.
- b) desgaste lateral.
- c) desgaste de las esquinas.
- d) desgaste volumétrico.



l: longitud original del electrodo.

FIG. II.15. Tipos de desgaste en un electrodo rectangular.

- a) Desgaste longitudinal.- es igual a la longitud original del electrodo menos la longitud final, su valor se usa para determinar el valor de profundidad de corte cuando se maquina una cavidad.

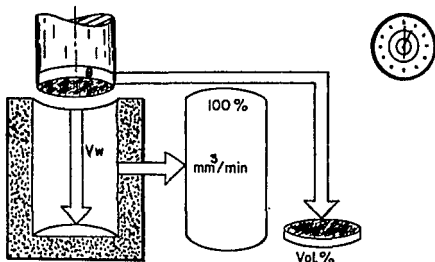
$$l = l_i - l_f$$

- b) Desgaste lateral.- es igual a la longitud inicial del electrodo menos la longitud final medida sobre una de las caras planas del electrodo gastado. Se debe tener en cuenta cuando se usen electrodos circulares para determinar la longitud necesaria y evitar la conicidad de la cavidad.

c) Desgaste de las esquinas.- este es igual a la longitud original del electrodo menos la longitud final de la esquina que se ha desgastado.

d) Desgaste volumétrico.- este es igual al volumen original menos el volumen final del electrodo y su valor nos determina el número de electrodos a usar cuando se maquina una cavidad.(12)

La precisión de maquinado depende entre otros factores del desgaste en el electrodo. Este ha sido designado con la letra griega "Theta", su valor indica en forma de porcentaje el volumen de material perdido o desgastado en el electrodo en comparación al volumen de material removido de la pieza de trabajo. (FIG. II.16.)



V_w = volumen de material removido de la pieza de trabajo.

FIG. II.16. Desgaste porcentual en electrodos.

El material del electrodo se debe caracterizar por ser conductor de la electricidad. Por esa razón todos los materiales conductores pueden utilizarse; con preferencia los que

tienen un punto de fusión elevado y una resistividad muy baja.

A la hora de mecanizar por electroerosión conviene analizar el problema desde un punto de vista realista, con objeto de tornarlo rentable. La forma de determinar cual o cuales materiales son más rentables para un régimen de mecanizado, no se tendrá que ver limitada por la consulta de tablas o reglajes establecidos por diferentes proveedores de las máquinas, sino que como hemos recalcado en el capítulo anterior conviene auxiliarse de las fichas técnicas elaboradas con datos propios de la capacidad del equipo. Y tomar tan sólo como referencia los recomendados por los fabricantes. También debemos tener en cuenta el precio del material del electrodo y de los métodos con que se disponga para mecanizarlos.

De acuerdo a esto podemos clasificar dos tipos de materiales para electrodos: metálicos y no metálicos.

a) Materiales metálicos.

-cobre	-magnesio
-tungsteno de plata	-plomo
-tungsteno puro	-aluminio
-acero	-hierro
-latón	-titanio
-bronce	-molibdeno
-carburo	-níquel
-zinc	-y demás aleaciones.

b) Materiales no metálicos.

- grafitos (Gr)
- cuprografito (CuGr)
- grafito moldeado.

Hemos observado que es casi improbable obtener un material que sea óptimo para todas las aplicaciones, algunos se desgastan poco pero son difíciles de maquinar o son muy costosos. Otros son relativamente baratos, pero sufren desgastes considerables. Presentamos a continuación una relación de los

materiales más utilizados en procesos reales y recomendados algunos otros por diferentes fabricantes y autores.

GRAFITO	Carbono bajo forma cristalina insensible a choques térmicos, conserva sus propiedades térmicas a altas temperaturas.	Resistiv. eléc.: 10-15 $\Omega\text{mm}^2/\text{m}$ Peso específico: 1.8-1.85 gr/cm^3 Carga de ruptura a la flexión: 200-700 kg/cm^2
CUPRO- TUNGSTENO	Electrodos de precisión, precio elevado, no se puede moldear, efectivo para trabajar ángulos vivos y orificios muy profundos.	
COBRE ELECTRO- LITICO	Es fácil mecanizarlo.	Peso específico: 8.9 gr/cm^3 Resistiv. eléc.: 0.01754 $\Omega\text{mm}^2/\text{m}$ Pto. fusión: 1083°C
BRONCE	Forma de electrodo: barra, varilla, tubo o lámina. Buena maquinabilidad. No tiene exactitud de acabado.	
CUPRO- GRAFITO	Desgaste 4 veces mayor que el cobre y el grafito. Mejora el estado de la superficie. Sustituye electrodos muy costosos.	Carga de ruptura: 700-900 kg/cm^2
LATON	Empleado en máquinas de hilo. Poco usado por su desgaste elevado.	

TABLA II.8. Relación de materiales típicos para electrodos.

II.3.2.3. Material de la pieza de trabajo.

Verdaderamente el material de la pieza de trabajo es un factor sobre el cual se puede regir escasamente, pues éste depende del tipo de herramienta o producto que se desea obtener. La condición a satisfacer es al igual que en el electrodo, ser conductor de la electricidad.

Algunos de los materiales más usuales son:

- acero
- tungsteno
- hierro
- materiales formados por todo tipo de aleación.
- acero inoxidable
- carburos
- cobre

A continuación exponemos algunos de los diferentes materiales empleados como electrodos y pieza de trabajo, con objeto de observar la relación de desgaste presentada entre ambos.

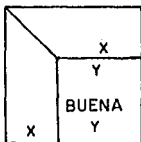
MATERIAL		POLARIDAD	DESGASTE	
Electrodo	Pieza de trabajo		Electrodo	Pieza de trabajo
bronce	bronce	estandar	1.0	1.5
bronce	carburo	estandar	4.0	1.0
bronce	acero	estandar	1.5	1.0
bronce	tungsteno	estandar	7.0	1.0
carburo	carburo	estandar	1.5	1.0
cobre	cobre-tungs	estandar	1.0	1.0
cobre-tungs	carburo	estandar	1.0	1.5
cobre-tungs	acero	invertida	1.0	2.5
cobre-tungs	tungsteno	estandar	1.0	1.0
grafito	acero	estandar	1.0	2.5
plata-tungs	acero	estandar	1.0	3.0
acero	acero	invertida	1.0	1.0

TABLA II. 9. Relación de desgaste de diferentes materiales.

MATERIAL DEL ELECTRODO (-)

	ZN	MG	PB	CU	AL	FE	TI
ZN	8 12 BUENA 15 .5	9.8 11 BUENA 5.2 1.9	8.6 10 PASABLE 5.4 1.6	2.6 12 BUENA 2.0 1.3	6.7 12 BUENA 5.2 1.3	11 12 BUENA 2.4 .005	28 12 BUENA 12 .02
MG	4.4 12 BUENA 3.1 .14	6 11 BUENA 1.3 .5	5.6 12 BUENA 1.9 .3	.28 10 BUENA 1.9 .015	2.9 10 BUENA 6.4 .5	.2 9 PASABLE 3.8 .05	.08 11 BUENA 12 .007
PB	5.4 12 BUENA 1.1 .5	50 10 PASABLE 2.5 2	3.2 8 MALA 3.2 2.8	.58 10 BUENA 1.3 .04	5.8 12 BUENA 5.1 .11	.44 10 MALA 7.4 .06	.19 2 MALA 1.3 .66
CU	4.6 14 BUENA 5.6 .8	21 10 BUENA .84 2.5	15 10 PASABLE 1.4 1.1	.12 8 MALA .39 .03	14 12 BUENA .88 1.6	2.8 12 BUENA 2.0 1.3	2.1 10 PASABLE .12 1.7
AL	5.2 12 BUENA 2.4 0.2	7.2 11 BUENA 6.1 1.2	7.5 10 PASABLE 5.3 1.4	.29 12 BUENA 9.3 .03	.17 2 MALA .28 0.6	.36 7.5 MALA .8 0.4	.07 8 PASABLE 2.4 .03
FE	11 12 BUENA .63 1.7	13 11 BUENA .41 30	14 12 PASABLE .80 1.8	.5 12 PASABLE .95 0.5	.91 8 PASABLE .53 1.7	.81 8 MALA .20 2.5	.75 10 PASABLE .30 2.5
TI	9.2 14 BUENA 3.6 2.4	12 12 BUENA .24 50	.04 8 MALA .40 0.1	.36 10 MALA 2.8 .13	1.2 10 PASABLE .16 8	.7 12 PASABLE .12 6	.06 2 MALA .06 2

MATERIAL DE TRABAJO (+)



Desgaste de herramienta:
 10^{-3} pulg³/min.

Velocidad de corte:
 10^{-3} pulg³/min.
Corriente en amperes.
Estabilidad de la máquina.
Relación de desgaste de hta:
vol. hta./vol. trabajo.

TABLA II.10. Tabla de selección para el maquinado por electrodescarga con diversas combinaciones de electrodos y material de trabajo.

II.3.2.4. El dieléctrico.

El sistema de circulación del dieléctrico es de forma similar al del avance del electrodo. También aquí la bomba toma el dieléctrico de la tina de trabajo haciéndolo pasar a través de un filtro que sea capaz de retener partículas hasta de 5 micras. Al dieléctrico filtrado se le regula la presión mediante una válvula para abrir o cerrar el retorno y un manómetro. (FIG. II.17.)

La presión a la cual el fluido debe ser aplicado va de 0 a 60 lb/plg² (0 - 2.4 kg/cm²), por lo que una vez alcanzada ésta, es liberada sobre la zona de trabajo.

El sistema de limpieza nos permite de esta forma hacer uso de la presión del refrigerante o de la succión del mismo. Es posible invertir las conexiones a la entrada de la bomba, con lo cual se aprovecharía la succión en vez de la presión.

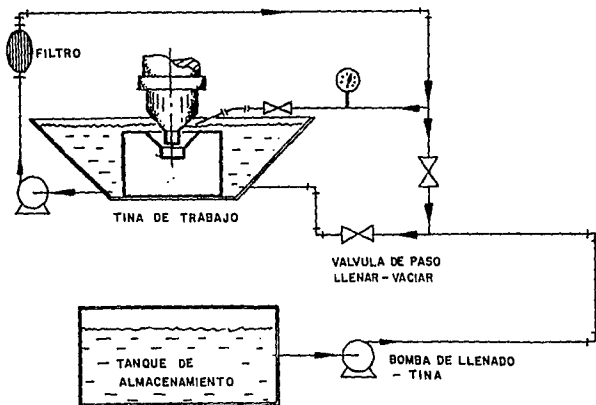


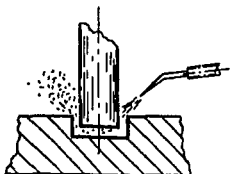
FIG. II.17. Diagrama de flujo del sistema del dieléctrico.

Una forma alternativa de llevar el dieléctrico a la tina de trabajo puede ser mediante la aplicación de aire a presión dentro del tanque de almacenamiento, por lo que al abrir la válvula el dieléctrico sube.

Conviene señalar que no debe confundirse el sistema de aceite a presión hidráulico con el del dieléctrico, que también es un aceite. Ni tampoco con el usado en la lubricación de la máquina, que tiene otro uso específico y diferentes propiedades.

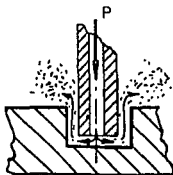
La eficiencia del maquinado depende en gran parte del "enjuague" realizado como consecuencia del flujo de dieléctrico en la zona de trabajo.

El dieléctrico puede aplicarse en cualquiera de las formas mostradas en la FIG II.18., dependiendo del tipo de trabajo particular de que se trate.



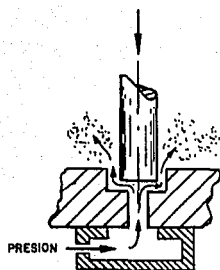
1) Flujo dirigido.

Aplicando el dieléctrico de forma direccional sobre la zona de trabajo.



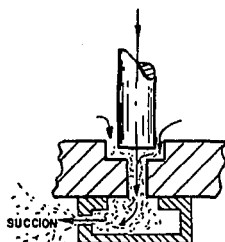
2) Estandar.

La presión se aplica a través del electrodo por medio de una o varias perforaciones.



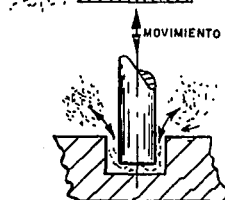
3) Inverso.

La presión se aplica a través de la pieza de trabajo.



4) Succión.

Se aplica a través de la pieza de trabajo.



5) Vibración.

El electrodo se hace oscilar para producir una acción de bombeo.

FIG. II.18. Diferentes tipos de limpieza.

De lo anteriormente ilustrado, se observa que al no ser posible realizar conductos para el refrigerante, tanto en el electrodo como en la pieza de trabajo, lo más práctico es hacer

que el electrodo vibre. Cuando el electrodo se eleva, el volumen de la zona de mecanizado aumenta, con lo que se llena de dieléctrico limpio, que se mezcla con el contaminado y al volver a bajar es evacuado parcialmente; llevando consigo a las partículas de material removido. Este especial método es empleado particularmente en el mecanizado de orificios muy profundos.

Para el tipo de electroerosión forzada (vibración) se recomienda el uso de "cabezales vibratorios". Existe una especial forma de porta-electrodos vibratorios fabricados por ELOX CORPORATION, empleados en maquinados sin flujo ni presión de aceite.

El porta-electrodos vibra de manera independiente al servomecanismo, servomotor o servoválvula hidráulica, con amplitudes que van de 0 a 0.005" y con varios ciclos/seg. Es decir que no es rebotado eléctricamente, sino que entra y sale constantemente, generando con ello un tipo de limpieza por vibración.

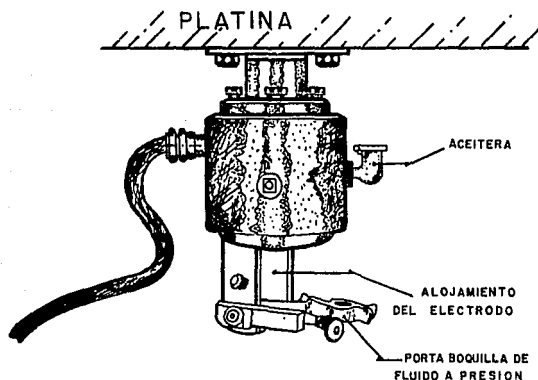


FIG. II.19. Porta-electrodos vibratorio, sujeto a la platina superior de la máquina de MDE.

CAPITULO III. DISEÑO, DESCRIPCIÓN Y COSTO DE LOS CIRCUITOS Y SISTEMAS QUE COMPONEN EL PROTOTIPO.

III.1. LA FUENTE DE ALIMENTACION.

- III.1.1. Especificaciones de diseño para la fuente de alimentación.
- III.1.2. Opciones que se consideraron para el diseño de la fuente de alimentación y desarrollo del circuito definitivo de ésta.
- III.1.3. Evaluación de costos para la fuente de alimentación.

III.2. EL SISTEMA DE DESCARGA ELECTRICA.

- III.2.1. Especificaciones de diseño para el sistema de descarga eléctrica.
- III.2.2. Desarrollo del sistema de descarga eléctrica.
- III.2.3. Evaluación de costos para el sistema de descarga eléctrica.

III.3. EL SISTEMA DE AVANCE DEL ELECTRODO.

- III.3.1. Especificaciones de diseño para el sistema de avance del electrodo.
- III.3.2. Descripción del funcionamiento de los tres tipos de sistemas de avance existentes, y elección del más adecuado para nuestro prototipo.
- III.3.3. Desarrollo del sistema de avance del electrodo.
- III.3.4. Evaluación de costos para el sistema de avance del electrodo.

III.4. EL SISTEMA DE CIRCULACION DEL DIELECTRICO.

- III.4.1. Especificaciones generales para el sistema de circulación del dieléctrico.
- III.4.2. Desarrollo del sistema de circulación del dieléctrico.
- III.4.3. Evaluación de costos para el sistema de circulación del dieléctrico.

III.5. DESCRIPCIÓN Y COSTO TOTAL DEL PROTOTIPO.

CAPITULO III. DISEÑO DE LOS CIRCUITOS Y SISTEMAS QUE COMPONEN EL PROTOTIPO.

III.1. LA FUENTE DE ALIMENTACION.

Esta etapa de la unidad electroerosionadora es la que nos proporciona la corriente eléctrica con las características generales necesarias para el proceso de electroerosión como son: tipo de corriente, magnitud de la diferencia de potencial e intensidad de la corriente, para que posteriormente el sistema de disparo o de descarga eléctrica se encargue de generar los pulsos eléctricos con la frecuencia, tiempo de descarga y tiempo de pausa requeridos en el GAP para que se lleve a cabo la electroerosión de una manera controlada y así poder obtener las velocidades y calidades de maquinado deseadas.

En general la fuente de alimentación debe proporcionarnos una señal eléctrica de corriente directa (C.D.) cuya diferencia de potencial sea regulable de acuerdo a las necesidades del proceso.

III.1.1. ESPECIFICACIONES DE DISEÑO PARA LA FUENTE DE ALIMENTACION.

Por las características del proceso de electroerosión, la corriente eléctrica que tomemos de la línea doméstica o industrial (C.A.) deberá ser rectificada, ya que todas las opciones que existen para el diseño del sistema de descarga o disparo funcionan en base a corriente directa (C.D.).

Es importante también señalar que para el caso de nuestro prototipo, que no tendrá una capacidad muy elevada, es necesario colocar un transformador reductor antes del dispositivo de rectificado para disminuir el voltaje de la línea de 127 a 50 volts, proporcionándonos un rango de diferencia de potencial suficiente para el funcionamiento del sistema de disparo (0-50 Volts) y para el proceso de electroerosión.

Los circuitos de la fuente de alimentación se deberán diseñar para suministrar y soportar intensidades de

corriente de un rango de 0-10 Amperes, suficientes para el buen funcionamiento del prototipo.

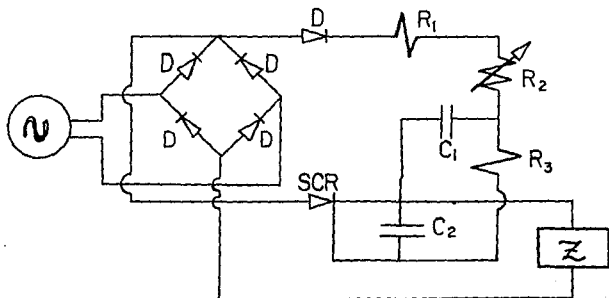
Otro factor que es necesario considerar para el diseño de la fuente, es que para obtener máximos rendimientos en el maquinado, el proceso de electrodescarga que inicia precisamente en la fuente de alimentación, debe ser lo más estable posible, de lo contrario las velocidades y calidades de maquinado pueden reducirse hasta en un 50% .

III.1.2. OPCIONES QUE SE CONSIDERARON PARA EL DISEÑO DE LA FUENTE DE ALIMENTACION Y DESARROLLO DEL CIRCUITO DEFINITIVO DE ESTA.

En seguida se presentan las propuestas de circuitos electrónicos, y en su caso el desarrollo de éstos, que fueron tomados en cuenta para el diseño de la fuente de alimentación de nuestro prototipo, y desde luego el desarrollo analítico y experimental completo de la opción que se eligió como la más apropiada y las causas por las que se descartaron las demás.

ARREGLO NO. 1

Este fue el primer intento que se realizó para obtener un circuito electrónico que nos proporcionara C.D. con las características de control de voltaje , estabilidad y capacidad de corriente mencionadas en las especificaciones. El diagrama del circuito electrónico es el siguiente:



Los elementos del circuito son:

- D - 5 diodos IN-4007.
- R_1, R_3 - 2 resistencias de 1 M Ω /
- C_1, C_2 - 2 capacitores de 0.01 μ f / 50 Volts
- SCR - 1 SCR no.
- R_2 - 1 potenciómetro de 2.2 M Ω /

Este circuito tiene la ventaja de poder conectarse a la línea en forma directa, eliminando el uso de un transformador. Sin embargo, debido a que no nos permite variar el voltaje por debajo de los 20 volts (el rango que maneja es de 20-80 volts) y a que no soporta intensidades de corriente mayores de 5 amperes, se consideró que no era el tipo de arreglo que necesitábamos para nuestra fuente de corriente.

ARREGLO NO. 2

Esta segunda opción se obtuvo del "Manual Nacional de Semiconductores" que se encuentra en el Laboratorio de Electrónica en el Edificio L-3 de la ENEP-Aragón. Este circuito está diseñado en base a modernos Circuitos Integrados que realizan la rectificación de la C.A. y permiten que se tenga la posibilidad de variar el voltaje dentro de rangos muy amplios con una gran estabilidad del sistema. Esta opción no se desarrolló debido a que no fue posible conseguir los circuitos integrados en el mercado nacional de semiconductores.

ARREGLO NO. 3

Este circuito estaría compuesto por un integrado LM-317 y su complemento, ayudado por un dispositivo comparador de voltaje modificado elaborado con transistores para obtener una corriente considerable. El circuito debería ser alimentado por medio de un transformador que redujera el voltaje de la línea de 127 a 50 volts, con una capacidad de conducción de 10 amperes y que contara con TAP central para no desperdiciar una cantidad

apreciable de potencia al reducir el voltaje directamente por medio de otros métodos.

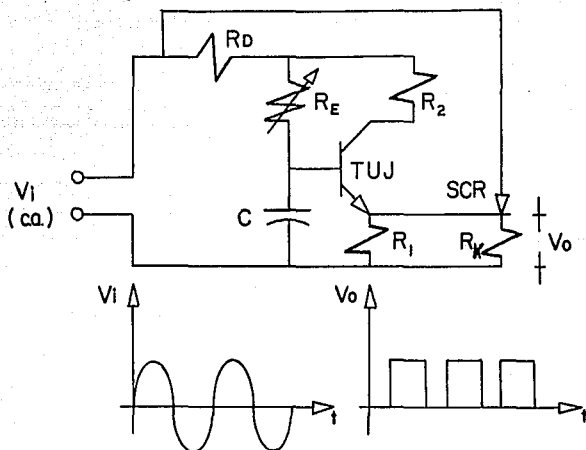
Este arreglo no fue probado, es decir no se elaboró físicamente para poder determinar sus características de estabilidad, control de voltaje, etc., ya que por falta de presupuesto, no nos fue posible en esas fechas adquirir el transformador reductor mencionado anteriormente (que en esos días tenía un costo de \$174,000.00 M.N.), y cuando dicho transformador nos fue proporcionado por la coordinación de la carrera, nos encontrábamos ya trabajando en el desarrollo de otro arreglo diferente para nuestra fuente. (Más adelante comentaremos de que manera se aprovechó dicho transformador en el diseño definitivo de la fuente de alimentación y del sistema de descarga eléctrica).

ARREGLO NO. 4

Después de los anteriores intentos y de haber revisado las características teóricas de otros circuitos en libros y con personas del área eléctrica se llegó a la conclusión de que sería difícil encontrar un circuito ya diseñado que cumpliera con nuestros requerimientos ya que todos los que suministran y soportan corrientes hasta de 10 amperes y en los cuales es posible variar y controlar el voltaje de la señal eléctrica son circuitos muy robustos, con un costo elevado de sus componentes y que además disipan una cantidad de potencia eléctrica considerable. Por lo tanto deberíamos seleccionar un circuito que cubriera los dos principales requerimientos, es decir manejar corrientes hasta de 10 amperes y poder variar el voltaje, y a dicho circuito realizarle las modificaciones necesarias para reducir el tamaño y costo de sus componentes, darle la estabilidad de funcionamiento necesaria y además aprovechar al máximo la potencia eléctrica que se le suministrase.

El circuito que se eligió fue un recortador de fase que utiliza un SCR y su correspondiente oscilador.

El diagrama del circuito original es el sig.:



El primer cambio que se le hizo al circuito fue colocar a la entrada el transformador que ya se había adquirido por medio de la coordinación (de este modo no se desaprovecharía dicho transformador), para reducir el voltaje de la línea de 127 a 50 volts y de esta manera poder utilizar elementos de menor tamaño y capacidad pero siempre manteniéndonos dentro de los valores de voltaje e intensidad de corriente necesarios para el proceso. Además, en vista de que se aprovechaba una porción muy pequeña de la onda, se decidió agregar un rectificador de onda completa para que se ocupara todo el ciclo y de este modo no desperdiciar parte de la potencia suministrada. El puente rectificador que se utilizó fue uno de 22 amperes de capacidad ya que el inmediato inferior es de 8 amperes y no se quiso correr el riesgo de sobrecargarlo.

CALCULO DE LOS COMPONENTES

Los datos de nuestro transistor monojuntura (TUJ) fueron tomados del "Manual del SCR" de la General Electric y son los siguientes:

$$R_{BB} = 4.7 \text{ a } 9.1 \text{ K}\Omega$$

$$\eta = 0.56 \text{ a } 0.75$$

$$I_V = 4 \text{ mA (mín.)}$$

$$I_P = 5 \mu\text{A}$$

$$V_V = 2 \text{ Volts}$$

La diferencia de potencial en el capacitor C necesaria para que se dispare el TUJ está dada por:

$$V_P = \eta V_{B_{21}} + 0.6 \quad \rightarrow (1)$$

donde:

V_P = voltaje pico o de disparo.

η = relación entre contactos.

0.6V = caída de voltaje en la unión PN de silicio que existe entre emisor y base.

$V_{B_{21}}$ = voltaje entre las dos terminales de base.

$$\eta = 0.56 \text{ (se toma el límite inferior)}$$

$$V_{B_{21}} = V_{S(\text{suministrado})} = 20 \text{ volts}$$

Sust. en (1):

$$V_P = 0.56 (20 \text{ V.}) + 0.6$$

$$V_P = 11.8 \text{ Volts.}$$

Una vez obtenido el voltaje de disparo del capacitor, ya podemos calcular los valores extremos de R_E para conocer de que valor debemos comprar el potenciómetro R_E :

La $R_{E_{MAX}}$ es el valor de la resistencia que permite que circule una corriente ligeramente mayor que la "corriente de pico" (I_P) (corriente que se fuga cuando el TUJ se encuentra en corte), para que haya una acumulación de carga en el capacitor C y provoque el disparo del TUJ. El valor de $R_{E_{MAX}}$ está dado por:

$$R_{E_{MAX}} = \frac{V_S - V_P}{I_P} \rightarrow (2)$$

donde:

V_S = voltaje suministrado.

I_P = corriente de pico.

V_S = 20 volts.

V_P = 11.8 volts.

I_P = 5 μ A. (dato del TUJ)

Sustituyendo en (2):

$$R_{E_{MAX}} = \frac{20 - 11.8}{5 \times 10^{-6}}$$

$$R_{E_{MAX}} = 1.64 \text{ M}\Omega$$

La $R_{E_{MIN}}$ está determinada por una I_v que es la "corriente de valle" o mínima necesaria para mantener encendido el TUJ. En nuestro caso no nos preocupa que quede encendido ya que cada 8.3 milisegundos se apaga todo nuestro sistema de descarga por estar usando la onda completa de la línea, pero sí nos interesa que se encienda a la vez que comienza el ascenso de la onda de voltaje.

$R_{E_{MIN}}$ está dada por:

$$R_{E_{MIN}} = \frac{V_s - V_v}{I_v} \rightarrow (3)$$

donde:

V_v = voltaje mínimo para permanecer encendido

I_v = corriente de valle.

$V_s = 20$ volts

$V_v = 2$ volts

$I_v = 4$ mA

Sustituyendo en (3):

$$R_{E_{MIN}} = \frac{20 - 2}{4 \times 10^{-3}}$$

$$R_{E_{MIN}} = 4.5 \text{ K}\Omega$$

Para elegir el valor de nuestro potenciómetro debemos considerar que si tomamos el valor de la $R_{E_{MAX}}$ el rango en que podrá variar el potenciómetro será muy grande (0 - 1.64 M Ω), por lo que su manipulación sería muy sensible en el momento de encontrarse cerca del valor de la resistencia deseada para el funcionamiento adecuado del sistema; y en cuanto a considerar el valor de $R_{E_{MIN}}$ como límite inferior, es decir que el potenciómetro variara de 4.5 K Ω a 1.64 M Ω , esto no es conveniente ya que en ocasiones es necesario tomar todo el intervalo de voltaje para que el TUJ se mantenga encendido y para esto la R_E debe ser 0. Por lo anterior se optó por tomar el RMS de $R_{E_{MAX}}$ y $R_{E_{MIN}}$ para tener un rango de variación más pequeño y partiendo de 0 ohms.

$$RMS = R_E = \sqrt{(R_{E_{max}})(R_{E_{min}})}$$

$$R_E = \sqrt{(1.64 \times 10^6) (4.5 \times 10^8)}$$

$$R_E = 85,906 \Omega = 85.9 \text{ K}\Omega$$

Por los valores comerciales disponibles:

$$R_E = 100 \text{ K}\Omega \quad \rightarrow \text{EL POTENCIOMETRO DEBE SER DE } 0 - 100 \text{ K}\Omega.$$

Para el capacitor C se eligió un valor de $0.15 \mu\text{f}$ y a partir de este valor se calcula el tiempo máximo de disparo del capacitor C :

$$t = R C \quad \rightarrow (4)$$

$$R = R_E = 100 \text{ K}\Omega \quad ; \quad C = 0.15 \mu\text{f}$$

Sustituyendo en (4):

$$t = (100 \times 10^3) (0.15 \times 10^{-6})$$

$$t = 15 \text{ milisegundos.}$$

Para realizar la primer prueba es necesario proponer valores para R_D , R_Z y R_K , y en base a estos valores calcular R_1 cuya función es evitar un disparo indeseado del SCR, y así poder probar el circuito para saber si las R_D , R_Z y R_K propuestas son modificadas o se conservan con esos valores. Los valores que se proponen son los siguientes:

$$R_Z = 1 \text{ K}\Omega$$

$$R_D = 2 \text{ K}\Omega$$

$$R_K = 470 \Omega$$

Cabe señalar que R_K , que está colocada a la salida de la fuente, funciona como una carga para que el SCR se mantenga encendido.

Como ya se dijo, R_1 se colocó para evitar que el SCR se dispare accidentalmente por efectos del ruido eléctrico que hay en el ambiente y por el que produce la propia máquina. El valor de R_1 debe ser lo suficientemente pequeño para que la caída de potencial no encienda al SCR pero de una magnitud suficiente para que el pulso del oscilador no sea atenuado y tengamos un disparo

seguro.

Para determinar el valor de R_1 , del diagrama observamos que poniendo el TUI "en corte", el voltaje se divide y que la caída de tensión en R_1 debe ser menor al voltaje necesario para encender al SCR, por lo tanto:

$$\frac{R_1 V_s}{R_1 + R_{BB} + R_z} = V_{AK} + V_D - V_{ruido} \rightarrow (5)$$

donde:

V_{AK} = voltaje de disparo del SCR.

V_D = voltaje de conducción directa del diodo.

V_{ruido} = margen de ruido para evitar un disparo accidental. (valor convenido).

$$\begin{aligned} V_{ruido} &= 1.5 \text{ volts} & ; & & V_{AK} &= 1.5 \text{ volts} \\ V_D &= 1.1 \text{ volts} & ; & & R_{BB} &= 4.7 \text{ K}\Omega \\ V_s &= 20 \text{ volts} & ; & & R_z &= 1 \text{ K}\Omega \end{aligned}$$

De (5) despejamos R_1 :

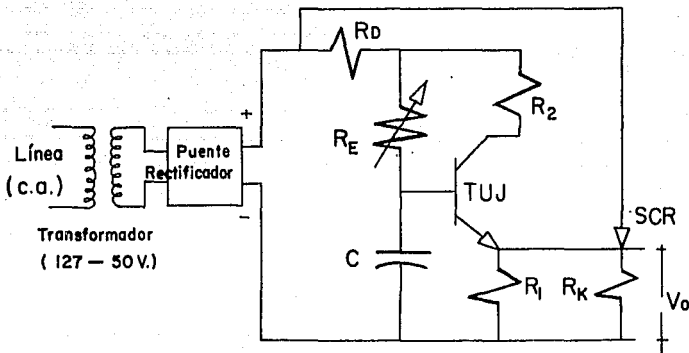
$$\begin{aligned} R_1 &= \frac{(V_{AK} + V_D - V_{ruido}) (R_{BB} + R_z)}{V_s - (V_{AK} + V_D - V_{ruido})} \\ R_1 &= \frac{(1.5 + 1.1 - 1.5) (4.7 \times 10^3 + 1 \times 10^3)}{20 - (1.5 + 1.1 - 1.5)} \end{aligned}$$

$$R_1 = 331.75 \Omega$$

Por los valores comerciales disponibles:

$$R_1 = 330 \Omega$$

Una vez elegidos el TUJ, el capacitor C y el SCR ;
 calculados los valores de R_E y R_1 y con los valores propuestos de
 R_D , R_2 y R_K se procedió a realizar la primer prueba ya con el
 transformador reductor y con el rectificador de onda completa
 adicionados. El circuito quedó así:



Al efectuar la primer prueba se observó que los
 valores de voltaje e intensidad de la señal que nos proporcionaba
 la fuente eran muy inestables al tratar de variarlos accionando el
 potenciómetro R_E , por lo que se probó colocar un diodo zener (Dz)
 en paralelo con el potenciómetro R_E y el capacitor C, y de este
 modo se le dió mayor estabilidad al oscilador. El diodo zener
 requería tener una capacidad aproximada de 20 volts a 2 watts,
 pero como no se consiguió en el mercado uno de estas
 características, se implementó uno con dos diodos zener de 10
 volts a 1 watt c/u conectados en serie. La corriente máxima que
 puede circular por los diodos zener está dada por:

$$I_z = P_z / V_z \quad \rightarrow \quad I_z = 2 \text{ Watts} / 20 \text{ Volts}$$

$$I_z = 0.1 \text{ Amp.} \quad \rightarrow \quad I_z = 100 \text{ mA.}$$

En la segunda prueba ya con el diodo zener adicionado se observó que R_1 comenzó a calentarse sin causa aparente, por lo que después de hacer mediciones con el amperímetro, se dedujo que la "puerta" del SCR después de encendido éste, permitía el paso de una corriente. Para contrarrestar este efecto indeseable se le agregó un diodo rectificador (D_r) a la puerta del SCR para evitar el calentamiento de R_1 y en general para proteger al oscilador. Se probó nuevamente el circuito y se observó que la falla se había corregido. En ese momento consideramos que ese sería nuestro circuito definitivo y solo para corroborar que el valor que habíamos propuesto para R_D era adecuado, se calculó el valor de dicha resistencia ya que ahora ya podíamos hacerlo basándonos en la corriente que circula por el diodo zener que antes de la primera prueba no existía en nuestro circuito. El valor de R_D está dado por:

$$R_D = \frac{(V_L - V_Z)}{I_Z} \quad \rightarrow (6)$$

donde:

V_L = voltaje real de la línea.

V_Z = voltaje suministrado.

I_Z = corriente que circula por el diodo zener.

Sust. en (6):

$$R_{D_1} = \frac{(\sqrt{2 \times 127} - 20)}{100 \times 10^{-3}} \quad \rightarrow \quad R_{D_1} = 1.6 \text{ K}\Omega.$$

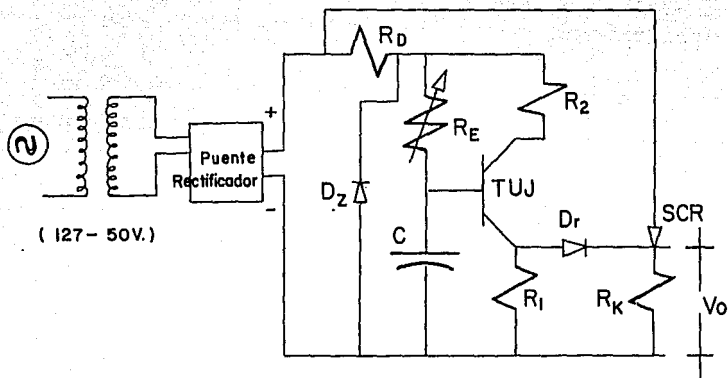
Y considerando una tolerancia en las resistencias del 10% tenemos:

$$R_D = R_{D_1}(1.1)$$

$$R_D = (1.6)(1.1) \quad \rightarrow \quad R_D = 1.76 \text{ K}\Omega.$$

Valor muy cercano a los 2 K Ω de la R_D que habíamos utilizado, por lo que decidimos no modificar ya nuestro circuito.

El diagrama de nuestro circuito definitivo quedó así:



En resumen, los datos de los elementos del circuito son los siguientes:

- * Puente rectificador NTE-5322 / 22 amp.
- * Transformador 127-50 volts. / 10 amp.
- * (Dz) 2 diodos zener IN4740 A-939 / 10 v. / 1 w.
- * (C) capacitor 0.15 μ f / 200 v.
- * (Re) potenciómetro 0-100 K Ω
- * (Rz) resistencia 1 K Ω
- * (R1) " 330 Ω
- * (R2) " 2 K Ω / 10 w.
- * (Rk) " 470 Ω / 10 w.
- * (Dr) diodo rectificador IN-4007
- * (TUJ) transistor monojuntura 2N 2646 - 8907
- * (SCR) 2N 5997- 8934 / 12 amp.

III.1.3. EVALUACION DE COSTOS PARA LA FUENTE DE ALIMENTACION.

A continuación se presenta una relación de los componentes de nuestra fuente de alimentación con los costos de cada uno de ellos y el costo total de la fuente. El precio al que se adquirieron los componentes se presenta en moneda nacional y su equivalente en dólares según el tipo de cambio existente en esa fecha.

COMPONENTE	C O S T O	
	PESOS	DOLARES
ELEMENTOS ELECTRONICOS		
Puente rectificador NTE-5322	8 200	2.95
Transformador 127-50 v. / 10 amp.	275 000	105.85
Diodo zener IN4740 A-939 (2)	3 200	1.14
Capacitor 0.15 μ f / 200 v.	480	0.18
Potenciómetro 0-100 K Ω	5 200	1.85
Resistencia 1 K Ω	380	0.14
" 330 Ω	700	0.28
" 2 K Ω / 10 w.	300	0.11
" 470 Ω / 10 w.	500	0.18
Diodo rectificador IN-4007	650	0.24
Transistor monojuntura 2N 2645-8907	11 650	4.31
SCR 2N 5997-8934 / 12 amp.	17 600	6.57
OTROS COMPONENTES		
Conectores (2)	6 800	2.44
Circuito impreso.	7 200	2.66
Disipadores de aluminio (2)	4 000	1.40
Clavija.	2 800	0.95
Foco piloto.	3 600	1.25
COSTO TOTAL DE LA FUENTE DE ALIM.	349 260	132.48

La información sobre proveedores y fabricantes de la mayoría de los componentes se encuentra en el APENDICE D.

III.2. EL SISTEMA DE DESCARGA ELECTRICA.

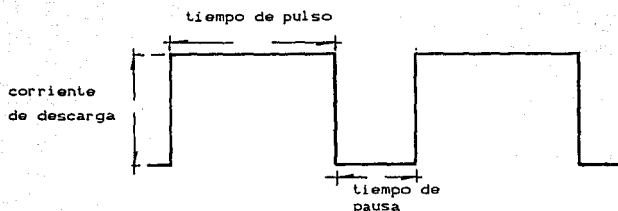
Esta etapa de la unidad toma la corriente de la fuente de alimentación, que ha sido rectificadada y cuyo voltaje también ya ha sido adecuado a los requerimientos de nuestro proceso, y a partir de esta señal de C.D. genera los pulsos eléctricos con la frecuencia, tiempo de descarga y tiempo de pausa necesarios en el GAP para que se lleve a cabo la electroerosión.

III.2.1. ESPECIFICACIONES DE DISEÑO PARA EL SISTEMA DE DESCARGA ELECTRICA.

Los parámetros que se deben controlar mediante este sistema son: el tiempo de pulso, que es el lapso durante el cual la corriente fluye a través del GAP, y el tiempo de pausa, que es el intervalo de tiempo en el cual no existe tensión en el GAP y por lo tanto se suspende el flujo de corriente eléctrica.

Estos dos tiempos, el de pulso y el de pausa, determinan la frecuencia de la descarga, es decir el número de pulsos o descargas eléctricas por segundo que ocurren entre el electrodo y la pieza de trabajo. De el valor de dicha frecuencia junto con el de la intensidad de la corriente depende en gran parte la calidad del acabado superficial en los maquinados. Para nuestro prototipo, basándonos en la capacidad que tendrá éste, consideramos que el rango en el cual se debe poder variar la frecuencia de las descargas es de 500 a 20 000 pulsos/seg.

Considerando que, como se vio en el apartado II.3.1., el tiempo de pausa se recomienda que deberá ser del 10-20% del tiempo de pulso, para obtener las frecuencias que requerimos, los valores del tiempo de pulso deberán estar entre 100 y 2 000 μ seg. Para ilustrar y resumir los conceptos y valores que hemos mencionado, elaboramos la siguiente figura:



frecuencia de la descarga: 500 - 20 000 pulsos/seg.
 tiempo de pulso: 100 - 2 000 μ seg.
 tiempo de pausa: 10-20% del tiempo de pulso.

III.2.2. DESARROLLO DEL SISTEMA DE DESCARGA ELECTRICA.

Para elaborar el circuito de nuestro sistema se utilizó un oscilador que se encargaría de generar y controlar los pulsos de descarga eléctrica y las pausas entre ellos. Este oscilador se implementó con un circuito integrado IC 555 y su diagrama es el siguiente:

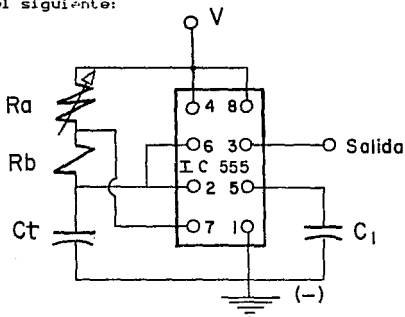


FIG. III.1. Oscilador (generador electrónico de pulsos).

Se eligió este tipo de oscilador llamado "estable" debido a que ofrece la ventaja de poderse controlar fácilmente por

diferentes maneras como son por medio de la variación de cualquiera de las dos resistencias o por la variación del valor del capacitor, para tener la frecuencia deseada. Los valores y las capacidades de los elementos del oscilador se calculan más adelante.

Como el IC 555 solo puede manejar valores de corriente y de voltaje menores a los que se requieren en el GAP, fue necesario complementar el oscilador con un amplificador de potencia cuya función es convertir los pulsos que genera el oscilador en pulsos con el mismo tiempo de duración y de pausa entre ellos pero con las magnitudes de corriente y de voltaje que se necesitan para que se lleve a cabo el proceso de electroerosión.

El siguiente es el diagrama del circuito de descarga eléctrica completo, es decir el amplificador de potencia con el oscilador ya integrado:

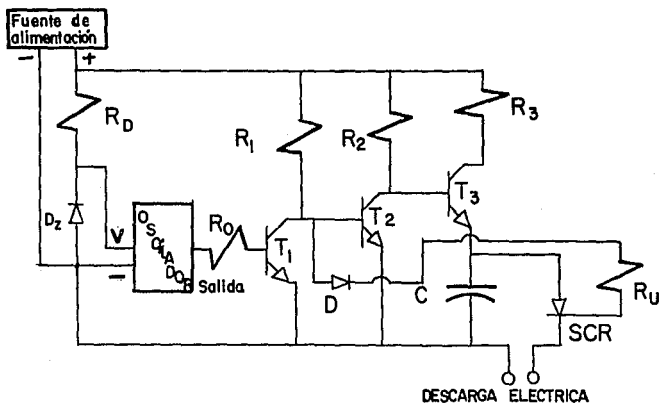


FIG. III.2. Circuito de descarga eléctrica.

El capacitor C que se encuentra a la salida del circuito de descarga se colocó para aumentar la definición y

estabilidad de las descargas y así lograr la remoción de material utilizando una menor cantidad de energía, optimizando el proceso de electroerosión. Para controlar aún más la carga y el relajamiento del capacitor C, éste se descarga a través de un SCR a la salida del cual se toma la señal eléctrica que se utilizará en el GAP para efectuar la electroerosión.

El diodo zener D_z tiene una caída de voltaje de 10 volts y soporta una potencia de 1 watt por lo que su capacidad de corriente es:

$$I_{D_z} = \frac{P_{D_z}}{V_{D_z}} = \frac{1 \text{ watt}}{10 \text{ v.}}$$

$$I_{D_z} = 100 \text{ mA.}$$

Por lo tanto:

$$I_{D_z} = \frac{V_{f_{te}} - V_{D_z}}{R_D} \rightarrow R_D = \frac{V_{f_{te}} - V_{D_z}}{I_{D_z}} \rightarrow (7)$$

Para tener un margen de seguridad, para $V_{f_{te}}$ se toma el valor máximo y no su valor eficaz:

$$V_{f_{te}_{max}} = \sqrt{2} (50 \text{ v.}) = 70.71 \text{ v.}$$

sust. en (7):

$$R_D = \frac{70.71 - 10}{0.1} \rightarrow R_D = 607.1 \Omega$$

→ por los valores comerciales: $R_D = 680 \Omega$

La potencia que deberá disipar R_D es:

$$P_{RD} = \frac{V_{RD}^2}{R_D} = \frac{(50)^2}{880} = 3.68 \text{ watts}$$

$$\rightarrow P_{RD} = 5 \text{ watts}$$

Volviendo a los componentes del oscilador, de inicio se propuso el valor de 0.1 μf para C_L para de allí poder calcular los demás componentes. R_b se calculó considerando que el SCR que descarga al capacitor tarda 40 μseg en apagarse (este dato se obtuvo del manual del SCR de General Electric), por lo que el nivel bajo deberá permanecer un tiempo mayor a 40 μseg para que el transistor T_2 no suministre corriente después de que el capacitor C_L se haya descargado y por lo tanto el SCR se apague por falta de una corriente de saturación. Este tiempo deberá ser mínimo un 40% más del de apagado para dar tiempo al capacitor de descargarse, por lo tanto el tiempo de bajo deberá ser:

$$t_{\text{bajo}} = 40 \mu\text{seg.} (1.4) = 56 \mu\text{seg.}$$

De esta forma, la resistencia R_b se calculó para ese valor de tiempo de disparo del capacitor C_L :

$$t_{\text{bajo}} = 0.7 (R_b) (C) \rightarrow R_b = \frac{t_{\text{bajo}}}{0.7 (C)}$$

$$R_b = \frac{56 \times 10^{-6}}{(0.7) (0.1 \times 10^{-6})} = 800 \Omega$$

$$\rightarrow R_b = 820 \Omega$$

Se eligió que R_a fuera un potenciómetro, para controlar al oscilador variando R_a . Para calcular el rango de R_a consideremos que se requiere tener una frecuencia no menor de 500 Hz.

$$f = \frac{1.4}{(R_a + 2R_b) C} \rightarrow R_a = \frac{1.4}{(f) (C)} - 2R_b$$

$$R_a = \frac{1.4}{(500) (0.1 \times 10^{-6})} - 2 (820) = 8.36 \text{ K}\Omega$$

Por lo tanto el potenciómetro R_a deberá ser:

$$R_a = 0 - 10 \text{ K}\Omega.$$

Los transistores T_1 y T_2 son del tipo TIP 48 que soportan 200 volts y una corriente de 1 amp., tienen una capacidad de 40 watts y una ganancia mínima de corriente (β) de 30. T_3 es un transistor de potencia tipo MJ 802 que soporta 80 volts, 20 amp. y 200 watts con una ganancia mínima de 25.

Pensando que T_3 debería conducir una corriente aproximada de 10 amp., variando en la misma proporción que el voltaje, se tomo como estandar 50 volts; por lo tanto la corriente mínima para saturar a T_3 depende de R_z , esta corriente deberá ser cuando menos de 400 mA. por lo que R_z está dada por:

$$R_z = \frac{50}{400 \times 10^{-3}} = 125 \Omega \rightarrow R_z = 120 \Omega$$

Y la potencia que disipará R_z será:

$$P_{R_z} = \frac{50^2}{120} = 20.8 \text{ watts} \rightarrow P_{R_z} = 25 \text{ watts}$$

Para calcular R_1 se consideró que por ella debe pasar una corriente mínima que está dada por la que el SCR necesita para encenderse, que es de 90 mA., más la necesaria para saturar a T_2 , esta última corriente está dada por:

$$I_{T2} = \frac{400 \text{ mA.}}{30} = 13.33 \text{ mA.}$$

Por lo que la corriente que circule por R_1 deberá ser:

$$I_{R1} = 90 \text{ mA.} + 13.33 \text{ mA.} = 103.33 \text{ mA.}$$

por lo que el valor de R_1 será:

$$R_1 = \frac{50}{103.33 \times 10^{-3}} = 483.87 \Omega \rightarrow R_1 = 470 \Omega$$

$$P_{R1} = P_{R2} = 25 \text{ watts.}$$

En cuanto a R_0 , deberá circular por ella una corriente que sature a T_1 , siendo la ganancia de T_1 de 30 tenemos:

$$I_{R0} = \frac{103.33}{30} = 3.44 \text{ mA.}$$

por lo tanto:

$$R_0 = \frac{10}{3.44 \times 10^{-3}} = 2.9 \text{ K}\Omega$$

$$R_0 = 2.7 \text{ K}\Omega.$$

Para determinar el valor de R_s consideremos que la corriente máxima de corto en el circuito será de unos 10 amp., por

lo tanto:

$$R_s = \frac{V}{I_{\max}} = \frac{50 \text{ volts}}{10 \text{ amp.}} \rightarrow R_s = 5 \Omega.$$

Debido a la gran cantidad de potencia que debe disipar R_s , se decidió implementar dicha resistencia con dos bancos compuestos cada uno por 12 resistencias de 1Ω a 25 watts conectadas en serie y dichos bancos a su vez conectados en paralelo entre ellos, lo que nos dá como resultado una resistencia equivalente de 5Ω , valor que nos asegura que el circuito no requerirá nunca de los 10 amp. que el transformador puede suministrar como máximo, y por lo tanto se protege al transformador de una posible sobrecorriente.

Resumiendo, los componentes del circuito de descarga eléctrica son los siguientes:

- * (IC 555) circuito integrado NE 555.
- * (C1) capacitor 103P / 0.01 μ f
- * (C2) capacitor 0.1 μ f / 400 v.
- * (Rb) resistencia 820 Ω
- * (Ra) potenciómetro 0 - 10 K Ω
- * (Dz) diodo zener IN47 / 40 a. / 10 v. / 1 w.
- * (D) diodo IN 4003
- * (T1) transistor TIP 48 / 200v. / 1a. / 40w.
- * (T2) transistor TIP 48 / 200v. / 1a. / 40w.
- * (T3) transistor MJ 802 / 80v. / 20a. / 200w.
- * (C) capacitor 220 μ f. / 100 v.
- * (Rb) resistencia 880 Ω / 5 w.
- * (Ro) resistencia 2.7 K Ω
- * (R1) resistencia 470 Ω / 10 w.
- * (Rz) resistencia 120 Ω / 25 w.
- * (Rs) 24 resistencias 1 Ω / 25 w.
- * (Ru) resistencia 47 Ω / 10 w.
- * (SCR) SCR MCR 3935 / 6 amp.

III.2.3. EVALUACION DE COSTOS PARA EL SISTEMA DE DESCARGA ELECTRICA.

En seguida se presenta una relación de los componentes del sistema de descarga eléctrica con los costos de cada uno de ellos y el costo total del sistema.

COMPONENTE	C O S T O	
	PESOS	DOLARES
ELEMENTOS ELECTRONICOS		
Circuito integrado NE 555	7 100	2.65
Capacitor 103P / 0.01 μ f.	400	0.15
Capacitor 0.1 μ f.	1 200	0.43
Resistencia 820 Ω	650	0.23
Potenciómetro 0-10 K Ω	6 000	2.13
Diodo zener IN 47	1 400	0.49
Diodo IN 4003	650	0.23
Transistor TIP 48	3 300	1.20
Transistor TIP 48	3 300	1.20
Transistor MJ 802	7 600	2.80
Capacitor 220 μ f.	3 800	1.40
Resistencia 680 Ω / 5 w.	700	0.26
Resistencia 2.7 K Ω	450	0.16
Resistencia 470 Ω / 10 w.	500	0.18
Resistencia 120 Ω / 25 w.	500	0.18
24 resistencias 1 Ω / 25w.	7 200	2.66
Resistencia 47 Ω / 10 w.	450	0.17
SCR MCR 3935 / 6 amp.	23 000	8.20
OTROS COMPONENTES		
Tableta de conexiones	16 700	6.67
Disipadores de aluminio (2)	4 000	1.40
COSTO TOTAL DEL SIST. DE DESC. ELEC.	88 900	32.79

La información sobre proveedores y fabricantes de la mayoría de los componentes se encuentra en el APENDICE D.

III.3. EL SISTEMA DE AVANCE DEL ELECTRODO.

Mediante este sistema se controla el movimiento del electrodo (herramienta) para posicionarlo al inicio del proceso, darle el avance necesario durante el trabajo de electroerosión y retirarlo cuando el proceso se interrumpe o se ha terminado.

III.3.1. ESPECIFICACIONES DE DISEÑO PARA EL SISTEMA DE AVANCE DEL ELECTRODO.

Para cumplir con las tres funciones mencionadas (posicionar el electrodo, mantener el GAP y retirar el electrodo), el sistema debe proporcionar igualmente tres tipos de avance, los cuales son:

A) Avance descendente con velocidad regulable.

Se utiliza para aproximar el electrodo a la pieza de trabajo y una vez hecho esto, darle un avance hasta lograr el GAP apropiado e iniciar así la electroerosión de la pieza de trabajo. Consideramos que el rango de velocidad de este movimiento descendente debe ser de 0 a unos 5 mm./seg.

B) Micro-avance descendente.

Se emplea para mantener el GAP a medida que la pieza se va erosionando. Este avance es el que se utiliza prácticamente durante todo el proceso y puede ser automático o manual. En el primer caso se debe realizar de forma que el electrodo vaya avanzando a medida que el material se va erosionando para de esta manera mantener una distancia constante entre electrodo y pieza de trabajo. Las magnitudes de esta distancia (GAP) y de la velocidad de avance durante el proceso pueden variar considerablemente dependiendo de las condiciones de trabajo como son: el material de la pieza de trabajo, el material del electrodo, el tipo de dieléctrico, las características eléctricas de la descarga, etc. (Recordemos que la magnitud del GAP puede variar desde 5 micras hasta unas 45 micras aproximadamente).

Quando el avance se realiza manualmente, (este caso no es muy común y solo se da en situaciones especiales como pueden ser en etapas de desarrollo de algún modelo o equipo experimental)

el movimiento de avance del electrodo se obtiene dando pequeños pulsos de corriente eléctrica al motor que proporciona el movimiento, el cual además de girar a una muy baja velocidad está acoplado a un tren reductor, logrando de esta manera avances del orden de 5 a 10 micras, necesarios para reestablecer la descarga eléctrica a medida que el material se va erosionando

C) Avance ascendente de velocidad constante.

Se utiliza para retirar la herramienta cuando el proceso se interrumpe o se ha terminado. La velocidad de este movimiento puede ser la misma que con la que se aproxima el electrodo a la zona de trabajo, es decir unos 5 mm./seg.

III.3.2. DESCRIPCION DEL FUNCIONAMIENTO DE LOS TRES TIPOS DE SISTEMAS DE AVANCE EXISTENTES Y ELECCION DEL MAS ADECUADO PARA NUESTRO PROTOTIPO.

El sistema de avance del electrodo por su principio de funcionamiento puede ser de tres tipos: electromagnético, electromecánico, o servocontrolado automáticamente. En este apartado a partir de la descripción del funcionamiento de cada uno de ellos se elige cual de los tres sistemas es el más apropiado para implementarlo en nuestro prototipo señalándose las causas por las que se descartaron los otros dos sistemas.

A) Sistema de avance de tipo electromagnético.

Este sistema está compuesto básicamente por un solenoide y un núcleo ferromagnético y sólo se puede utilizar cuando el sistema de descarga eléctrica funciona en base a la carga y descarga de un banco de capacitores. (FIG. III.3.).

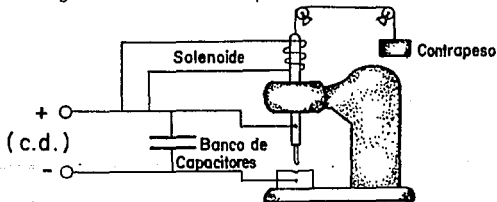


FIG III.3. Avance electromagnético.

El principio de funcionamiento de este tipo de avance es el sig: en el momento en que se produce la descarga del banco de capacitores, se rompe la rigidez dieléctrica del fluido y la corriente "salta" en forma de chispas del electrodo a la pieza de trabajo, cerrándose así el circuito del sistema. Al cerrarse el circuito, se energiza el solenoide dentro del cual se localiza el núcleo ferromagnético que se encuentra en la parte superior de la corredera-portaelectrodo; en el interior del solenoide se crea un campo magnético que provoca que el núcleo ferromagnético sea desplazado hacia arriba elevándose por lo tanto también el electrodo evitando así que éste haga contacto con la pieza de trabajo. De esta manera el avance del electrodo hacia abajo lo dá el propio peso de éste a medida que la pieza se va erosionando por efecto de la electro-descarga. Para facilitar la succión del núcleo ferromagnético cuando se energiza el solenoide, se coloca un contrapeso que ayuda a levantar el electrodo.

Este tipo de avance no se consideró para nuestro prototipo debido a que ofrece muy poca precisión y control en el avance del electrodo, además de que el funcionamiento del sistema de descarga que se tenía previsto implementar en nuestro proyecto no se basa únicamente en la descarga de un banco de capacitores.

BD Sistema de avance servocontrolado automáticamente.

Este tipo de avance es el que proporciona mayor precisión, estabilidad y control en el desplazamiento del electrodo, ya que el movimiento de éste se efectúa mediante un sistema que puede ser hidráulico o neumático, sistema que a su vez es controlado por un servomecanismo de control automático. (FIG. III.4.).

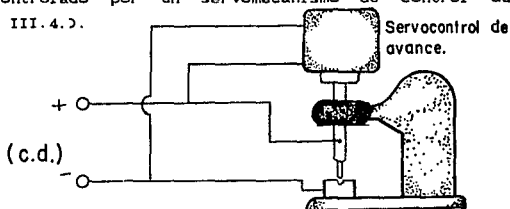


FIG. III.4. Avance servocontrolado automáticamente.

Sin embargo debido al alto costo de los componentes para un sistema de este tipo, se optó por no considerar para este trabajo el desarrollo de este tipo de avance.

C) Sistema de avance de tipo electromecánico.

En este tipo de avance la alimentación del electrodo se realiza mediante un motor eléctrico acoplado a un tren de engranes y éste a su vez a una cremallera la cual transmite el movimiento lineal a la herramienta (electrodo). (FIG. III.5.).

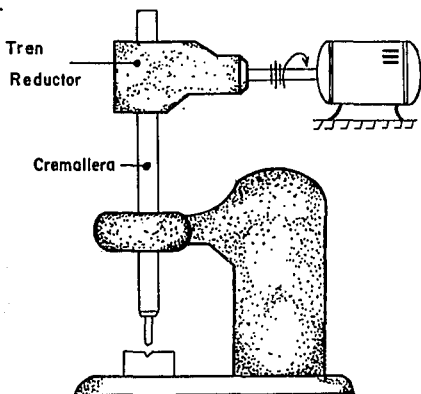


FIG. III.5. Avance electromecánico.

Para controlar la velocidad y el sentido de giro del motor es necesario un circuito electrónico de control, que varía en su configuración dependiendo de si el motor funciona con C.A. o con C.D. y en general de las características del motor y del movimiento que se desea obtener de él.

Este tipo de sistema fue el que se consideró como el adecuado para ser desarrollado e implementado en nuestro prototipo ya que el costo de sus componentes no es tan elevado

como los del tipo servocontrolado y si se realiza un buen diseño del circuito electrónico de control y de la parte electromecánica, nos deberá proporcionar una buena precisión así como estabilidad y control en el movimiento del electrodo.

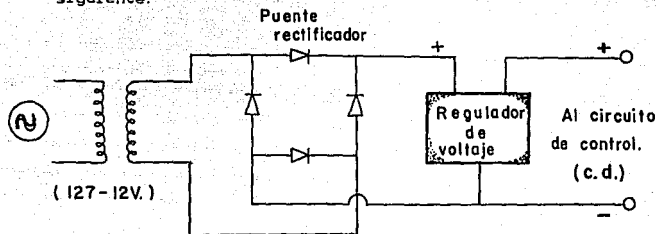
III.3.3. DESARROLLO DEL SISTEMA DE AVANCE DEL ELECTRODO.

El primer paso en el diseño y elaboración del sistema de avance, una vez elegido el tipo electromecánico como el adecuado para nuestro proyecto, fue determinar que tipo de motor eléctrico se utilizaría, para en base a ello desarrollar el circuito electrónico que controlaría la velocidad y el sentido de giro del motor y por lo tanto la velocidad y sentido de avance del electrodo. Se eligió un motor de C.D. de 5 volts debido a que este tipo de motores (los de C.D.) son más controlables en cuanto a su velocidad y sentido de giro que los de C.A., y por que se consideró que para la capacidad de nuestro prototipo no era necesario un motor de mayor potencia. En resumen, el sistema de avance que elaboramos para nuestro prototipo consta de un circuito electrónico para controlar al motor y de una parte electromecánica compuesta por el motor de C.D., un tren de engranes reductor de velocidad acoplado al motor, y una cremallera porta-electrodo. Asimismo fue necesario elaborar un dispositivo para proporcionar los 5 volts de C.D. que requiere el circuito de control del motor. Comenzaremos por describir el diseño y la elaboración del dispositivo de alimentación de 5 volts de C.D., para después hacer lo mismo con lo que es propiamente el circuito electrónico de control del motor y con la parte electromecánica.

-EL DISPOSITIVO DE ALIMENTACION DE 5 VOLTS DE C.D.

Esta compuesto por un transformador que reduce el voltaje de la línea de 127 a 12 volts (con una capacidad de conducción de 3 amp., suficiente para soportar las intensidades de corriente que se manejarán), por un puente rectificador que convierte la C.A. en C.D. y por un circuito integrado que regula el voltaje que se suministra al circuito de control del motor (5 volts).

El diagrama del dispositivo de alimentación es el siguiente:



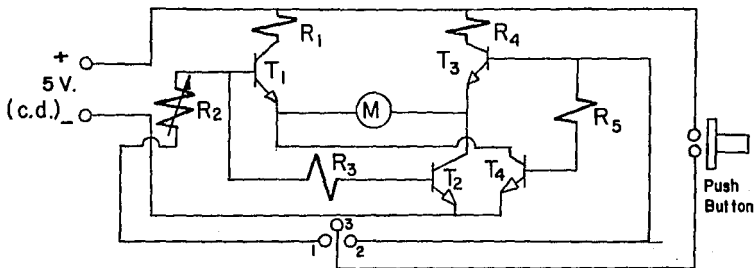
Los valores y datos de los elementos del dispositivo de alimentación son los sig:

- * Transformador 127-12 volts/ 3 amp.
- * Puente rectificador W02M/ 1.5 amp.
- * Regulador de voltaje C.I. L7805-CV

-EL CIRCUITO DE CONTROL DEL MOTOR.

Este circuito regula la velocidad y el sentido de giro del motor para así poder obtener los tres tipos de avance que se requieren y que ya se detallaron anteriormente.

En seguida se describe la elaboración y el funcionamiento de este circuito de control cuyo diagrama eléctrico es el siguiente:



Cuando se desea que el motor gire de manera que el avance del electrodo sea hacia abajo y a una velocidad regulable (para aproximarlo a la pieza de trabajo y para mantener el GAP durante el maquinado), el interruptor de tres pasos se coloca en la posición (1) y de esta forma al oprimir el "push button" (normalmente abierto) se provoca que los transistores T_1 y T_2 se pongan en conducción dando paso a la corriente eléctrica que activará al motor en el sentido y a la velocidad deseados.

Los valores del potenciómetro R_2 y de la resistencia R_3 determinan la magnitud de la corriente que conducirán T_1 y T_2 y por lo tanto determinan también la velocidad con que girará el motor. Si se desea aumentar o disminuir la velocidad de giro del motor basta con variar la resistencia del potenciómetro R_2 .

Para propiciar el movimiento del electrodo hacia arriba, es decir, para retirarlo de la pieza de trabajo, es necesario hacer girar el motor en sentido inverso al anterior; esto se logra colocando el interruptor de tres pasos en la posición (2) y de esta manera al pulsar el "push button" los transistores T_3 y T_4 se ponen en conducción permitiendo el paso de la corriente eléctrica que accionará al motor en el sentido deseado. Como en este caso no se requiere poder variar la velocidad del motor ya que no es necesario variar la velocidad con que se retira el electrodo de la zona de trabajo, no se coloca un potenciómetro antes de los transistores como se hizo en el caso del movimiento descendente, sino que sólo se coloca una resistencia R_5 cuyo valor depende de la velocidad a la que se desee que ascienda el electrodo.

Los cuatro transistores que se utilizaron (T_1 , T_2 , T_3 y T_4) son del tipo TIP-41C, tienen una ganancia de entre 30 y 80 y soportan una potencia de 40 watts (suficiente para nuestras necesidades), por lo que se pudo prescindir de las resistencias R_1 y R_4 , alimentando así directamente a los transistores T_1 y T_3 , y de esta manera aprovechar completamente los 5 volts que nos suministra el dispositivo para que en caso de ser necesario, tener en el motor la máxima velocidad, la cual se vería disminuida por

las caídas de voltaje en R₁ y R₄ en caso de existir éstas.

Se eligió el interruptor de tres pasos para tener la posibilidad de desconectar completamente el "push button" del arreglo de transistores (esto se logra colocando el interruptor en la posición (3)), y evitar así una activación accidental del motor.

Para determinar el rango de valores del potenciómetro R₂, se consideró que el límite inferior debería ser 0 Ω para que así el motor aprovechara la totalidad de los 5 volts que se le suministran al circuito; y para calcular el límite inferior, se midió con un amperímetro la corriente necesaria para que el motor iniciara el movimiento, esta lectura de corriente fue de 25 mA., por lo que la corriente de base deberá ser:

$$I_b = \frac{25 \text{ mA}}{50^{\ast}} \quad (\ast) \text{ valor tomado del manual de Semiconductores para el transistor TIP-41C.}$$

$$I_b = 0.5 \text{ mA.}$$

y por lo tanto el valor máximo de R₂ es:

$$R_{2 \text{ máx}} = \frac{V_b}{I_b} = \frac{5 \text{ volts}}{0.5 \times 10^{-3}}$$

$$R_{2 \text{ máx}} = 10\,000 \, \Omega \rightarrow R_{2 \text{ máx}} = 10 \text{ K}\Omega.$$

No es necesario proteger al potenciómetro R₂ contra corto ya que el motor se encuentra entre el emisor y tierra, contando con una resistencia propia de aprox. 47 Ω. Partiendo de lo anterior podemos calcular los valores de R₃ y R₅:

$$R_3 = R_5 = R_{\text{motor}} (\beta)$$

donde:

$$R_{\text{motor}} = 47 \, \Omega \quad ; \quad \beta = \text{ganancia} = 50$$

$$R_3 = R_5 = 47 \, \Omega (50)$$

$$R_3 = R_5 = 2350 \, \Omega \approx 2.2 \text{ K}\Omega.$$

Valor que asegura la saturación de los transistores T₂ y T₄, lo cual es necesario para obtener la velocidad máxima del motor cuando ésta sea requerida.

En resumen los datos y valores de los elementos del circuito de control son los siguientes:

- * Interruptor de 3 pasos/ 3amp./ 20 volts.
- * "Push button" (normalmente abierto).
- * (T₁, T₂, T₃ y T₄) 4 transistores TIP-41C
- * (R₂) potenciómetro 0-10 KΩ
- * (R₃, R₅) 2 resistencias 2.2 KΩ

-LA PARTE ELECTROMECHANICA DEL SISTEMA.

Está formada por un motor eléctrico (el cual está controlado por el circuito electrónico descrito anteriormente), acoplado a un tren de engranes (reductor de velocidad) y éste a su vez a una cremallera que transmite el movimiento lineal al electrodo. (FIG III.6.).

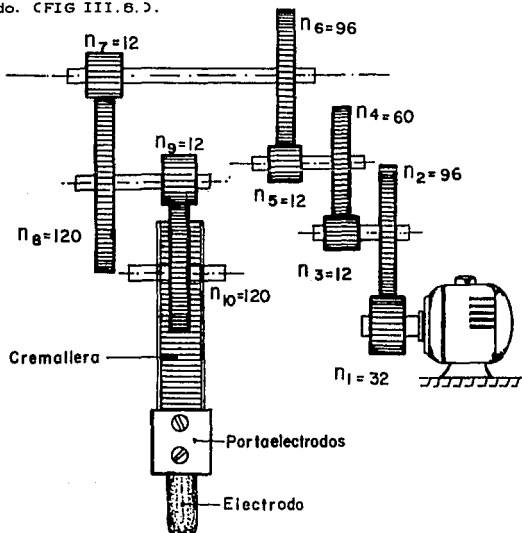


FIG. III.6. Parte electromecánica del sistema.

El motor, como ya se mencionó, trabaja con 5 volts de C.D. y se puede variar su velocidad de giro mediante el circuito de control desde 0.07 rev/seg. hasta su velocidad máxima aprovechando los 5 volts, que es de aprox. 16 rev/seg. El tren reductor se obtuvo de un wattorímetro y tiene una relación de reducción de 12 000 , es decir, para que el engrane 10 gire 1 revolución, el engrane 1 debe girar 12 000 revoluciones. La cremallera que se acopló al engrane 10 se obtuvo recalando los dientes de dicho engrane sobre una barra de aluminio.

El tren de engranes dispone de tres carátulas, como se muestra en la FIG.III.7., que indican cuanto giran los engranes 6, 8 y 10.

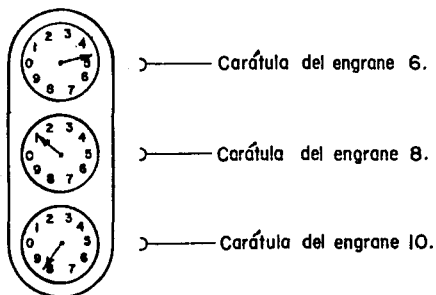


FIG. III.7. Carátulas que indican el no. de revoluciones que giran los engranes 6, 8 y 10. (Cada vuelta de la manecilla es una revolución del engrane).

De esta manera, calculando el perímetro del engrane 10 al cual está acoplada la cremallera, podemos determinar cuanto avanza el electrodo por cada revolución o fracción de revolución que giran los engranes 6, 8 ó 10.

El perímetro del engrane 10 es:

$$P_{10} = \pi (\text{diámetro}_{10})$$

$$P_{10} = \pi (25.4 \text{ mm.}) \rightarrow P_{10} = 79.8 \text{ mm.}$$

Por lo tanto, por cada vuelta que gire el engrane 10 el electrodo avanzará 7.98 cm. Para tener una lectura más directa sobre las carátulas de los engranes, consideremos que cada vuelta está dividida en 10 partes sobre las carátulas, por lo que cada décima parte de vuelta que gire el engrane 10 el electrodo avanzará 7.98 mm. (7980 micras). Como la relación de velocidad entre los engranes 10 y 8, y los engranes 8 y 6 es de 10, podemos establecer la siguiente tabla:

DESPLAZAMIENTO DEL ELECTRODO POR CADA UNIDAD QUE
AVANCE LA MANECILLA DE LOS ENGRANES 6, 8 Y 10.

ENGRANE	AVANCE DEL ELECTRODO
6 -----	79.8 micras (0.0798 mm)
8 -----	798 micras (0.798 mm)
10 -----	7980 micras (7.98 mm)

En síntesis, los componentes de la parte electromecánica del sistema de avance son:

- * Motor de 5 volts. (C.D.).
- * Tren de engranes reductor. (rel. de red. = 12 000)
- * Cremallera de aluminio.
- * Porta-electrodo.

III.3.4. EVALUACION DE COSTOS PARA EL SISTEMA DE AVANCE DEL ELECTRODO.

En seguida se presenta una relación de los componentes del sistema de avance del electrodo con los costos de cada uno de ellos y el costo total del sistema. El costo al que se adquirieron dichos elementos se presenta, al igual que para todos

los componentes del prototipo, en moneda nacional y su equivalente en dólares según el tipo de cambio existente en esa fecha.

COMPONENTE	C O S T O	
	PESOS	DOLARES
DISPOSITIVO DE ALIMENTACION.		
Transformador 127-12 volts/ 3 amp.	17 000	6.85
Puente rectificador W02M/ 1.5 amp.	4 200	1.55
Regulador de voltaje C.I. L7805-CV.	7 300	2.68
CIRCUITO DE CONTROL DEL MOTOR.		
Interruptor de 3 pasos/ 3 amp.	4 000	1.43
"Push button" (normalmente abierto)	1 400	0.50
Transistores TIP-41C. (4)	11 500	4.38
Potenciómetro 0-10 K Ω	5 800	2.18
Resistencias 2.2 K Ω (2)	1 300	0.48
PARTE ELECTROMECHANICA		
Motor de 5 volts (C. D.).	8 000	3.10
Tren de engranes reductor.	13 000	4.90
Cremallera de aluminio.	1 000	0.37
Porta-electrodo.	500	0.18
COSTO TOTAL DEL SISTEMA DE AVANCE DEL ELECTRODO.	75100	28.60

La información sobre proveedores y fabricantes de la mayoría de los componentes se encuentra en los APENDICES C y D.

III.4. EL SISTEMA DE CIRCULACION DEL DIELECTRICO.

Realiza la circulación y filtración del fluido dieléctrico para de este modo mantener las condiciones de temperatura, limpieza y rigidez dieléctrica que son necesarias durante el proceso; además dá movimiento y proporciona presión al fluido dieléctrico para que éste realice funciones de limpieza y refrigeración en la zona de trabajo. (FIG. III.8.). Los componentes básicos de este sistema son: fluido dieléctrico, bomba de circulación, filtro, válvulas reguladoras, instrumentos de medición de presión y de caudal, ductos, boquilla de acometida, depósito de almacenamiento y tina de trabajo.

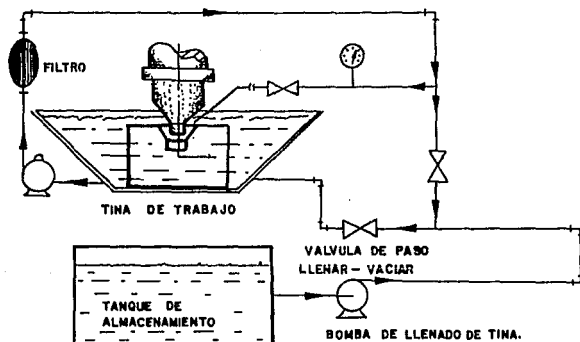


FIG. III.8. El sistema de circulación del dieléctrico.

III.4.1. ESPECIFICACIONES GENERALES PARA EL SISTEMA DE CIRCULACION DEL DIELECTRICO.

Para que el proceso de electroerosión se lleve a cabo de manera estable y se obtengan buenas calidades y tiempos de maquinado, el sistema de circulación del dieléctrico debe realizar adecuadamente las funciones que ya se han mencionado, es decir, la filtración del dieléctrico, la limpieza y refrigeración de la zona

de trabajo y la conducción de la descarga eléctrica de la herramienta a la pieza de trabajo. Para que este sistema funcione adecuadamente, debe cumplir con las siguientes especificaciones generales:

* La bomba de impulsión del fluido dieléctrico que se recomienda para unidades que manejen más de 20 amp. es una de tipo rotoestático, de caudal variable, con capacidad de presión de hasta 60 psi y con motor de $\frac{3}{4}$ H.P. de preferencia trifásico, (consume menos energía eléctrica). En unidades pequeñas (menos de 20 amp.), se puede utilizar una bomba de menor potencia que puede ser de 0.1 a 0.2 H.P., con un caudal de 5 a 10 lt/min. y con motor monofásico.

*En relación con el dieléctrico, las características y especificaciones de éste ya fueron expuestas en el apartado II.3. (Parámetros principales del M.D.E.) del Cap.II. Para complementar dicha información presentamos en la TABLA III.1. algunas propiedades importantes de varios fluidos dieléctricos de diferentes viscosidades.

Viscosidad a 20°C.	Punto de inflamación °C.	Gravedad específica a 20-40 °C.	Densidad °API.	Aplicación.
2.9	156	0.853	30-35	Piezas robustas (120 amp. en adelante).
2.8	150	-----		
2.5	132	-----		
1.75	118	0.829	-----	Piezas medianas (60 - 120 amp.)
1.6	124	-----		
1.2	125	0.803		
1.19	73	0.814	-----	Piezas pequeñas (hasta 60 amp.)
1.10	70	0.790		

TABLA III.1. Propiedades de algunos fluidos dieléctricos de diferentes viscosidades.

* La separación de partículas de metal removido que se encuentran en el fluido dieléctrico se realiza haciendo pasar éste por un elemento filtrante el cual puede estar fabricado de papel, malla metálica, tela, bronce poroso, carbón activado, etc. Una buena filtración en nuestro proceso requiere de una capacidad de filtración del elemento de entre 5 y 7 micras.

* La válvula que controla la velocidad y la presión con que el fluido incide sobre el GAP deberá regular dicha presión dentro de un rango de 0-60 lb/plg² (0-2.4 kg/cm²) para así tener una adecuada limpieza en la zona de trabajo. El valor de la presión que se utilice así como la velocidad con que incida el fluido dependerá de las condiciones de trabajo como son: tamaño de la pieza, velocidad de remoción, etc. Además se debe colocar otra válvula para regular el regreso del dieléctrico de la tina de trabajo al depósito de almacenamiento. Las características y rangos de operación de las válvulas de control de flujo, manómetros, indicadores de nivel y reguladores de presión, dependerán de la capacidad de la unidad. Las válvulas deben estar construidas, al igual que todos los ductos y elementos del sistema que tengan contacto con el fluido, de material anticorrosivo para evitar la contaminación del dieléctrico.

* La red de ductos o tuberías por los que circulará el dieléctrico, además de ser de un material anticorrosivo, debe ajustarse a las necesidades de presión y caudal que se tengan en la unidad. En seguida se dan los tipos de tuberías que más comunmente son usadas en esta clase de sistemas y sus características principales:

- a) Tubería de cobre.- alta resistencia mecánica, poca flexibilidad y bajo grado de corrosión.
- b) Tubería de cloruro de polivinilo (PVC).- disponible en Ø's grandes y presenta nula corrosión.
- c) Tubería de polietileno (manguera anaranjada "CONDUIT").- alta capacidad de deformación, baja resistencia mecánica y muy bajo costo.

- d) Tubería de acero bajo carbón (galvanizada).- alta resistencia mecánica, muy poca flexibilidad, bajo grado de corrosión, pero costo muy elevado.
- e) Tubería de caucho reforzado.- para altas presiones, con una gran flexibilidad y costo elevado.

* La tina de trabajo deberá ser de dimensiones suficientes para contener el volumen de dieléctrico necesario para que la pieza de trabajo quede completamente cubierta por éste, además de permitir un fácil acceso para colocar y retirar la pieza de trabajo; debe ser de un material anticorrosivo y sus características mecánicas dependerán de la capacidad de la unidad.

* El tanque de almacenamiento debe tener como mínimo, la capacidad para contener el volumen de la tina de trabajo.

La información sobre proveedores y fabricantes de algunos de los componentes que se han mencionado se encuentra en los APENDICES B, C y E.

III.4.2. DESARROLLO DEL SISTEMA DE CIRCULACION DEL DIELECTRICO.

Considerando las especificaciones que se mencionaron en el apartado anterior y tomando en cuenta también que nuestro objetivo es la elaboración de una unidad prototipo de poca capacidad, es decir, se ocupará para maquinar pequeñas piezas y con bajos valores de intensidad de corriente, se decidió elaborar un sistema de circulación sencillo que tuviera un costo económico reducido, en vista del limitado presupuesto de que disponíamos, pero que cumpliera con los requerimientos mínimos para el buen funcionamiento del prototipo.

La FIG. III.9. muestra el diagrama de nuestro sistema el cual está constituido por una pequeña bomba que originalmente formaba parte del sistema de lava-parabrisas de un

automóvil y que fue adquirida con los vendedores de partes automotrices usadas.

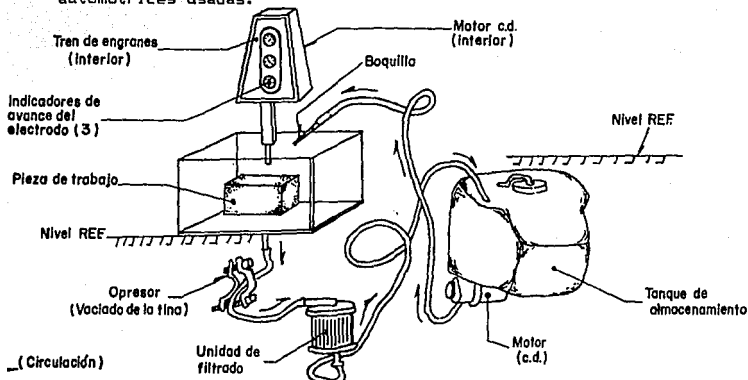


FIG. III.9. Sistema de circulación de nuestro prototipo.

Para regular la velocidad y la fuerza con que el chorro de fluido dieléctrico incide sobre la zona de trabajo, se optó por, en lugar de colocar una válvula de paso entre la bomba y la boquilla (lo cual provocaría que se sobrecargara la pequeña bomba al restringir el flujo de dieléctrico), elaborar un circuito electrónico para controlar la velocidad del motor de C.D. de la bomba y de esta forma poder regular el caudal del dieléctrico hacia la zona de trabajo. Este dispositivo nos proporciona C.D. y nos permite regular el voltaje suministrado al motor desde 0 hasta 12 volts, que es el voltaje nominal del motor y con el cual alcanza su velocidad máxima. El desarrollo de este circuito de control se muestra detalladamente por separado en este mismo apartado.

El elemento filtrante que se implementó esta formado por un cilindro de plástico dentro del cual se colocó papel filtrante de 10 micras de capacidad de filtración.

Para conducir el dieléctrico del tanque de

almacenamiento a la tina de trabajo y regresarlo de la tina al tanque, haciéndolo pasar por el filtro, se utilizó manguera de hule ya que no era necesario colocar otro tipo de ducto más resistente o con otras características especiales. Asimismo para regular el regreso del fluido de la tina al depósito de almacenamiento y mantener así el nivel de dieléctrico en la tina de trabajo, se colocó una pequeña válvula de paso entre la tina y el filtro. La tina de trabajo se elaboró de material acrílico con las siguientes medidas: 25 cm. x 25 cm. x 15 cm., dimensiones suficientes para el tamaño de las piezas que se maquinarán en nuestro prototipo.

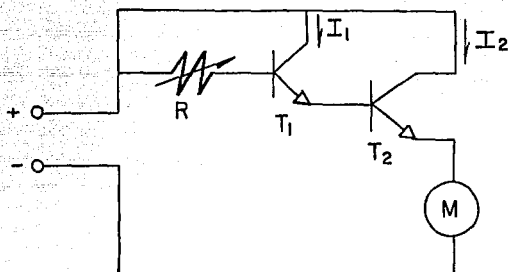
-EL CIRCUITO DE CONTROL DE VELOCIDAD PARA EL MOTOR DE LA BOMBA.

Para poder controlar la fuerza con que el dieléctrico incide sobre la zona de trabajo, se optó por regular la velocidad del motor de la bomba y de esta forma se controla el flujo o caudal de dieléctrico en nuestro sistema. Para tal efecto se elaboró un dispositivo electrónico que nos proporciona una señal de C.D. cuyo voltaje podemos variar hasta un máximo de 12 volts, valor con el cual el motor alcanza su máxima velocidad.

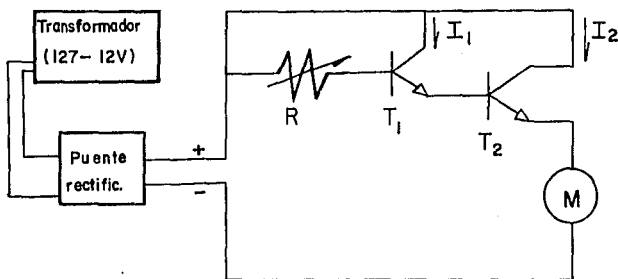
La configuración del circuito electrónico depende del tipo de motor que se vaya a controlar. El motor de la bomba que deseamos implementar en nuestro sistema es un motor tipo "shunt" o en derivación, es decir no es de campo permanente, por lo que debido a sus características, no es posible controlarlo por medio del colector de un transistor ya que el campo del motor no tiene una corriente estable y en el colector del transistor la corriente sí es constante por lo que si se conecta el motor de esta forma, la corriente del colector se la disputarían el campo y la armadura del motor y la velocidad de éste sería muy inestable. Por lo tanto, para tener una buena estabilidad y control en la velocidad del motor, se optó por utilizar un arreglo Darlington con dos transistores y colocar el motor en el emisor del segundo transistor para que el motor pudiera influir en la magnitud de la corriente de los transistores según sus requerimientos de

corriente.

Los transistores que se utilizaron fueron del tipo TIP-41C y el diagrama del arreglo Darlington es el siguiente:



El arreglo se puede conectar al mismo transformador 127-12 volts que se utilizó en el sistema de avance ya que la resistencia propia del motor es de aproximadamente 5Ω , por lo que no demandará una gran cantidad de corriente. Lógicamente entre el transformador y el arreglo debemos colocar un puente rectificador para obtener C.D. ya que el transformador nos entrega C.A. El diagrama completo del dispositivo quedó así:



Para determinar el valor máximo del potenciómetro R, se tomó la lectura de la corriente necesaria para que el motor inicie el movimiento, la cual fue de 300 mA, por lo tanto la corriente necesaria en la base del transistor es:

$$I_b = \frac{300 \text{ mA}}{50^2} \rightarrow I_b = 120 \mu\text{A.}$$

por lo que la $R_{\text{máx}}$ del potenciómetro R deberá ser:

$$R_{\text{máx}} = \frac{V_{\text{apl}}}{I_{\text{mín}}} \rightarrow R_{\text{máx}} = \frac{12 \text{ volts}}{120 \mu\text{A.}}$$

$$R_{\text{máx}} = 100 \text{ K}\Omega.$$

No es necesario proteger al potenciómetro ya que al igual que el arreglo del sistema de avance, la impedancia propia de los debanados del motor limitan la corriente de base del transistor, y por lo tanto no circula una corriente excesiva por el potenciómetro.

En cuanto a la potencia que tendrán que disipar los transistores, para el transistor 2 (T_2), la corriente máxima que podría circular por el sería cuando el motor se llegara a atorar o a sobrecargar y en este caso el arreglo tendría una caída de potencial del 50 % del voltaje aplicado idealmente, por lo que dicha corriente sería:

$$I_2 = \frac{V_{CE_2}}{R_{\text{motor}}} = \frac{6 \text{ volts}}{5 \Omega}$$

$$I_2 = 1.2 \text{ amp.}$$

y la potencia que tendría que disipar T_2 sería

$$P_2 = (V_{CE_2}) (I_2) = (6 \text{ v.}) (1.2 \text{ amp.})$$

$$P_2 = 7.2 \text{ watts.}$$

por lo que es necesario colocarle un disipador de calor (una barra de aluminio) a T_2 ya que el pequeño disipador de fábrica que posee no es suficiente para disipar esa potencia relativamente alta.

Por lo que respecta a T_1 , la corriente máxima que deberá soportar será 50 veces menor que la de T_2 (debido a que la ganancia β es de 50), por lo que:

$$I_1 = \frac{I_2}{\beta} = \frac{1.2 \text{ amp.}}{50}$$

$$I_1 = 24 \text{ mA.}$$

valor que multiplicado por la caída de voltaje nos da una potencia de:

$$P_1 = (V_{CE_1}) (I_1) = (6) (24 \times 10^{-3})$$

$$P_1 = 144 \text{ miliwatts.}$$

siendo suficiente el disipador de fábrica para esta potencia tan baja.

Los componentes del circuito de control de la bomba son:

- * (R) potenciómetro 100 K Ω
- * (Puente rectificador) 4 diodos IN-5406.
- * (T₁,T₂) 2 transistores TIP-41C.
- * Disipador de aluminio.
- * Conectores.

III.4.3. EVALUACION DE COSTOS PARA EL SISTEMA DE CIRCULACION DEL DIELECTRICO.

La siguiente tabla contiene una relación de todos los componentes del sistema de circulación del dieléctrico con los costos de cada uno de ellos y el costo total del sistema.

COMPONENTE	C O S T O	
	PESOS	DOLARES
Bomba con depósito de almac.	45 000	17.65
Filtro.	6 500	2.13
Válvula de paso.	8 000	2.58
3 mts. manguera plástico ³ / ₈ " ϕ .	3 000	1.07
Boquilla.	2 800	0.88
Lámina de acrílico (0.5 mts ²)	12 750	4.74
CIRCUITO DE CONTROL DE LA BOMBA.		
Diodos IN 5406 (4)	5 400	1.83
Potenciómetro 100 K Ω	6 350	2.19
Transistores TIP-41C. (2)	6 200	2.10
Disipador de aluminio.	1 500	0.53
Conectores. (2)	6 300	2.14
COSTO TOTAL DEL SISTEMA DE CIRCULACION DEL DIELECTRICO.	103 800	37.86

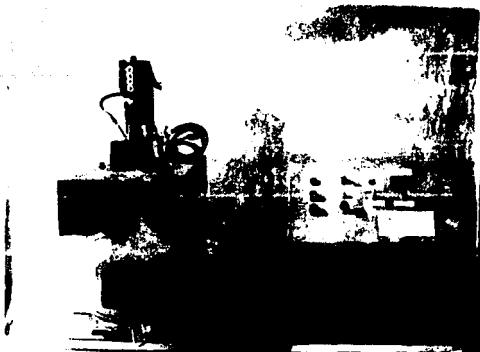
La información sobre proveedores y fabricantes de algunos de los componentes se localiza en los APENDICES B, C, D y E.

III.5. DESCRIPCION Y COSTO TOTAL DEL PROTOTIPO.

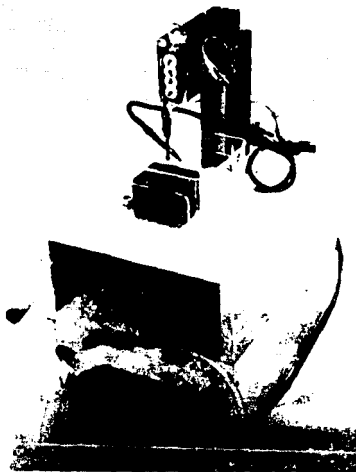
DESCRIPCION DEL PROTOTIPO.

Una vez elaborados y probados los sistemas que componen nuestro prototipo, se construyó una estructura apropiada en la cual se pudiera montar la parte electromecánica del sistema de avance del electrodo, el recipiente que deberá contener a la pieza de trabajo y al fluido dieléctrico, y donde se pudiera montar también la bomba de circulación del dieléctrico junto con su depósito. Asimismo se construyó un gabinete dentro del cual colocamos todos los circuitos electrónicos debidamente ordenados. En una de las caras de este gabinete se formó el tablero donde se colocaron los controles e indicadores de la unidad. (Este tablero se describe más adelante).

La siguiente fotografía nos muestra como quedó constituida en conjunto nuestra unidad-prototipo:



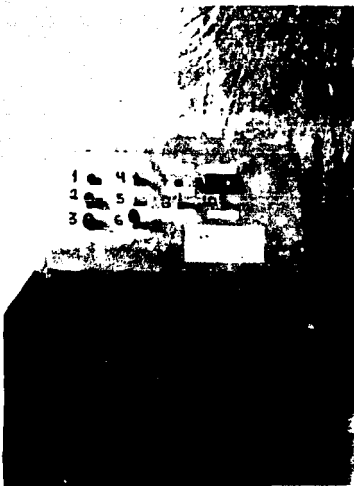
En esta fotografía se puede apreciar más detalladamente la parte de la unidad donde se colocó la base metálica que sostiene a la parte electromecánica del sistema de avance, (motor, tren de engranes y porta-electrodo), la tina de trabajo y el módulo de la bomba-depósito del dieléctrico.



También podemos observar el filtro que se colocó entre la tina de trabajo y el depósito de la bomba, y la boquilla que se utilizó para dirigir el flujo del dieléctrico en la zona de trabajo, así como los conectores que se emplearon para el motor del sistema de avance y para las terminales del sistema de descarga (ánodo y cátodo), que deben estar conectadas al electrodo y a la pieza de trabajo.

Los controles e indicadores del tablero de nuestra unidad se encuentran agrupados debajo del letrero que indica el sistema al que pertenecen.

Debido a que en la fotografía del tablero que aquí se muestra no se alcanzan a apreciar los letreros de los sistemas y de los elementos, hemos numerado en ella cada uno de los elementos para poder describir su función:



ENCENDIDO.

- 1 foco indicador
- 2 botón de encendido
- 3 fusible

AVANCE DEL ELECTRODO.

- 4 sentido
- 5 avance
- 6 velocidad

DESCARGA ELECTRICA.

- 7 diferencia de potencial
- 8 frecuencia

BOMBA DEL DIELECTRICO.

- 9 botón y foco de encendido
- 10 velocidad

En las siguientes fotografías se muestran dos aspectos de los circuitos de nuestro prototipo. En la del lado derecho se observa una vista de los circuitos de control del avance del electrodo y de la bomba del dieléctrico; y la de la parte inferior nos muestra el circuito de la fuente de alimentación antes de ser instalado dentro del gabinete.



COSTO TOTAL DEL PROTOTIPO.

Habiendo obtenido el costo de cada uno de los tres sistemas y de la fuente de alimentación que componen el prototipo, podemos determinar el costo total de éste sumando el costo de las cuatro partes más el de otros componentes que se utilizaron para integrar la unidad electro-erosionadora, como son el gabinete metálico, el interruptor general, etc.

SISTEMA O COMPONENTE	C O S T O	
	PESOS	DOLARES
FUENTE DE ALIMENTACION.	348 260	132.48
SIST. DE DESCARGA ELECTRICA.	88 900	32.79
SIST. DE AVANCE DEL ELECTRODO.	75 100	28.60
SIST. DE CIRC. DEL DIELECTRICO.	103 800	37.86
OTROS COMPONENTES		
Gabinete metálico.	78 000	25.58
Interruptor general.	6 500	2.10
Porta-fusible.	3 800	1.28
6 mts. cable (2 polos).	7 200	2.62
4 mts. alambre telef. (8 polos).	10 400	3.78
Rollo soldadura de estaño.	7 300	2.76
COSTO TOTAL DEL PROTOTIPO.	729 260	269.85

CAPITULO IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

IV.1. CONCLUSIONES.

IV.2. RECOMENDACIONES PARA POSIBLES MEJORAS Y MODIFICACIONES QUE SE LE PUEDEN REALIZAR AL PROTOTIPO.

IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

En este capítulo se hacen algunas consideraciones y conclusiones finales referentes a las actividades que se llevaron a cabo durante la realización del presente trabajo, desde la investigación bibliográfica hasta la elaboración física del prototipo, pasando por la etapa de diseño de éste. Además se proporcionan algunas recomendaciones acerca de posibles mejoras y modificaciones que se le pueden realizar al prototipo posteriormente.

IV.1. CONCLUSIONES.

Uno de los aspectos que implicaron mayor dificultad en el desarrollo del prototipo de la unidad de maquinado por descarga eléctrica (MDE) fue la obtención de información bibliográfica, ya que la existente resultó ser, además de muy escasa, demasiado elemental y superficial. Esta escasez de información se debe seguramente a que por ser el MDE un proceso de maquinado no-convencional, es decir de los más modernos y sofisticados actualmente, las compañías que fabrican este tipo de equipos no permiten que se publique información más completa que podría propiciar la fabricación de equipos semejantes sin la autorización debida.

Una vez que se analizó y ordenó la escasa información bibliográfica disponible, y en vista de que para iniciar el trabajo de diseño del prototipo era necesario disponer de explicaciones y datos más prácticos y precisos, se determinó que era necesario consultar otras posibles fuentes de información como revistas científicas, tesis profesionales, catálogos comerciales, manuales de operación de algunas máquinas de MDE comerciales, etc., fuentes en las que posiblemente se encontraría información más actualizada y completa. Y efectivamente fue de este tipo de documentos donde se obtuvo la mayor parte de la información que nos sirvió de apoyo para realizar el diseño de los diferentes sistemas que constituyen nuestro prototipo. Otra fuente importante de información fueron las aportaciones hechas por

técnicos que operan la unidad de MDE con que cuenta el Colegio Nacional de Educación Profesional Técnica (CONALEP) plantel Valle de Aragón, unidad a la cual se nos permitió el acceso e incluso realizar algunas pruebas y trabajos de electromaquinado.

Teniendo ya toda esta información se determinaron los diferentes sistemas que constituirían el prototipo y los requerimientos que tendrían que cubrir éstos para poder integrar una unidad funcional de MDE. Estas especificaciones o requerimientos de diseño no fueron fáciles de satisfacer debido a la complejidad y diversidad de conceptos teóricos y prácticos que serían necesarios aplicar en el diseño de los diferentes sistemas.

Este último punto fue otro factor que dificultó aún más el diseño del prototipo debido a que fue necesario solicitar la colaboración de personal de otras áreas diferentes a la ingeniería mecánica para que nos brindara asesoría principalmente en el diseño de los sistemas de generación de la descarga eléctrica y de control de avance de la herramienta.

Posteriormente, en otro apartado de este mismo capítulo donde se mencionan las posibles modificaciones y mejoras que se le pueden hacer al prototipo, se especifican las diferentes áreas de ingeniería de las cuales se requiere su colaboración para el diseño y perfeccionamiento de los diferentes sistemas que constituyen una unidad de MDE.

Esta necesidad de colaboración de diferentes áreas nos lleva a establecer que se requerirá implementar un plan interdisciplinario en la ENEP-Aragón, donde además se maneje un presupuesto oficial, para realizar el mencionado trabajo de mejora y perfeccionamiento del prototipo. Los detalles sobre el trabajo específico que deberá desarrollar cada una de estas áreas se darán en el siguiente apartado que trata de las recomendaciones para el mejoramiento del prototipo.

Por todo lo mencionado anteriormente, el presente trabajo de diseño y elaboración del prototipo de la unidad de MDE, debe representar la comprobación práctica de los principios de funcionamiento del proceso de electroerosión, así como también la comprobación de la validez de los circuitos y sistemas diseñados y

propuestos en este trabajo para la elaboración del prototipo. Asimismo establece bases sólidas para un posterior perfeccionamiento de todos los sistemas que constituyen la unidad, incluso se señala específica y concretamente los elementos, mecanismos, circuitos y sistemas que se han de modificar, sustituir o implementar así como el personal que deberá realizar cada una de estas actividades.

Debemos señalar también que no todos los casos en que no se utilizaron los elementos o sistemas más apropiados se debieron a la falta de capacidad o de personal adecuado, sino que en ocasiones hubo necesidad de realizar adaptaciones o sustituciones a causa de la falta de recursos económicos, como fue el caso del sistema de avance del porta-electrodo donde se tuvo que diseñar y utilizar un sistema manual electromecánico en lugar de uno automático accionado neumática o hidráulicamente, el cual nos hubiera proporcionado una mucho mayor estabilidad y un mayor control del proceso de electroerosión, pero que igualmente representaba un gasto varias veces mayor que el realizado para el sistema electromecánico manual.

Todos los términos y conceptos utilizados a lo largo de este trabajo han sido explicados y aclarados adecuadamente a fin de lograr una buena comprensión del diseño del prototipo, excepto en los casos en que se utilizan conceptos muy complejos y que no es necesario que se manejen para comprender el funcionamiento del prototipo. En estos casos se hace referencia a la bibliografía en que se puede consultar dicha información, tal es el caso de la explicación profunda y detallada de la constitución y funcionamiento de elementos electrónicos como son transistores, triac's, diodos, SCR's, etc.

Una conclusión importante una vez elaborado y probado el prototipo es referente a la viabilidad de fabricación y bajo costo de éste, ya que todas sus partes y elementos son relativamente de fácil adquisición en el mercado nacional, además de que el costo total del prototipo es mucho muy bajo comparado con los de máquinas comerciales de este tipo que se pueden adquirir en nuestro país, todas ellas de fabricación extranjera.

El costo total del prototipo ya se determinó en el capítulo anterior (apartado III.5.), y el de algunos equipos de electroerosión importados se pueden consultar en el APENDICE A.

Estos dos últimos aspectos, viabilidad de fabricación y bajo costo, aunados a los buenos resultados obtenidos en el funcionamiento y operación de nuestro prototipo, hacen surgir la posibilidad de que en la UNAM se fabriquen, con apoyo de alguna empresa privada, máquinas de este tipo que bien podrían ser utilizadas en talleres y pequeñas industrias que requieran de este especial método de maquinado de metales.

IV.II. RECOMENDACIONES PARA POSIBLES MEJORAS Y MODIFICACIONES QUE SE LE PUEDEN REALIZAR AL PROTOTIPO.

Los cambios y mejoras que requiere el prototipo para adquirir una mayor eficiencia y funcionalidad implican un gasto considerablemente mayor al que se realizó para la elaboración de esta primera etapa del desarrollo de la unidad de MDE. Además es necesaria la participación de personal del área de electrónica para hacer las modificaciones necesarias en el sistema de generación de la descarga eléctrica, así como para implementar un circuito electrónico de control para operar un sistema automático de avance del porta-electrodo. Debido a lo anterior consideramos necesaria la integración de un Programa Universitario Interdisciplinario el cual disponga de los recursos económicos necesarios mediante un presupuesto oficial asignado para el desarrollo de la unidad de MDE. Asimismo se recomienda que el equipo de trabajo que participe en este proyecto, rinda informes periódicamente sobre el avance del mismo para asegurar la continuidad y el adecuado desarrollo del proyecto.

La forma en que participarían las personas que integren dicho plan de trabajo podría ser como prestación del Servicio Social o bien que se elija como tema de tesis el perfeccionamiento de uno de los tres sistemas básicos que integran la unidad, basándose en el diseño que se realizó en el presente trabajo y en las sugerencias que a continuación se dan para cada

uno de los tres sistemas que componen el prototipo y para la fuente de alimentación que suministra la energía eléctrica que requieren dichos sistemas.

A) LA FUENTE DE ALIMENTACION.

Como ya se determinó anteriormente, la fuente de alimentación nos proporciona la energía eléctrica que requieren los sistemas de avance de la herramienta, de generación de la descarga eléctrica y de circulación del dieléctrico, por lo tanto las características de la fuente estarán determinadas por el tipo de corriente y por las magnitudes de los parámetros eléctricos necesarios para el funcionamiento de dichos sistemas. En vista de que se requiere una corriente eléctrica de determinadas características para hacer funcionar el motor del sistema de avance y otras de diferentes características tanto para el circuito del sistema de descarga como para el motor de la bomba de circulación del dieléctrico, el diseño de la fuente de alimentación dependerá del diseño de los tres sistemas mencionados. Lo que definitivamente sí es necesario es que la fuente de alimentación cuente con dispositivos e instrumentos de medición para controlar las magnitudes de la corriente que se suministra a cada sistema.

B) EL SISTEMA DE DESCARGA ELECTRICA.

Las modificaciones que se le tendrían que hacer a este sistema, consisten solamente en aumentar su capacidad, es decir que sea posible manejar voltajes e intensidades de corriente de mayor magnitud y frecuencias de corriente más altas que las manejadas con el sistema implementado en nuestro prototipo. Por lo que se refiere a los tiempos de pausa y de descarga, los rangos que nos proporciona el sistema de nuestro prototipo son los adecuados para una unidad de esta clase, por lo que en este aspecto no habría que realizar cambio alguno.

Es importante establecer que el sistema debe contar con controles e instrumentos de medición para poder regular las magnitudes de los parámetros eléctricos mencionados anteriormente.

Los rangos de valores que se recomiendan para las variables eléctricas que es necesario modificar son los siguientes:

Voltaje: 0 - 50 volts

Intensidad de la corriente: 0 - 25 amp.

Frecuencia de las descargas: 500 - 100 000 pulsos/seg.

C) EL SISTEMA DE AVANCE DEL ELECTRODO.

El sistema electromecánico accionado manualmente por el que tuvimos que optar para nuestro prototipo por falta de recursos económicos, presenta cierta imprecisión debido a que se trata de un mecanismo sin calibración de paso entre ruedas dentadas y en la transmisión del movimiento a la cremallera (porta-electrodo), por lo que dicho sistema deberá ser sustituido por otro que nos proporcione un mejor control del avance y por lo tanto una mayor estabilidad del proceso de electro-erosión. El sistema que se requiere implementar es un dispositivo que controle el avance en forma automática y sea accionado ya sea neumática o hidráulicamente.

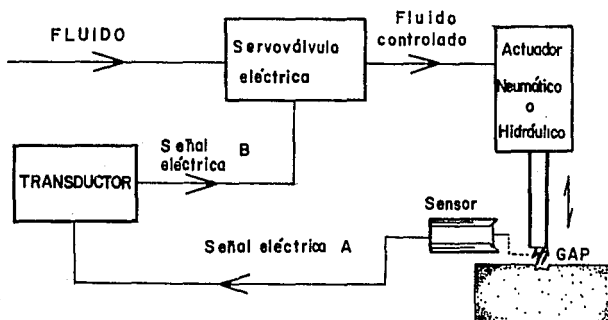


FIG. IV.1. Sistema automático de control de avance.

En forma somera podemos decir que un sistema automático de control de avance (FIG. IV.1.) funciona retroalimentando una señal eléctrica registrada en el GAP mediante un sensor, y dependiendo de la magnitud de dicha señal eléctrica será el avance del electrodo. Para lograr el avance automático del electrodo, la señal registrada es convertida mediante un transductor en otra señal eléctrica de determinadas características para que accione una servoválvula eléctrica que es la que controla el flujo de aire o de aceite que moverá al cilindro del actuador.

En los APENDICES B y D se localizan algunos fabricantes y proveedores de componentes para un sistema de este tipo.

D) EL SISTEMA DE CIRCULACION DEL DIELECTRICO.

Para una unidad de MDE de mayor capacidad que la que tiene nuestro prototipo, y en general para darle mayor eficiencia y funcionalidad al proceso de electroerosión, el sistema de circulación del dieléctrico deberá ser reformado por completo utilizando componentes de mayor calidad y mayor capacidad que los utilizados en el sistema de nuestro prototipo.

En general, podemos sugerir lo siguiente: utilizar una bomba de caudal variable con una capacidad de presión de hasta 60 lb/pulg² y con un motor de $\frac{1}{2}$ a $\frac{3}{4}$ H.P.; el filtro deberá tener una capacidad de filtración mínima de 7 micras; el sistema deberá contar con una válvula que controle la presión de incidencia del dieléctrico sobre el GAP en un rango de 0 - 60 lb/pulg² (0 - 2.4 kg./cm²), y deberá contar también con instrumentos de medición de presión y flujo de dieléctrico.

En los APENDICES B, C, D y E se pueden encontrar algunos distribuidores de bombas, filtros, válvulas, instrumentos de medición, tubería, conexiones, etc.

BIBLIOGRAFIA.

- 1 Membretti Gerolamo.
Máquinas-herramienta.
Ed. Gustavo Gili.
2ª edición. 1973.
- 2 Geoffrey Boothroyd.
Fund. del corte de metales
y de las máq.-herramienta.
Ed. Mc. Graw-Hill.
1975.
- 3 H.C. Kazanas.
Procesos básicos de manu-
factura.
Ed. Mc. Graw-Hill.
1ª impresión. 1987.
- 4 Hine Charles R.
Machine tools and processes
for engineers.
Ed. Robert E. Krieger
Publishing Company. 1982.
- 5 Ulrich Schaurer.
Ingeniería de manufactura.
Ed. CECSA.
1ª edición. 1984.
- 6 Manual de electroerosión.
METBA.
1982.
- 7 Amstlead B. H.
Procesos de manufactura.
Ed. CECSA.
2ª impresión. 1982.
- 8 Martínez F. José Antonio.
Proyecto de un curso de
electroerosión.
Tesis I.P.N.
1969.
- 9 Sears Francis W.
Electricidad y magnetismo.
Ed. Aguilar.
1987.
- 10 García Silva Jorge.
Electroerosión.
Tesis I.P.N.
1971.
- 11 Chernov N. N.
Máquinas-herramienta para
metales.
Ed. Mir. Moscú.
1974.
- 12 Levy Berman Alberto.
Análisis de maquinado por des-
cargas eléctricas en la manu-
factura de troqueles.
Tesis I.P.N. 1971.
- 13 De Garmo E. Paul.
Materials and processes in
manufacturing.
Third edition. 1979.
- 14 Hasbach Ruiz Guillermo.
Procesos de manufactura.
E.S.I.M.E.
4ª edición. 1973.
- 15 Kalpakjian S.
Mechanical processing of
materials.
D. Van Nostrand Company Inc.
1967.

A P E N D I C E S.

APENDICE A. Equipos de electroerosión. (Proveedores).

APENDICE B. Válvulas, tuberías, conexiones e instrumentos de medición y control. (Proveedores y tabla).

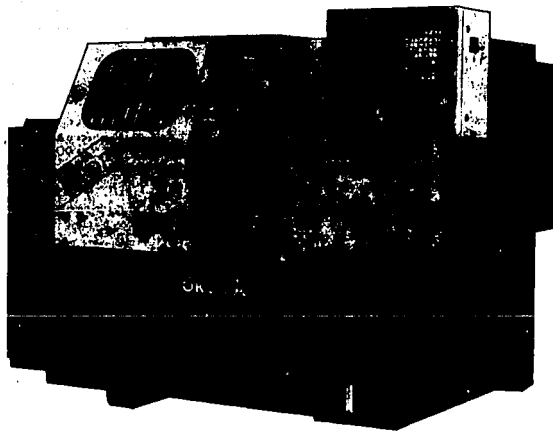
APENDICE C. Bombas y motores eléctricos. (Proveedores).

APENDICE D. Componentes electrónicos y eléctricos. (Proveedores).

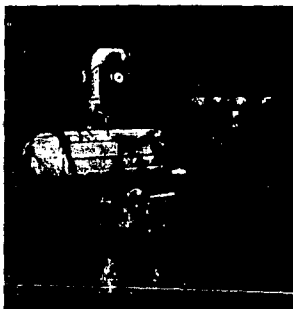
APENDICE E. Filtros. (Proveedores y tablas).

APENDICE F. Reseña de una solicitud de crédito bancario para la compra de un equipo de electroerosión CHARMILLES TECHNOLOGIES / ROBOFIL 400. (Beneficios, costo y catálogo.)

APENDICE A. Equipos de electroerosión.
(Proveedores).



MAQUINAS DE ELECTROEROSION QUITRAL

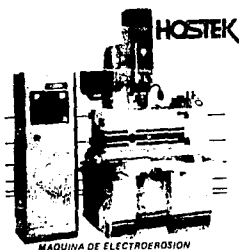


- Alta velocidad de erosión 6,8 mm³/min/A
- Sin desgaste de electrodo + 0,1%
- Sensillez de programación.
- Mesa cruz digitalizada, con resolución milesimal o centesimal.
- Avance husillo digitalizado con programación parada automática.
- Precisión 0,01 mm o 0,002 mm.
- Construida en fundición normalizada.
- Mandríl de diseño exclusivo.
- Altamente confiable, precisa y versátil.

e.e.
quitral

QUITRAL S.A.C.I.F.I.A.

Martin J. Haedo 3615 - Florida (1602)
Buenos Aires - Rep. Argentina
Teléfono: 760-3610/0920



MAQUINA DE ELECTROEROSION

MAQUINAS, ACCESORIOS Y HERRAMIENTAS
EN GENERAL, S. de R.L.

Cecamatrin 64 Col. Anahuac Tel. + 390-1843 FAX + 390-9262 + 390-1843

Electroerosionadora de 50 A

mecaniza piezas de 150 kg



Con mesa en cruz de superficie útil de 500 x 420 mm y carrera transversal (Y) de 200 mm, longitudinal (X) de 300 mm y carrera del husillo (Z) de 250 mm, la MN10 ofrece precisión de lectura de 0,01 mm. Usa electrodos con peso máximo de 40 kg, puede labrar piezas que tengan hasta 150 kg y opera mediante

servomecanismo con motor paso a paso. Tiene batea de 850 x 520 x 350 mm con capacidad para 400 litros de dieléctrico. dispone de unidad filtrante y requiere potencia de 0,8 kVA. Con potencia instalada de 2,4 kVA y medidas de 1.500 x 520 x 700 mm, puede ser equipada con lector de cotas digitales (XY e XYZ) y portaelectrodos intercambiables. CT Electromecánica S.R.L. El Cano 4025, (1427) Buenos Aires, Argentina.

Grafito

ELECTRÓDOS HORNIN, PLACAS BARRAS Y LAMINAS.

«**POCO GRAPHITE**»

NAT MAC S.A

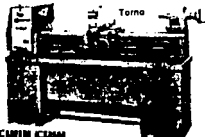
Dist. M.A. S. de R.L. - B. Aires - Tel. 373-4207

Tel. 373-4207 Fax 373-1752

Automat-

S.A. DE CV.

Todos nuestros Equipos son vendidos con Garantía, Servicio y Capacitación.

Equipo Especializado en Taller de Moldes y Troqueles**SINKU SHON**

EN MEXICO

Av. Tezozomoc 248 (antes 306-A) Col. San Pedro Xalpa

C.P. 02720, México, D.F.

Tels. 362-11-89 561-75-66 362-10-88

Telax 017-14-336 COS-MEX Fax 561-74-77



Fresadora

EN MONTERREY

Fax 58-90-80

Tel 42-32-80

Corta por
Alambre**JAPAX**

EN GUADALAJARA

Tel. y Fax 32-75-74



Electroerosión

CHMER

EN VERACRUZ

Tel 36-21-33

Fax 37-21-76

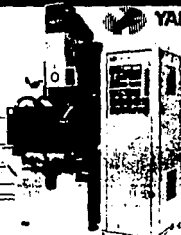
**HILO EROSION**
S.A. DE CV.
ESPECIALISTAS EN:
ELECTROEROSION


**TROQUELES Y MOLDES * MAQUILA
DE ELECTROEROSION Y GRABADOS**


16 de Septiembre No. 2 TEL: 3615 50
Col. El Mirador
Tlalneantla **TELS: 398 98 23 398-34-77**


YAMJET **MAQUINAS, ACCESORIOS Y HERRAMIENTAS
EN GENERAL, S. de R.L.**
Cacamaxtla 64 Col. Anahuac Tlal. • 398-1843 FAX • 398-2342 • 398-1843

- MAQUINAS DE ELECTROEROSION
- RECTIFICADORAS CILINDRICAS
- RECTIFICADORAS SIN CENTROS
- AFILADORAS UNIVERSALES
- FRESADORAS UNIVERSALES
- TORNOS PARALELOS


MAQUINA DE ELECTROEROSION


FRESADORA DE TORRETA


**RECTIFICADORA DE
SUPERFICIES PLANAS**


AFILADORA DE BARRAS GORTON



DANOBAT MEXICANA, S. A. DE C. V.
AUTOMATICHE SU PRODUCCION CON MAQUINAS DE CONTROL NUMERICO



TIPO CON CNC
PARA DECORTEZAR
MAS DANOBAT

- LA NOVEDAD DE MEXICO II
- REDUJCA SUS COSTOS DE FABRICACION CON DANOBAT
- HASTA 4 HERRAMIENTAS

- TRABAJANDO AL MISMO TIEMPO
- CARGA Y DESCARGA AUTOMATICA DE PIEZAS

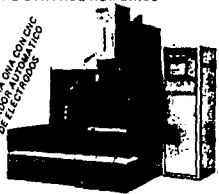
CONTAMOS CON SERVICIO DE INSTALACION, MANTENIMIENTO, Y ASESORIA PROPIOS.
NORTE 45 No. 805 A y B C.P. 02300 FAX 567-79 63
COL. INDUSTRIAL VALLEJO TELEFONO 587-02-81 (B7)



FRESADORA DE TORNETA
MAS LIGERA CON CNC

MOD 250

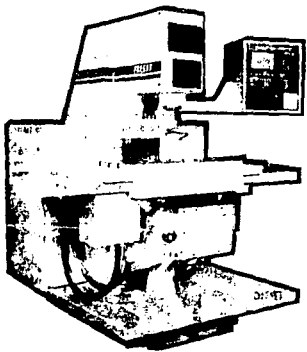
- PRECIO F.O.B. 25,750 D.L.L.S. —
- VEALA EN NUESTRAS INSTALACIONES
- ENTREGA INMEDIATA, SALVO VENTA
- FACILIDADES DE PAGO



FRESADORA OVA CON CNC
Y CAMBIO DE HERRAMIENTAS
AUTOMATIZADO

MOD IV 3.60 NOVAPROGRAM

- VEALA EN NUESTRAS INSTALACIONES
- ENTREGA INMEDIATA SALVO VENTA
- FACILIDADES DE PAGO



VEA NUESTRO

MAQUINARIA

MODERNAS

MAQUINARIAS

VEA NUESTRO

ELECTROEROSION
CORTE POR ALAMBRE



PROVEEDORA METALMECANICA S.A. DE C.V.
Via Dr. Gustavo Baz No. 281 B Tlalpan
Edo. de Mexico, Telex 1773361 PROVNE



La Solución
MODERNA Y EFICIENTE
PARA LA MANUFACTURA DE
TROQUELES • DADOS • MOLDES

AGIE

30 Años en el
Mercado Mexicano


ELECTROEROSION
POR PENETRACION




TEL.: 565-94-00
FAX.: 390-00-29

YAWJET MAQUINAS, ACCESORIOS Y HERRAMIENTAS EN GENERAL, S. de R. L.
 Caramalzen 64 Col. Anahuac. Tels. • 396-1843 FAX • 396-2242 • 396-1842

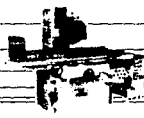
- MAQUINAS DE ELECTROEROSION
- RECTIFICADORAS CILINDRICAS
- RECTIFICADORAS SIN CENTROS
- AFILADORAS UNIVERSALES
- FRESADORAS UNIVERSALES
- TORNOS PARALELOS




MAQUINA DE ELECTROEROSION



FRESADORA DE TORRETA




RECTIFICADORA DE SUPERFICIES PLANAS




AFILADORA DE BARRAS GORTON

Automat SA DE CV
 Equipo Especializado en Taller de Moldes y Troqueles


Todos nuestros Equipos son vendidos con Garantía, Servicio y Capacitación.




Torno



Fresadora



Corte por Alambres



Electroerosionadora

SHIMADZU EN MEXICO
 Av. Tezozomoc 246 Llanes 306 Al Col. San Pedro Xalpa
 C. P. 02729, Mexico, D.F.
 Tels. 552 11 89 561 75 86 352 10 88
 Tels. 017-74-336 CGE MEX Fax 561 74 77

Hartford

JAPAX

CHMER

EN MONTERREY
 Fax 58 90 60
 Tel. 47 32 40

EN GUADALAJARA
 Tel. • Fax 32 75-14

EN TOLUCA
 Tel. 218 15

EN VERACRUZ
 Tel. 35 21 33
 Fax 37 21 75

DANOBAT MEXICANA, S. A. DE C. V.
 AUTOMATICHE SU PRODUCCION CON MAQUINAS DE CONTROL NUMERICO



TORNO CON CNC
 PARA TORNOS T24E
 M. DANOBAT



FRESADORA DE TORRETA
 M. Y LAGUN CON CNC



FRESADO ADDITIVO CON CNC
 CAMBIAHERRAS AUTOMATIZADO

• NOVEDAD DE MAY 2017
 • REFINA SU PRECISIÓN
 • FABRICA DE PIEZAS DANOBAT
 • HASTA 4000 HERRAMIENTAS

• TRABAJAN AL MÁXIMO TIEMPO
 • ARI 500 HERRAMIENTAS
 • AUTOMATIZADO 100%

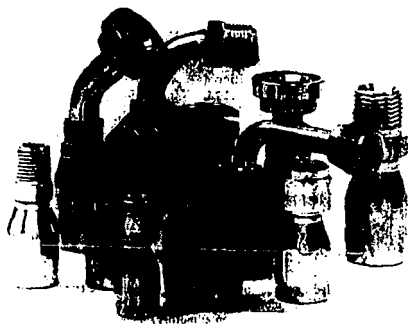
• COLOCAMOS EN SERVICIO DE INSTALACION Y MANTENIMIENTO Y ASESORIA TECNICA

NORTE 45 No 805 A y B C. P. 0.300 FAX 56 79 63
 COL INDUSTRIAL VALLEJO TELEFONO 587 00 81 824

• ENTREGA INMEDIATA
 • SALVOVENTA
 • FACILIDADES DE PAGO

• ENTREGA INMEDIATA
 • SALVOVENTA
 • FACILIDADES DE PAGO

APENDICE B. Válvulas, tuberías, conexiones e instrumentos de medición y control. (Proveedores y tabla).



preflera

Aeroquip

VALVULAS

VALVULAS DE BOLA



VALVULAS MANIFOLD



VALVULAS AGUJA



VALVULAS EN LATON (BRONCE), ACERO INOXIDABLE 316 Y ACERO CARBONO

CONEXIONES

CONEXIONES EN LATON, BRONCE, ACERO INOXIDABLE 316, ACERO CARBONO



TUBOS Y POLITUBOS

TUBOS DE POLIETILENO REPLEGABLES



TUBOS DE POLIETILENO

TUBOS DE NYLON 11



POLITUBOS CON TUBOS DE COBRE, POLIETILENO O NYLON 11

CONEXIONES INDUSTRIALES
CONEXIONES INDUSTRIALES Y MANIFIESTOS

Baraja
S.A. DE C.V.

VENTAS DE: VALVULAS DE BOLA, MANIFOLD, AGUJA, CONEXIONES EN LATON, BRONCE, ACERO INOXIDABLE 316, ACERO CARBONO, TUBOS DE POLIETILENO REPLEGABLES, TUBOS DE NYLON 11, POLITUBOS CON TUBOS DE COBRE, POLIETILENO O NYLON 11.

DIRECCION GENERAL: AV. INDUSTRIAL 100, PARRIS, D.F.

TEL. (055) 52 11 11

CONEXIONES INDUSTRIALES S.A. DE C.V. - C/ Mexico - C.P. 11000 Mexico D.F. - Distribuidores: C/ Mexico - C.P. 11000 Mexico D.F. - Tel. (055) 52 11 11



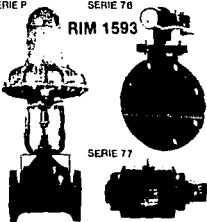




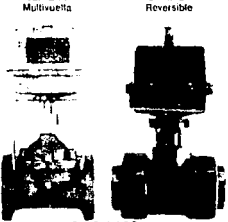
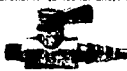




TORVIC

MANGUERAS
BOMBAQUETADIDAS

BAHIA DE BALLENA, N° 28
COL. ANZURES,
MEXICO 11300, D.F.

203-4940 • 203-4959
203-7274 y 203-7460
Fax. 203-5517
77976 TORVIC

VALVULAS TERMOPLASTICAS

VÁLVULA DE BOLA (JUNTA HERMÉTICA)	VÁLVULA DE DIAFRAGMA	ACCIONADORES NEUMÁTICOS	
<p>Tamaño: ½" hasta 4"</p> <p>PVC CPVC PVDF</p>  <p>RIM 1591</p>	<p>Tamaño: ½" hasta 10"</p> <p>PVC CPVC PPG PVDF</p>  <p>RIM 1592</p> <p>Diafragmas de diversos elastómeros</p>	<p>SERIE P SERIE 76</p>  <p>RIM 1593</p> <p>SERIE 77</p> <p>Serie P: Utilizado en las Válvulas de Diafragma Serie 76: Utilizado en Válvulas de Bola, Válvulas de Mariposa Serie 77: Utilizado en Válvulas de Bola de tamaños mayores, en Válvulas de Mariposa y con los posicionadores</p>	
VÁLVULA DE BOLA TRIDIRECCIONAL	VÁLVULA DE RETENCIÓN		
<p>Tamaño: ½" hasta 4"</p> <p>PVC CPVC PVDF</p>  <p>RIM 1594</p>	<p>Tamaño: ½" hasta 8"</p> <p>PVC PP PVDF</p>  <p>RIM 1595</p> <p>*Con charnela horizontal</p>	<p>ACCIONADORES ELÉCTRICOS</p>	
VÁLVULA DE BOLA GLOBO	VÁLVULA DE MARIPOSA		
<p>Tamaño: ½" hasta 2"</p> <p>PVC CPVC</p>  <p>RIM 1596</p>	<p>Tamaño: 2" hasta 24"</p> <p>PVC PP PVDF</p>  <p>RIM 1597</p>	<p>SERIE 87 Multivuelta SERIE 87 Reversible</p>  <p>RIM 1600</p> <p>Serie 87 (Multivuelta): Utilizado en las Válvulas de compuerta, válvulas de diafragma Serie 87 (Reversible): Utilizado en Válvulas de Bola, Válvulas de Mariposa</p>	
ORIFIO DE LABORATORIO	VÁLVULA DE COMPUERTA		
<p>Tamaño: ½" (único tamaño) PVC</p>  <p>Hilo Macho x Manguera (mostrado) Hilo Macho x Hilo Macho Hilo Hembra x Hilo Hembra Manguera x Manguera</p> <p>RIM 1598</p>	<p>Tamaño: 1½" hasta 14"</p> <p>PVC</p>  <p>RIM 1599</p>	<p>ELECTROMNI™ Válvula de bola OMNI con accionador Eléctrico</p>	
VÁLVULA DE RETENCIÓN POR BOLA	VÁLVULA DE GLOBO		
<p>Tamaño: ½" hasta 4"</p> <p>PVC CPVC PVDF</p>  <p>RIM 1601</p>	<p>Tamaño: ½" hasta 4"</p> <p>PVC PP</p>  <p>RIM 1602</p>	<p>Tamaño: ½" hasta 2"</p> <p>PVC CPVC</p>  <p>RIM 1603</p>	



REPRESENTANTES
EN MEXICO:

novatec SAN ANTONIO 105 COL. STA MARIA 84650 MONTERREY, N.L. TELS. 33 31-35 / 33 31-95 / 48-77-31 FAX 335044



**INDUSTRIAL
KNEELAND
S. de C.V.**

MANGUERAS Y CONEXIONES

SOMOS EL DISTRIBUIDOR
AUTORIZADO MAS
GRANDE Y MEJOR
SURTIDO EN:

Aeroquip

- MANGUERAS CON CONEXIONES REUTILIZABLES
- MANGUERAS CON CONEXIONES PERMANENTES
- ADAPTADORES DE LATON
- TUBERIA PLASTICA OT 240 DE POLIETILENO
- COPLES Y CONECTORES

Aplicaciones

- Líneas hidráulicas para Alta Presión
- Servicio en Minas
- Succión y Descarga
- Manejo y Despacho de Gas LP
- Líneas de Vapor Saturado
- Sistemas de Aire y Agua
- Equipos para Pintura
- Sistemas Hidráulicos y Neumáticos



ADEMAS RECUERDE QUE EN INDUSTRIAL KNEELAND USTED ENCUENTRA LOS MEJORES EQUIPOS Y HERRAMIENTAS PARA EL MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

ARO

- HERRAMIENTA NEUMÁTICA, POLIPASTOS, BOMBAS DE LUBRICACION, DE PISTON Y DE DIAFRAGMA
- EQUIPO DE PINTURA, CARRETES DE LUBRICACION
- FILTROS Y LUBRICADORES
- PRENSAS, PLUMAS, GATOS DE PATIN
- COMPRESORES DE AIRE DE 0.75 HP A 20 HP
- LAVADORAS DE AGUA CALIENTE Y FRIA
- TALADROS Y TORNILLOS DE BANCO
- GATOS DE ESCALERA Y TORNILLO
- EQUIPOS DE LIMPIEZA A BASE DE CHORRO DE ARENA

YALE/ENDORALMET

INFRA-MILLER

GARDNER DENVER

DWATONNA/POWER TEAM

BLACKHAWK/ENERPAC

UNIVERSAL ELECTRIC

-EQUIPO DE LEVANTE, MANUALES,

ELECTRICOS Y TROLES

-EQUIPOS DE CORTE Y SOLDADURA

AUTOGENA Y ELECTRICA

-COMPRESORES INDUSTRIALES DE

TORNILLO

-BOMBAS, CILINDROS, EXTRACTORES

HIDRÁULICOS Y MANUALES

-GATOS HIDRÁULICOS, BOMBAS, CILINDROS

HIDRÁULICOS Y MANUALES

-ESMERILES Y PULIDORES

ERKCO

ABAC

MIRAGE

VIMALERT

SIMPLEX

VACU-BLAST

SUC. TLALNEPANTLA Y OFS. ORALE. 3982780/7158 FAX 360-3923

SUCURSAL MARIQUA 531-1214 264-0667

SUCURSAL PLUSMEX 48-82 94 48-26 99

SUCURSAL SAN LUIS POTOSI. 438-41 438-47

SUCURSAL GUADALAJARA 80-27 47 90-28 76

SUCURSAL MONTERREY 74-31 90 75-82 28

SUCURSAL TORREON 7-70 10 7-76 20

SUCURSAL VILLAHERMOSA 3 96-27/28 FAX 29632

GRUPO KNEELAND



EFLU S.A. de C.V.
ELEMENTOS PARA FLUIDOS
Representante exclusivo de: VOSS ALEMANIA

SUMINISTRAMOS. Tubería y conexiones para baja y alta presión milimétrica y standar, tubing de acero al carbón sin costura y acero inoxidable, soportería de acero y poliuretano, válvulas de baja y alta presión roscadas y para bloqueo de aguja y esfera, mangueras y cabezas de botaaje recuperables.

Río Jimape 4324
Frec. Villa Carmel
Tel. 45-39 06
Tlx. 178410 FICEME
72540 Puebla, Pue.

ESTACION
Calle Tepic Oriente
No. 318 2o. piso Dept. B
Monterrey, N.L.
Tel. 75-77-67

GRAF
Monclova,
Coahuila.
Tel. 321-378

preferia
Aeroquip

CONSULTENOS
Aeroquip Mexicana, S.A. de C.V.
Ingenieros Militares 105, 1er piso
11200 México, D.F.
Tel: 557-97-88 con 8 líneas

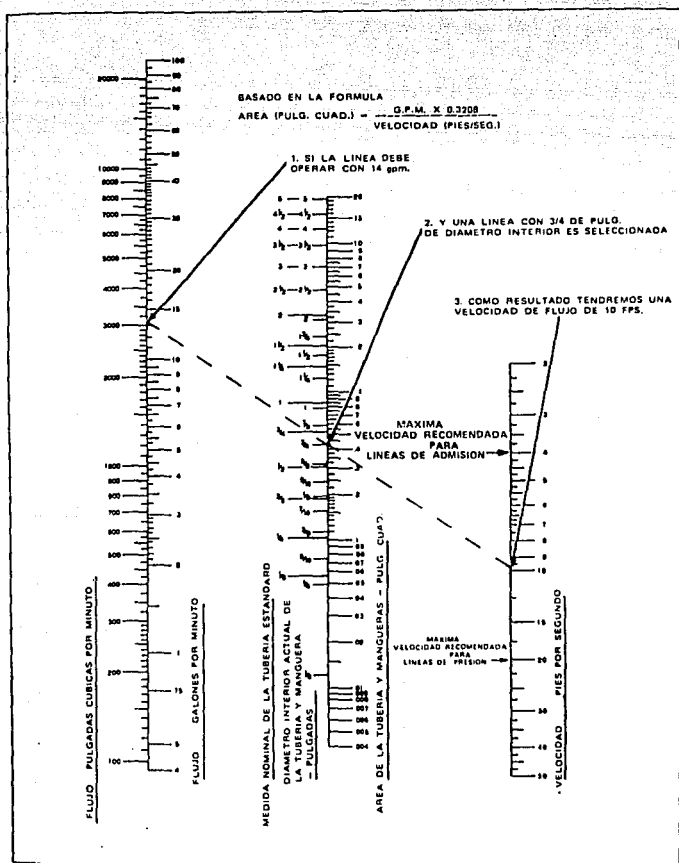
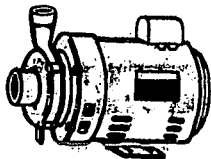


Figura 4-8. Tabla para Seleccionar el Diámetro Interior de Tubería Hidráulica.

APENDICE C. Bombas y motores eléctricos.
(Proveedores).





El mejor precio y
la mejor calidad

De \$194,350 a
1/4 H.P. \$175,000

De \$235,000 a
1/2 H.P. \$225,000

Hasta agotar existencias

GASOLINA 2x24 H.P. De \$1308,500 a \$950,000

IVA incluido **DESCUENTOS A MAYORISTAS**

Mariano Escobedo 47, Col. Tacuba Calz. de Guadalupe 29
390-34-27 398-35-27 (Glorieta Paratuvillo)
390-83-99 390-85-05 328-87-71 329-21-84
FAX 399-43-37 Director General: Rogelio Cerro

VENDO
MOTORES ELECTRICOS
Usados

Desde 1 H.P.
Hasta 300 H.P.
PREGUNTE POR
EL PRECIO!



Talleres Ceylan 1100 368-6164
Av. Chayun No. 1100
México, D.F. 02300 Fax 587-2240



CASA GARCIA GUTIERREZ, S.A.
MOTORREDUCTORES + RETENES + FERRERIA EN
GENERAL Y REPARACIONES INDUSTRIALES



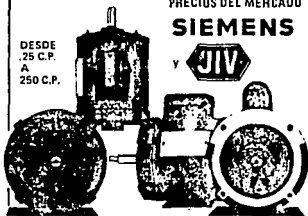
PRESENTA NUESTRA NUEVA LINEA DE:

**MOTORES Y MOTORREDUCTORES
BOMBAS DE AGUA**

— CALIDAD GARANTIZADA A LOS MEJORES
PRECIOS DEL MERCADO

SIEMENS

DESDE
.25 C.P.
A
250 C.P.

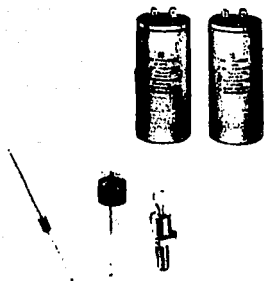


ENTREGA INMEDIATA

PEDIDOS A TODA LA REPUBLICA

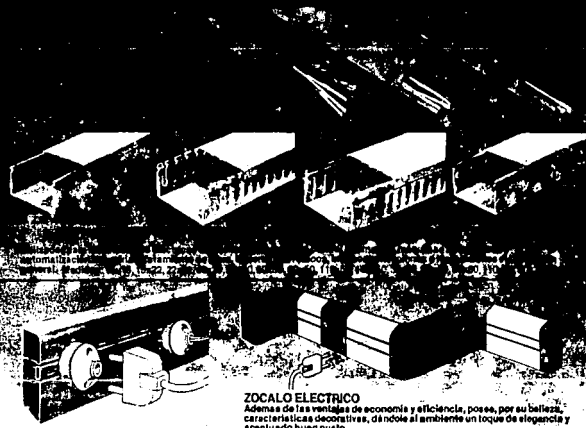
TELS.: 537-02-49 537-23-64 759-06-30
537-89-38 537-87-19
FAX: 517-60-25

APENDICE D. Componentes electrónicos y eléctricos. (Proveedores).



Dutoplast®

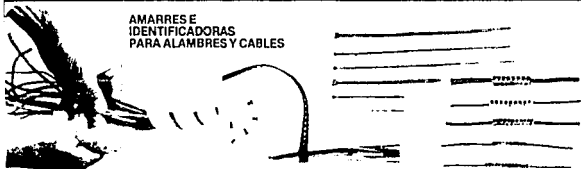
Presente en todos los proyectos



ZOCALO ELECTRICO

Además de las ventajas de economía y eficiencia, posee, por su belleza, características decorativas, dándole al ambiente un toque de elegancia y acentuado buen gusto.

AMARRES E IDENTIFICADORAS PARA ALAMBRES Y CABLES



DUTOPLAST INDÚSTRIA E COMÉRCIO LTDA.



Rua São Teodoro, 900 - Vila Carmosina - Itaquera - CEP 08200 - Caixa Postal 259 - Itaquera
Telefones (011) 205-6573 - 205-8312 - 205-8379 - 205-6073 - 205-8596
Telex (011) 35351 CUTO BR - São Paulo - SP - Brasil

ACEPTAMOS REPRESENTANTES

LA MAQUINARIA

lo más avanzado en equipos de protección y control eléctrico

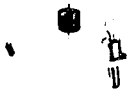
FPE FEDERAL PACIFIC

AVENIDA DE LOS ESTADOS UNIDOS 21706
 C.P. 06050 MEXICO, D.F. TEL. 52 55 261 1000 1001 Y 1002
 FAX 52 55 2770961 FAX 00126

ESTAMOS INTRODUCIENDO UN NUEVO DIODO (FIGURA DEL CENTRO) PARA USO GENERAL EN UN MODELO SIMPLIFICADO Y DE MENOR PRECIO.

NEI-9079

Se trata de un desarrollo de la WESTINGHOUSE de tipo axial con capacidad de 5 amperios y en diferentes modelos convencionales, también mostrados.



Para mayores detalles de aplicación, entrega y precios, envíese el siguiente

CAPACITORES CON DIELECTRICO PLASTICO AUTORREGENERATIVO
 Westinghouse do Brasil S.A., ofrece una línea completa de capacitores de polipropileno metalizado, con mínimo peso y volumen para aplicaciones múltiples en C.A. y de alta calidad.



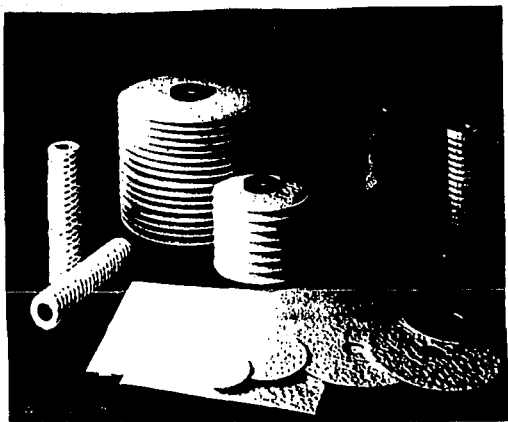
NEI-9080

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS






- Tolerancia capacitiva: ± 10%
- Frecuencia: 50 - 60 Hz
- Resistencia equivalente: 10000 M Ω uF
- Pérdidas: 0.3%
- Temperatura de operación: - 25 + 85 °C
- Voltaje de prueba C.A. 250V
- Voltaje nominal: 250 330 390 Vn
- Caja: aluminio

Westinghouse do Brasil S.A.
 DIVISION EL-CON
 Cep. 13100 - Campinas - SP Brasil
 C.P. 1661
 Tel. (55) (192) 41-8333
 Télex (0191) 1814 ELCO

APENDICE E. Filtros.
(Proveedores y tablas).

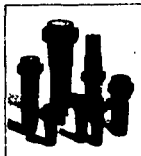


FILTROS INDUSTRIALES

<p>Filtros Cartucho Resinados</p> 	<p>Recuperadora de Aceite</p> 	<p>Estuche para Análisis de Aceite</p> 
<p>Filtro Prensa</p> 	<p>Filtro de Agua</p> 	<p>Filtros por Vacío</p> 

PETRO REFINO VENTAS Y ASISTENCIA TÉCNICA
 Rueda 13 de Mayo, 450 - Tel: (011) 913-4077
 LA MARCA DEL AHORRO. Tele: 1161406 - CEP 07070 - São Paulo - Brasil

FILTROS



LIDERES EN FILTROS PARA TODAS LAS APLICACIONES

- * Tipo Canastas con Bolsas Filtrantes
- * Aire Comprimido
- * Acero Inoxidable Poroso
- * Collectores de Polvo de Mangas
- * Cartuchos Filtrantes
- * Filtros Tipo Paneles Para Aire Acondicionado
- * Filtros de Gas Natural
- * Filtros de Aceite
- * Filtros de Vapor
- * Unidades Respiratorias
- * Separadores de Aire/Aceite

ASESIM S.A. DE C.V.

Pedro Luis Opatón 85 P.B. - San Ángel - 01000 México, D.F.
 Tel: 548-11-23 Telex: 17643M1 ASESM E.P. 20-598

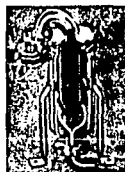
FILTROS?
 NOS ESPECIALIZAMOS EN TODOS TIPOS PARA TODAS LAS INDUSTRIAS



* Acero Inoxidable
 * Filtros y Mallas
 * Filtros de Carbón
 * Filtros de Polvo
 * Filtros de Aceite
 * Filtros de Vapor
 * Filtros de Gas Natural
 * Filtros de Aire Acondicionado
 * Filtros de Agua
 * Filtros de Vacío
 * Filtros de Prensa
 * Filtros de Cartucho Resinados

DR. NICK HULLER - DOLLINGER - GAF
AGRESIM, S.A. DE C.V.
 Rueda 13 de Mayo, 450 - San Ángel - 01000 México, D.F.
 Tel: 548-11-23 Telex: 17643M1 ASESM E.P. 20-598

Filtro bolsa
 trata hasta 72 m³/hora



En nylon, rayón, viscosa, lana, polipropileno y nmo, de acuerdo con la compatibilidad termoquímica de la bolsa y el producto a ser tratado, el filtro calibrado GAF modelo RB 2A a RB 2A.III está disponible con porosidades de 1 a 800 micrones. Aplicado en el filtrado de tintas, pinturas, aceites de petróleo, refrigerantes, solventes, resinas, lacas, adhesivos o agua, procesa un caudal máximo de 36 a 72 m³/hora a 1 up y presión máxima de operación y diferencial de 10,5 kg/cm². Se provee con carcasas de 1 a 420.000 litros/hora de acero al carbono o inoxidable AISI 304 ó 316 y dispone de canasto interno de malla y brida de acero inoxidable y conexiones de 2 1/2". Meipor. Florencio Varela 153, (1603) Villa Martelli, Pcia. de Buenos Aires, Argentina.

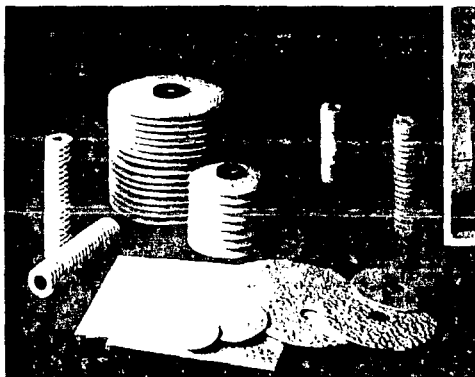
FILTROS

- DE CARTUCHO
- DE ARENA
- DE CARBÓN ACTIVADO
- TRATAMIENTO DE AGUA

754-44-04 754-71-33 586-92-88

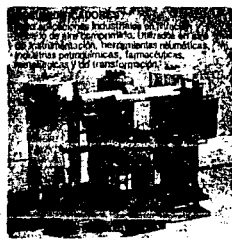


AYTEC DE MEXICO, S.A. DE C.V.
 Salaverry 1020 Col. Lindaviva C.P. 07300



ZETA PLUS

Libre de asbestos. Compuesto de fibras de celulosa y fibra sintética clarificante. Combina la filtración mecánica con la adsorción de contaminantes por efecto electrostático. Adecuado para aguas de tratamiento de 20 a 0,05 millones. Para mod. cemento, aluminio, bebidas, farmacia, etc. E. T. 100 y 1000 mm. 100 y 200 micras.



FILTROS CESTOS

Para remoción de detritos y partículas sólidas en la filtración inicial de flujos. Ofrecidos en dos modelos Simplex y Z.



Cambie su problema de filtración por una de estas soluciones AMF Cuno.

Encuentre una solución superior para su problema de filtración industrial, consultando el Departamento Técnico de la AMF Cuno, para decidir sobre el medio filtrante más económico y adecuado para su proceso específico.

Y cuente con la precisión y seguridad que la tecnología internacional AMF Cuno puede garantizar.

AMF

Cuno

AMF DO BRASIL S.A.

R. Juv. 1342 - 117 andar - Cuno 11
 Tel. 464.4290 - 464.1200 - 464.1201
 Telex 311121 - 311122 - 311123

TURNO KLEAN

Para filtración de óleos, lubricantes, pinturas, fluidos hidráulicos, resinas, detergentes, solventes, ceras parafinadas y adhesivos. Con sistema de limpieza automática.



CUNO-FLO

Para filtración de agua de refrigeración en grandes cantidades, en usinas, fábricas, hidroeléctricas o aeródromos. Con sistema de limpieza automática. 100 y 200 micras.

Representantes y Distribuidores locales:

COSARI S.A.I.C.

Fraga 973
 Telefonos: (00541) 551 4671 - 58 94414091
 Telex: (031) 9000 BOOTH A AR
 1427 - Buenos Aires - Argentina

BONE REPRESENTACIONES

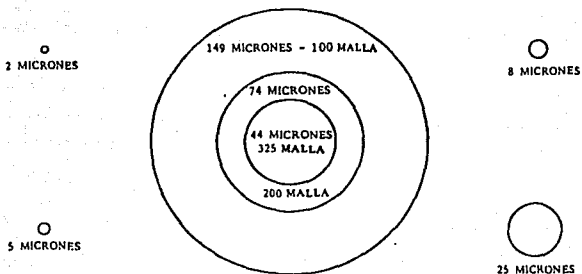
Huérfanos 1294 - Oficinas 41 y 42
 Telefono: (00562) 44 559
 Telex: SGO 1408BONE
 Santiago Chile

GROCAN LTDA.

Paysandu 1272 - Casilla de Correo 825
 Telefono: 91-6149
 Montevideo, Uruguay

TAMAÑO RELATIVO DE LAS PARTICULAS EN MICRONES

AMPLIFICADO 500 VECES



TAMAÑO RELATIVO

LIMITE INFERIOR DE VISIBILIDAD (CON LA VISTA)	40 MICRONES
GLOBULOS DE SANGRE BLANCOS	25 MICRONES
GLOBULOS ROJOS DE SANGRE	8 MICRONES
BACTERIAS (COCCI)	2 MICRONES

EQUIVALENTES LINEALES

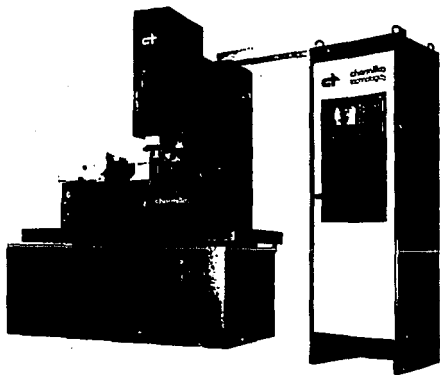
1 PULGADA	25.4 MILIMETROS	25,400 MICRONES
1 MILIMETRO	.0394 PULGADAS	1,000 MICRONES
1 MICRON	25,400 DE UNA PULGADA	.001 MILIMETROS
1 MICRON	3.94×10^{-5}	.000039 PULGADAS

TAMAÑOS DE LA MALLA

MALLAS POR PULGADA LINEAL	U. S. MALLA No.	ABERTURA EN PULGADAS	ABERTURA EN MICRONES
52.36	50	.0117	297
72.45	70	.0083	210
101.01	100	.0059	149
142.86	140	.0041	105
200.00	200	.0029	74
270.26	270	.0021	53
323.00	325	.0017	44
		.00039	10
		.000019	.5

APENDICE F. Reseña de una solicitud de crédito bancario para la compra de un equipo de electroerosión CHARMILLES TECHNOLOGIES / ROBOFIL 400.

(Beneficios, costo y catálogo.)





FRICCIONES TECNICAS Y MAQUINADOS, S. A. de C. V.

CALLE VENUSTIANO CARRANZA MANZANA 9 LOTE 83
991-08-21 991-88-48 COL. STA. MA. AZTAVUACAN APDO. POSTAL 92-109
FAX. 993-29-27 993-39-76 06500 MEXICO, D. F. 06500

ENERO 23, 1991.

MULTIBANCO COMERMEX, S.N.C.
Sucursal Taxqueña,

AT'N. : LIC. OSCAR VAZQUEZ KERN.
Ejecutivo de Cuenta Banca Empresarial.

En relación al Crédito Comercial de Importación, a continuación le indico las condiciones en las cuales se deberá solicitar " Cotización " por medio del - Banco de Comercio Exterior.

El Crédito a que se refiere nuestra solicitud, es la compra de una Máquina - Electroerocionadora, teniendo como objetivo :

- Contar con capacidad propia para la fabricación de Moldes y Troqueles, evitando la necesidad de recurrir a Talleres Mecánicos Nacionales ó Extranjeros.
- Reducción de costos (Moldes y Troqueles).
- Reducción de Tiempo en su elaboración.
- Reducción de Mano de Obra Especializada.
- Mejora constante del producto terminado.
- Con la integración de este equipo a la Empresa nos proporcionará un avance considerable a nuestros programas de expansión a la producción de las Exportaciones en el presente ejercicio.

El costo de este equipo es de U\$ 275,505.00 DLS. U.S.C.Y. y se compone - como sigue :

- Equipo Electroerocionador Robofil 400.	\$	214,000.00	DLS.	U.S.C.Y.
ACCESORIOS				
- Corte Rápido	\$	15,000.00	"	"
- Dispositivo P/sujetar carrete de 16 Kg.	\$	9,225.00	"	"
- Regulación del Desionizado	\$	3,710.00	"	"

ROBOFIL · ROBOFORM

EDM wire cutting and die sinking
machining centers



CHARMILLES TECHNOLOGIES



The answer to your expectations...

CHARMILLES TECHNOLOGIES:
you have made it a leader for more than 30 years.

1955: First industrial EDM commercially sold.

1957: First specialized tooling system for EDM (magnetic electrode holder, Patent No. CH 333 269).

1959: First pulse generator with a completely transistorized control system (Patent No. CH 414 034).

1964: First generator with ISO-energetic pulses - ISOPULSE (Patent No. CH 407 362).

1968: First EDM production machine for die-sinking (Patent No. CH 522 466).

1971: First step towards automatic EDM centers - the MONITRON (Patents Nos. CH 529 607/8/9).

1973: First high-precision wire machine (F40) with submerged machining and zero operating voltage (Patent No. CH 569 545).

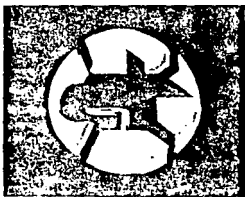
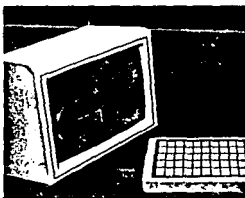
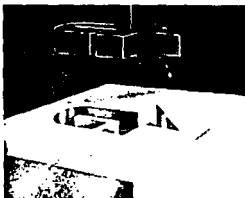
1976: First machine with ISOCUT machining head permitting servo-controlled three-dimensional motions (Patents Nos. CH 588 917, 596 937).

1978: First wire specially designed to be used for machining on a wire machine (SW25, Patents Nos. CH 620 621/22).

1980: First high-performance automatic wire threading system (Jet set, Patent No. CH 646 356).

1984: First module for wire and die-sinking EDM machines based on the same design.

The above list represents only a fraction of the advantages that CHARMILLES TECHNOLOGIES has provided and is still providing for the users of EDM.



Roboform

This die sinking EDM center expands your applications field to the finest surface finishes and to the most intricate shapes.

Robofil

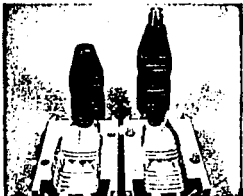
With 5 servo-controlled axes this wire cutting EDM center is designed for machining molds, dies and electrodes without supervision.

Software

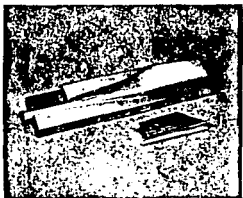
Robofil's and Roboform's dedicated software can be used with many different programming systems. In addition, Robofil and Roboform are easily programmed in other languages.

Auxiliary equipment

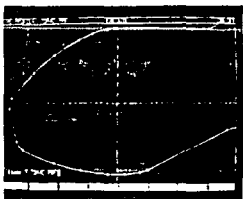
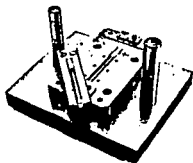
Special tooling, software and pallet systems promote the optimum integration of the machines in your workshops.



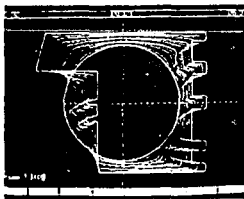
**Your die sinking
application**



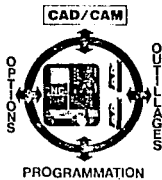
**Your wire cutting
application**

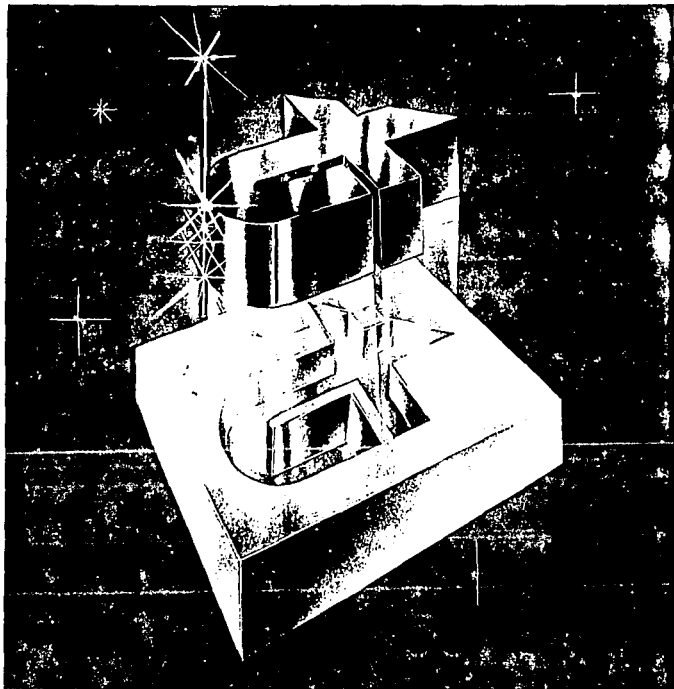


**Your software
application**



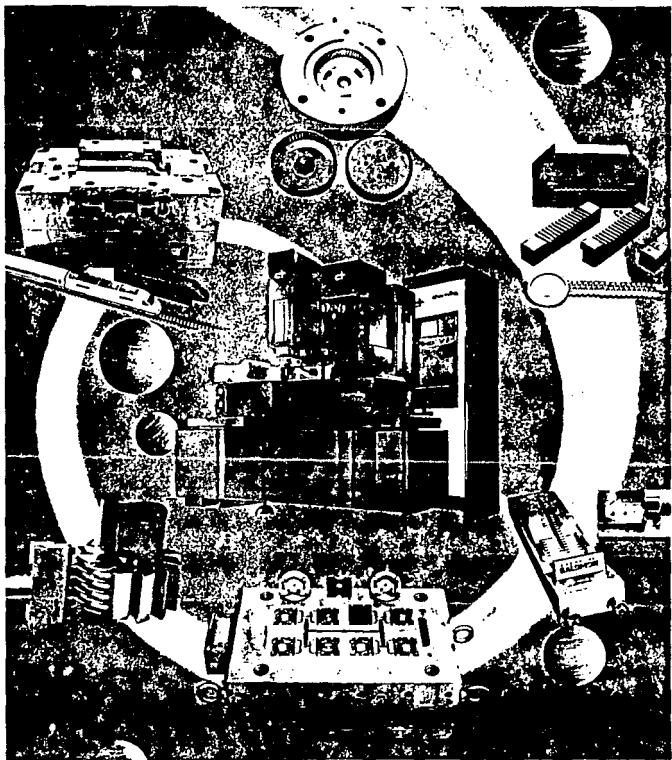
Optional equipment





**A broad range of EDM wire cutting and die sinking machining centers.
Robofil and Roboform bring automation to the tool-room and production floor.
Robofil and Roboform are designed to be operated as independent machining centers and a fully integrated EDM system.**

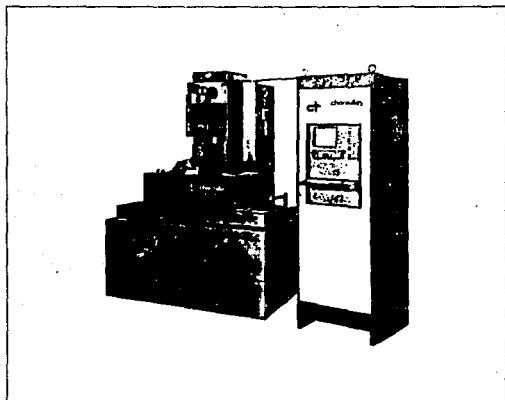
ROBOFIL • ROBOFORM



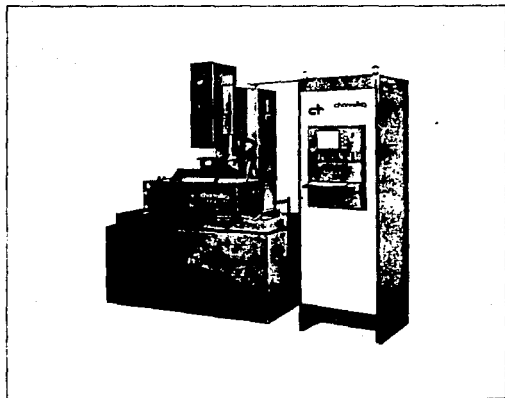
A unique system for the manufacture
of your tooling.

ROBOFIL • ROBOFORM

Robofil 100
EDM wire cutting
machining center

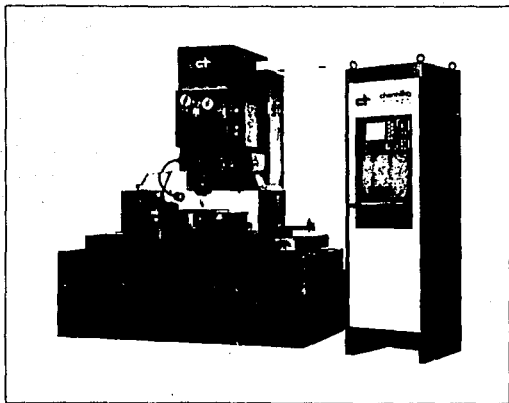


Roboform 100
EDM die sinking
machining center

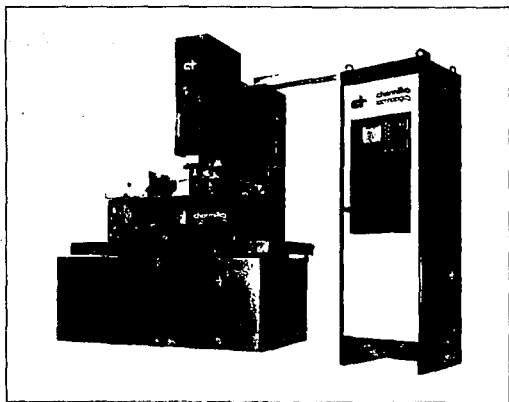


1 concept • 2 types • 3 sizes

ROBOFIL • ROBOFORM



Robofil 200
EDM wire cutting
machining center

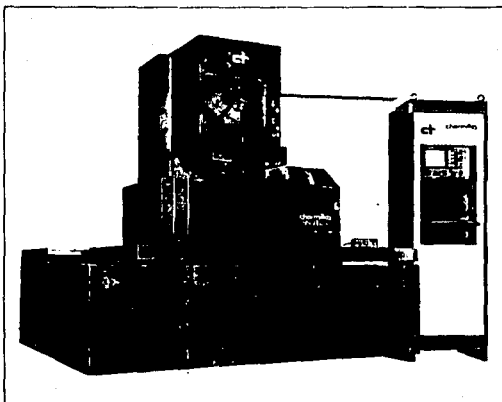


Roboform 200
EDM die sinking
machining center

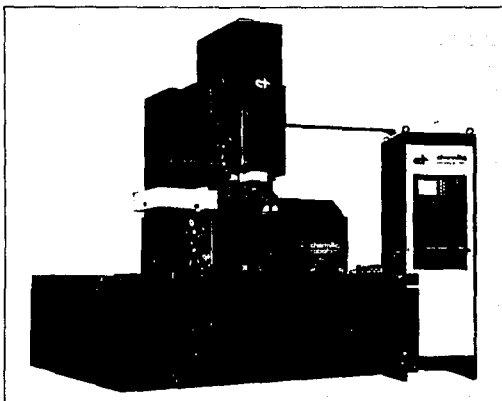
1 concept • 2 types • 3 sizes

ROBOFIL • ROBOFORM

Robofil 400
EDM wire cutting
machining center



Roboform 400
EDM die sinking
machining center



1 concept • 2 types • 3 sizes



6 major advantages of Robofil and Roboform

- + fully automatic:**
Positioning and switching of parts and electrodes, wire threading, programmed machining strategies, workload programs, advanced auxiliary functions, DNC connection.
- + easy to program:**
The operator interacts with the machine in plain language and answers questions displayed on a screen.
- + easy to use:**
With Robofil and Roboform having the same CNC and generator, only one operator is required to operate both machines.
- + precise:**
Of a proven design, rigid and thermostabilized, these machines meet the most demanding user's needs.
- + reliable:**
Robofil and Roboform will perform consistently without supervision.
- + economical:**
The CNC's high degree of versatility and flexibility provides the greatest economy of workpiece production.

These 6 advantages of Robofil and Roboform guarantee:

+ automatic machining, efficient operation, maximum profitability.

ROBOFIL

A 5-axis (X-Y-U-V-Z) numerically controlled machine

Robofil provides better machining versatility

5 servo-controlled axes

Longer autonomy

Automatic centralized lubrication



These axes are programmable and servo-controlled during machining. By the numerical control of more than 5 axes, Robofil satisfies a wide range of applications, answering the most exacting toolmakers' needs.

Autonomy

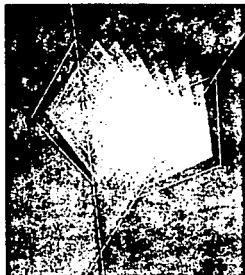
To achieve a longer autonomy, 9 or 18 lbs wire spools can be used on Robofil machines. Some models may be equipped with 35 lbs spools (optional).

Centralized lubrication

The machine is equipped with a centralized lubricating system which eliminates any intervention by the operator and gives warning of faulty lubrication.

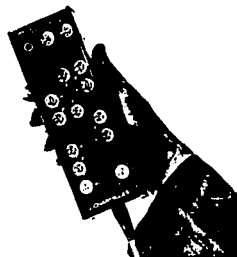
Simple operation

Positioning and control



Automatic machining cycles locate accurately the work pieces within the work area. The geometry of the parts to be machined may be checked at different levels, using a plotting table.

Remote control



The different axes may be operated by remote control which greatly simplifies machining set-up.

Variable conical tapers

Submerged machining helps remove any chance of wire breakage and allows machining of significant tapers.

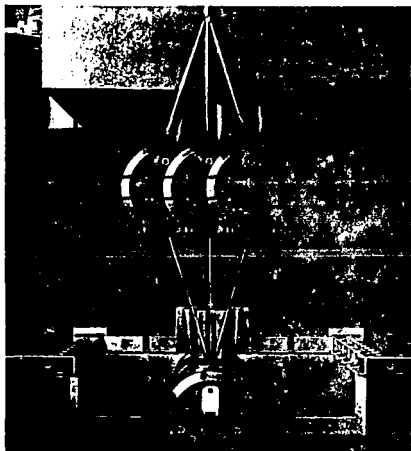
Outstanding U-V travel

Standard Robofil machines are all equipped with an extended travel U-V cross-table:

ROBOFIL	U-V travel (inch)
100	± 1.26
200	± 1.97
400	± 1.97

Angles of taper

Height of work piece (inch)	Max. angle of taper ROBOFIL		
	100	200	400
1.34	± 30°	± 30°	± 30°
1.97	± 24°	± 30°	± 30°
2.60	± 20°	± 30°	± 30°
3.94	± 15°	± 22°	± 22°
5.90	—	± 16°	± 16°
7.87	—	—	± 12°



Independent X-Y-U-V movements

Proper programming allows the production of work pieces with different geometrical shapes in two planes. The opposite figure shows a part with the lower face square and the upper face circular. All that is required from

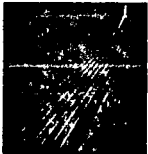
the operator is to program the square in the lower plane and the circle in the upper plane. This example illustrates the almost unlimited potential offered by Robofil.



Twist

This mode of machining enables spectacular results to be obtained by a very simple program. To «twist» a shape, one only has to apply at one

level of the work piece a translation, a rotation, a scale coefficient or any combination of these capabilities.



Taper machining

A complete range of shapes with taper is available. Cylindrical machining (no taper), conical taper, sharp corner taper, constant radius

taper, variable taper angle along a straight line or an arc of a circle, stepped tapers. All these geometrical shapes can be programmed.



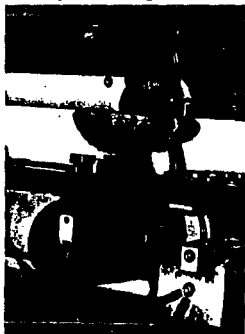
ROBOFIL

**Submerged
machining**

**Outstanding reliability
for automatic
wire threading**

**Time saver: wire
threading without
emptying the work
area**

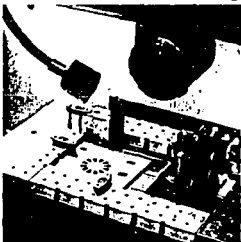
Totally submerged



CHARMILLES TECHNOLOGIES, the first to have used totally submerged machining, remains faithful to this method which offers these major advantages:

- Removal of any chance of wire breakage.
- Outstanding flushing of work piece/wire gaps, whatever the taper angle.
- Perfect thermostabilization of the work piece, table, guiding systems and clamping devices.

Automatic wire threading



Pioneer in the field of automatic wire threading, CHARMILLES TECHNOLOGIES has drawn on its 10 years of experience in perfecting automatic wire threading systems, assuring exceptional reliability.

Its efficiency is strengthened by the following features:

- Wire annealed and straightened prior to threading.
- Injection water jet (jet-set) wire guiding.
- Wire threading without emptying the work area, resulting in time saving.

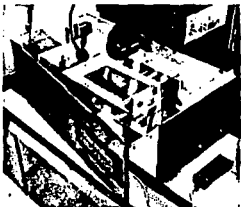
Working area and dielectric group

A wide door provides easy frontal access to the work area, allowing the set-up of large work pieces.

**Easy access to
the work area**

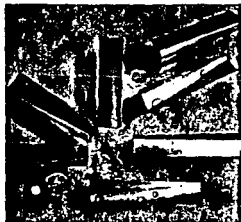
Max. size and weight of work pieces:

ROBOFIL	Dimensions (inch)	Weight (lbs)
100	27.5 x 13.75 x 3.95	220
200	35.4 x 20.45 x 5.90	1100
400	43.3 x 29.90 x 7.87	1760



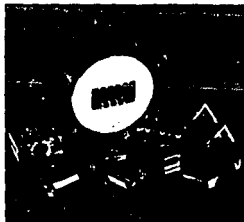
ROBOFIL applications

Turbine blades



Work pieces machined using independent programming for X-Y and U-V.

Compacting die



Carbide tool used in the manufacture of carbide inserts for conventional machining such as milling and turning.

Extrusion die



Plastic extrusion die made using independent programming for X-Y and U-V.

Work piece with inclined face



The machining of parts with inclined face (variable thickness) is made easy by submerging the work piece.

Stamping die



Carbide cutting tool for the manufacture of razor blades

ROBOFORM

4 axes (X, Y, Z; C-option) numerically controlled machine

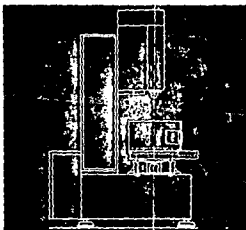
Quality and precision. Rigid and compact design

Autonomy and automation...

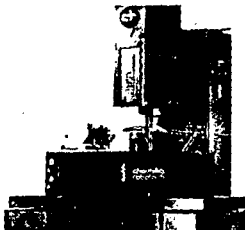
Round-the-clock machining without supervision...

6000 machining hours/year...

It is today's reality.



For Roboform and Robofil, CHARMILLES TECHNOLOGIES utilizes a C frame machine design. This design offers excellent accessibility without compromising precision. Flushing pressure is directed between the table ways, therefore the resulting forces cannot create torsion and impair accuracy.



Displacements and translations are continuously controlled by the closed loop measuring system. This design enables the production of high quality work.

Outstanding performance:

- Surface finish
- Material removal
- Machining speed

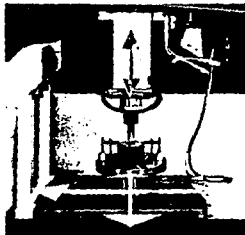
Synchronized and simultaneous control of the 4 axes... Machining of the most intricate forms with simple electrodes

Extended ram travel



Displacements are controlled by a DC motor and a transmission system identical with those used by the X and Y axes. The rigidity of the system provides ideal machining conditions for both large and small electrodes.

C axis (optional)



A fourth, optional C axis allows rotary machining around the Z axis. The C axis may also be synchronized with the movements of X, Y and Z. These axes can be programmed and servocontrolled during machining.

Generator/CNC

Thanks to the unique design of its generator, Roboform adjusts itself to all EDM applications.



Adaptative control

- Automatic optimization of the settings to adjust for changing machining conditions.
- Different degrees of protection against machining anomalies specified by the operator.

Checking

- Screen page indicates to the operator all information regarding the current status of the job.

More than 100 machining settings per material pair

- 6 modes of machining, selected on the basis of speed, wear and surface finish.

Safety and ease of use

Flushing and dielectric systems

Three different types of flushing (through the work piece, through the electrode or side flushing) as well as 6 different modes solve the most difficult flushing problems. A compact, highly efficient filtering unit provides clean dielectric at all times.

Centralized lubrication

The machine is equipped with a centralized lubricating system eliminating any intervention by the operator and giving warning of faulty lubrication.

- Minimum wear: less than 0.05%.
- Surface finish as fine as 0.05 μm Ra (polishing) depending on the work piece material.

Precision

- 150-energetic discharges (Isopulse) guarantee the uniformity of surface finish and spark gaps.
- Calibrated discharge current, unaffected by power line fluctuations.

Power

- Up to 128 A in the same control cabinet and with minimum floor space requirements.
- Power consumption half of any other generator.

Special machining operations

- Degree of automatic operation may be selected at will.
- Possibilities for specifying the settings for special material pairs and storing them on files as required.



Remote control

Roboform's remote control has the same capabilities as Robofil's. In addition two keys allow the electrode's manual withdrawal at any time during machining. This ability applies for any type of machining, including multidirectional (4 axes) machining, such as helical, vectorial or orbital travel.



Safety systems

A fire prevention device (optional), a system for checking the dielectric level and temperature, a connector for a fume evacuator are or may be installed on Roboform.





Machining cycles ROBOFORM

A very large number of machining cycles may be programmed for machining intricate forms using simple electrodes. These cycles, with the exception of those using a rotary elec-

trode movement, may be carried out in both directions on X, Y and Z axes, allowing considerable flexibility in the application of the machine.

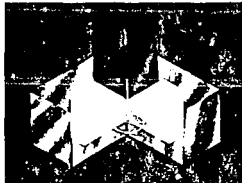
Performance, flexibility of machining proven and unmatched

Orbital translation (CT patent ISOCUT)



Directional machining

To obtain sharp corners. Machining axis X, Y or Z. The translation is automatically calculated by the CNC according to the location and the value of the angles to be machined.

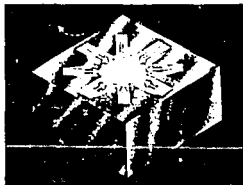


Orbital machining

Down machining followed by orbits allows machining of three-dimensional forms from roughing to finishing. Machining axis X, Y or Z.

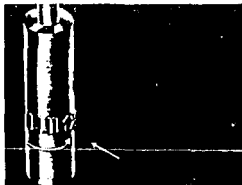
Electrode's retraction during machining:

- Along the previously programmed course (such as helical, vectorial)
- By withdrawing the electrode from all machined sides simultaneously (such as orbital)



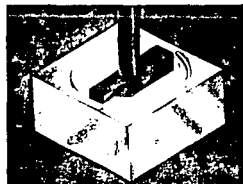
Vectorial machining

Allows cavity or form machining in any direction.



Vectorial machining

For servcontrolled machining of the electrode around its axis.



Vectorial machining

Combined with electrode rotation for machining intricate forms using simple shaped electrodes.



Down machining

Cycle on X, Y or Z axis is intended mainly for rough machining.

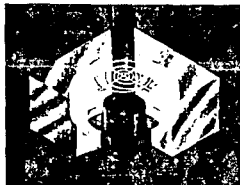
For machining cycles which combine an axis movement with a translation, the electrode withdraws simultaneously from all the surfaces being machined in case of machining abnormalities (short-circuit, contamination, etc.).

The optional C axis is necessary for machining which requires rotation of the electrode. During cylindrical machining, the C-axis rotation may be combined with the various modes.



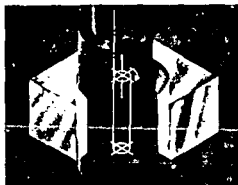
Conical machining

Of negative and positive tapers encountered, for example, in cutting tools and injection molds. Angles may be programmed from 0° to $\pm 90^\circ$. Machining axis X, Y or Z.



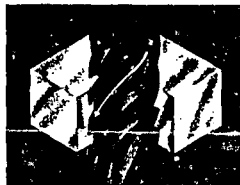
Horizontal planetary machining

For grooves, threads, etc. Machining axis X, Y or Z.



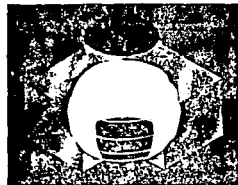
Cylindrical machining

Permits a non-servocontrolled translation movement of the electrode; for rough machining under poor flushing conditions. Machining axis X, Y or Z.



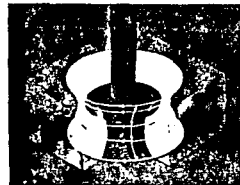
Helical machining

For threads and helical shapes



Concave spherical machining

Spherical forms can be produced using globe-shaped electrodes or spherical caps with thin cylindrical electrodes. Machining axis X, Y or Z.



Convex spherical machining

Spherical forms can be produced using globe-shaped electrodes or spherical caps with thin cylindrical electrodes. Machining axis X, Y or Z.

A broad variety of machining cycles:

- Down
- Vectorial
- Orbital
- Directional
- Conical
- Cylindrical
- Spherical
- Planetary
- Helical

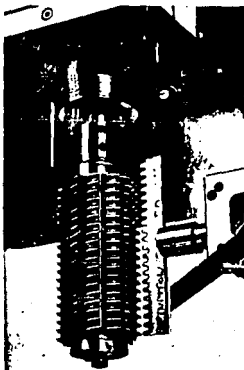
ROBOFORM applications

Polishing



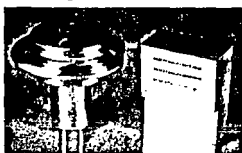
Roboform will provide a highly polished finish when required. The above shape has a CH0 (0.1 μ m Ra) surface finish.

Constant profile milling cutter



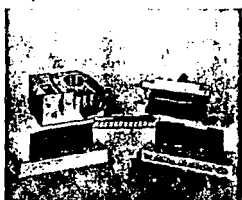
With electrodes cut on Roboform, Roboform enables this cutting tool to be machined using a vectorial cycle combining 3 axes simultaneously (vector C, Z, X).

Engraving on knurled knob



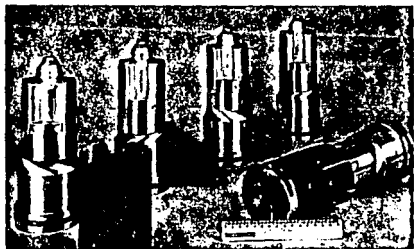
The above example shows vectorial machining that combines spindle rotation and linear movement of the table. Surface finish: CH3 (0.14 μ m Ra).

Deep slot



Despite very difficult flushing conditions, the high performance adaptive control of Roboform made it possible to use only one electrode for roughing (frontal linear wear less than 0.15 mm).

Forging dies



Die components (manufactured with two electrodes) for the forging of automotive parts.

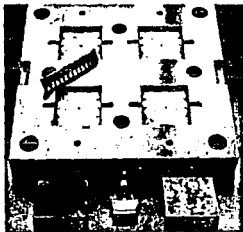
Injection mold



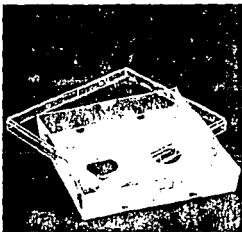
The surface finish provided by Roboform reduces significantly the manual polishing of this ski boot mold.

ROBOFORM applications

4-cavity injection mold



For plastic containers.

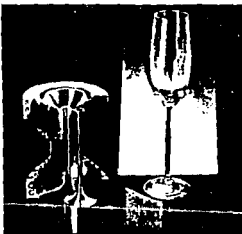


Manufacture of food packaging.

Molds, with roughing and finishing electrodes

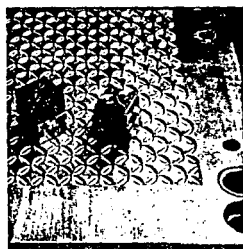


For the manufacture of glass stems.



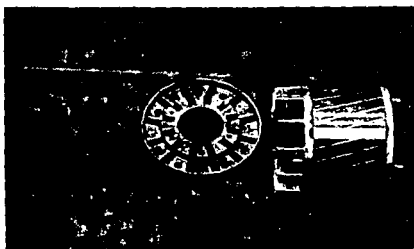
Manufacture of glasses.

Injection mold



For rubber mat.

Injection mold



For rotor cooling blades of a motor.

CNC ROBOFIL • ROBOFORM

Proven design

**Advanced CNC
machining with a
wide range of
applications.**

Design

**Computerized
Numerical
Control**

The different elements of the machine are controlled by micro processors which receive commands from the machine software. This consists of instructions which manage the machine's operation, the execution of part program as well as the communication with the user.

Utilization



The method of machining will be selected by the operator from a menu. The machine will call for supplementary information where necessary for execution.

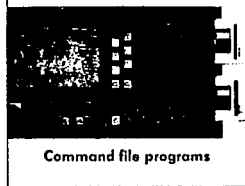
**Well-suited to meet
practical machining
applications, with
over 2000 EDM
machining centers
in the field**

**Automatic adjust-
ment of the controls
and workload
programs for easy
operation and
convenience**



A simple change of the software by a cassette, disc or in an EPROM makes it possible to update or modify the machining characteristics or to improve the performance of Robofil and Roboform.

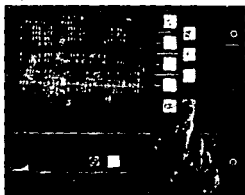
Part-programs



Typical normal level automation
A work piece may be machined following a part program.

Higher level automation
Several work pieces may be machined, controlled by a command file program which calls for the execution of various programs for multiple work pieces as well as intermediate operations.

Operation



Communication

The operator may display information by groups of pages on the screen, which will inform him of the status of the operation and of the machining progress. Communication can be performed in French, German and English. Other languages - Spanish, Dutch, Italian, Portuguese, Swedish, etc. - are available upon request (optional).

Adaptive control

The machine software constantly supervises operating conditions. It optimizes machining in order to obtain the best results.



Diagnostics

The vital elements of the machine are constantly monitored by the software, which also alerts the operator of any problem and attempts to protect the machine or work piece from damage. If there is a malfunction, it can be located by using the test programs.

Development

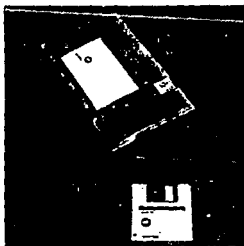


System updates

The machine software may be modified in order to reflect progress made in the field of EDM.

Software updates can be installed utilizing cassettes, discs or EPROM.

All Robotil and Roboform machines, including the ones already in service, can benefit from these new developments.



Designed
to receive future
improvements

Easy, uninterrupted
updating

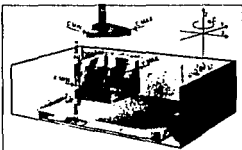
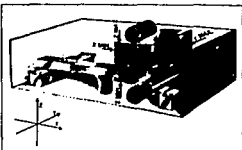
CNC

Programming of the "travel limits"

The operator can limit travel along the axes by using the "soft-limits" program, in order to protect the machine from any impact between

the electrode or any other moving device and obstructions, such as work piece fixtures, located in the working area.

Work piece volume as defined by its "soft-limits"



Display of the "soft-limits" on the CNC screen

SOFT LIMITS		active
Ref	absolu	AXIS X
X	20.000	
Y	40.000	Lower limit
Z	0.000	Upper
X	0.000	Upper
Y	50.000	Lower limit
Z	100.000	Upper

Limits in absolute ref	
Lower	Upper
X	0.000 100.000
Y	50.000 50.000
Z	30.000 170.000

SOFT LIMITS		active
Ref	absolu	AXIS X
X	20.000	
Y	40.000	Lower limit
Z	0.000	Upper
X	0.000	Upper
Y	50.000	Lower limit
Z	100.000	Upper

Limits in absolute ref	
Lower	Upper
X	0.000 100.000
Y	50.000 50.000
Z	10.000 -170.000
X	0.000 30.000

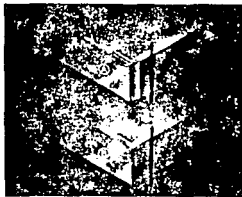
Programmable strategy

Robofil and Roboform's performances may be improved through automatic selection of the parameters

Robofil

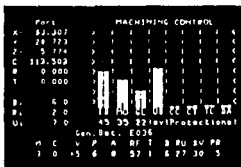
The automatic strategy improves the precision during roughing and reduces the time needed for finishing.

To set the machining conditions, it is only necessary to specify the material pair and the mode of operation (roughing, finishing, sizing). The gap between the punch and the die is set directly with one parameter.



Roboform

Speed and surface finish are further improved by better optimization of the settings during machining.



The efficiency, machining stability and other parameters relating to these machining operations are now displayed continuously.

When machining with special material pairs, the operator is able to immediately display the effect of his adjustments.

Robofil
 Ⓞ Roughing, without strategy
 Ⓞ Roughing, with strategy

ROBOFIL • ROBOFORM programming

**Part-programs
are accepted in
ISO-standard format**

```
N20x29500Y10000  
N30G02X30000Y9500I29500J:9500  
N40G01X30000V-9500  
N50G02X29500V-10000I29500J-9500  
N60G01X10000V-10000  
N70X10000V-29500
```

**ISO-standards
6983-1
and 6983-2**

Program editing

Command files and part-programs (ISO) may be created, displayed, modified and stored by the operator. This may be carried out in dialogue with the CNC, by screen (menu, displayed texts) and by alpha-numerical keyboard.

Programs presentation

CHARMILLES TECHNOLOGIES offers a broad variety of data carriers for the operation of the machines as well as for efficient management of part-programs and command file programs.

Punch tape reader

Programs on 8-track punched tape (ASC II-ISO and EIA codes) may be read (by a tape reader/punch connected to the RS 232 or 423 interface) and stored on cassettes or discs. It is also possible to output on punch tape a program that has been optimized on the machine.

Robofil and Roboform are very versatile. Via the ISO format the machines may be programmed by most of the CAM and CAD/CAM systems. Command file programs are written in simple texts.

CHARMILLES TECHNOLOGIES software developed specifically for EDM applications is operational with a number of standard PC programming stations.



Proform[®], the advanced language of Roboform

Both languages - Proform[®] and Profil[®] - are very similar and to switch from one to the other does not require any special training.

The operator selects the operations to be performed from a menu and the machine in turn calls for the necessary data. The program is progressively displayed in Proform[®] language, which facilitates reading.

This interactive programming by menu is particularly helpful for the beginner. However, it is not mandatory and the operator may insert Proform[®] instructions at any time.

The machine signals any possible error, so corrective action may be taken immediately.

**CHARMILLES
solutions**



Improved output

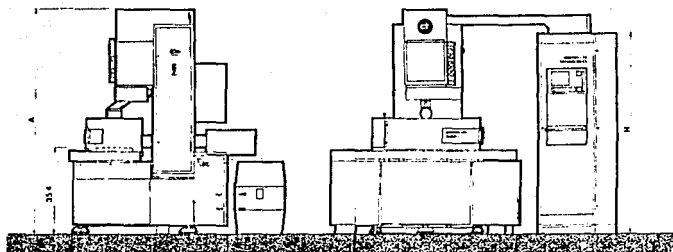
**Straight-forward
understanding of the
part programs in
Proform[®] or Profil[®]**



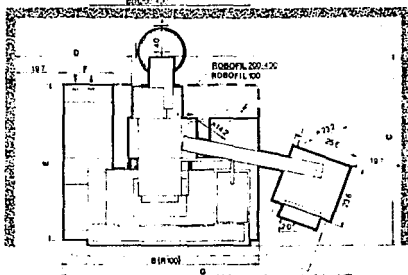
CHARMILLES TECHNOLOGIES



ROBOFIL



Inch	ROBOFIL		
	100	200	400
A	79	92	95
B	59	66	83
C	64	78	95
D	—	50	56
E	52	64	63
F	—	20	30
G	95	118	146
H	75	83	83



Space requirements for ROBOFIL 100/200/400

CHARMILLES TECHNOLOGIES

ROBOFIL EDM Centers

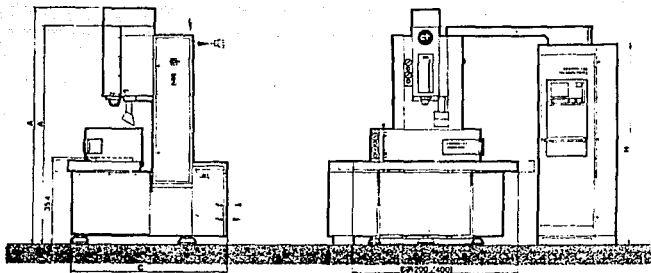
Technical specifications

Machines		Robofil 100	Robofil 200	Robofil 400
X and Y travel	in.	8.66x6.30	12.60x8.66	17.70x12.60
Z travel	in.	3.15	5.30	6.90
U and V travel	in.	$\pm 1.26 \times \pm 1.26$	$\pm 1.97 \times \pm 1.97$	$\pm 1.97 \times \pm 1.97$
Minimum displacement during machining	in.	0.00004	0.00004	0.00004
Maximum displacement speed	in./min	35	35	35
Measuring resolution	in.	0.00004	0.00004	0.00004
Max. height of work piece to be machined (optional)	in.	3.94	5.90 (8.85)	7.90 (10.25)
Max. weight of work piece to be machined	lbs	220	1100	1760
Max. dimensions of work piece to be machined	in.	27.56x13.78	35.43x20.47	43.30x29.90
Taper angles possible (per side)	in.	0° to 30°	0° to 30°	0° to 30°
Automatic wire threading (max. height of pieces)	in.	2.95	5.90	7.87
Adjustable mechanical wire tension	lbs	0.7 to 4.4	0.7 to 4.4	0.7 to 4.4
Thermostabilized work area and arms		Standard	Standard	Standard
Submerged machining		Standard	Standard	Standard
Plotting table for checking programs		Standard	Standard	Standard
Displacements by ballscrew		Standard	Standard	Standard
DC motors on all axes (X, Y, U, V, Z)		Standard	Standard	Standard
Machine dimensions: lengthxwidth	in.	59.1x64.0	66.0x77.6	82.7x94.5
height	in.	78.8	92.0	94.5
Weight (empty)	lbs	3,200	4,250	7,050
Dielectric stations				
Pre-filtering with settling tank		Standard	Standard	Standard
Filtering by paper filter - Number of cartridges		3	4	6
Deionization with indicator		Standard	Standard	Standard
Capacity of dielectric system (with settling tank)	US gal.	45*	168	240
Dimensions: lengthxwidth	in.	With machine	19.70x63.40	29.55x83.10
height	in.	With machine	34.25	34.25
Weight (with empty settling tank)	lbs	With machine	630	770
Generators, controls, CNC				
CRT		Standard	Standard	Standard
Working units inch/metric		Standard	Standard	Standard
Alphanumerical keyboard		Standard	Standard	Standard
Double tape cassette or disc reader		Standard	Standard	Standard
Tape cassette memory capacity	Kbytes	240	240	240
3 1/2" disc memory capacity	Kbytes	640	640	640
Dimensions: lengthxwidth	in.	25.60x23.60	25.60x23.60	25.60x23.60
height	in.	74.80	82.70	82.70
Weight	lbs	550	600	600
Power supply				
Voltage	V	380	380	380
With auto transformer (option)	V	204/220/240/ 420/440/480	204/220/240/ 470/440/480	204/220/240/ 420/440/480
Phases		3	3	3
Cycles	Hz	60	60	60
Compressed air	PSI	85 to 100	85 to 100	85 to 100
Maximum power input	LVA	5	5	5

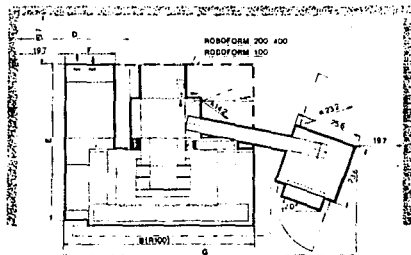
* No settling tank

CHARMILLES TECHNOLOGIES reserves the right to revise and improve its products as it sees fit. The equipments and technical specifications of this catalog describe the state of these products at the time of its publication and are subject to change without notice. Unless otherwise indicated, CHARMILLES TECHNOLOGIES quotation terms shall prevail.

ROBOFORM



Inch	ROBOFORM		
	100	200	400
A	83	97	107
A'	—	89	94
B	60	66	83
C	52	64	89
D	—	50	56
E	52	64	83
F	—	20	30
G	95	118	146
H	75	83	83



Space requirements for ROBOFORM 100/200/400

CHARMILLES TECHNOLOGIES

ROBOFORM EDM Centers

Technical specifications

Machines		Roboform 100	Roboform 200	Roboform 400
Generators		64 A	64 or 128 A	128 A
Distances between table surface and the different electrode holder chucks				
- C20 electrode holder chuck (fix or rotating)	in.	15.75	22.05	27.56
- S40 electrode holder chuck (fix or rotating)	in.	14.96	21.26	26.77
- P100/150/200 electrode holder plate	in.	14.96	21.26	26.77
Ram travel	in.	8.66	12.60	16.14
Maximum electrode weight*	lbs	110	440	1100
Maximum translation amplitude (radial)	in.	0.39	0.39	0.39
Dimensions (height x length x width)	in.	82.7 x 59.1 x 51.2	96.8 x 65.9 x 63.4	106.3 x 82.7 x 88.2
Weight	lbs	3,300	4,300	7,500
Tables and work tanks				
Table dimensions (length x width)	in.	17.72 x 11.02	22.05 x 15.75	31.50 x 22.05
Travel: longitudinal X	in.	8.66	12.60	17.72
Travel: transversal Y	in.	6.30	8.66	12.60
Measuring resolution	in.	0.00004	0.00004	0.00004
Maximum work piece weight	lbs	220	1100	1760
Maximum displacement speed	in./min	35	35	35
T-shaped slots:				
- number		3	3	5
- dimensions	in.	0.47	0.47	0.47
- distance between slots	in.	3.94	4.92	4.92
Work tank dimensions (height x length x width)	in.	8.66 x 29.72 x 16.50	11.80 x 38.20 x 22.40	16.14 x 47.04 x 31.50
Maximum/minimum dielectric level	in.	7.28/3.40	10.60/4.72	14.60/7.10
Width front door	in.	26.2	36.8	43.3
Dielectric stations				
Capacity	US gal.	45	77	148
Filtering system - Paper cartridges		3	4	6
Fil pump flow capacity	US gpm	53	53	53
Dimensions (height x length x width)	in.	With machine	34.25 x 19.70 x 63.40	34.25 x 29.55 x 83.10
Weight (empty)	lbs	With machine	485	660
Generators, controls, CNC				
Nominal current	A	64	64 or 128	128
Backup battery duration	h	100	100	100
CRT		Standard	Standard	Standard
Working units inch/metric		Standard	Standard	Standard
Alphanumerical keyboard		Standard	Standard	Standard
Double tape cassette or disc reader		Standard	Standard	Standard
Tape cassette memory capacity	Kbytes	240	240	240
3 1/2" disc memory capacity	Kbytes	640	640	640
Dimensions (height x length x width)	in.	74.80 x 25.60 x 23.60	82.70 x 25.60 x 23.60	82.70 x 25.60 x 23.60
Weight	lbs	550	600 (64A), 700 (128A)	700
Power supply				
Voltage	V	380	380	380
With auto transformer (option)	V	204/220/240/420/440/480	204/220/240/420/440/480	204/220/240/420/440/480
Phases and cycles	Hz	3/60	3/60	3/60
Compressed air	PSI	85 to 100	85 to 100	85 to 100
Maximum power required (complete installation):				
- with 64 A generator	kVA	5	5	-
- with 128 A generator	kVA	-	7	-

*.Under special conditions

CHARMILLES TECHNOLOGIES reserves the right to revise and improve its products as it sees fit. The equipments and technical specifications of this catalog describe the state of these products at the time of its publication and are subject to change without notice. Unless otherwise indicated, CHARMILLES TECHNOLOGIES quotation terms shall prevail.

CT, your local supplier... all over the world

Wherever you are, you are close to your partner. CT, a network providing representation at 60 strategic locations, with 5 subsidiaries and over 55 agents, ensures the availability and the speed of response that you are entitled to expect from a leader.



CHARMILLES TECHNOLOGIES FRANCE S.A.

Z.I. Boite postale 21, 12, av. du 1^{er}- Mai
F-91122 PALAISEAU CEDEX
Tel. (1) 64 47 12 13



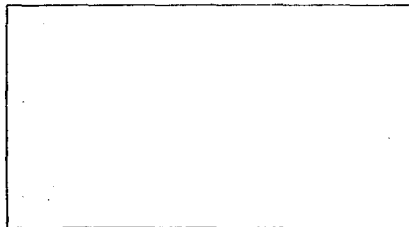
CHARMILLES DEUTSCHLAND MASCHINENBAU GMBH

Postfach 4164, Bruckmannstrasse 11
D-7012 Fellbach 4 Schmiden
Tel. (0711) 51 82 30



CHARMILLES TECHNOLOGIES OF AMERICA

555 Business Center Drive
Mount Prospect, IL 60056-2175, USA
Tel. (312) 699-8840



CHARMILLES TECHNOLOGIES LTD.

Arden Street, Stratford-Upon-Avon
Warwicks CV37 6NW, U.K.
Tel. (0789) 298300

CHARMILLES TECHNOLOGIES



Charmilles Technologies S.A.
P.O. Box 373, 8-10 rue du Pré-de-la-Fontaine
CH-1217 Meyrin 1 - Geneva/Switzerland
Telephone 022/783 07 07, Fax 022/782 75 65
Telex 418 909 ctv ch

A George Fischer Company *GF*



CHARMILLES TECHNOLOGIES (JAPAN) LTD.

1-14-11, Shinyokohama, Kohaku-ku
Yokohama 222, JAPAN
Tel. (045) 474-2641