



T
621.815
Q8

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería Eléctrica

MAQUINAS DE ELECTRO-EROSION

TESIS DE GRADO

Previa a la Obtención del Título de:

INGENIERO EN ELECTRICIDAD

Especialización: ELECTRONICA

Realizado por:

Miguel Gerardo Quizhpi Mejía

Guayaquil - Ecuador

1.995



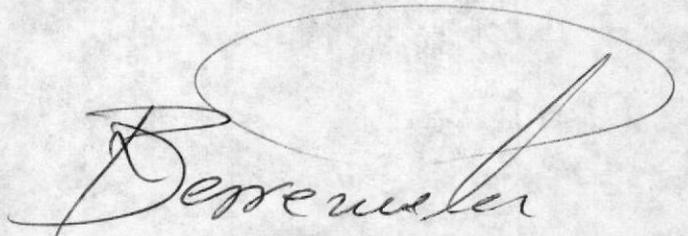
AGRADECIMIENTO

Al ING. RODRIGO BERREZUETA P. Director de Tesis, y al **ING. IGNACIO WIESNER F.** Por la guía prestada para terminar con éxito esta Tesis y por la Colaboración brindada en la realización de la misma.

DEDICATORIA

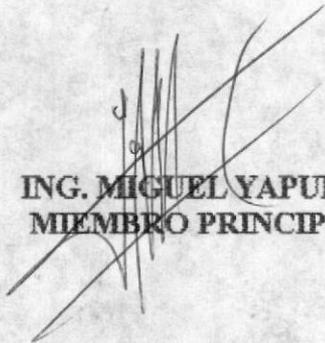
**A MIS PADRES
A MIS HERMANOS**

TRIBUNAL DE GRADO

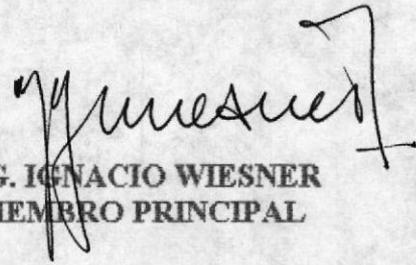


ING. ARMANDO ALTAMIRANO CH.
SUBDECANO F.L.E.C.

ING. RODRIGO BERREZUETA P.
DIRECTOR DE TESIS



ING. MIGUEL YAPUR A.
MIEMBRO PRINCIPAL

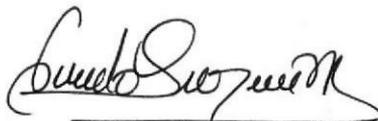


ING. IGNACIO WIESNER
MIEMBRO PRINCIPAL

DECLARACION EXPRESA

“La responsabilidad por los hechos, ideas y doctrinas expuestos en esta tesis, me corresponden exclusivamente; y, el patrimonio intelectual de la misma, a la ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL”.

(Reglamento de Exámenes y Títulos profesionales de la ESPOL).



MIGUEL G. QUIZHPI M.



RESUMEN

La tesis se inicia con un estudio minucioso de cada una de las partes que conforman una máquina de electro-erosión. Se han distinguido 3 partes fundamentales en este tipo de máquinas y sobre cada una de ellas se estudian muy detenidamente, estas son: Parte eléctrica, parte hidráulica y la parte conformada por el fluido dieléctrico. Seguidamente a ello estudiamos de manera profunda los factores que influyen en el rendimiento de este tipo de máquinas las cuales debido al papel que desempeñan tienen una enorme importancia en ser conocidos si se quiere optimizar su funcionamiento y por tanto hacer más competitivo su producción.

Intercalamos luego resultados experimentales que se obtuvieron al trabajar con estas máquinas con el fin de ver el comportamiento de cada una de las partes que las integran.

Finalmente presentamos un diseño de este tipo de máquinas analizando cada una de las partes que la conforman y acentuando más en las partes de mayor importancia.

La tesis ha sido dividida en 6 Capítulos. El primero de ellos permite que la máquina sea conocida como un todo, detallando su principio básico de funcionamiento, sus partes integrales y las diferentes aplicaciones que tiene en la industria.

En los Capítulos 2 y 3 estudiamos las partes de la máquina analizando la función que desempeñan, su importancia, se analizan los factores que influyen en ella y finalmente se da el circuito correspondiente a cada parte.

El Capítulo 4 analiza tres parámetros importantes:

- La rapidez de erosionado
- La precisión del trabajo
- El acabado de la superficie trabajada

Se detallan cada uno de los factores que influyen en cada uno de estos parámetros con un estudio minucioso. Con todo ello se logra conocer las ventajas y limitaciones que tienen estas máquinas.

En el Capítulo 5 se detallan los resultados observados en forma real en una máquina analizando las razones de aquellos comportamientos y concluyendo así sobre cada uno de los resultados de manera que se acentúa mejor el conocimiento del comportamiento de estas máquinas.

Finalizamos con el Capítulo 6, en el cual trata del diseño de una máquina de electroerosión detallando cada una de las partes que lo conforman y analizándolas separadamente. En esta parte se han hecho



todos los análisis matemáticos necesarios y se presentan diagramas tanto eléctricos como hidráulicos y también lo referente a la parte del fluido dieléctrico.

Las observaciones y conclusiones obtenidas de esta tesis se detallan en la parte final con este mismo nombre.

INDICE GENERAL

AGRADECIMIENTO.....	I
DEDICATORIA.....	II
DECLARACION EXPRESA.....	III
RESUMEN.....	IV
INDICE GENERAL.....	VI, VII
INDICE DE FIGURA.....	VIII, IX
INDICE DE TABLAS.....	X
INTRODUCCION.....	1

CAPITULO 1

GENERALIDADES DE LA MAQUINA DE ELECTROEROSION

1.1 Principio básico.....	4
1.2 Elementos constitutivos.....	4
1.3 Aplicaciones en la Industria.....	5

CAPITULO 2

EL PROCESO DE ELECTROEROSION

2.1 Proceso de formación de la descarga.....	9
2.2 Mecanismo de producción de las descargas en la máquina.....	11
2.3 El tiempo de duración y la intensidad de corriente de la descarga en el erosionado.....	12
2.4 El fenómeno de erosionado de la descarga.....	14
2.5 Datos que muestran la influencia de la frecuencia y la corriente en el erosionado.....	15
2.6 Diagrama eléctrico del circuito generador de descargas.....	19

CAPITULO 3

LIQUIDO DIELECTRICO Y SISTEMA HIDRAULICO

3.1 Líquido Dieléctrico.....	22
3.1.a Funciones que realiza el líquido dieléctrico.....	22
3.1.b Características que debe reunir el líquido para ser usado en electroerosión.....	23
3.1.c Diferentes tipos de limpieza del entrehierro.....	26
3.1.d Diagrama circuital del fluido dieléctrico.....	27
3.2 Sistema Hidráulico.....	29
3.2.1 Un sistema hidráulico en el avance automático.....	29
3.2.2 Funcionamiento del sistema.....	30
3.2.3 Diagrama de bloques, ganancia y respuesta de frecuencia.....	32

CAPITULO 4

PARAMETROS QUE RIGEN EL RENDIMIENTO DE ESTAS MAQUINAS	37
4.1 La rapidez de Erosionado	37
4.1.a Influencia de la corriente y la frecuencia de la descarga	37
4.1.b El tipo de material de los polos y su polaridad	37
4.1.c La limpieza del entrehierro	42
4.2 La Precisión del Trabajo	46
4.2.a El desgaste del electrodo herramienta	46
4.2.b La exactitud de la herramienta de trabajo	50
4.2.c Control del entrehierro	53
4.3 El Acabado de la Superficie Trabajada	54
4.3.a Factor que influyen en el acabado	54
4.3.b Comparación con otros métodos	56

CAPITULO 5

RESULTADOS EXPERIMENTALES	58
5.1 Forma en que se desarrolla la descarga en función del tiempo y la intensidad de corriente	58
5.2 Factores que influyen en el volumen erosionado por minuto, por una máquina de electroerosión	61
5.3 Factores que influyen en el acabado de la superficie trabajada	63
5.4 Variación del tamaño del entrehierro y su influencia en el erosionado	64
5.5 Efecto que produce la polaridad del electrodo y pieza y el tipo de material de cada uno de ellos en el erosionado	66
5.6 El avance Automático	66
5.6.a Circuito que controla el movimiento del electrodo	66
5.6.b El comportamiento del sistema hidráulico y su influencia en el erosionado	70
5.6.c Circuito controlador de arcos y corto circuitos	71

CAPITULO 6**DISEÑO**

6.1 Diagrama de bloques	73
6.2 Fuente generadora de Voltaje	74
6.3 Switcheo Electrónico	79
6.4 Control de Corriente	84
6.5 Circuito de Dieléctrico, Sistema Hidráulico, control de corto-circuitos	87

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	90
--------------------------------------	----

BIBLIOGRAFIA	94
--------------------	----

ÍNDICE FIGURAS

FIGURAS No.		PAG.
1	El avance del erosionado.....	4
2	Diferentes formas de agujeros de alta precisión.....	6
3	Aplicaciones especiales de la máquina de electroerosión.....	7
4	El acabado de imagen motriz forjado.....	8
5	Secuencia de pasos para la realización de un cierto trabajo.....	8
6	Proceso de formación de la descarga.....	10
7	Gráfico corriente Vs voltaje en el proceso de formación de una descarga.....	10
8	Proceso de Electrización.....	11
9	Formación de Canal de conducción.....	12
10	Influencia del tiempo de duración de una descarga en el erosionado.....	12
11	La intensidad de corriente de una descarga y su efecto en el erosionado.....	13
12	Forma en que circula la corriente eléctrica.....	14
13	La corriente a través del canal de conducción.....	14
14	Gases que se producen en el canal de conducción.....	14
15,16	Circuito Generador de descargas.....	19
17	Gráfico de corriente y voltaje en el entrehierro.....	20
18	Diagrama circuital del fluido dieléctrico.....	27
19	Diagrama circuital del Sistema hidráulico.....	30
20	Circuito amplificador que controla la servoválvula.....	32
21	Servoválvula y control del pistón.....	33
22	Diagrama de bloques del sistema servoválvula-pistón.....	33
23,24	Respuesta de frecuencia del sistema servovalvula.....	35
25	Gráfico de la ganancia del sistema servoválvula.....	36
26	Gráfico de volumen removido por descarga Vs punto de fusión.....	38
27	Formas de realizar la limpieza del entrehierro por presión.....	43
28	Formas de realizar la limpieza por aspiración.....	44
29-32	Formas de limpieza por lanza lateral.....	45
33	Formas de limpieza del entrehierro por remoción.....	45-A
34	Desgaste del electrodo-herramienta.....	47
35	Relación entre los volúmenes erosionados a ambos polos Vs sus puntos de fusión.....	47
36	Efectos que produce en el erosionado la limpieza por presión.....	49
37	Efectos que produce en el erosionado la limpieza por aspiración.....	50
38	Efectos que produce la limpieza por presión intermitente en el erosionado.....	50
39	Forma que tiene el gap o entrehierro.....	54
40,41	Forma de la rugosidad de la superficie trabajada.....	54
42	Forma de expresar la vugosidad de una superficie.....	56
43	Curvas experimentales obtenidas del voltaje y corriente del gap.....	58
44	Circuito simplificado del generador de descargas.....	58

45	Formas de la corriente y voltaje del gap para diferentes intensidades de Corriente de descarga.....	59
46	Formas de la descarga al variar el tiempo de duración o la intensidad de la misma.....	60
47	Gráfico de la corriente para la posición III y V de la máquina ONA-IRU.....	61
48,49	La rugosidad de la superficie al variar la intensidad de corriente o la frecuencia de las descargas.....	63A
50,51	Formas en que varían el tamaño del gap.....	65
52	Efecto que produce la polaridad del electrodo y pieza y el tipo de material de cada una de ellos en el erosionado.....	68
53	Circuito que controla el movimiento del electrodo.....	67
54	Circuito de control de corte de cortocircuito.....	71
55	Diagrama de bloques general de la máquina de electroerosión.....	73
56-60	Circuito y señales obtenidas del generador de voltaje DC.....	74
61	Circuito del Switcheo Electrónico.....	80
62	Circuito oscilador.....	80
63	Señal obtenida del circuito oscilador.....	81
64	Circuito de la etapa amplificadora.....	82
65	Circuito de la etapa final de switcheo.....	83
66	Circuito de Control de Corriente.....	85
67	Circuito de accionamiento de las diferentes etapas amplificadoras.....	86
68	Forma en que se pueden incrementar el rendimiento de estas máquinas.....	93

INDICE DE TABLAS

TABLA No.		PAG.
1	Rigidez dieléctrica de algunos materiales	10
2	Valores de tiempo de impulso y tiempo de pausa correspondiente a cada posición	16
3	Resultados obtenidos utilizando electrodo de cobre electrolítico al 99,96%, erosionando en material de acero templado	17
4	Resultado obtenido utilizando electrodo de Grafito, erosionando en material de acero templado	39
5	Polaridad que debe tener electrodo según el material del electrodo y de la pieza de trabajo	41
6	Rugosidad obtenida con diferentes métodos de manufacturación	57
7	Las diferentes posiciones del Control de Corriente, con sus respectivos valores de resistencia que conectan y la corriente de descarga que originan	87
8	Cuadro resumido de los factores que influyen en los parámetros que rigen el rendimiento de esta máquina	89

INTRODUCCION

La industria siempre enfrenta problemas de que se requieren maquinar materiales duros como por ejemplo el acero templado; o ya sea realizar trabajos complicados en diferentes materiales, tales pueden ser, ranuras muy estrechas, cavidades o agujeros ocultos dentro de estos materiales, agujeros de hasta 20 veces su diámetro, etc. Si a esto se añade que se requiere una alta precisión en el trabajo, entonces recurrimos a la máquina de electroerosión, lo cual realiza estos trabajos muy fácilmente y ya que no se efectúa ningún esfuerzo durante la realización de un trabajo éstas también son utilizables para trabajar materiales muy frágiles o de paredes muy delgadas. Estas entre otras aplicaciones han hecho de este tipo de máquinas una de las más importantes en la industria.

Dada la alta importancia que han alcanzado, el objetivo de esta tesis es es realizar un estudio completo de las máquinas de electroerosión para entendiendo su funcionamiento, optimizar el uso de la misma, incrementar su productividad y la calidad de los trabajos que se realizan utilizando este tipo de maquinarias.

Por su precio elevado, y posibilidad de construirlas, en el país se analizarán los requerimientos económicos, materiales y tecnológicos con el fin de buscar esta posibilidad.

Este tipo de máquinas trabajan por medio de descargas eléctricas las cuales van erosionando la pieza de trabajo y así le dan la forma requerida.

Entonces el estudio se centra en el análisis minucioso de cómo se producen estas descargas y el conocimiento de todos los factores como son: los efectos que producen las partículas erosionadas en el área de trabajo, de ahí la importancia de la limpieza con el líquido dieléctrico. También lo indispensable de un circuito hidráulico para el movimiento de la herramienta de trabajo. Por otro lado tenemos los arcos y cortocircuitos que se originan por el mal funcionamiento de estas descargas. Todos ellos se tratan en detalle para conocer la forma de lograr el funcionamiento óptimo de estas máquinas.

Para la realización de este trabajo se ha recolectado toda la información posible acudiendo a los diferentes sitios que tienen este tipo de máquinas. También se ha trabajado en la máquina misma gracias a la ESPOL que me facilitó el uso de la máquina que ella dispone. En ella se realizó los estudios y se verificó el material teórico obtenido, se hizo pruebas y demás procedimientos necesarios.



CAPITULO 1

GENERALIDADES DE LA MAQUINA DE ELECTROEROSION

1.1. PRINCIPIO BASICO

Las máquinas de electroerosión poseen un generador de descargas eléctricas, las mismas que se llevan a cabo entre 2 electrodos, el uno constituido por la herramienta de trabajo y el otro por la pieza en la que se va a trabajar. Cada descarga produce un arriscamiento de material de la pieza de un volumen muy pequeñísimo que no es perceptible a simple vista, pero ocurre miles de ellas en un segundo por lo tanto en cuestión de minutos se observa un volumen erosionado, como se aprecia en la figura No. 1.

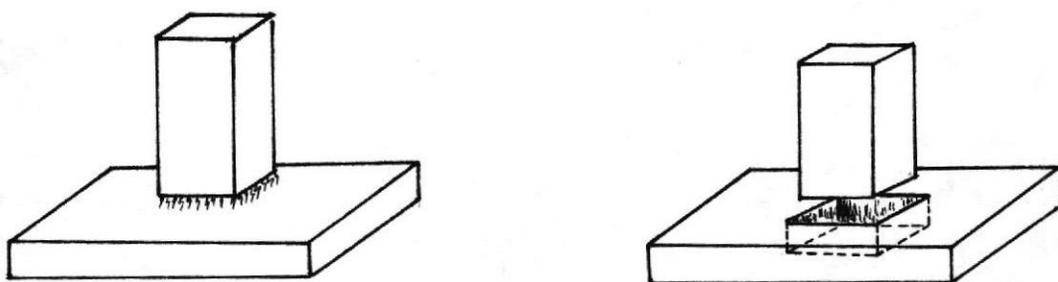


fig # 1
El avance DEL erosionada.

Entonces el principio básico en que se fundamentan estas máquinas es en la descarga eléctrica. Un estudio minucioso a este respecto: como se producen, como erosiona el material, su control, etc., nos permitirá entender el funcionamiento de estas máquinas.

1.2 ELEMENTOS CONSTITUTIVOS

Una máquina de electroerosión está compuesta de tres partes. La función que realiza cada una de ellas es muy importante dentro del proceso de erosionado, y el mal funcionamiento de una de ellas hace que el rendimiento de la máquina baje. Ella son:

- Parte eléctrica
- Parte hidráulica
- Parte conformada por el líquido dieléctrico

La parte eléctrica esta conformada por toda la circuitería eléctrica necesaria para la producción y control de las descargas eléctricas.

La parte hidráulica consiste en un sistema hidráulica el cual permite el control del movimiento del electrodo antes, durante y después del erosionado. Contiene una servoválvula que es la que realiza el avance automático del electrodo durante el proceso de electroerosión.

La tercera parte la constituye el líquido dieléctrico que entre otras funciones realiza la limpieza del entrehierro, distancia entre electrodo herramienta y pieza de trabajo. Los trozos de material que se desprenden de la pieza durante la electroerosión quedan flotando en el líquido que se encuentra en el entrehierro, dándoles movimiento a este líquido sacamos estos desperdicios hacia afuera para que el entrehierro quede libre de impurezas, que es una condición necesaria para que se produzcan las descargas.

1.3 APLICACIONES EN LA INDUSTRIA

A continuación vamos a ver cuales son las aplicaciones que esta máquina tiene en la industria:

Con el uso cada vez mayor de materiales duros, metales muy antiguos difíciles de maquinar, estas máquinas permiten trabajarlos muy fácilmente. Los trabajos más importantes pueden ser: configuraciones intrínsecas, ranuras estrechas y cavidades o agujeros ocultos dentro de estos materiales; todos ellos con tolerancias muy pequeñas. Puesto que el proceso de electroerosión no envuelve las altas fuerzas de corte y tensiones mecánicas a menudo asociadas con máquinas convencionales, el proceso es útil para cortes de tubos, panales y otros trabajos de paredes delgadas o de estructuras frágiles. Es posible por ejemplo taladrar agujeros tan angostos como 0,13 mm. de diámetro y tan profundos como 20 veces su diámetro, sin lograr que estos se desvíen o se hagan curvos. Para comparación, en la producción de agujeros con métodos convencionales, cuando la longitud de la broca es 10 veces o más el diámetro del agujero, es difícil mantener la rectitud. Aberturas tan estrechas como 0,03 mm. agujeros en localizaciones incómodas y aún agujeros curvados pueden ser producidos por este proceso.

Una aplicación bien establecidas de las máquinas de electroerosión es el maquinado de cavidades de matrices y moldes usados para matrices de moldeo, moldes plásticos, forjado, etc.

Otra importante aplicación es en el campo del metal formado para producir perforaciones, adornos, o estampado de matrices. Esta categoría de trabajos requieren de una alta precisión. ver figura No. 2.

Otro uso para estas máquinas, en la cual se establece que su uso es económico, en algunas compañías, es para salvar trabajos en matrices de forjado gastadas. Barras de cobre son a menudo usados como el material para el electrodo.

Las máquinas de electroerosión pueden ser usado para producir acabados decorativos muy atractivos en partes metálicas. Bajo ciertas condiciones las máquinas de electroerosión pueden ser competitivos con otros métodos de acabado.

Como un proceso de producción, es particularmente adaptable para operaciones especiales como en la maquinación de agujeros pequeños, orificios o aberturas de máquinas de turbina de aviones, válvulas de freno de aire, etc. En algunos casos, formas diferentes a la circular también son producidos.

A continuación presentamos dibujos de los diferentes tipos de aplicaciones mencionados.

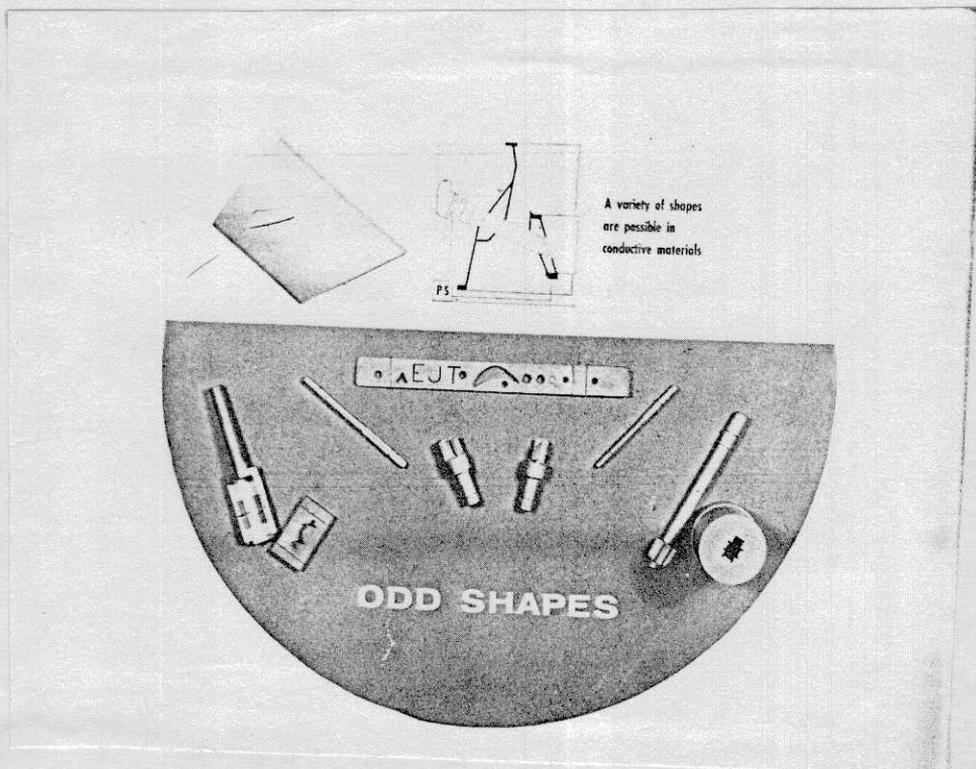
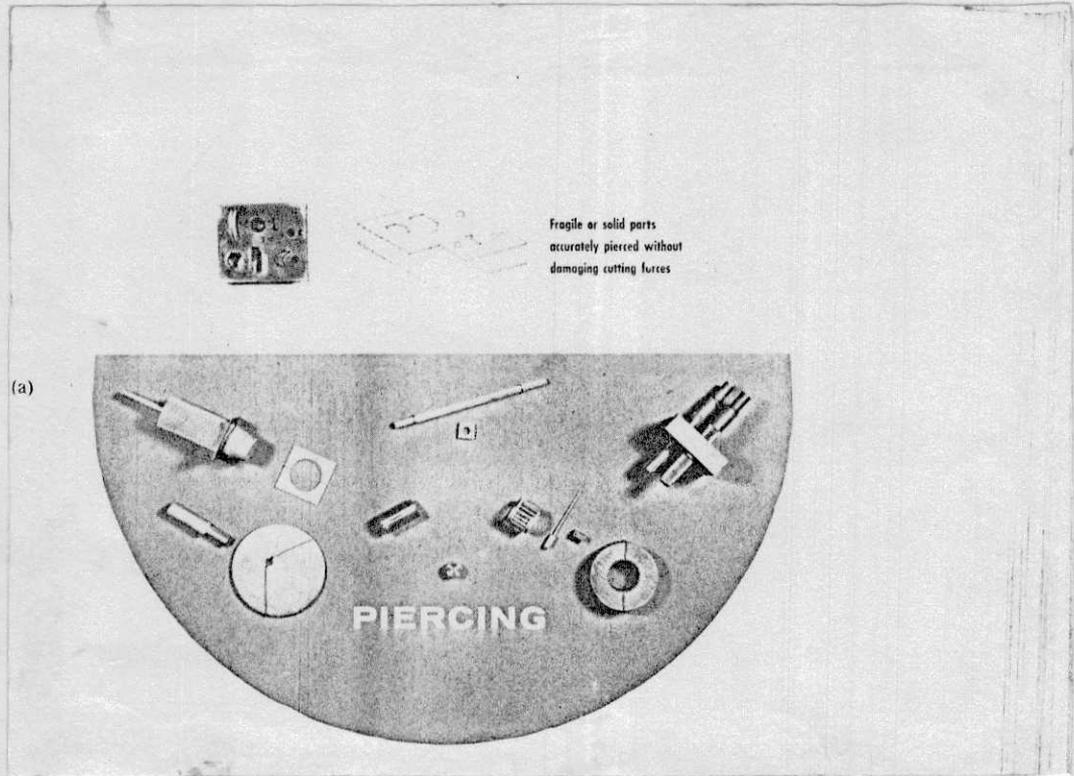
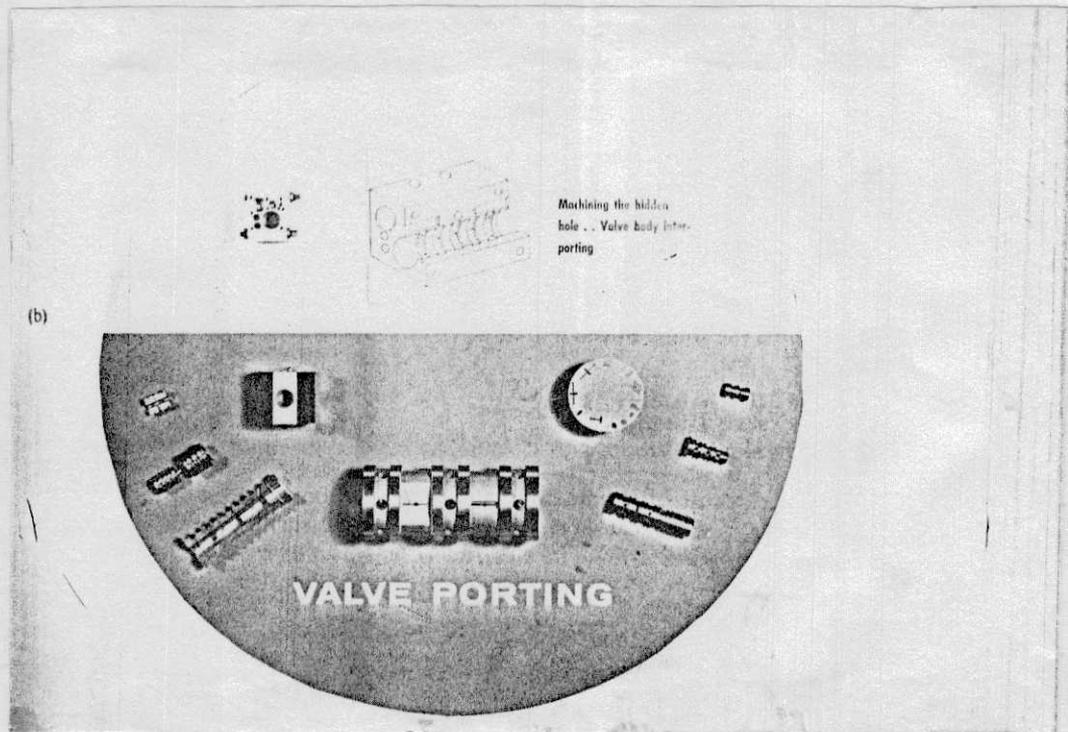


Fig. # 2 DIFERENTES FORMAS DE AGUJEROS DE ALTA PRECISIÓN.



a)



b)

FIG. # 3 APLICACIONES ESPECIALES DE LA MAQUINA DE ELECTROEROSION.



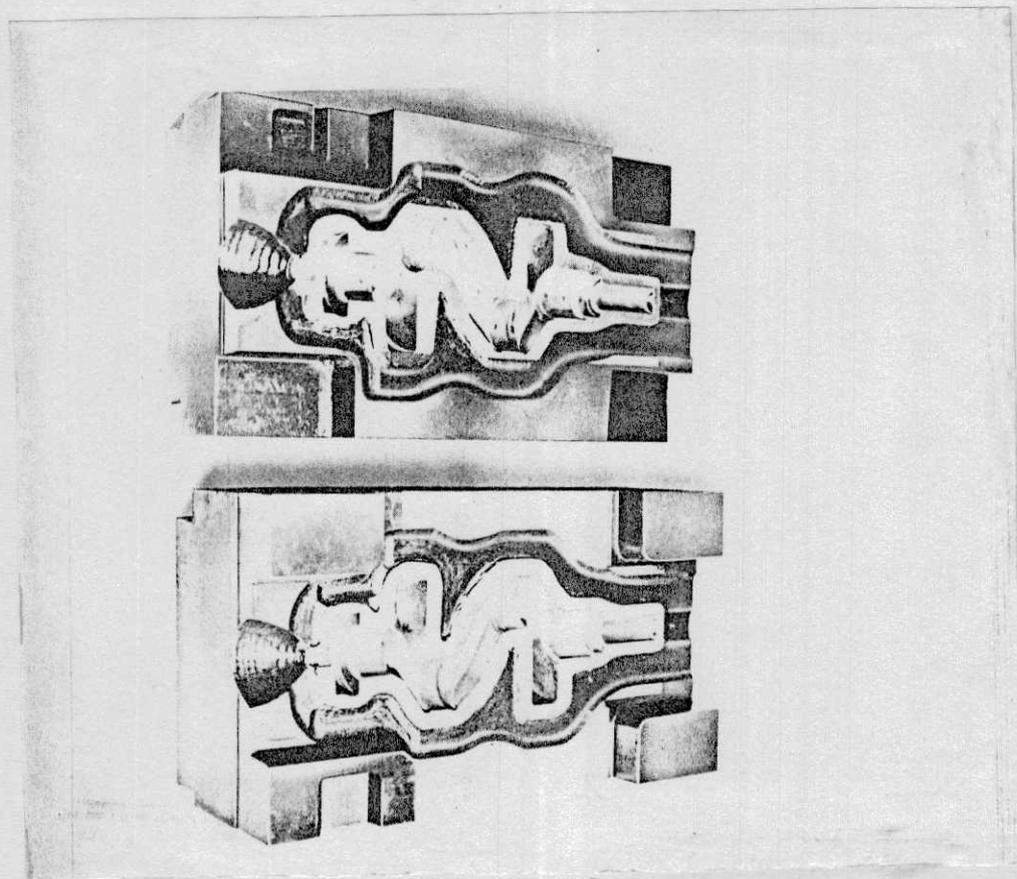


FIG.#4 EL ACABADO DE UNA MATRIZ FORTADA

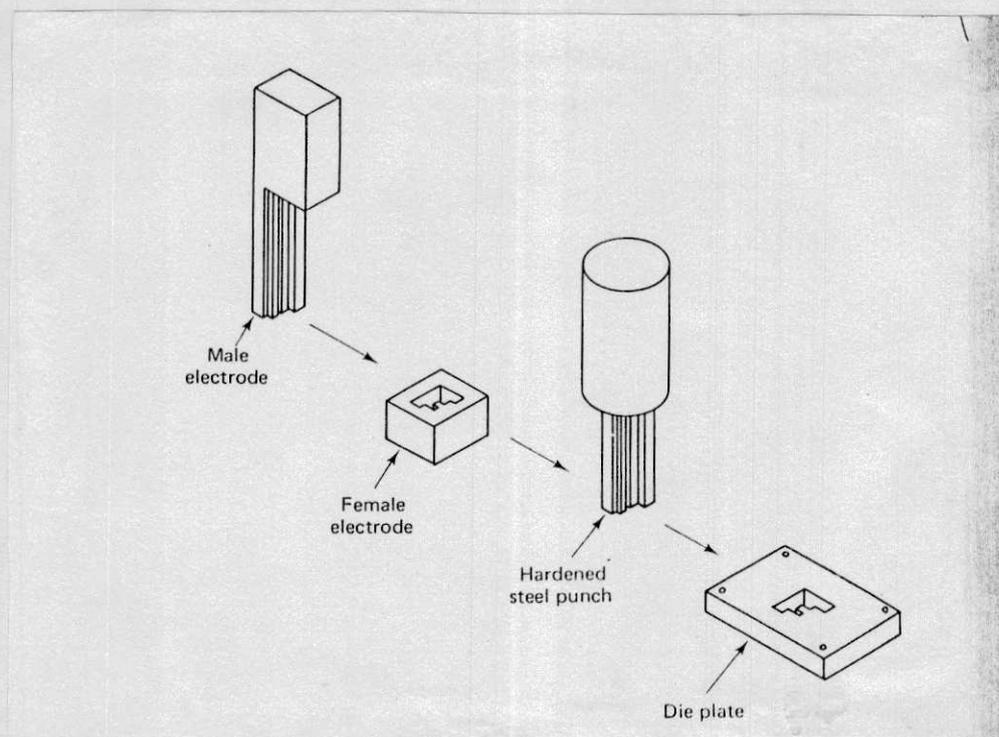


FIG.#5 SECUENCIA DE PASOS PARA LA REALIZACION DE UN CIERTO TRABAJO

CAPITULO 2

EL PROCESO DE ELECTROEROSION

2.1 PROCESO DE FORMACIÓN DE LA DESCARGA

La descarga eléctrica se da a conocer mediante una chispa eléctrica; y esta no es sino la manifestación visual del paso de electrones a través de un dieléctrico cuando este se ha vuelto conductor. Un ejemplo de ello es el relámpago, que se produce entre una nube y la tierra a través de un medio dieléctrico que es el aire. ¿Cómo se lleva a cabo todo esto?, es lo que vamos a ver a continuación.

La calidad de un dieléctrico (o aislante) depende de la resistencia que ofrece al paso de corriente, mientras mayor sea esta mejor es su calidad. Desde el punto de vista atómico los dieléctricos tienen sus electrones muy fuertemente ligados a sus núcleos por ello no poseen electrones libres; para ser más precisos, si lo poseen, y son producto de la temperatura, pero en muy pequeñísima cantidad, que la máxima corriente que pueden producir están en el orden de los nanoamperios, por ello en la práctica se considera que no existe tal corriente.

Para observar como se produce la descarga eléctrica apliquemos un voltaje variable a un medio dieléctrico, que puede ser el aire, por medio de dos placas paralelas, como se muestra en la figura No. 6. Vamos a incrementar el voltaje desde cero. Al ir subiendo en las placas irán apareciendo cargas, positiva en la una y negativa en la otra, de manera igual como ocurre con un capacitor. Estas cargas producen un campo eléctrico a través del medio dieléctrico el cual también era incrementándose. Producto de este campo eléctrico aparecerá la corriente de la que hablábamos hace un momento, al comienzo era incrementándose hasta llegar a su máximo valor, a la que se denomina corriente de saturación I_s , que ocurre cuando todos los electrones libres (producto de la temperatura) se mueven a la placa positiva. Esta corriente I_s ocurre para un voltaje V_s como se muestra en la figura No. 7. Desde este momento la corriente no incrementará hasta que el voltaje llegue a ser bastante grande, lo suficiente para comenzar el proceso de ionización del dieléctrico. Este voltaje de ionización V_i crea un campo eléctrico de intensidad tal que logra arrancar los electrones que están ligados a los átomos generando más electrones libres aumentando con ello la corriente. A medida que incrementamos el voltaje la ionización se produce de dos maneras, primero porque el campo eléctrico es más intenso aumentando con ello la fuerza de ionización creando más electrones libres y segundo porque los electrones libres ya generados son acelerados por el campo eléctrico hacia la placa positiva y en el camino producen choques con los átomos arrancándoles sus electrones aumentando así los electrones libres; estas dos vías de

ionización hace que la corriente incremente en forma exponencial. Todo esto ocurre hasta un voltaje V_r . Al sobrepasar este voltaje el campo eléctrico es tan intenso que la ionización, que se produce por las dos vías, genera una avalancha de electrones iniciando de esta manera la descarga, paralelamente la ionización se hace independiente del voltaje y es tan intensa que el número de electrones generados crece en forma exuberante haciendo con ello disminuir la resistencia eléctrica del dieléctrico en forma brusca. La descarga eléctrica se la puede visualizar, por la chispa con la que va acompañada, la cual es el resultado del gran número de choques y de las altísimas velocidades que tienen los electrones en el momento del impacto.

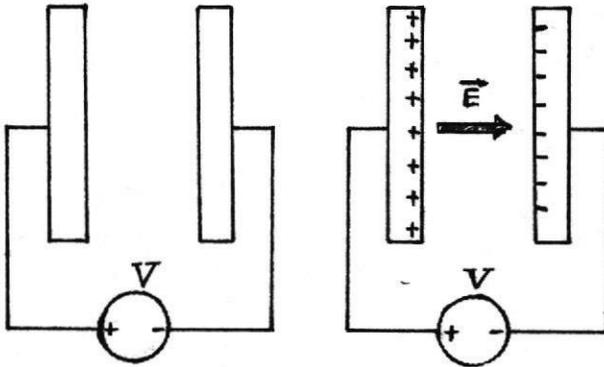


Fig. #6 Proceso de formación de la Descarga.

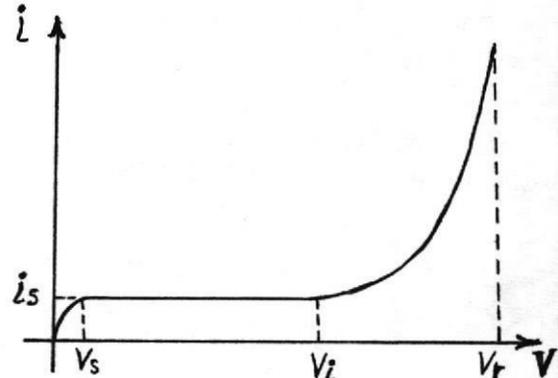


Fig. #7 Gráfico i Vs V Para una descarga.

Rigidez Dieléctrica.- Se conoce como rigidez dieléctrica al máximo campo eléctrico que se puede aplicar a un dieléctrico sin que se vuelva conductor; es decir, antes que se produzca la descarga, nos estamos refiriendo al voltaje V_r . Todos los dieléctricos tienen un valor de rigidez dieléctrica, en la tabla No. 1 se dan algunos de ellos.

TABLA No. 1

RIGIDES DIELECTRICA DE ALGUNOS MATERIALES

MATERIA	RIGIDEZ DIELECTRICA (kv/mm.)
Vacio	-
Aire	3
Bióxido de titanio	6
Agua	-
Porcelana	4
Vidrio Pyrex	13
Aceite de transformador	12
Papel	14

Estos valores nos dicen que el voltaje necesario para producir la descarga depende tan solo de la distancia que haya entre las placas.

2.2. MECANISMO DE PRODUCCION DE LAS DESCARGAS EN LA MAQUINA

Las máquinas de electroerosión utilizan como medio dieléctrico para producir las descargas, el kerex. La rigidez dieléctrica de este líquido no se conoce pero tomemos la del aceite de transformador que también es un derivado del petróleo; su valor es 12 kv/mm. o 12 v/um., que significa que para producir una descarga usando una fuente de 12v se requiere tener una distancia entre placas de lum. A esta distancia entre placas se conoce con el nombre de entrehierro o pçgap. Para aumentar el tamaño del gap es cuestión tan solo de usar una fuente de mayor voltaje. Debido a que el tamaño del gap juega un papel muy importante en el proceso de erosionado estas máquinas usan voltajes diferentes para producir las descargas, esta varían desde 50V hasta 400 V. Toda máquina habilita dos valores de voltaje el uno menor llamado voltaje estándar de trabajo y el otro usado para aplicaciones especiales en que el trabajo se vuelve muy complicado.

Un sistema hidráulico permite bajar una de las placas, ele electrodo herramienta, hacia la otra, la pieza de trabajo; hasta que la distancia entre ellas sea la requerida, entonces se producen las descargas. Estas descargas van erosionando la pieza de trabajo y el tamaño del gap se incrementa, entonces el hidráulico al detectar aquello baja nuevamente el electrodo; es decir, el sistema hidráulico mantiene el avance automático del electrodo durante el proceso de erosionado con el fin de mantener el gap necesario para que se produzca las descargas.

La Electrización.- Supongamos que queremos electrizar dos materiales como los que se muestran en la figura No. 8. En el que presenta superficie uniforme las cargas se distribuyen uniformemente mientras que en el otro las cargas tienden a acumularse en las partes puntiagudas; es más, mientras más puntiaguda es, mayor concentración de cargas existe en es punta.

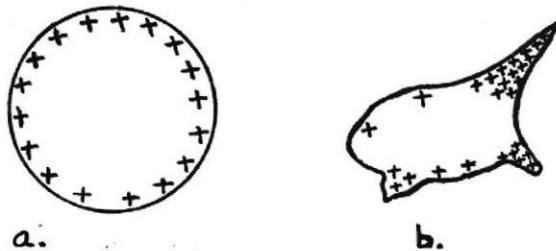


fig # 8 - PROCESO DE ELECTRIZACION

Este mismo efecto ocurre en el electrodo herramienta y la pieza de trabajo, éstas no tienen su superficie uniforme por tanto las cargas se acumulan más en las partes puntiagudas por ello el campo eléctrico entre éstos dos puntos será más intenso que en el resto de la superficie y

es aquí entonces que más pronto el campo eléctrico superará el valor de la rigidez dieléctrica produciendo la ionización y avalancha de electrones. Por tanto existe tan solo un canal a través del cual los electrones fluyen produciendo la descarga eléctrica.

Canal de conducción.- Antes de la descarga, el proceso de ionización se produce tan solo a través de un canal que une los dos puntos y es también a través de este canal que se produce la descarga. A este canal se le conoce con el nombre de canal de conducción de corriente eléctrica. Ve figura No. 9.

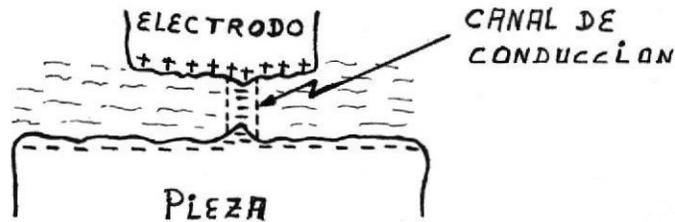


fig. # 9
FORMACIÓN DEL CANAL DE CONDUCCIÓN

2.3 EL TIEMPO DE DURACION Y A INTENSIDAD DE CORRIENTE DE LA DESCARGA EN EL EROSIONADO

Muchos son los factores que influyen en el erosionado por una descarga eléctrica, dos de ellos son el tiempo de duración de la descarga y su intensidad de corriente.

Si todos los parámetros se mantienen constantes y variamos solamente el tiempo de duración de la descarga tendremos los efectos que se muestran en la fig. No. 10.

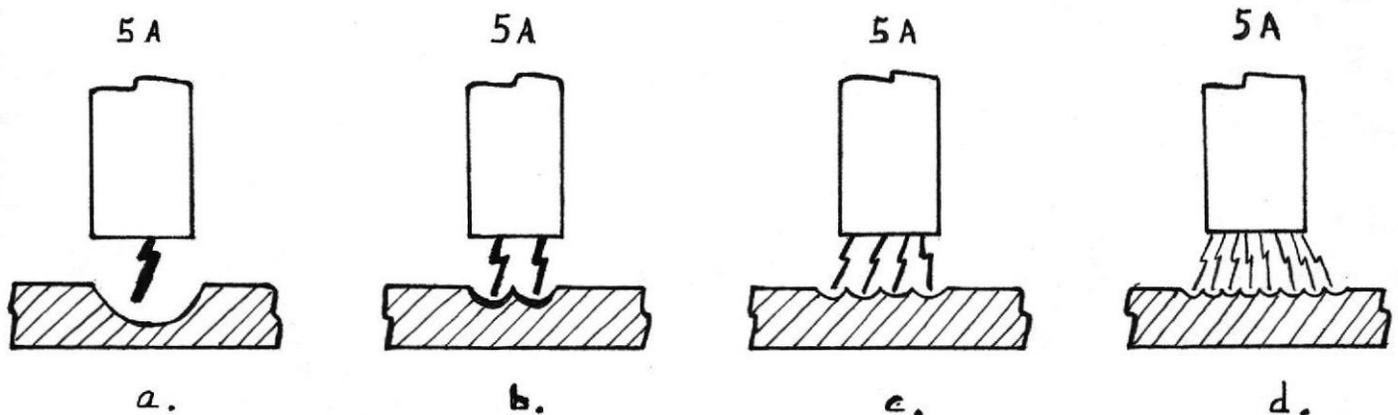


fig. # 10
INFLUENCIA DEL TIEMPO DE DURACION DE LA DESCARGA EN EL EROSIONADO.

Una descarga de $5A$ de un tiempo t de duración contiene una cierta cantidad de energía y erosionará un determinado volumen de material como se aprecia en la fig. No. 10a. Si en lugar de ello aplicamos dos descargas de $t/2$ de duración, la energía de cada una de ellas será la mitad, consecuentemente el volumen erosionado de la pieza de trabajo por las dos descargas es también el mismo que produjo la que duro t seg.; el erosionado que produce cada una de ellas es la mitad como se observa en la fig. No. 10b.

Las figuras 10c y 10d muestran las erosiones producidas con la misma corriente, $5A$ pero su duración disminuida a $t/4$ de seg. y $t/8$ de seg. respectivamente. En cada caso el volumen erosionado por seg. será equivalente al producido por 1 sola descarga de $5A$ y de t seg. de duración.

De igual manera si variamos la intensidad de corriente manteniendo constante los demás parámetros, incluyendo el tiempo de duración, los efectos que se observan serán los que se muestran en la fig. No. 11. La fig. 11a es el resultado de una descarga de $1A$ el cual contiene una cantidad determinada de energía y por consiguiente remueve una cierta cantidad de material de la pieza de trabajo. Cuando la corriente es duplicada, $2A$, como muestra la fig. 11b, la energía en la chispa es doblada, entonces el volumen removido de la pieza es también el doble. La fig. 11c muestra el resultado de cuadruplicar la corriente; la energía ha sido incrementada nuevamente y comparando con la chispa de $1A$ el volumen erosionado es 4 veces mayor. En conclusión cuando la corriente de la descarga aumenta, el volumen erosionado incrementa también.

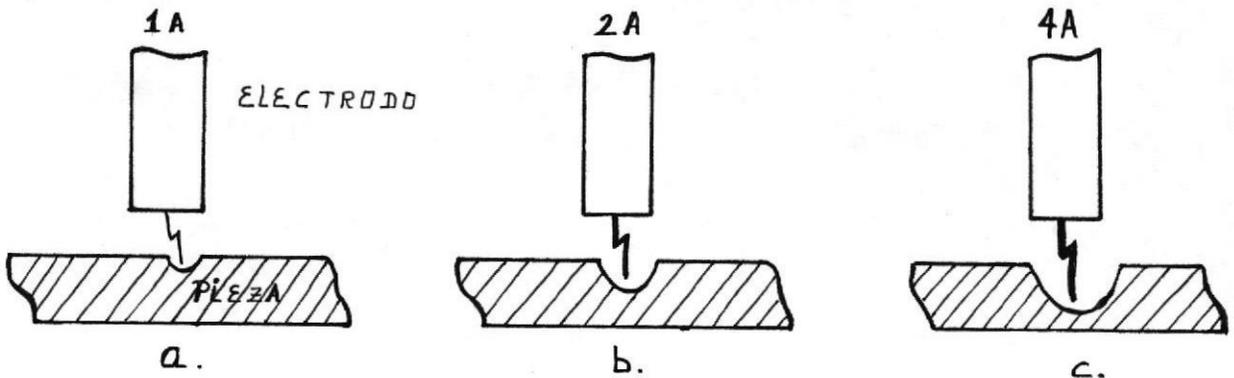


fig # 11 LA INTENSIDAD DE CORRIENTE Y SU EFECTO EN EL EROSIONADO

Cabe indicar que este análisis es hecho desde el punto de vista teórico; datos reales serán dados más adelante y entonces los compararemos con éstos, con la finalidad de analizar el comportamiento de la máquina.

2.4. EL FENÓMENO DE EROSIONADO DE LA DESCARGA

Existe muchas hipótesis de como se efectúa el cráter en la pieza de trabajo por parte de la descarga. La explicación que más a menudo he encontrado en los folletos y que permite entender más claramente el proceso es el siguiente.

Antes debemos recordar que la corriente eléctrica implica el flujo de electrones desde el polo negativo al positivo como se muestra en el gráfico No. 12, es decir desde la pieza de trabajo, katodo, hacia el electrodo herramienta, ánodo.

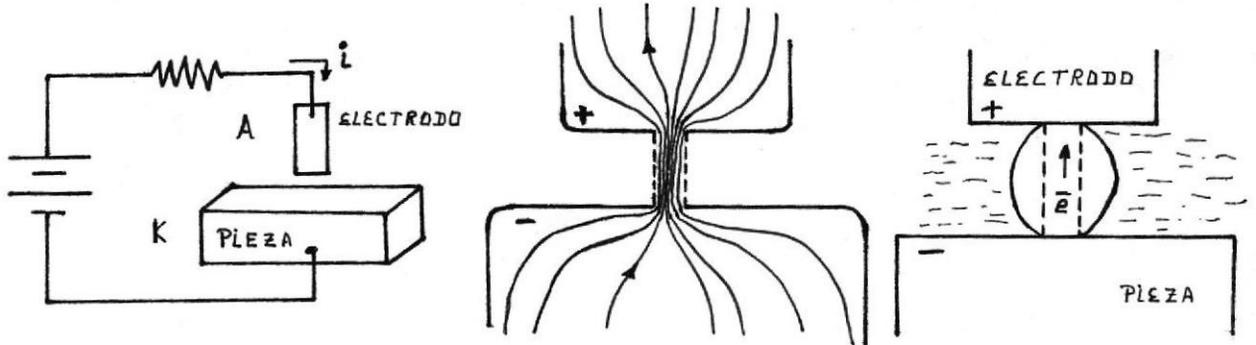


fig # 12
RECORRIDO DE LA CORRIENTE

fig # 13
LA CORRIENTE EN EL CANAL

fig # 14
GASES EN EL CANAL DE COND.

Cuando la descarga ocurre esta se lleva a cabo a través del canal de conducción el cual tiene un área muy pequeñísima en el orden de los μm^2 ; y recordemos que la corriente es función del área $j = i/A$ al igual que la resistencia $R = 1/A$. Entonces al ser el área tan pequeña la corriente y la resistencia se hacen tan grandes incrementando con ello la potencia $P = i^2R$ que se convierte en energía calorífica. Esto ocurre en los puntos de la superficie de la herramienta y la pieza en que se produce la descarga, que es donde se forma una especie de garganta por el que van a pasar todos los electrones acelerados a altas velocidades. En el gráfico No. 13 se aprecia la trayectoria que tomarían los electrones para pasar por el canal. Esta energía calorífica crece bruscamente, al igual como se desarrolla la descarga, alcanzando temperaturas de hasta $3000\text{ }^\circ\text{C}$; por ello al alcanzar la temperatura de fusión del material, en ambos polos, estos se funden en un pequeño volumen. Este volumen es mayor al incrementar el tiempo de duración de la descarga porque tiene más tiempo para propagarse; y también cuando incrementamos la corriente porque los electrones adquieren mayor velocidad, que en corrientes más bajas, produciendo choques más fuertes y con ello en menor tiempo alcanza la temperatura de fusión.

Paralelamente al efecto anterior ocurre otro en el líquido dieléctrico. Aquí también se generan altísimas temperaturas, como resultado de los choques de ionización durante la descarga y que se manifiesta en forma de chispa, las mismas que vaporizan el líquido dieléctrico que se

encuentra al rededor del canal generando una bola de gas como se aprecia en la figura No. 14. Esta bola de gas irá incrementando su volumen mientras dure la descarga hasta hacerse relativamente grande, rodeada toda ella de líquido dieléctrico, pues recordemos que el proceso de erosionarse lleva a cabo sumergido los electrodos en un tanque de líquido dieléctrico.

En esta situación (bola de gas grande y material fundido en ambos polos) se corta la corriente eléctrica. El canal de conducción se derrumba y la chispa desaparece, con lo cual ya no habrá nada que mantenga a la bola de gas desarrollada. El líquido dieléctrico entonces rompe la bola de gas haciéndola implosionar (explotar hacia adentro). Ello hace que se creen fuerzas que hacen salir el material fundido formando dos cráteres en las superficies. El material fundido se solidifica y es arrastrado en forma de bolas por el líquido dieléctrico constituyendo lo que se puede llamar "Viruta del proceso de electroerosión".

Como se ha visto existe erosión sobre los dos polos. Pero esta erosión puede ser muy distinta en uno y otro polo, dependiendo entre otras cosas del material de ambos polos (electrodo y pieza) y de la polaridad.

En electroerosión existe un fenómeno llamado "efecto de polaridad", que consiste en el diferente desgaste de ambos electrodos cuando están constituidos por el mismo material. Se llega a la conclusión de que si en ambos polos se pusiese electrodos por ejemplo de cobre, el polo positivo se desgasta poco y el polo negativo mucho.

Cuando los materiales de electrodo y pieza son diferentes además del efecto de polaridad entran en juego factores como son la conductividad térmica y el punto de fusión.

Por ello en muchos casos eligiendo adecuadamente los materiales de electrodo y pieza se llega a disimetrías muy acusadas en el desgaste, como puede ser el desgaste de minas de 0,5 mm³ en un polo por cada 100 mm³ de arranque en el otro.

2.5 DATOS QUE MUESTRAN LA INFLUENCIA DE LA FRECUENCIA Y LA CORRIENTE EN EL EROSIONADO.

Las máquinas de electroerosión traen en su panel de controles un switch que permite elegir la intensidad de corriente de la descarga y otro para elegir el tiempo de duración de la descarga.

La tabla No. 3 muestra valores que fueron obtenidos del manual de la máquina ONA IRU de propiedad de la Politécnica y que se encuentra en el Taller de Ingeniería Mecánica. En el que



se muestra la capacidad de erosión de la máquina, valores reales, medida en volumen erosionado por minuto, al variar ambos controles.

La máquina en el control de corriente trae posiciones indicadas con números romanos cada una corresponde a un valor de corriente el cual se indica en la tabla . El control del tiempo de duración de la descarga que aquí lo denominan tiempo de impulso (de la corriente) también trae posiciones numeradas de 1 al 14 cuyo valor se indica en la tabla No. 2. Tenemos un tercer control denominado de tiempo de pausa (del impulso) que corresponde al tiempo necesario que debe haber entre descargas. Lo vamos a analizar detenidamente.

TABLA No. 2

POSICION	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
TIEMPO DE IMPULSO(us)	1	2	3	5	8	10	26	48	60	100	120	160	220	400
TIEMPO DE PAUSA (us)	1	2	3	4	5	10	20	32	60	85	120	200	300	450

VALORES DE TIEMPO DE IMPULSO Y TIEMPO DE PAUSA PARA CADA POSICIÓN

Tiempo de Pausa.- Es importante cuando se corta la energía para que desaparezca, que esta dure un tiempo determinado antes de producir la siguiente, porque la desaparición no es instantánea, y al no esperar el tiempo necesario la próxima descarga que se produzca se llevará a cabo en el mismo lugar, y esto no se desea en el proceso de erosionado que estamos analizando, pues esperamos que las descargas se efectúen en puntos diferentes para que el erosionado vaya avanzando uniformemente.

Lo que ocurre es que cuando se corta la energía y con ello la corriente, en el canal en que se llevó a cabo la descarga quedan los iones y electrones productos de la ionización y que son muchísimos. La manera en que irán desapareciendo es por recombinación; es decir, los electrones entran en los iones positivos generados átomos neutros, pero este proceso es muy lento dentro del tiempo que estamos tratando, de los microsegundos, además se requiere que sea el más corto posible porque así las descargas se producirán en mayor número. Una manera de agilizar este proceso es asiendo que la corriente no desaparezca instantáneamente sino en forma lenta, el elemento que permite aquello es un capacitor el cual se intercala en el circuito de descarga y entra en acción cuando se corta la energía. Esto lo analizaremos más adelante cuando presentemos el circuito eléctrico. Por tal momento observemos la tabla No. 2 que nos indica que este tiempo aumenta al incrementar la corriente o el tiempo de duración de la descarga. Esto era lógico esperar pues cuando éstos incrementan existe mayor número de electrones en el gap necesitando por consiguiente más tiempo para desaparecer.

TABLA 3

CORRIENTE DE IMPULSOS	TIEMPO DE IMPULSO	TIEMPO DE PAUSA	CAPACIDAD DE EROSION POR MINUTO (MM ³)	GAP O ABERTURA ENTRE EL ELECTRODO Y LA PIEZA (UM)	DESGASTE DEL ELECTRODO CON RELACION AL VOLUMEN DE MATERIAL ARRANCADO (%)	RUGOSIDAD (UM) Re	
IV (16A)	3	2	6	35	25	14	
	4	3	8	40	20	17	
	5	3	10	45	15	20	
	6	3	10	50	10	25	
	7	4	12	55	70	30	
	8	4	12	60	5	35	
	9	4	10	65	3	40	
	10	4	8	70	1,5	50	
	III (8A)	1	1	1	17	40	7
		2	2	2	20	30	8
3		2	2	25	20	10	
4		2	3	30	15	13	
5		3	5	35	10	16	
6		3	6	40	70	20	
7		3	5	45	5	22	
8		3	5	50	4	28	
9		3	4	55	3	30	
II (4A)	1	1	0,5	15	40	5	
	2	2	1	17	30	6	
	3	2	1	20	20	8	
	4	2	2	22	15	10	
	5	3	3	25	10	12	
	6	3	3	30	7	15	
	7	3	3	35	5	20	
	8	3	2	40	4	25	
I (2A)	1	1	0,25	12	35	4	
	2	2	0,5	14	25	5	
	3	2	0,5	16	15	6	
	4	2	0,75	18	10	8	
	5	3	1	20	6	10	
	6	3	1	25	4	12	

RESULTADOS OBTENIDOS UTILIZANDO ELECTRODO DE COBRE ELECTROLITICO AL 99,96% EROSIONANDO EN MATERIAL DE ACERO YEMPLADO

CORRIENTE DE IMPULSOS	TIEMPO DE IMPULSO	TIEMPO DE PAUSA	CAPACIDAD DE EROSION POR MINUTO (MM3)	GAP O ABERTURA ENTRE EL ELECTRODO Y LA PIEZA (UM)	DESGASTE DEL ELECTRODO CON RELACION AL VOLUMEN DE MATERIAL ARRANCADO (%)	RUGOSIDAD (UM) Re
VIII (160A)	8	5,6,7,8,9,10	500	125	De 20 a 25	90
	9	5,6,7,8,9,10	600	140	15 20	110
	10	"	700	160	10 15	130
	11	"	800	180	5 10	150
	12	"	900	200	3 5	170
	13	"	950	220	2 3	200
	14	"	900	240	1	220
VII (80A)	8	5,6,7,8,9,10	250	110	De 20 a 25	75
	9	"	300	120	15 20	85
	10	"	350	135	10 15	100
	11	"	400	150	4 8	120
	12	"	450	170	3 5	140
	13	"	400	190	1 3	160
	14	"	350	210	0,5	180
VI (48A)	6	5	40	70	20	40
	7	5	50	80	15	45
	8	5	60	90	10	55
	9	5	80	100	5	65
	10	5	110	110	2	75
	11	5	100	120	1	90
	12	5	80	140	0,5	105
	13	5	70	160	0,5	120
14	5	60	180	0,5	135	
V (24A)	4	3	12	50	20	20
	5	3	15	55	15	25
	6	3	15	60	12	30
	7	3	20	65	10	35
	8	3	25	70	40	40
	9	4	30	75	3	50
	10	4	30	80	1,5	60
	11	4	25	90	0,5	70

VALORES DE TIEMPO DE RESULTADOS OBTENIDOS UTILIZANDO ELECTRODO DE COBRE ELECTROLITICO AL 99,96% EROSIONANDO EN MATERIAL DE ACERO TEMPLADO.

Volviendo nuevamente a la tabla No. 2 observemos que la capacidad de erosión por minuto varía con la corriente y también con la frecuencia de las descargas (es decir el tiempo de duración de las descargas). Las variaciones en la frecuencia, manteniendo la corriente constante, notamos que producen un valor pico de erosionado, ésto contrasta con lo que teóricamente se analizó anteriormente, un estudio experimental de la máquina permitió explicar este comportamiento el cual lo tratamos detenidamente en el capítulo 5. De igual manera fue estudiado el comportamiento del erosionado frente a variaciones en la corriente, concluyendo que este se duplicaba el duplicarse la corriente. En el resultado de la tabla vemos que si existe la tendencia a cumplirse esta regla en algunos casos y en otros no. Los factores que influyen en este aspecto son mucho, entre ellos el más importante es la complejidad de la limpieza del gas, este tema no entra en este capítulo por ello lo trataremos detalladamente en el capítulo 4.

2.6 DIAGRAMA ELECTRICQ DEL CIRCUITO GENERADOR DE DESCARGAS

El circuito básico para generar las descargas es el siguiente:

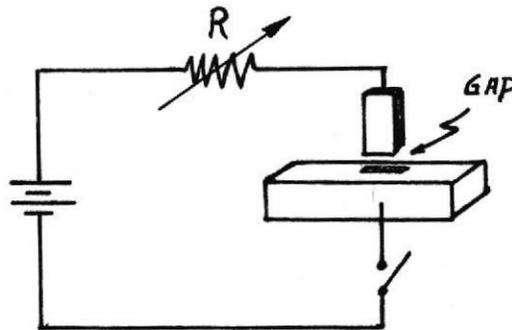


fig # 15 CIRCUITO BÁSICO GENERADOR DE DESCARGAS.

Una fuente de voltaje para producir la ionización del dieléctrico; los dos polos, electrodo herramienta y pieza de trabajo, separados a la distancia necesaria para producir las descargas; una resistencia variable que permite controlar la corriente de descarga y un switch para controlar la frecuencia de las mismas, el cual controla el tiempo de duración de la descarga y el tiempo de pausa entre descarga, tiempo de impulso y tiempo de pausa de la corriente respectivamente.

El circuito en las máquinas de electroerosión es como se muestran en la figura No. 16. El control de la intensidad de corriente de las descargas lo realiza mediante redes por que se trata de corrientes muy grandes. Y el control de la frecuencia de las descargas lo hace



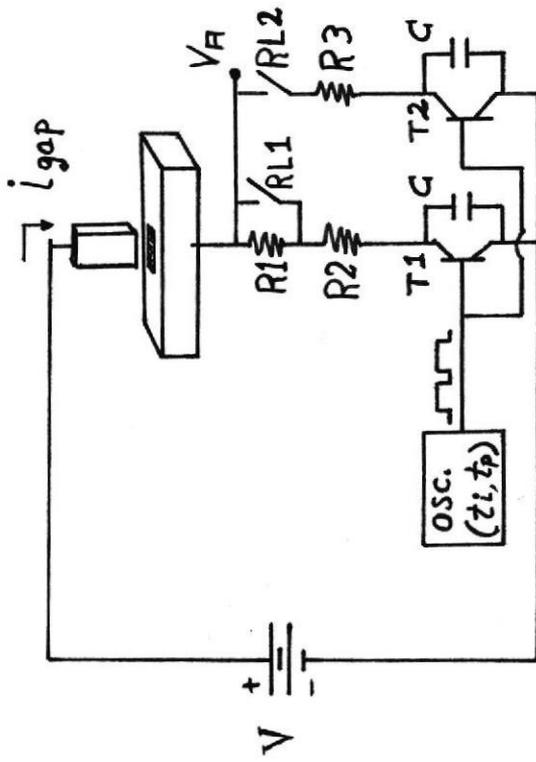


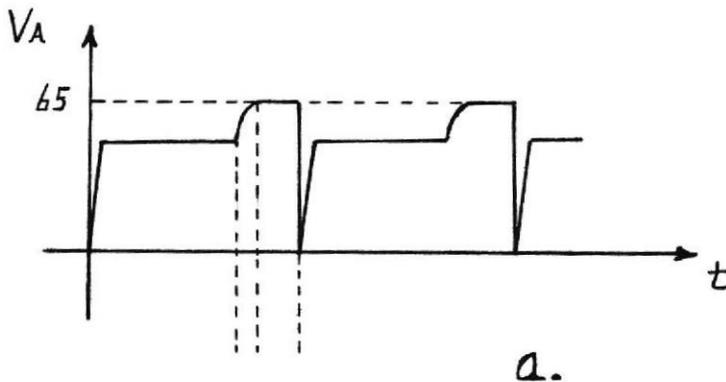
fig #16
CIRCUITO GENERADOR DE DESCARGAS

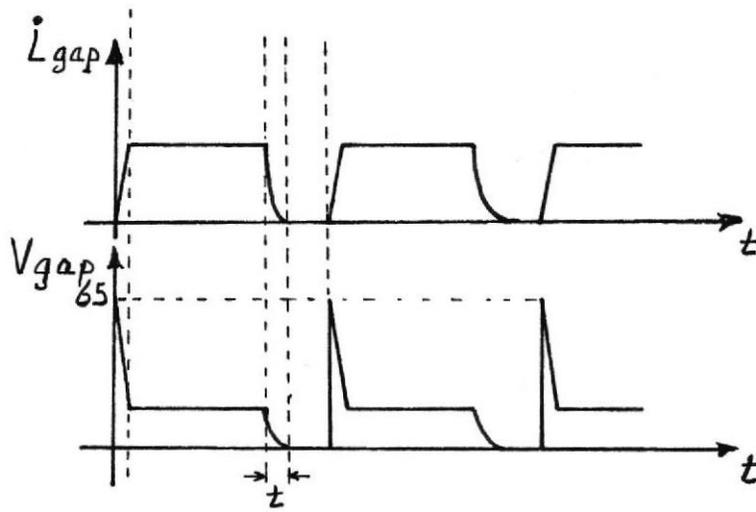
mediante transistores porque este elemento permite trabajar a las altas frecuencias que se requiere; varios de ellos son conectados en paralelo debido a que estos trabajan con corrientes bajas comparadas con las corrientes que la máquina habilita para las descargas. Para controlar el tiempo de impulso y el tiempo de pausa de la corriente, basta controlar el tiempo en que el transistor este saturado y el tiempo en que este en corte, esto se lo hace desde el circuito oscilador regulando el tiempo del pulso en alto y el tiempo del pulso en bajo, respectivamente.

Para la máquina ONA-IRU el circuito tiene los siguiente valores $V=65v$, $R1=18$, $R2=R3=15$. Cuando se energisa el oscilador, este alimenta a todos los transistores, y el circuito comienza a generar las descargas a la frecuencia prefijada en el, si RL1 y RL2 no se han energizado la corriente de descarga es 2A; si se encuentra energizado RL1 la corriente sería de 4A; y si ambos, RL1 y RL2, se encuentran energizados la corriente sería de 8A. Se han intercalado transistores en paralelo porque su corriente máxima de colector es de 6A. Para incrementar aún más la corriente de la descarga solo es necesario conectar más transistores y resistencias en paralelo a las anteriores.

Los capacitores C que se encuentran conectados en paralelo con los transistores realizan la función de minimizar al máximo el tiempo de pausa entre descarga.

El efecto que produce este capacitor en el circuito se aprecia al analizar las formas de ondas de voltaje V_A y la corriente del gap. Ver figura No. 17. Cuando se produce la descarga el voltaje V_A , figura 18a, crece desde cero hasta un valor V_d que es la resta de los 65v menos la caída en el gap, figura 18c. Cuando se corta la descarga el transistor entra en estado de corte por tanto entra en acción el capacitor cargándose hasta los 65v por ello el voltaje V_A presenta esa forma, y esto lo hace en un tiempo t , luego de lo cual el voltaje V_A permanece en ese valor. Entonces al iniciarse la nueva descarga, el transistor se satura y el capacitor se descarga a través de él instantáneamente cayendo el voltaje V_A a cero también instantáneamente; aquí se origina todo el proceso de ionización y descarga de los polos haciendo con ello que la corriente crezca.





b.

c.

fig # 17
 GRÁFICO DE CORRIENTE Y VOLTAJE EN EL ENTREHIERRO

El análisis hecho es teórico, los resultados experimentales se muestran en el Capítulo 5.

El tiempo t es muy pequeño y está dado por la constante de tiempo de descarga $\tau = RC$.

CAPITULO 3

3.1 LIQUIDO DIELECTRICO

3.1.a FUNCIONES QUE REALIZA EL LIQUIDO DIELECTRICO.

El líquido dieléctrico dentro del proceso de erosionado cumple 3 funciones básicas que son:

- La de actuar como dieléctrico.
- La de limpieza del gap
- La de actuar como refrigerante

Quizá la primera es la principal función del líquido dieléctrico, pues posee el requisito fundamental, su rigidez dieléctrica, por lo tanto no conduce la corriente eléctrica a no ser solamente mediante descargas eléctricas. Además realiza todo o el procedimiento necesario para producir el erosionado en la pieza de trabajo.

La segunda, la de limpieza del gap, consiste en que el líquido que se encuentra en el gap no se encuentre estático sino que se encuentre circulando a través de el para que de esta manera arrastre todas las impurezas que aparecen en el gap como resultado de la descarga. Esta impurezas son las siguientes:

- a. Partículas procedentes de la erosión, que han sido arrancados de ambos polos.
- b. Gases que provienen de la disociación del dieléctrico.
- c. Partículas de carbón que provienen del cracking del dieléctrico.

La primera de ellas ya sabemos como se origina, analizaremos las otras dos.

Habíamos mencionado que el canal a través del cual se produce la descarga se generan altas temperaturas que vaporizan el líquido dieléctrico que se encuentra a su alrededor. Este proceso de vaporización origina desprendimientos de burbujas de gas y partículas de carbón, puesto que e kérex es un hidrocarburo, los cuales se depositan en el gap y si no se realiza el arrastre de estas hacia afuera pronto el gap estará atestado de estas partículas convirtiéndose en conductor, desapareciendo con ello la condición

fundamental del líquido, su rigidez dieléctrica, producirá entonces efectos no deseados y que perturban el avance normal del erosionado.

La tercera función es la de actuar como refrigerante. Durante el proceso de erosionado, si este no se realiza con los electrodos sumergidos en el líquido, en cuestión de minutos los dos polos, electrodo herramienta y pieza de trabajo, se recalientan y esta es más intensa para corrientes de descarga más grandes. ¿De dónde se origina este calor?.

Durante la descarga eléctrica en la superficie de los polos, en los puntos en que esta se está realizando, se originan altas temperaturas y esta se dispersa en todo el material pero tan solo un pequeño volumen alcanza la temperatura de fusión del material y es el que se erosiona, pero el resto de material no. Entonces cada descarga deja un calentamiento puntual en la superficie de ambos lados y las miles de ellas en 1 segundo originan un calentamiento en toda la superficie la cual se propaga a todo el material que hace que en pocos minutos se recaliente.

Este recalentamiento es peligroso porque produce daños irreparables. Puede quebrar el electrodo herramienta dejándolo inservible produciendo pérdidas en el trabajo, pues como veremos en capítulos posteriores el precio que conlleva su elaboración puede alcanzar el 50 o 60% del costo total del trabajo. Este y otros efectos hacen que sea imprescindible sumergirlo en el líquido ambos polos. Y el kéréx tiene la característica de que a temperatura normal se mantiene frío, lo cual permite que los electrodos se enfríen rápidamente. Esta característica es una de las condiciones que como veremos enseguida debe reunir un dieléctrico para ser usado en estas máquinas.

3.1.b CARACTERISTICAS DEL LIQUIDO DIELECTRICO

Existen una gran cantidad de dieléctricos; en los 3 estados sólido, líquido y gaseoso. Pero cualesquiera de ellos no puede ser elegido para emplearlo en esta máquina; deben cumplir ciertas condiciones muy importantes. Primero analizaremos cada estado.

Dieléctricos sólidos .- El inconveniente que salta a la vista es que, de lograrse producir la descarga y el erosionado, no hay manera de sacar las impurezas del gap. Por ello este tipo de dieléctricos quedan descartados.

Dieléctricos gaseosos.- Este tipo de dieléctricos si producen la descarga, pero con la desventaja de que ésta se ramifica; es decir, el canal de conducción no es único, comienza en un punto pero termina en varios; esto se debe a que los átomos se

encuentran muy dispersos. Al no estar concentrada de energía de descarga a través de un solo canal, como ocurre con el kérex, el erosionado que produce es muy pobre que a pesar que erosiona en los diferentes puntos en que se ha producido, es tan insignificante que aún cuando pasen varios minutos no se aprecia el volumen erosionado. Se precisa de corrientes muy grandes para obtener un efecto apreciable. Por todo ello éstos tipos de dieléctricos también quedan descartados.

Dieléctricos líquidos.- Estos tipos de dieléctricos permiten tener descargas concentradas, es decir de un solo canal, precisamente porque sus moléculas se encuentran mucho más juntas. Ciertas características que precisan ser cumplidas por el líquido limitan los tipos de dieléctricos que pueden ser usados, éstas son:

1. Tener la suficiente rigidez dieléctrica para soportar los campos eléctricos que crean las tensiones que se aplican a ambos electrodos (oscilan entre 60 y 400 voltios), que están separados en un gap que oscilan entre 10 y 200 micras, no permitiendo el paso de la corriente si no es en forma de descarga.
2. Deben de tener baja viscosidad y baja tensión superficial, o sea que moje bien, a fin de penetrar con facilidad hasta el último rincón del gap y reconstituir allí las condiciones normales de aislamiento. Además debe de poder pasar por espacios menores a 5 micras para poder efectuar el arrastre de los residuos de la erosión.
3. Deben de ser químicamente neutros, nunca ácidos, con el fin de no atacar el electrodo y pieza ni a las partes de la máquina con las que ha de poner en contacto.
4. Dada la gran superficie de contacto entre el líquido y el aire, su volatividad debe de ser baja, para evitar pérdidas.
5. El punto de inflamación debe de ser lo suficientemente alto como para evitar el peligro de incendio, siempre y cuando se hayan observado las normales medidas de seguridad.
6. No debe de desprender vapores nocivos con olor especialmente desagradable, ni tampoco debe de producir irritaciones en la piel, ni tener ningún otro riesgo.

7. Debe de tener las características térmicas adecuadas para poder enfriar las superficies erosionadas y evitar las posibles variaciones dimensionales que originan las altas temperaturas loables que se dan en ambos electrodos.
8. Debe de presentar una mínima formación de lodos (residuos del cracking) en las peores condiciones de mecanizado.
9. Deben de conservar sus propiedades en todas las condiciones de mecanizado; es decir, que sean mínimamente sensibles a las variaciones de temperatura, a los restos de la erosión y los productos de descomposición resultantes de la acción de las descargas.
10. Su precio no debe de ser excesivo y la obtención en el mercado debe de ser fácil.

Entre las características enumeradas, hay algunas que ejercen una acción muy importante, tal vez, es la desionización del dieléctrico. Este debe de desionizarse lo más rápidamente posible y volver a su estado inicial para que se puedan dar más descargas. Si la desionización es rápida, la velocidad de arranque de material aumenta mucho, mientras el desgaste relativo se reduce considerablemente.

Los dieléctricos que mejor cumplen con las características antes mencionadas son los hidrocarburos: los aceites y el kérex, aunque existen ciertas diferencias entre ellas que lo vamos a ver. A más de éstos dos también el agua cumple con las características, por ello también lo tratamos.

Aceites.

Los aceites que mejor se comportan en este proceso son los minerales, ya que su temperatura de inflamación es alta, oscilando entre 120 y 150°C, lo cual supone una gran seguridad contra incendios.

La viscosidad del aceite es elevada, variando entre 6 y 10cts., lo cual, junto a la característica antes mencionada (punto de inflamación alto), los hace aconsejable para trabajos de desbaste, en estos tipos de trabajos el gap es grande y por ello no suele haber problemas en la circulación del dieléctrico por el gap. Sin embargo no es válido para trabajos de acabados donde el gap es muy pequeño, debido a su alta viscosidad, el aceite no puede circular por él.

El kérex.

El kérex posee un punto de inflamación más bajo que el aceite, pues su valor oscila entre 75 y 80°C. Su viscosidad también es menor que la de los aceites y oscila alrededor de 2 cts.

Todo ello lo hace aconsejable por trabajos de acabado, en los que la temperatura es baja y el gap es pequeño.

Como se ve, y en teoría, se debería de realizar cada operación (de desbaste o acabado) eligiendo el dieléctrico idóneo para ella. Pero resulta que cuando se trata de hacer trabajos en una máquina, no se puede cambiar el aceite que se ha utilizado en el proceso de desbaste, por kérex, para realizar el proceso de acabado, ya que las cantidades son muy grandes y oscilan entre 100 y 800 litros, según el tipo de máquina. Por ello, según los trabajos que vaya a desempeñar la máquina, se hará de elegir entre un tipo de aceite o kérex. Se debe de indicar que el kérex es el dieléctrico más utilizado en este proceso.

Agua

El agua se utiliza como dieléctrico solo en algunas ocasiones, como micromecanizados. Debe de estar totalmente desmineralizada.

3.1.c DIFERENTES TIPOS DE LIMPIEZA DEL GAP.

El hecho de que el tamaño del gap que se requiere para producir las descargas sea tan pequeño, incide directamente en su limpieza, haciendo que este procedimiento se haga muy complejo. A medida que el área de trabajo es más grande se hace ineficiente usar tan solo líquido a presión para realizar la limpieza, igual ocurre en agujeros profundos; más aún cuando la forma del trabajo es compleja.

Con este fin las máquinas de electroerosión se hallan equipadas para realizar esta tarea, con diferentes tipos de procedimientos éstas son:

1. Dos lanzas. Las máquinas cuentan con 2 lanzas las que se encuentran a cada lado del tanque de trabajo. Permiten fluir el líquido en forma de chorro y a presión regulable, la cual puede ser aplicado directamente al gap y de esta manera realizar la limpieza.

2. Ducto de aspiración. Permite realizar la limpieza succionando el líquido desde el tanque de trabajo de tal manera que el líquido arrastre todas las impurezas del gap y salgan por este ducto.
3. Elevación periódica del electrodo. Un circuito adicional permite durante el proceso de erosionado, subir el electrodo periódicamente, una distancia pequeña, en el orden de los milímetros; con el fin de mantener el movimiento del líquido.
4. Temporizador. Al igual que el anterior, un circuito electrodo erosionado la pieza, y el tiempo de este manteniéndose arriba (sin erosionar la pieza).
5. Presión intermitente. Como su nombre lo dice, consiste en un ducto que permite inyectar el líquido al gap con presión intermitente.
6. Más adelante daremos la forma en que se realiza la limpieza usando cada uno de estos elementos con que cuentan las máquinas.

3.1.d DIAGRAMA CIRCUITAL DEL FLUIDO DIELECTRICO

El diagrama circuital del líquido dieléctrico que precisan las máquinas de electroerosión para cumplir las funciones antes citadas es el siguiente.

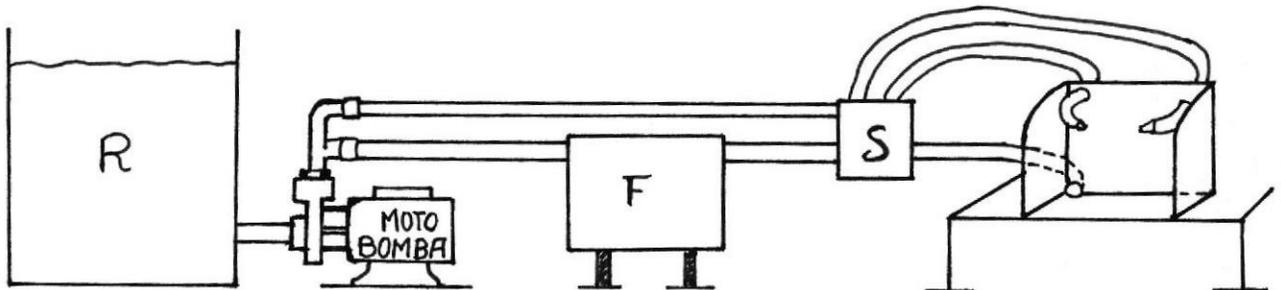


Fig. #18 DIAGRAMA CIRCUITAL DEL FLUIDO DIELECTRICO

Un reservorio, R, donde se almacena el kérex, su capacidad varía de acuerdo al tamaño de la máquina. Para citar un ejemplo, la máquina ONA-IRU, que desarrolla hasta 80A, tiene un reservorio con capacidad para 400 litros.

Una bomba le inyecta la presión necesaria y la envía mediante dos conductos, una de ellas contiene un filtro en su camino (ver figura No. 18), hacia el tanque que constituye el sitio de trabajo.

Un switch, que en realidad son dos incorporados en un solo paquete, realiza dos conexiones: la primera permite seleccionar el destino del líquido; sea para llenar el tanque de trabajo o para alimentar a las lanzas, que son los que permiten introducir el líquido a presión en el gap para realizar la limpieza. Y la segunda es para elegir si el líquido que se quiere ingresar se precisa que sea filtrado o no.

El filtro F, realiza la importantísima función de filtrar el kérex de las impurezas con que este se encuentra contaminado. El material arrancado de la pieza por la electroerosión y limpiado por el kérex, se mezcla con éste y se va hacia el reservorio, y es de estas impurezas que el filtro los libera porque de no ser así el líquido pierde su valor de rigidez dieléctrica, y con ello el proceso de las descargas se hace peligroso.

Cuando el líquido es nuevo, es decir no tiene impurezas, se prescinde de este filtro usando el otro canal.

3.2 SISTEMA HIDRAULICO

3.2.1 UN SISTEMA HIDRAULICO EN EL AVANCE AUTOMATICO

El accionamiento hidráulico forma parte esencial hoy en día en la construcción de las máquinas herramientas. Algunas obras citan que sin la aplicación de elementos hidráulicos hubiera sido imposible alcanzar el actual grado de racionalización y automatización, al menos en la forma económica.

Entre las ventajas de la hidráulica vamos a citar las siguientes:

Simplicidad de los medios precisos para manejar la energía hidráulica.

Elevada relación energía/peso del elemento hidráulico que permite reducir su peso y limitar los momentos de inercia puestos en juego. Por ejemplo, un motor hidráulico con una relación peso-potencia de aproximadamente 0.7Kp/Cv, puede compararse con un motor trifásico de rotor en corto-circuito con 6,5 Kp/Cv. Los momentos de inercia están en la relación aproximada de 1/100.

El calor generado por pérdidas internas es una limitación básica en algunas máquinas. Lubricantes deteriorados, partes mecánicas que se dañan y el aislamiento eléctrico de los aisladores que se altera con el incremento de la temperatura. Estos problemas no ocurren al usar componentes hidráulicos porque el fluido actúa como un refrigerante extrayendo el calor.

El fluido hidráulico también actúa como lubricante y hace posible alargar la vida de los componentes.

En componentes hidráulicos no ocurre los fenómenos de saturación y pérdidas en materiales magnéticos de máquinas eléctricas.

El control de actuadores hidráulicos en lazo abierto o cerrado es relativamente simple usando bombas y válvulas.

Esta y otras ventajas han dado lugar a importantes aplicaciones de la hidráulica. Se han unido la simplicidad de los mandos eléctricos con las fuertes aplicaciones de esfuerzos,

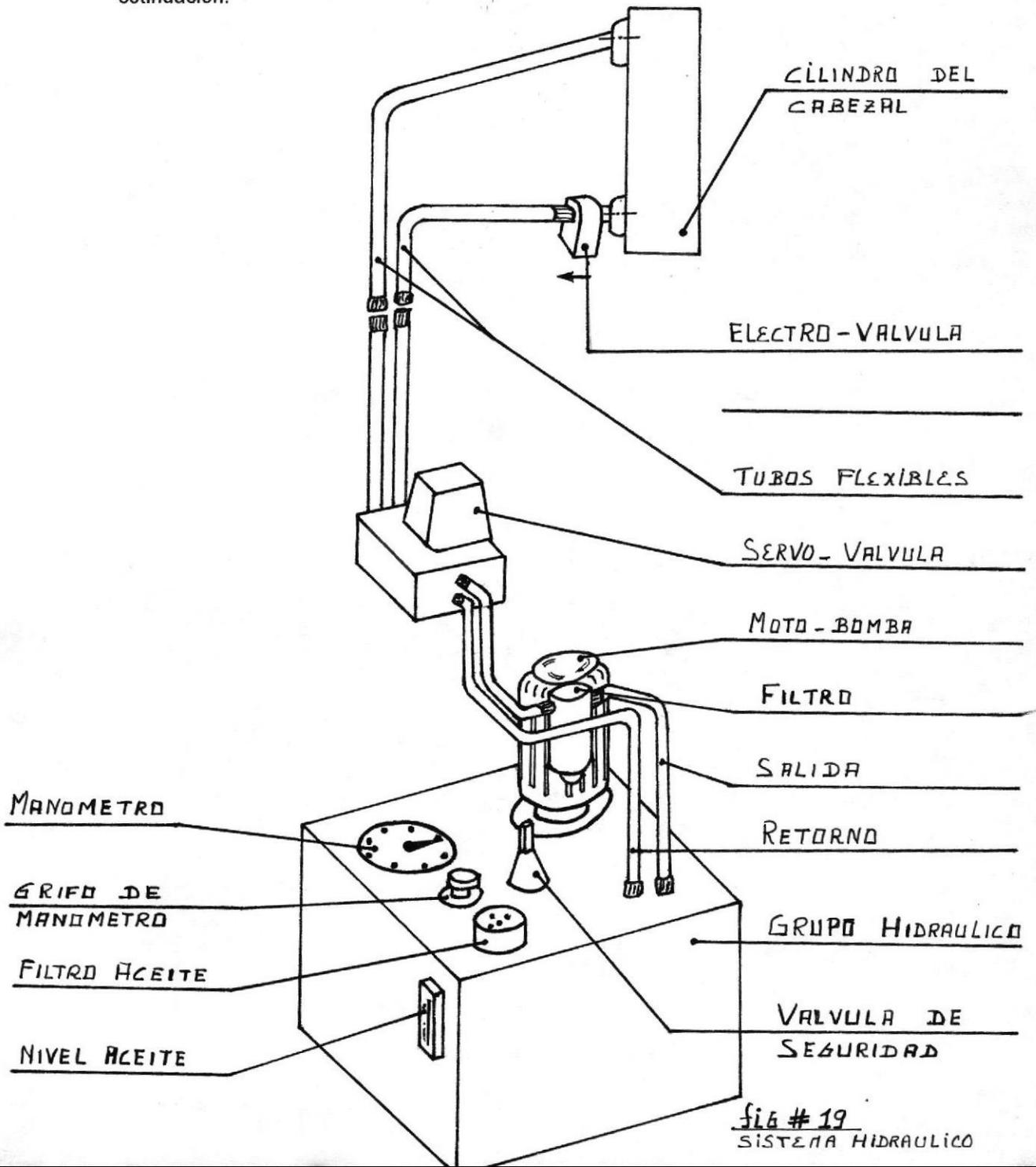
la facilidad de regulación y la limitación de masas en movimiento que permiten los elementos hidráulicos. Se cumple el refrán:

“Electricidad para los nervios, hidráulica para los músculos”.

Pero cabe indicar que también existen limitaciones de la hidráulica los cuales principalmente están determinados por las propiedades de los aceites. Estas deben ser tomadas muy en cuenta.

3.2.2 FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA

El diagrama circuital del sistema empleado en estas máquinas es el mostrado a continuación:



En este diagrama se aprecian los elementos que lo integran y que son: El acumulador de aceite, la bomba, el filtro, la servoválvula y el pistón.

El acumulador es del tipo que permite tener el líquido ya con la presión deseada, listo para enviarlo al pistón y con ello producir el movimiento ya sea de subida o de bajada. El elemento que permite el control de estas funciones es la servoválvula, la cual es como una especie de switch que permite cerrar o abrir el paso del aceite y además elige el canal por el cual lo envía dependiendo si quiere subir o bajar el pistón. Lógicamente esta orden la servoválvula la recibe desde el circuito eléctrico que es quien constantemente está detectando el proceso de erosionado para observar la forma en que avanza el erosionado y según ello enviar la orden de continuar bajando el electrodo o, por alguna razón, subirlo.

El acumulador.- Como se verá conforme se avanza en esta tesis, el pistón de estas máquinas durante el proceso de erosionado tienen un movimiento de vaivén; se precisa para ello de acumuladores de energía en forma de aceite a presión, los cuales puede suministra rápidamente la energía necesaria cuando se desee.

El acumulador hidráulico es una cámara en la cual queda almacenada fluido a presión. Una de las formas de conseguir esto es comprimiendo una cierta cantidad de gas a presión.

En la figura 25A se detalla las fases de llenado de un acumulador con membrana en forma de globo. La figura 25A-a la representa un acumulador sin aceite ni gas. En la fig. 25A-b la membrana ha sido llenada de hidrógeno. En la fig. 25A-c el acumulador es sometido a la presión del circuito hidráulico. Finalmente en la figura 25A-d se describe el suministro de aceite por parte del acumulador para ceder su energía.

El filtro.- En cada paso por el circuito el aceite recoge la suciedad que encuentra en los manguitos, émbolos, o bien polvo que penetra en el depósito. Sin embargo el aceite se estropea fundamentalmente por la acumulación de productos derivados de su envejecimiento. Por ello se precisa efectuar limpieza periódica la cual se realiza por medio de los filtros.

Existen por ello una gran variedad de filtros: finos, gruesos, de laminillas, magnéticos, etc.. La selección se lo realiza dependiendo de las aplicaciones y la calidad de la limpieza necesarias.

Las tuberías.- En los circuitos hidráulicos las uniones entre tuberías y mangueras se hacen mediante uniones de roscado especiales, todas ellas lógicamente deben ser elegidos para resistir las presiones de trabajo.

Las tuberías deben trazarse por zonas accesibles; los cambios de dirección deben efectuarse en lo posible con radios amplios. Un tubo doblado causa una pérdida de carga al igual que las reducciones y las uniones resecaadas; por lo que no resultan convenientes más que en casos necesarios.

3.2.3 DIAGRAMA DE BLOQUES, GANANCIAS Y RESPUESTA DE FRECUENCIA

Las figuras 20 y 21 son diagramas representativas de la servoválvula y el pistón. El primero, denominado esquema del motor de troqué magnético permanente, muestra la señal de entrada que esta constituía por la señal eléctrica tomada del circuito detector de avance del electrodo herramienta. Debido a que estas señales son pequeñas, en el esquema aparece un amplificador para darle mayor magnitud, pero la salida son 2 corrientes: I1 y I2 cuyas magnitudes son iguales cuando el voltaje de entrada es cero, y diferirán en valor cuando no es así, aumentando una de ellas cuando el voltaje es positivo y la otra si es negativo. Estas corrientes son aplicados a 2 bobinas y producirán finalmente un movimiento rotatorio a la armadura cuyo sentido de giro dependerá de cual sea la corriente de mayor magnitud; es decir, de la polaridad que tenga el voltaje de entrada. En definitiva, la entrada es un voltaje positivo, negativo o cero y la salida será un ángulo de giro en uno u otro sentido o en la posición central si el voltaje es cero.

$$k_o e_g = \frac{\left(1 + \frac{s}{\omega_a}\right) T_L}{k_a \left(1 - \frac{k_m}{k_a}\right)}$$

$$\frac{\left(\frac{s}{\omega_r} + 1\right) \left(\frac{s^2}{\omega_o^2} + \frac{2\delta_o}{\omega_o} s + 1\right)}$$

La función de transferencia es la siguiente:

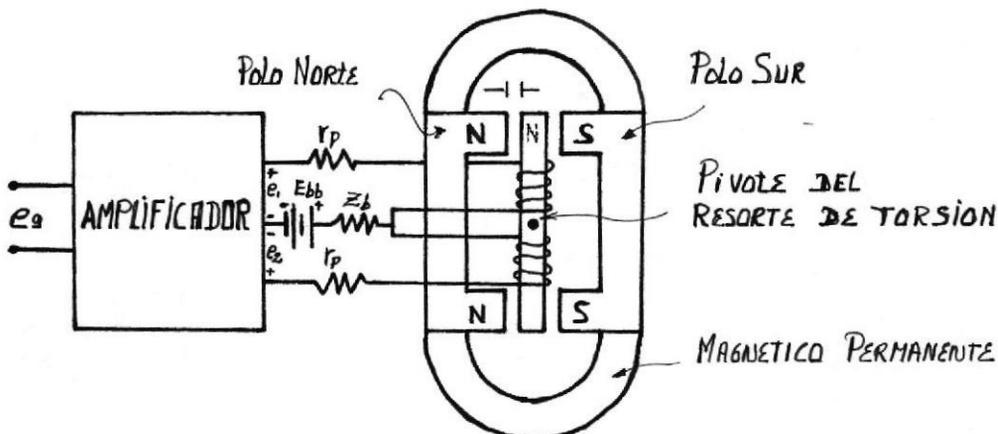


FIG. # 20 CIRCUITO AMPLIFICADOR QUE CONTROLA LA SERVOVALVULA

Donde:

$$K_0 = 2K_t \mu / [(R_c + r_p) K_a (1 - K_m / K_a)] \quad \begin{array}{l} \text{GAINANCIA ESTÁTICA} \\ \text{CONSTANTE [rad/Volt]} \end{array}$$

$$\omega_r \approx (R_c + r_p) / 2L_c \quad \begin{array}{l} \text{FRECUENCIA DE QUIEBRE PARA CADA} \\ \text{BOBINA [rad/SEG.]} \end{array}$$

$$\omega_0 \approx \sqrt{K_a / J_a} \quad \begin{array}{l} \text{FRECUENCIA NATURAL DE LA ARMADURA [rad/SEG.]} \end{array}$$

En la fig. No. 21 apreciamos la válvula y el pistón. Dependiendo del sentido de desplazamiento X_v (hacia la derecha o izquierda), el flujo de aceite ingresará a uno u otro lado del pistón de esta manera este subirá o bajará.

$$X_p / X_v = (K_f / A_p) / [s (s^2 / \omega_h^2 + 2\delta_h / \omega_h s + 1)]$$

DONDE:

B_e : modulo de BULK

$$\omega_h = \sqrt{(4 B_e A_p^3) / V_t M_t} \quad \begin{array}{l} \text{FRECUENCIA NATURAL} \\ \text{HIDRÁULICA [rad/SEG.]} \end{array}$$

$$\delta_h = (K_{ce} / A_p) \sqrt{(B_e M_t) / V_t} + (B_e / 4A_p) \sqrt{V_t / (B_e M_t)}$$

La función de transferencia de este conjunto es el siguiente:

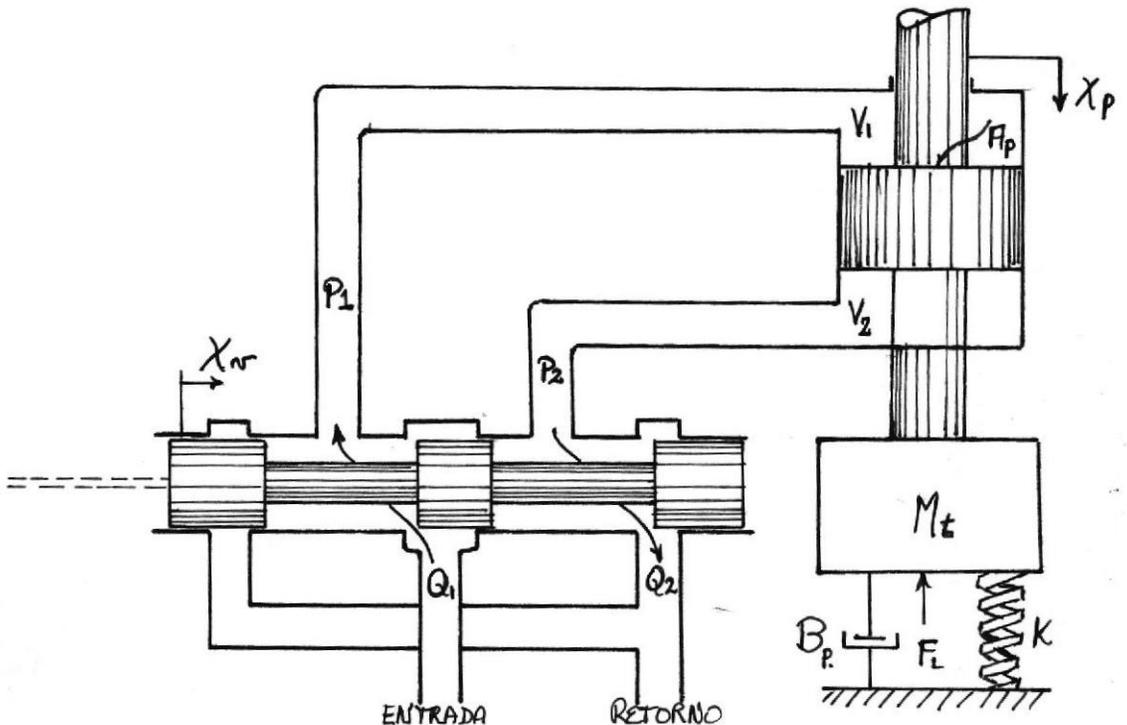


FIG. #21 SERVVALVULA Y CONTROL DEL PISTON.

Debido a que la estabilidad depende de la carga dinámica, surge la pregunta de que condición de carga particular asumir. Vamos a considerar la más común que es la inercia.

$$F = pA = M \cdot a$$

$$P = M_s X_v / A_p$$

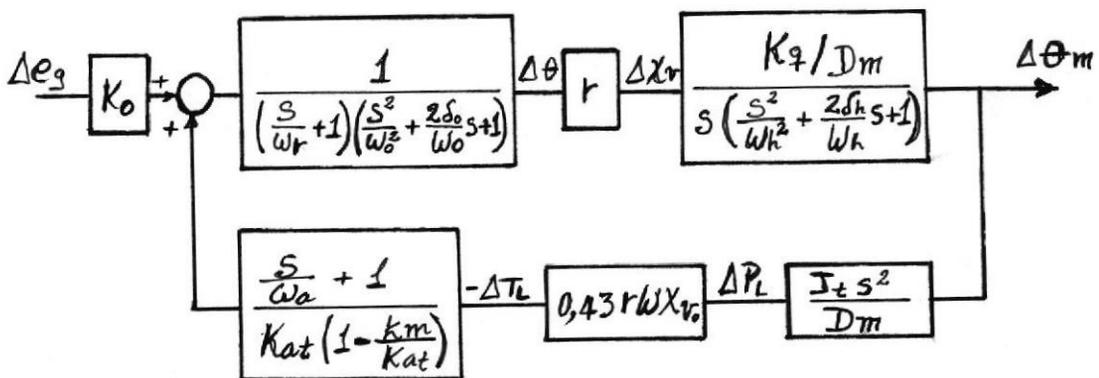
Esto ocurre en el pistón, en la válvula el efecto de la carga está determinado por la siguiente ecuación:

$$T_1 = 0,43 r \omega X_{v_0} P_1$$

Este efecto a su vez influye sobre el motor de troqué magnético dando como resultado una alteración en la función de transferencia que se presentó anteriormente, resultando la siguiente:

$$\theta = \frac{K_o e_g - \frac{(1 + \frac{s}{\omega_a}) T_L}{K_{at} (1 - \frac{K_m}{K_{at}})}}{(\frac{s}{\omega_r} + 1) (\frac{s^2}{\omega_o^2} + \frac{2\zeta_o}{\omega_o} s + 1)}$$

Finalmente el diagrama de bloques completo de este sistema servoválvula-pistón, considerando como carga solamente la inercia es el siguiente:



DONDE:

$$K_{at} = K_a + 0,43 r^2 \omega (P_s - P_{L_0})$$

$$K_o = (2 K_t \mu) / [(R_c + r_p) K_{at} (1 - K_m / K_{at})]$$

$$\omega_m = \sqrt{K_{at} / (J_a + r^2 M_v)}$$

Fig #22 DIAGRAMA DE BLOQUES DEL SISTEMA SERVOVÁLVULA - PISTÓN.

Respuesta de frecuencia

La respuesta de frecuencia de este sistema servoválvula-pistón están dadas por las curvas de las figuras No. 23 y 24. La figura A No. 23 corresponde a la respuesta del motor de torque magnético, mientras que la fig. No. 24 corresponde a la del pistón.

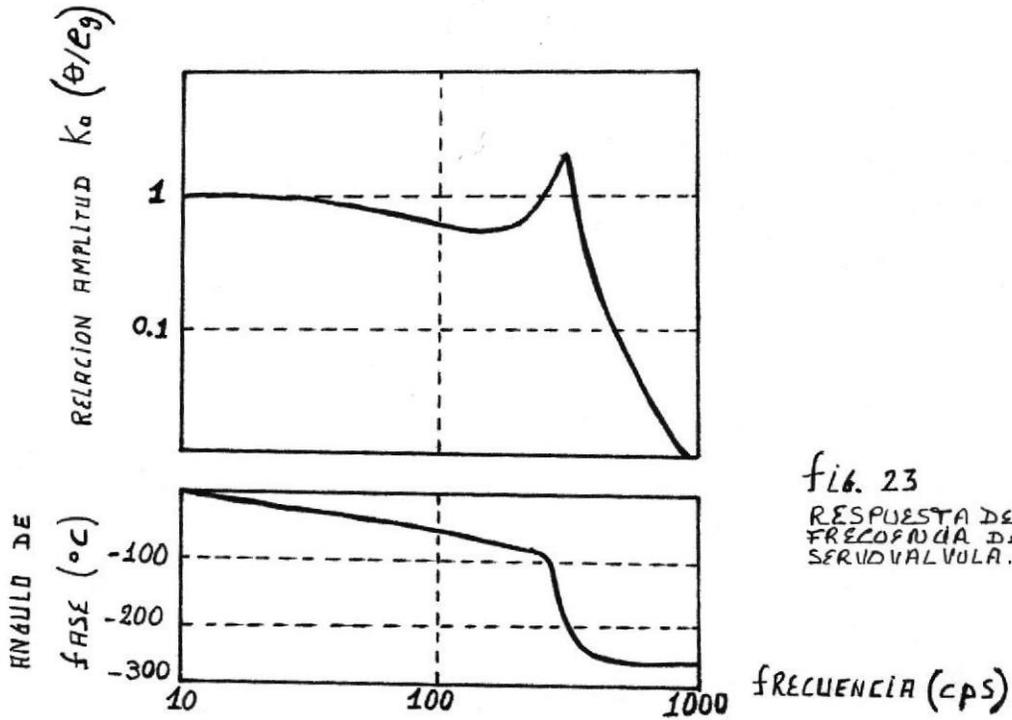


fig. 23
RESPUESTA DE
FRECUENCIA DE LA
SERVOVALVULA.

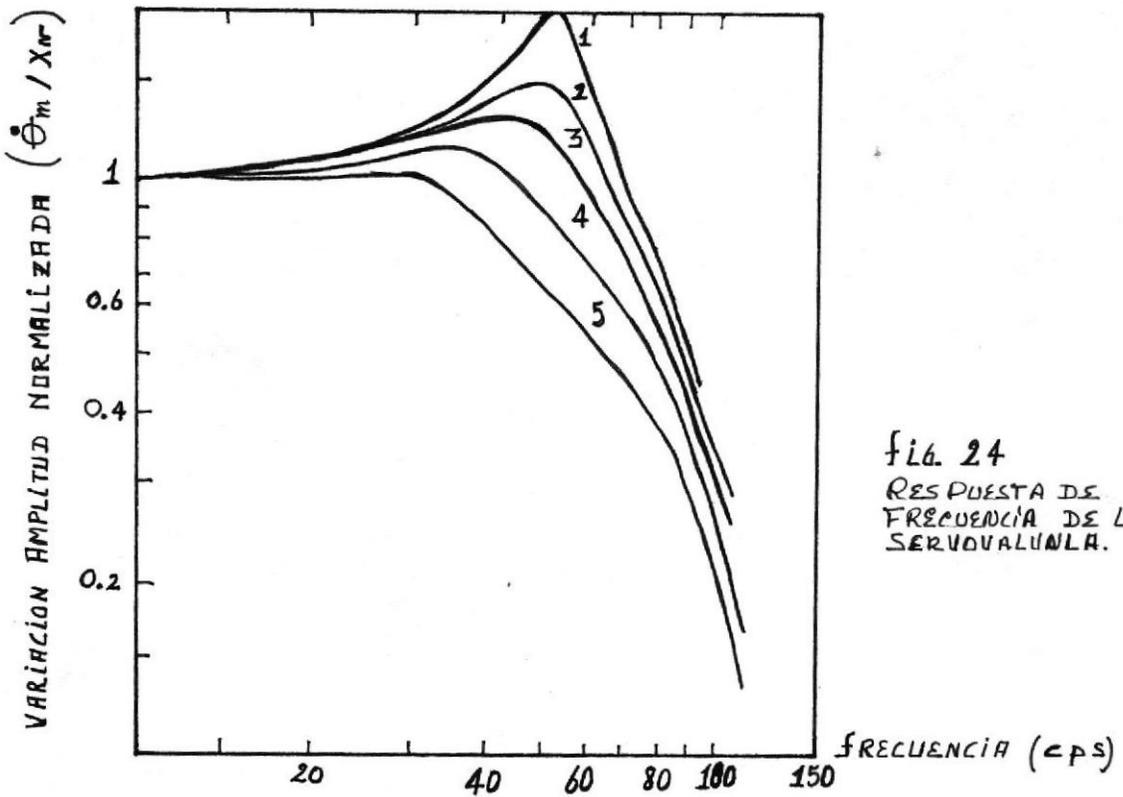


fig. 24
RESPUESTA DE
FRECUENCIA DE LA
SERVOVALVULA.

Ganancia

Una característica muy importante en este sistema servoválvula-pistón es el que se refiere a la ganancia de la válvula la cual está dada por la ganancia de flujo.

La figura No. 25 muestra esta característica para 3 tipos de centros: abierto, crítico y cerrado. Desde este gráfico nos damos cuenta que es mejor definir el tipo de centro de válvula desde la forma de ganancia de flujo más cercana a la central.

Esta curva nos indica que para una válvula de centro crítico, existe una relación lineal entre el desplazamiento del carrete y el flujo que circulará a través de la compuerta.

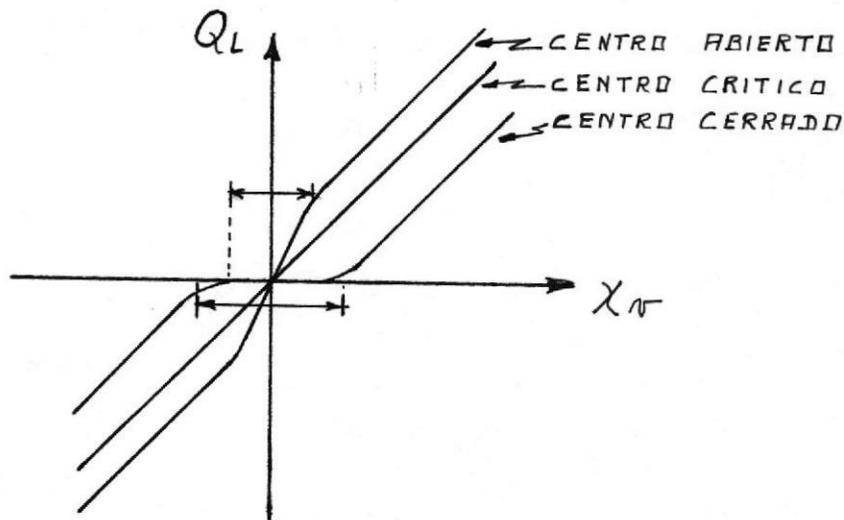


FIG. #25 GRAFICO DE LA GANANCIA DEL SISTEMA SERVOVALVULA.

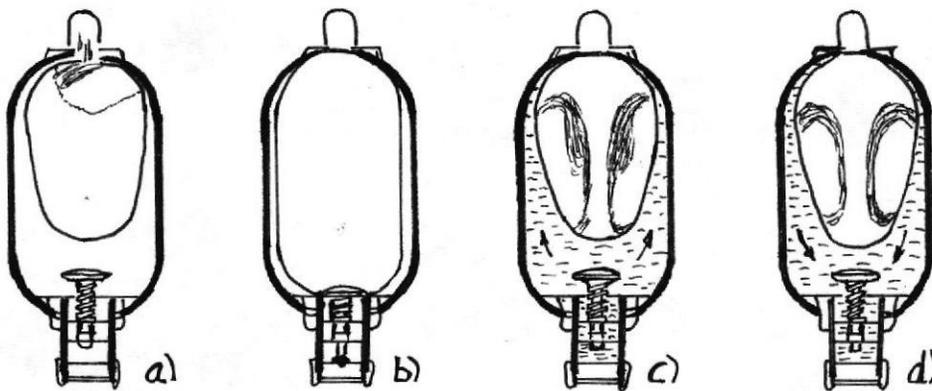


FIG. #25A FASES DE LLENADO DE UN ACUMULADOR HIDRAULICO.

CAPITULO 4

PARAMETROS QUE RIGEN EL RENDIMIENTO DE LAS MAQUINA DE ELECTROEROSION

4.1 LA RAPIDEZ DE EROSIONADO

La rapidez de erosión es el parámetro que nos permite conocer cuan rápido es la máquina en realizar un trabajo. Está dada por el volumen erosionado por unidad de tiempo, sus unidades más comunes son cm^3/h y mm^3/h . Analizaremos los factores que influyen en este parámetro.

4.1.a LA CORRIENTE Y LA FRECUENCIA DE LA DESCARGA

Retomando los valores de la tabla que se dan en el manual de la máquina ONA-IRU y que se presentaron en la tabla No. 2, observamos que es la corriente el factor de mayor influencia en la rapidez de erosión variando desde un valor muy pequeño $0,25 \text{ mm}^3/\text{min}$. hasta un valor tan grande como $950 \text{ mm}^3/\text{min}$., un rango muy grande. En tanto que la frecuencia lo hace dentro de un rango mucho más pequeño. Por consiguiente en las máquinas de electroerosión el control de la intensidad de corriente de la descarga permite controlar la rapidez de erosionado en un amplio rango, mientras que la frecuencia nos permite solamente obtener el punto óptimo de erosionado para cada nivel de corriente.

Las máquinas de electroerosión trabajan dentro de un rango de amperaje que va desde 0.1A hasta 300A . El costo de la máquina depende precisamente de la capacidad máxima de corriente que habilitan, así tenemos de $50, 80, 100, 160\text{A}$, etc.; lo que hacen con ello es limitar la rapidez de erosión de la máquina. Igual ocurre con el otro extremo del rango, la máquina ONA-IRU habilita una corriente mínima de 2A , pero otras habilitan corrientes más pequeñas.

4.1.b EL TIPO DE MATERIAL DE LOS POLOS Y SU POLARIDAD

Aunque en principio, cualquier material conductor puede ser usado en ambos polos de una máquina de electroerosión, la experiencia demuestra que el volumen erosionado por una descarga varía según el tipo de material de la pieza de trabajo, según el material del electrodo herramienta y también de la polaridad que ellos tengan.

Recordemos que en el capítulo 2 se vió que el erosionado que produce una descarga es un proceso netamente térmico.

Ello permite afirmar que, manteniendo el mismo material de electrodo herramienta y también su polaridad, el punto de fusión y el calor latente de fusión son propiedades físicas importantes que determinan el volumen de metal removido por descarga y con ello la velocidad de erosionado. A esto se añade algo muy importante; puesto que el proceso no envuelve energía mecánica, sea que el material de la pieza de trabajo sea duro o frágil no tiene ninguna importancia en el erosionado estos son removidos fácilmente dependiendo tan solo de las características antes mencionadas. En un texto se encontró un gráfico el cual expresa el efecto del punto de fusión del material de la pieza en el volumen removido por descarga, el cual es una recta; veámoslo a continuación:

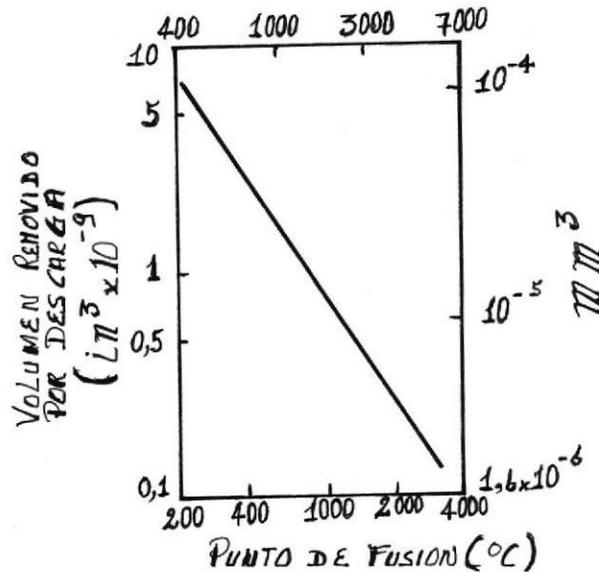


Fig #26 GRÁFICO VOLUMEN REMOVIDO POR DESCARGA Vs P. F.

El material del electrodo herramienta también tiene mucha importancia. Cualquier material con el solo hecho de ser conductor no puede ser usado como electrodo; los resultados experimentales que se obtuvieron sobre este análisis y que son dados detenidamente en el capítulo 5 permite concluir que los mejores materiales de erosionado son el cobre y el grafito. Con la finalidad de comparar la rapidez de erosionado de estos materiales, presentamos en la tabla No. 4 los valores correspondientes a un electrodo de grafito trabajado sobre acero templado, con la misma polaridad que se hizo para el cobre.

Finalmente, la polaridad del electrodo y la pieza. Dependiendo de la combinación de materiales de estos se elige la polaridad a usarse para obtener el óptimo funcionamiento. En la tabla No. 5 se indica la polaridad que se debe usar dependiendo precisamente de ambos materiales.



TABLA 4

CORRIENTE DE IMPULSOS	TIEMPO DE IMPULSO	TIEMPO DE PAUSA	CAPACIDAD DE EROSION POR MINUTO (MM3)	GAP O ABERTURA ENTRE EL ELECTRODO Y LA PIEZA (UM)	DESGASTE DEL ELECTRODO CON RELACION AL VOLUMEN DE MATERIAL ARRANCADO (%)	RUGOSIDAD (UM) Re
IV	3	3	30	28	20	14
	4	3-4	36	35	16	17
	5	4-5	45	42	12	20
	6	5-6	50	47	9	25
	7	6-7	48	54	6	30
	8	6-7-8	45	61	4	35
	9	7-8-9	40	64	2	40
	10	8-9-10	36	69	1	50
III	1	1	2,5	17	32	9
	2	2	3,5	20	24	10
	3	3	5	25	16	12
	4	3-4	8	30	12	15
	5	4-5	11	35	8	18
	6	5-6	14	40	7	21
	7	6-7	15	25	5	24
	8	6-7-8	14	50	4	28
	9	7-8-9	13	55	3	30
II	1	1	0,3	15	35	7
	2	2	0,6	17	26	8
	3	3	1	20	19	10
	4	3-4	1,8	22	13	12
	5	4-5	2,4	25	8	14
	6	5-6	1,9	30	5	17
	7	6-7	2	35	2	22
	8	6-7-8	1,6	40	0,5	27
I	1	1	0,6	12	30	6
	2	2	0,7	14	20	7
	3	3	0,8	16	12	8
	4	3-4	0,9	18	8	10
	5	4-5	0,9	20	5	12
	6	5-6	0,9	25	4	14
	7	6-7	0,85	30	2	16
	8	6-7-8	0,8	35	1	18

RESULTADOS OBTENIDOS UTILIZANDO ELECTRODO DE GRAFITO,
EROSIONANDO EN MATERIAL DE ACERO TEMPLADO

CORRIENTE DE IMPULSOS	TIEMPO DE IMPULSO	TIEMPO DE PAUSA	CAPACIDAD DE EROSION POR MINUTO (MM3)	GAP O ABERTURA ENTRE EL ELECTRODO Y LA PIEZA (UM)	DESGASTE DEL ELECTRODO CON RELACION AL VOLUMEN DE MATERIAL ARRANCADO (%)	RUGOSIDAD (UM) Re
VIII	10	8-9-10	800	160	8	130
	11	9-10-11	900	180	5	150
	12	10-11-12	950	200	3	170
	13	11-12-13	900	220	1	200
	14	12-13-14	800	240	0,5	220
VII	10	8-9-10	500	135	9	100
	11	9-10-11	500	150	6	120
	12	10-11-12	480	170	4	140
	13	11-12-13	430	190	1	160
	14	12-13-14	400	210	0,5	180
VI	6	5-6	200	70	14	40
	7	6-7	220	80	11	45
	8	6-7-8	240	90	8	55
	9	7-8-9	250	100	4	65
	10	8-9-10	250	110	3	75
	11	9-10-11	240	120	1	90
	12	10-11-12	230	140	0,5	105
V	4	3-4	70	50	15	20
	5	4-5	80	55	12	25
	6	5-6	85	60	9	30
	7	6-7	90	65	6	35
	8	6-7-8	95	70	5	40
	9	7-8-9	95	75	2	50
	10	8-9-10	90	80	1	60
	11	9-10-11	85	90	0,5	70

RESULTADOS OBTENIDOS UTILIZANDO ELECTRODO DE GRAFITO
EROSIONANDO EN MATERIAL DE ACERO TEMPLADO

TABLA No. 5

PIEZA A EROSIONAR	ELECTRODO	POLARIDAD DEL ELECTRODO	OBSERVACIONES
ACERO	COBRE	+	
ACERO	GRAFITO	+	
HIERRO FUNDIDO	COBRE	+	
COBRE	GRAFITO	-	
METAL DURO	COBRE	- +	SEGUN COMPOSICION DEL METAL DURO
ACERO	ACERO	+ -	COMBINADO PERIODICAMENTE
ALUMINIO ZAMAK LATON	COBRE	+	
ACERO	ELKONITE 10 W3	+	
ACERO	ESPARCAL	+	
METAL DURO	PROLITE W KARBTO	-	

POLARIDAD QUE DEBE TENER EL ELECTRODO SEGUN EL MATERIAL DEL ELECTRODO Y DE LA PIEZA DE TRABAJO

4.1.c LA LIMPIEZA DEL GAP

Es imprescindible la limpieza del gap, porque de esta manera sacamos continuamente las partículas que van erosionándose de la pieza; es decir la viruta, como en todo proceso de mecanizado; de esta manera el proceso continua hasta realizar la forma deseada en la pieza.

El problema de la limpieza surge porque el gap es muy pequeño, en el orden de las décimas de micras (ver numeral 3.3.c), y se agrava cuando el área de trabajo es grande y cuando la forma del trabajo es compleja.

La experiencia en el trabajo con estas máquinas es la que permite conocer la forma óptima de realizar la limpieza.

Vamos a ver como influye la contaminación del gap en el proceso de electroerosión.

Al principio del mecanizado el líquido dieléctrico se puede considerar puro, ya que acaba de ser filtrado. Por ello esta totalmente exento de las partículas mencionadas en el capítulo anterior.

Se sabe que la resistencia que opone un dieléctrico puro al paso de la corriente es mayor que la que opone un dieléctrico con cierta cantidad de partículas. Por ello en los primeros impulsos el tiempo de retardo de la descarga (tiempo que dura la ionización y abalancha antes de producirse la descarga) es grande. Una vez que el dieléctrico esta polucionado este tiempo disminuye haciendo la descarga más fácil. Además de esto cuando hay contaminación el gap aumenta. Esto facilita la regulación al disponer de un espacio mayor para ello.

Sin embargo si la contaminación es muy grande la resistencia del dieléctrico disminuye mucho y puede pasar los fenómenos siguientes:

- a) La excesiva cantidad de gases puede dar lugar a que no se formen bien el canal de descarga, y que en lugar de ser cilíndrico se ramifique, perdiéndose rendimiento.
- b) Pueden darse descargas entre los electrodos y las partículas arrancadas, perdiéndose rendimiento.

- c) Un exceso de contaminación puede dar lugar a que se formen arcos y cortocircuitos que dañen a ambos electrodos.

Por ello este exceso de gases y partículas debe de ser eliminado del gap por la limpieza, o sea por la circulación del líquido dieléctrico a través de él.

La limpieza es por tanto tan importante como los parámetros eléctricos (nivel de intensidad, tiempo de impulso y pausa, etc.) en cuanto se refiere a la obtención de un buen rendimiento. No debe ser ni excesivamente fuerte ni excesivamente débil, ya que para obtener un buen rendimiento es preciso que el gap se halle algo contaminado.

Es preciso tener en cuenta que no importa invertir el tiempo necesario para armar el equipo adicional para realizar la limpieza, porque a la larga el buen rendimiento que se obtiene paga con creces ese tiempo.

Los diferentes tipos de limpieza que se pueden hacer en las máquinas de electroerosión son las siguientes:

Limpieza por presión.- Consiste en introducir en el gap el dieléctrico bien a través de la pieza o del electrodo.

Las fig. No. 27 a y b muestran el caso de limpieza por presión a través de la pieza y a través del electrodo respectivamente.

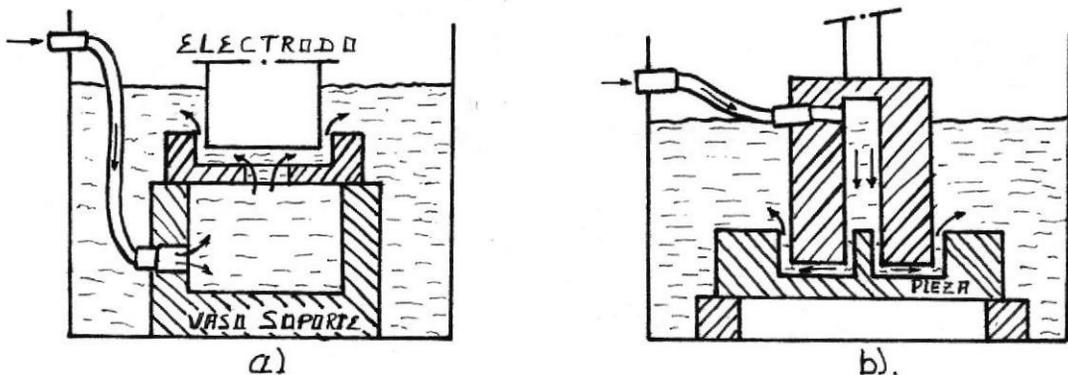


FIG. # 27 — FORMAS DE REALIZAR LA LIMPIEZA DEL GAP POR PRESION.

Limpieza por aspiración.- Este procedimiento consiste en succionar dieléctrico, desde la curva de mecanizado, a través de la pieza o bien a través del electrodo, ver figs. No. 28 a y b.

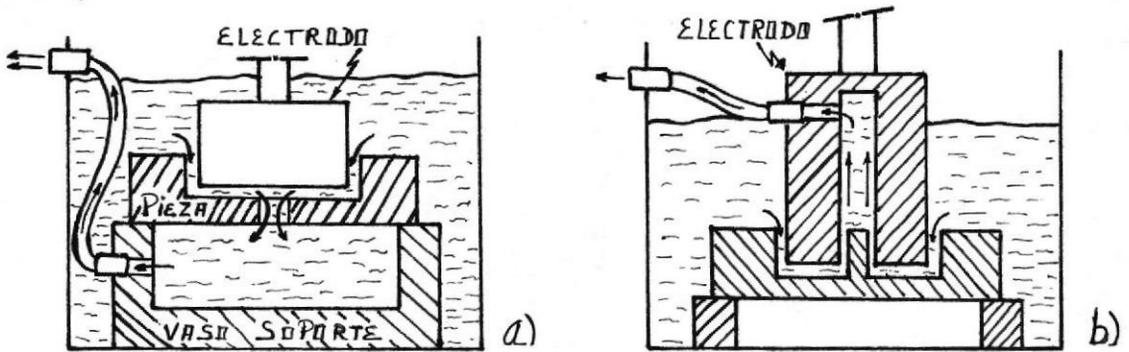


Fig. #28 - FORMAS DE REALIZAR LA LIMPIEZA POR ASPIRACION.

Este procedimiento de limpieza suele dar, en general, cuando la aspiración se realiza por el electrodo, mejores resultados que si se realiza por la pieza, en lo referente a velocidad de arranque.

Limpieza por lanza lateral.- Se la emplea cuando no se pueden realizar orificios ni en la pieza, ni en el electrodo por los cuales se puede introducir el líquido dieléctrico hasta el gap. Este es el caso de útiles de prensa para forjar medallas, cubiertos, etc., ver fig. No. 29 y el caso de ranuras profundas y estrechas muy empleadas en la industria del plástico y juguetería, ver fig. No. 30, 31 y 32.

En dichas figuras se advierte que la lanza (dieléctrico a fuerte presión) ha de dirigirse con un ángulo determinado, tomando en cuenta ciertas precauciones:

- El ángulo de entrada de la lanza, y su dirección.
- El líquido debe introducirse por la cara mayor, y lo más repartido posible.
- No debe introducirse el líquido por dos lados opuestos.

Este método de limpieza debe siempre utilizarse combinando con el temporizador para obtener mejores resultados.

Limpieza por remoción.- Esta es una forma de no utilizar ni el sistema de presión, ni el sistema de aspiración.

En principio la pieza se halla introducida en la cuba de mecanizado, llena de dieléctrico. Durante un tiempo determinado se verifica el proceso de erosión contaminándose el

dieléctrico. Al subir el electrodo el volumen del gap aumenta, creándose un vacío que se rellena con dieléctrico limpio, el cual se mezcla con el líquido contaminado que se halla en el interior. Ver fig. No. 33 a y b.

Al bajar otra vez el electrodo disminuye el volumen del gap, obligando a salir al exterior la mayor parte del líquido, el cual arrastra las partículas contaminantes.

Esta forma de limpieza se utiliza en el mecanizado de agujeros profundos, permitiendo la erosión en dichos casos, sin circulación forzosa de dieléctrico.

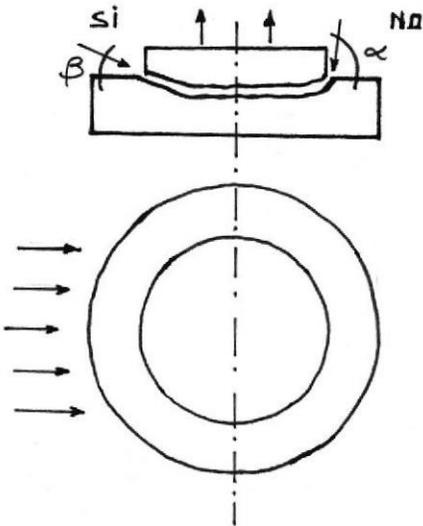


FIG. # 29

FORMAS DE LIMPIEZA DEL GAP POR LANZA LATERAL

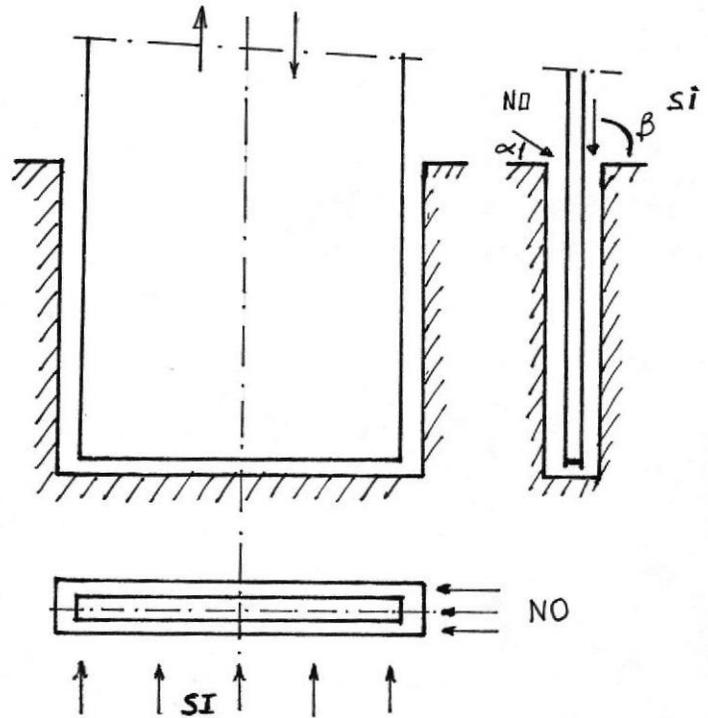


FIG # 30

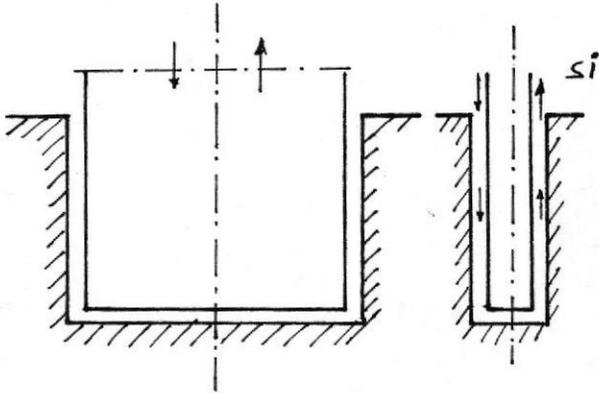


FIG. # 31
LIMPIEZA POR LANZA LATERAL

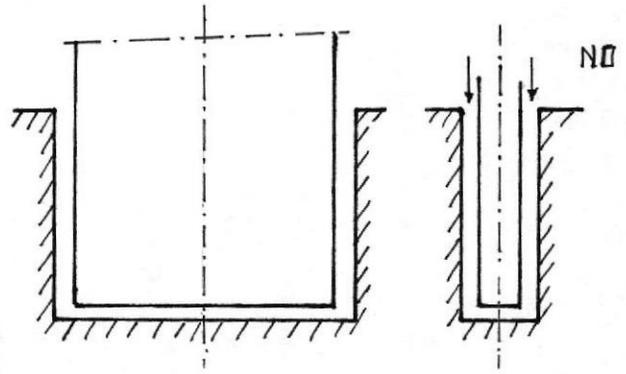


FIG # 32
MALA LIMPIEZA POR LANZA LATERAL

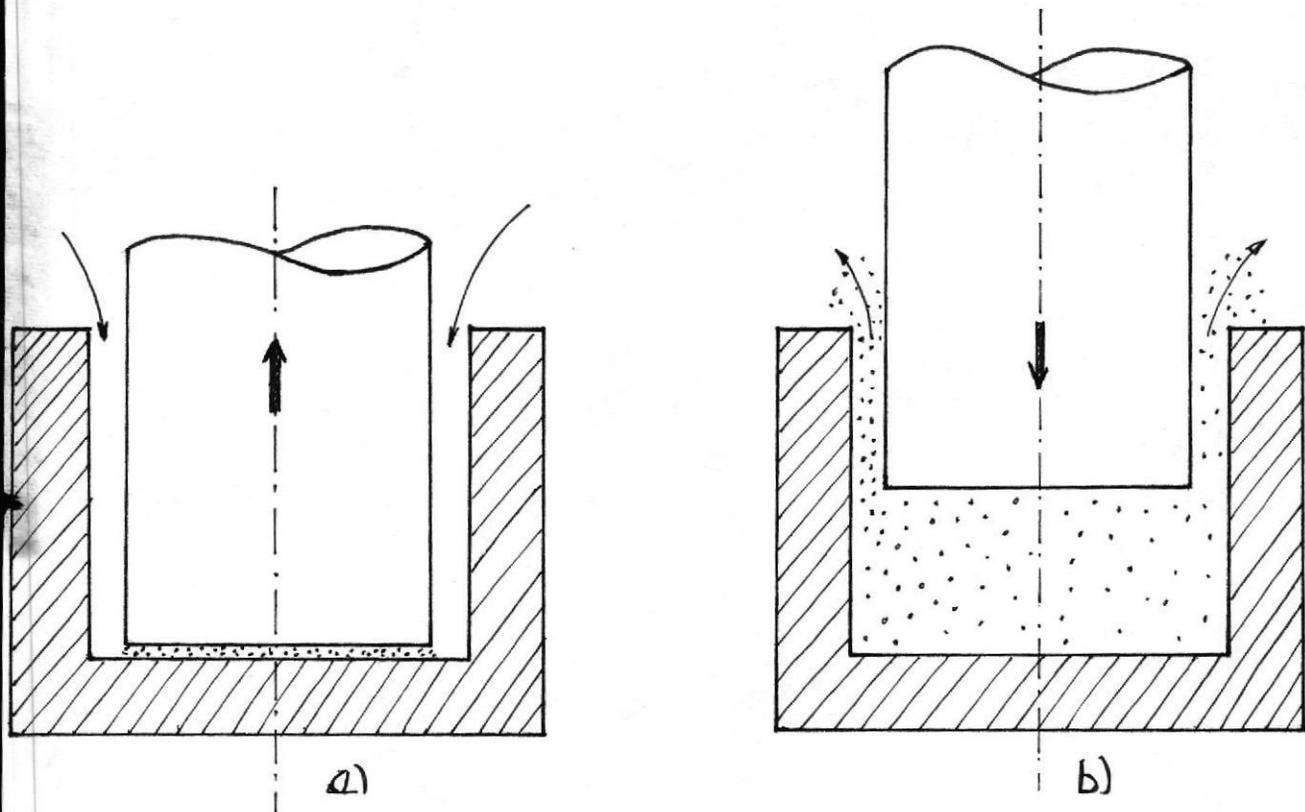


FIG # 33 - FORMAS DE LIMPIEZA DEL GAP POR REDUCCIÓN.

Limpieza con temporizador.- El temporizador es un dispositivo que controla el tiempo de erosión, con el objeto de retirar brevemente el electrodo del lugar de trabajo, aumentar el volumen de gap, y poder retirar así más fácilmente los residuos de la erosión.

Tiene dos controles: el uno para manipular el tiempo de trabajo, y el otro para el tiempo sin trabajar.

Limpieza por presión intermitente.- Consiste en una alimentación no continua de fluido dieléctrico hacia el gap.

4.2. LA PRECISION DEL TRABAJO.

La máquina de electroerosión permite obtener tolerancias de 50 μm . a 100 μm . (0.50 mm. a 0,10 mm.) cuando esta trabajando en forma normal; es decir, cuando no es de importancia la precisión del trabajo. Pero cuando esta es el punto principal del trabajo cuidados especiales en el funcionamiento de la máquina es posible obtener tolerancia de 3 μm . a 10 μm . (0,003 mm. a 0,0010 mm.). Los parámetros que rigen la precisión de la máquina son los siguientes:

4.2.a EL DESGASTE DEL ELECTRODO HERRAMIENTA

El problema principal de los electrodos es su desgaste. como ya se ha dicho la erosión se da en ambos polos pero existe una gran diferencia entre lo que se desgasta uno y otro polo. Por ello se define a la erosión en el electrodo con respecto a la erosión en la pieza; y se habla de relaciones de desgastes del electrodo de 3:1 o 4:1 y tan grandes como 50:1. El desgaste es mayor en las esquinas, el cual puede ser el doble del que ocurre en la parte frontal del electrodo; mientras más puntiagudo es la esquina, mayor es el desgaste.

Las relaciones de desgaste son conocidos y predecibles. La figura No. 34 muestra las formas de desgaste del electrodo, cuando se esta produciendo un agujero. A menudo en estos tipos de trabajo el desgaste es de poca importancia y el trabajo continua sin tomar en cuenta aquello. Este toma más importancia cuando el electrodo tiene contornos complejos y estos deben ser mantenidos para crearlos nitidamente en la pieza de trabajo.

Los factores que influyen en el desgaste son:

1) Punto de fusion y conductividad térmica

El material del electrodo se desgastará menos cuanto más alto sea su punto de fusión. Dado que este proceso es de tipo térmico, se alcanzan en cada impulso, en puntos muy locales, altas temperaturas, que funden pequeñas partículas de ambos electrodos y que luego son arrastradas por el líquido dieléctrico y que luego son arrastradas por el líquido dieléctrico. Es lógico pensar que cuanto más alto sea el punto de fusión del material del electrodo menos cantidad de él se fundirá y por tanto se desgastará menos.

Los materiales de los electrodos han de ser buenos conductores del calor. Deben de tener buena conductividad térmica o baja resistividad eléctrica.

Como el calor se da muy localmente y en tiempos muy cortos, una buena conductividad hará que el calor, que la descarga ha concentrado en un punto, se difunda rápidamente por el resto del electrodo. De esta forma no se eleva tanto la temperatura y por tanto se fundirá menos cantidad de electrodo.

La figura No. 35 muestra la relación entre el desgaste del electrodo y los puntos de fusión de la pieza y de la herramienta.

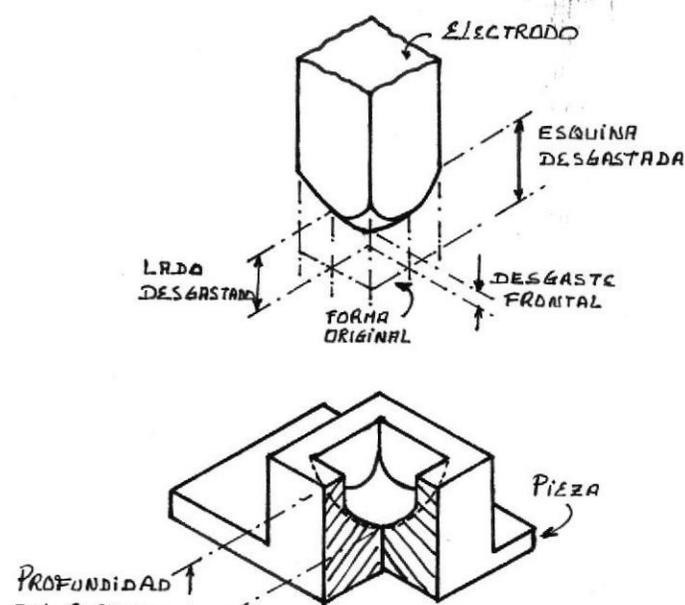
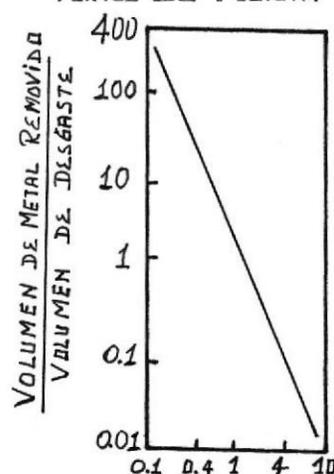


FIG. # 34. DESGASTE DEL ELECTRODO-HERRAMIENTA

FIG. # 35 RELACION VOLÚMENES ERDIONADOS VS SUS PUNTOS DE FUSION.



PUNTO DE FUSION DE LA PIEZA / PUNTO DE FUSION DEL ELECTRODO

El grafito, el cual tiene el más alto punto de fusión de los materiales conocidos para electrodos, aproximadamente 3500 C, puede dar desgastes en un rango de 5:1 hasta 50:1 dependiendo de los otros factores que vamos analizar.

2) La corriente, la frecuencia de las descargas y la limpieza del gap.

La tabla No. 3 muestra como varía el desgaste usando al cobre como electrodo, cuando varía la corriente y la frecuencia. Estos datos son obtenidos con óptimas condiciones de limpieza cuando ésta no es así el desgaste incrementa.

3) La polaridad del electrodo y pieza

Es quizá el parámetro que permite minimizar al máximo el desgaste. Tenemos la técnica o modo de operación NO-WEAR (o LOW-WEAR) que significa poco o ningún desgaste.

Cuando la máquina esta trabajando con la polaridad negativa para el electrodo herramienta y positivo para la pieza; se dice que está en el modo convencional; en tanto que, el modo NO WEAR consiste en el tipo de polaridad en que el electrodo, sea este de grafito o cobre, recibe una carga positiva y la pieza de trabajo la negativa. Debido a que la polaridad es revertida, algunos de los materiales fundidos y arrancados de la pieza saltan a la superficie del electrodo y se adhieren a él. La condición ideal existe cuando el volumen de la película delgada de material que se adhiere al electrodo equivale al volumen perdido a través de la electroerosión. En este caso, el desgaste del electrodo es cero, y es aquí que el modo NO WEAR alcanza el punto de más alta ventaja. Sin embargo un exceso del metal adherido al electrodo afecta la eficiencia de la electroerosión siendo necesario limpiarlo. La desventaja del modo NO WEAR consiste en un más pequeño gap y una más alta temperatura en la superficie del electrodo.

Para mayor eficiencia los usuarios de esta máquina emplean el modo de operación NO WEAR para hacer cortes rugosos hasta llegar lo más cercano a la medida que se desea obtener, entonces cambian al modo convencional (es decir polaridad contraria) para obtener al acabado final ya que el gap al ser mayor la limpieza se hace más fácil, permitiendo obtener un mejor acabado.

Para las máquinas que habilitan solo el modo convencional, los usuarios emplean varios electrodos cuando desean obtener altas precisiones, debido precisamente al desgaste, y lo hacen en dos etapas llamadas: de desvaste, a corrientes altas, y de acabado, en corrientes bien bajas. usando un electrodo para cada caso y cuando requieren de mayor precisión en el acabado usan dos o más de ellos.

4) Las diferentes formas de limpieza del gap

A continuación veremos como afecta en el desgaste del electrodo cada una de las formas de limpieza del gap:

Limpieza por presión.- La limpieza por presión da como resultado agujeros ligeramente cónicos (Fig. No. 36 a y b) cuando se realizan agujeros con un electrodo de succión constante. Esta conicidad es debida a un efecto de electroerosión que se puede llamar secundaria en el entrehierro o gap lateral, a pesar de que como ya se ha dicho el gap lateral es mayor que el frontal.

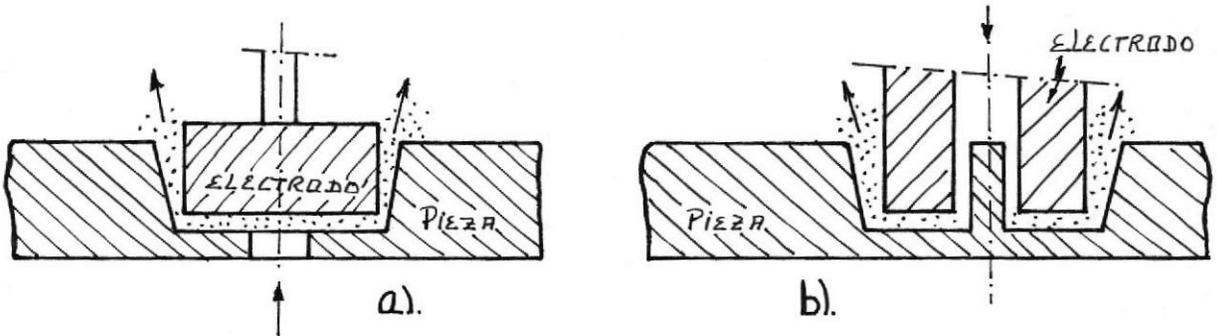


FIG. # 36 EFECTOS QUE PRODUCE EN EL EROSIONADO LA LIMPIEZA POR PRESION.

Esta erosión secundaria es debido a que el paso de las partículas por el gap lateral, crea a veces condiciones idóneas para que se den descargas laterales, lo cual por un lado constituye una pérdida de rendimiento, ya que algunas descargas que se debieron de dar frontalmente, no se dan así, sino lateralmente.

En el caso de limpieza por presión a través del electrodo se va formando un cilindro que es parte de la pieza que se esta erosionando. Si el agujero a realizar es totalmente pasante, cuando el electrodo llega al final, dicho cilindro se mueve tocando las paredes del electrodo y produciendo un cortocircuito permanente. Por ello se ha de parar el proceso, con el fin de arrancar el cilindro, y después terminar el proceso.

Limpieza por aspiración.- La técnica de limpieza por aspiración, sea por el electrodo o por la pieza, permite evitar la erosión lateral secundaria, ver figs. No. 37 a y b; no formándose por lo tanto la conicidad que ocurre en el método de presión. En el caso de limpieza por aspiración a través del electrodo, dicha conicidad se forma en el cilindro interior.

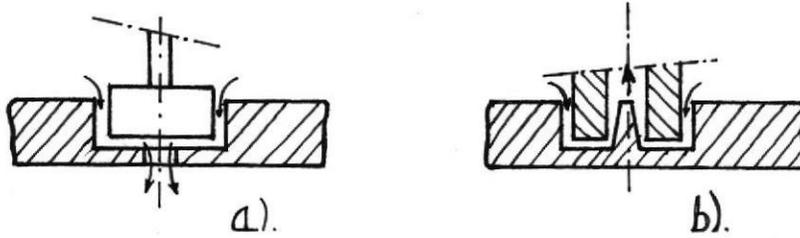


Fig. #37 EFECTOS QUE PRODUCE EN EL EROSIONADO LA LIMPIEZA POR ASPIRACION.

Limpieza con presión intermitente.- Las figuras 38 a y 38 b muestran que el desgaste es más fuerte en la zona M del canal de limpieza, con presión continua que con presión intermitente. Este hecho se explica porque para cierto grado de impureza del líquido el desgaste es más regular y débil. Por ello lo que se hace es renovar el líquido del gap periódicamente.

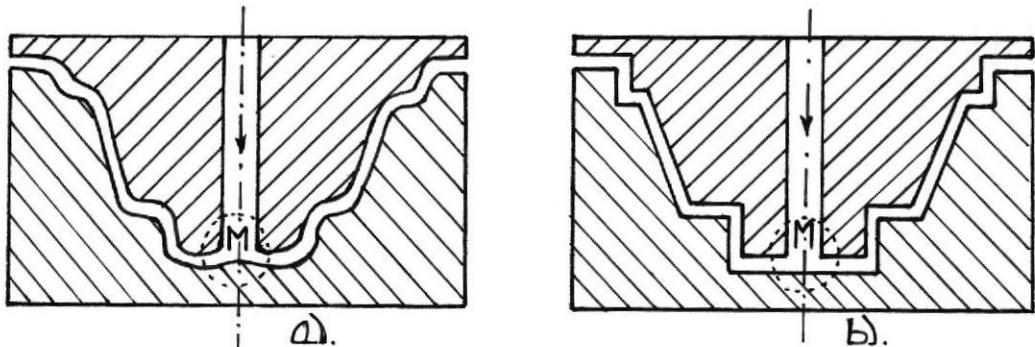


Fig. #38 EFECTOS QUE PRODUCE LA LIMPIEZA POR PRESION INTERMITENTE EN EL EROSIONADO.

4.2.b LA EXACTITUD DE LA HERRAMIENTA DE TRABAJO

Puesto que el proceso de electroerosión consiste en reproducir en la pieza de trabajo la forma que tiene el electrodo. Es lógico pensar entonces que si se requiere hacer una figura en la pieza de trabajo con mucha precisión, primero debemos manufacturar esta figura en el electrodo y hacerlo con esa alta precisión. Por citar un ejemplo, si queremos formar una estrella de 5 puntas en la pieza es necesario primero hacerlo en el electrodo y si está salió desproporcionada, lógicamente en la pieza saldrá igual. En conclusión mientras más exacta sea la forma en la herramienta de trabajo, más exacta será la forma obtenida en la pieza.

Pero a mas de ello hay otro aspecto a tener en cuenta y son las propiedades mecánicas del material que se emplea para fabricar el electrodo. Veremos que estas limitan también el número que materiales que pueden emplearse para la fabricación de electrodos, estas son:

- a. Deben de ser facilmente mecanizables, ya que a menudo son construidas por métodos convencionales (tomando, fresado, etc.). Esta propiedad se tendrá muy en cuenta cuando se vaya a elegir el material del electrodo.
- b. - Deben de tener su coeficiente de dilatación lo más pequeño posible. Dado oque los electrodos se calientan durante el proceso, sii el material tuviera un alto coeficiente de dilatación, aumentarían las medidas del electrodo, con lo cual aumentaría automáticamente las dimensiones de la pieza.
- c. - Los materiales para electrodos deben de tener bajo peso específico, ya que a veces el volumen del electrodo a emplear es grande. Las máquinas de electroerosión admiten un peso máximo de electrodo, así para la máquina ONA IRU esta es de 100 Kg.
- d. - Deben de tener estos materiales buena estabilidad dimensional. Algunos materiales, debido a los tratamientos y procesos físicos que sufren hasta su salida al mercado en formas diversas, quedan afectada de tensiones internas. Estas tensiones se liberan normalmente al calentar dichos materiales, y ello trae consigo normalmente cambios en sus dimensiones, que en el proceso de Electroerosión son perjudiciales, ya que el cambio de forma en el electrodo trae consigo automáticamente el mismo cambio en la pieza.

La elección final del material del electrodo se realizará teniendo en cuenta las propiedades físicas y mecánicas. Relacionadas con estas propiedades se encuentran otros factores como la forma a realizar, el número de electrodos a mecanizar, dimensiones del electrodo, etc., que intervendrán en la elección. Será importante también el precio y la facilidad de adquisición en el mercado.

Clasificación de los materiales

Dichos materiales se pueden dividir de la siguiente manera:

- Cobre electrolitico
- Cobre al plomo
- Cuprodugstenos

materiales metálicos: Aluminio y aleaciones
 Latón
 Acero
 Cuprografitos

Materiales no metálicos : Grafito.

Cobre electrolítico.- Es tal vez el material más empleado en electroerosión para fabricar electrodos. Su pureza debe de ser del 99,9%. Sus propiedades físicas son:

Temperatura de fusión: 1083°C (baja)

Resistividad eléctrica: 0,017 mm²/m (muy buena).

En cuanto a sus propiedades mecánicas se puede decir que:

No es fácilmente mecanizable

Tiene un coeficiente de dilatación inicial 10 -6 °C) que puede ser considerado alto con respecto al del grafito, pero suficiente para el empleo en electroerosión.

Tiene alto peso específico (8,95 kg/dm³), por lo que no sirve para electrodos voluminosos.

Cobre al plomo.- La aleación de cobre con una pequeña cantidad de plomo, cromo o telurio (1 o 2%), tiene como finalidad mejorar mucho la maquinabilidad del cobre. No obstante baja el rendimiento, subiendo el desgaste y bajando el arranque. Se puede reducir por ácido.

Cuprotungsteno.- Es un material muy interesante para la realización de piezas de gran precisión, empleándose en la erosión de microorificios en la industria de aviación, y en general en aquellos casos en que se han de hacer orificios profundos.

Aleaciones de Aluminio.- Se utilizan solamente en casos de electrodos muy grandes que se han de fabricar por fundición. Da como resultado superficies muy rugosas, grandes desgastes y pequeños arranques.

Latón.- No se utiliza apenas. Tiene muy buena maquinabilidad, pero da muy bajos rendimientos, altos desgastes y bajos arranques de material.

Aceros.- Se utiliza solamente en casos límites, pues presenta baja relación arranque desgaste, altos desgastes y rugosidades muy altas. Además tiene un alto peso específico (7,8 Kg/dm³) y muy poca estabilidad dimensional.

Grafitos.- Es también uno de los materiales más empleados como material para los electrodos. En realidad existe no un grafito, sino muchos tipos de grafito que se utilizan en Electroerosión. La naturaleza y propiedades de las materias primas y la granulometría de las mismas, así como la técnica empleada en el proceso de fabricación, tiene gran influencia sobre las propiedades físicas y el rendimiento del grafito durante el proceso erosivo.

Sus propiedades físicas son:

Temperatura de sublimación: 3600-3700°C (alta).

Resistividad eléctrica: 12 - 16 mm²/m. (muy alta).

Sus propiedades mecánicas son:

Es muy fácilmente mecanizable.

Tiene un coeficiente de dilatación lineal de 3 - 4EXP-6°C. De 4 a 5 veces menos que el del cobre.

El peso específico es bajo. De 1,75 a 1,85 Kg/dm³, por lo que sirve para electrodos de gran volumen. Tiene gran estabilidad dimensional.

La gran diferencia con el cobre, es que los electrodos de grafito solo puede ser obtenidos por mecanización en máquinas-herramientas, aunque con altas velocidades de mecanizado.

4.2.c CONTROL DEL GAP

El tamaño del gap, llamado también overcut, constituye un factor que debe de ser considerado en el diseño de un electrodo. En la figura No. 39 se presenta el efecto que tiene cuando se quiere maquinar un agujero de 10mm. de diámetro por 5mm. de profundidad, suponiendo un gap de tamaño 0,050 mm. Y se observa que las medidas de los electrodos serían:

diámetro = 10,000 mm.- 0,100 mm. = 9,900mm.

Decenso del electrodo = 5,000 mm. - 0,050 mm. = 4,950 mm.

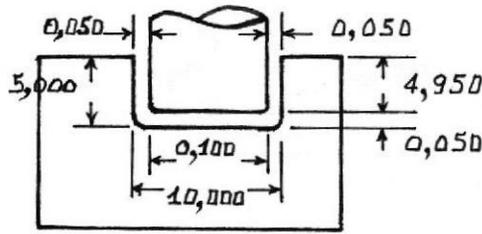


Fig. #39 FORMA QUE TIENE EL GAP O ENTREHIERRO

El tamaño del gap varía según la corriente y la frecuencia de las descargas, esto apreciamos en la tabla No. 2 que son datos obtenidos del manual de la máquina ONAIRU, la razón de esta variación será analizado en el capítulo 5. Por lo tanto es importante conocer esta tabla cuando se realiza un trabajo en cualquiera de las dos etapas mencionadas anteriormente: de desvaste y de acabado.

4.3. EL ACABADO DE LA SUPERFICIE TRABAJADA

El acabado de una superficie trabajada se la mide por el tamaño de la rugosidad que presenta; entonces se dice que un trabajo tiene un acabado, un acabado medio o un pésimo acabado si la rugosidad presenta un tamaño muy pequeño, tamaño medio o un tamaño grande, respectivamente. Por su puesto esto de bueno, medio y pésimo son medidas relativas, en este capítulo daremos un rango dentro del cual se encuentra la máquina de electroerosión y comparemos con la calidad de las superficies obtenidas con otros métodos de manufacturación.

4.3.a FACTOR QUE INFLUYE EN LA RUGOSIDAD DE LA SUPERFICIE TRABAJADA

La rugosidad de la superficie es el resultado de una multitud de crateres individuales u hoyos superpuestos uno sobre otro, causado por cada una de las chispas que se producen durante el proceso de erosionado, como se muestra en la figura No. 40.

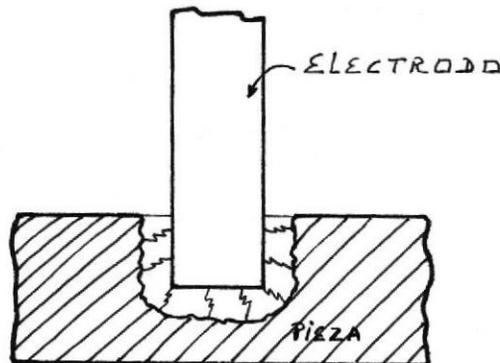


Fig. #40 FORMA EN QUE SE PRODUCE LA RUGOSIDAD DE LA SUPERFICIE TRABAJADA.



Entonces, cuando estos cráteres son más profundos la rugosidad que producirán en la superficie será mayor. Según se estudio en el capítulo 2, estos ocurre cuando incrementamos la corriente o disminuimos la frecuencia. De hecho la tabla No. 2, muestra valores experimentales obtenidos del manual de la máquina ONA-IRU, y nos da con valores numéricos la forma en que varía la rugosidad según la corriente y la frecuencia. El significado que tiene estos valores esta representada en la fig. No. 41; es decir, es el valor de la altura del máximo pico que tiene la capa rugosa.

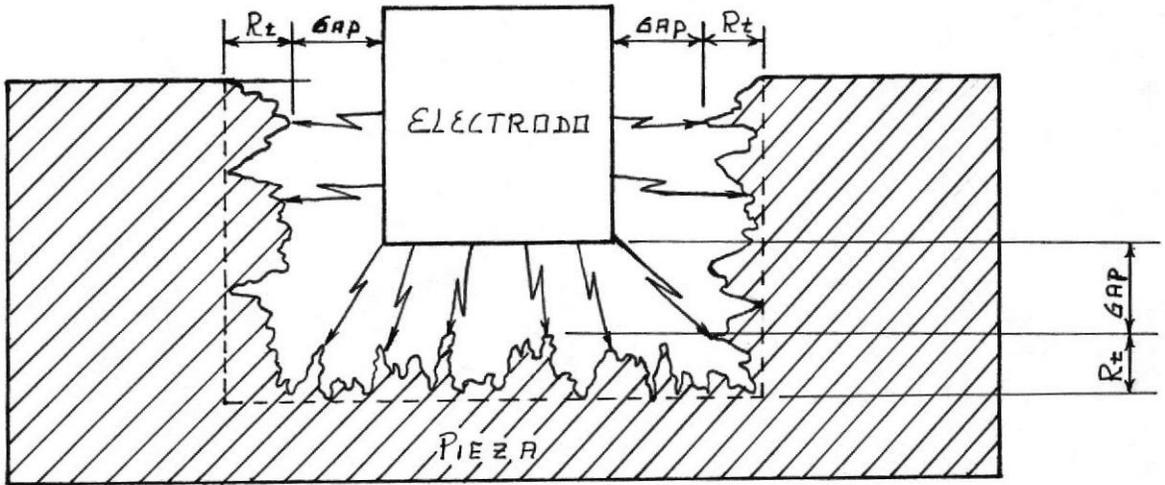


FIG # 41 FORMA DE LA RUGOSIDAD DE LA SUPERFICIE TRABAJADA.

Los valores que esta tabla nos dicen que para tener un buen acabado se debe trabajar con corriente bien bajas.

Entonces se concluye que cuando más pequeña sea la corriente mínima que habilita una máquina, mejor será el acabado que se puede obtener con ella. La máquina ONA-IRU permite tener una corriente mínima de 2A pero existen otras que habilitan corriente mucho más pequeñas, tanto como 0,1A; el acabado que se obtendrá con ellas también serán mucho mejores.

Cabe indicar que cuando trabajamos con corrientes cada vez más pequeñas, la velocidad de erosión decae; por ello cuando se precisa de un trabajo con buen acabado este puede durar días o semanas para terminarlo. El realizar el trabajo en dos etapas: de desbaste y de acabado, permite agilizar al máximo el trabajo.

En el capítulo 5 se presentan fotografías de los diferentes niveles de rugosidad que permite obtener esta máquina, lo cual permitirá comparar en forma visual cada uno de ellos.

4.3.b COMPARACION CON OTROS METODOS

Generalmente, dos maneras son empleadas para expresar la rugosidad de una superficie: El promedio aritmético, R_a ; y, el promedio de la raíz cuadrada media, R_q .

Basados en la ilustración de la fig. No. 42 estas están definidas de la siguiente manera:

$$R_a = \frac{a + b + c + d + \dots}{n}$$

$$R_q = \sqrt{\frac{a^2 + b^2 + c^2 + d^2 + \dots}{n}}$$

La línea AB está localizando tal que la suma de las áreas sobre la línea es igual a la suma de las áreas bajo la línea.

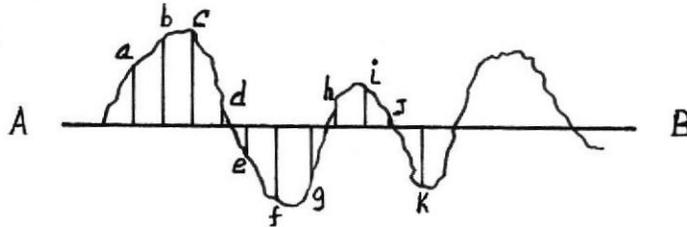


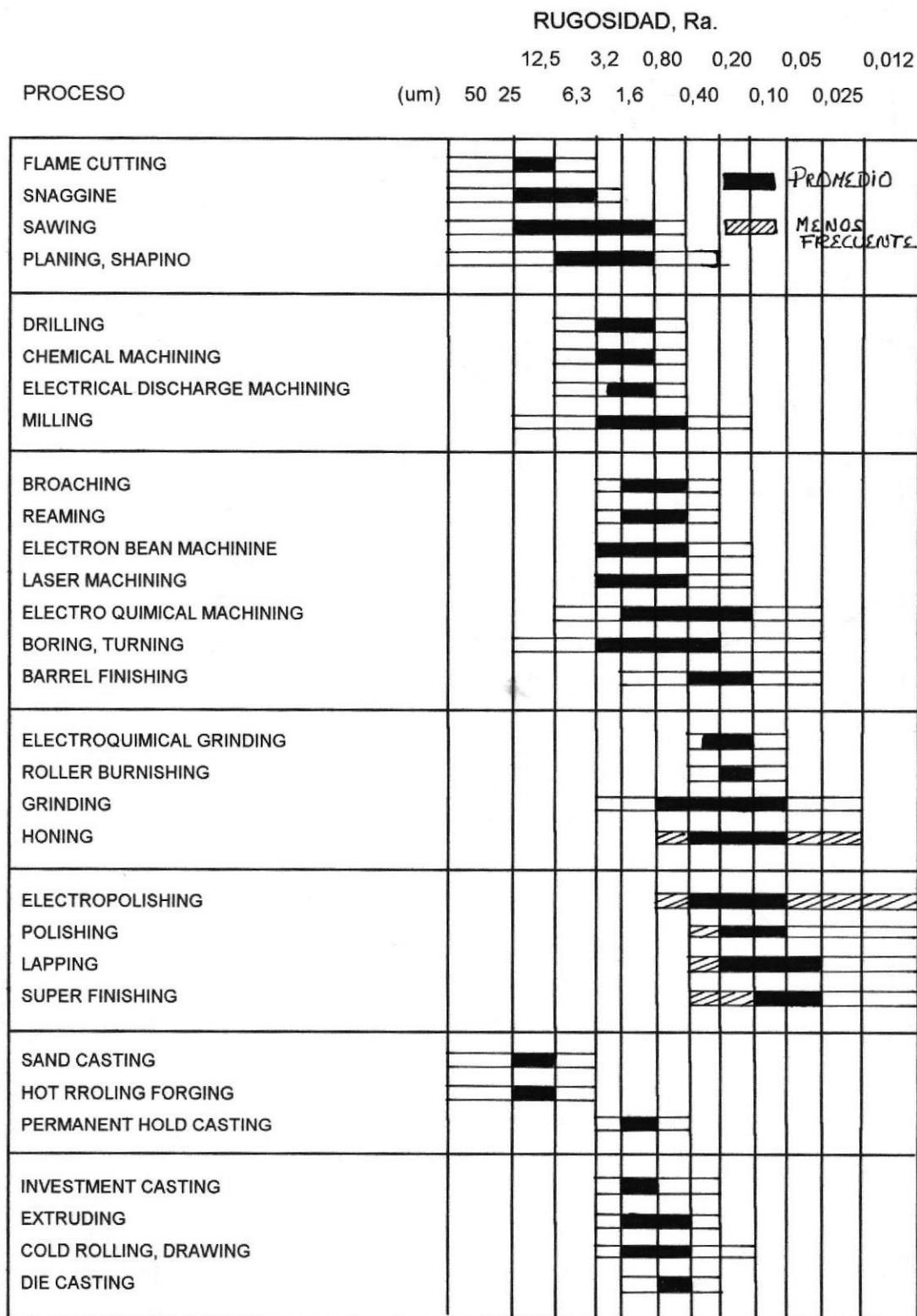
FIG. # 42 FORMA DE EXPRESAR LA RUGOSIDAD DE UNA SUPERFICIE

Debido a la simplicidad; R_a ha sido internacionalmente aceptada y más ampliamente usado.

La tabla No. 6 permite comparar la rugosidad obtenida con diferentes métodos de manufacturación, medida con el término R_a .

Esta Tabla nos permite ver que existen métodos que permiten obtener superficies de mejor acabado, de igual manera existen otros que permiten obtener superficies más rugosas.

TABLA No. 6



RUGOSIDAD OBTENIDA CON DIFERENTES METODOS
DE MANUFACTURACION.

CAPITULO 5

RESULTADOS EXPERIMENTALES

5.1 FORMA EN QUE SE DESARROLLA LA DESCARGA EN FUNCION DEL TIEMPO Y LA INTENSIDAD DE CORRIENTE

Con la ayuda de un osciloscopio se tomaron medidas del voltaje del circuito con la finalidad de observar el comportamiento del voltaje y la corriente del gap durante el desarrollo de una descarga, los resultados obtenidos para una corriente determinada son:

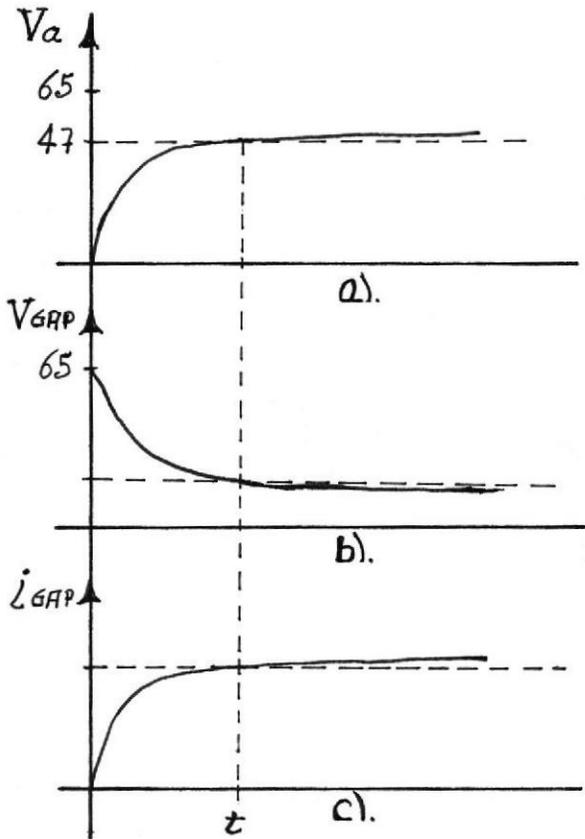


Fig. # 43 CURVAS OBTENIDAS DEL VOLTAJE Y CORRIENTE DEL GAP

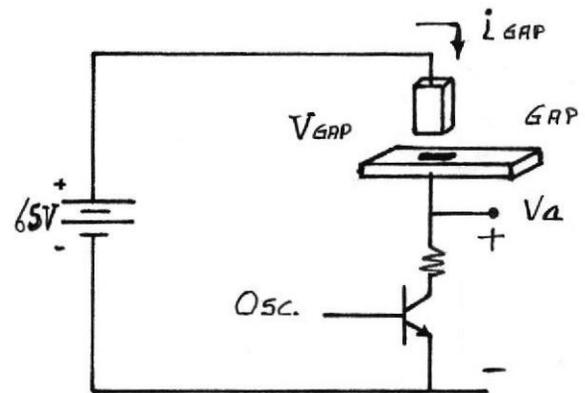


Fig. # 44 CIRCUITO SIMPLIFICADO DEL GENERADOR DE DESCARGAS.

La fig. No. 44 muestra un circuito simplificado de la máquina en que fueron tomados los datos. Las figuras 43 ay b fueron tomadas con el osciloscopio en tanto que la fig. No. 37c, de la corriente del gap, es un resultado del análisis de las curvas anteriores.

Analizando la forma de onda de la corriente del gap, apreciamos que esta tiene un comportamiento igual al del voltaje de descargado de un capacitor. Al comienzo crece muy rápidamente y conforme avanza el tiempo el crecimiento se hace más y más lento. Esto está de acuerdo con lo dicho cuando se analizó la forma en que se produce la descarga, que cuando esta se inicia, la ionización se desarrolla rápidamente produciendo avalanchas sucesivas de electrones haciendo con ello caer bruscamente la resistencia del dieléctrico y por consiguiente la corriente se incrementa también de manera brusca, a medida que transcurre el tiempo, el canal de descarga también va desarrollándose (enhanchándose) con ello la resistencia va decayendo en su rapidez de descenso por lo tanto la corriente se hace lento en su crecimiento.

Los resultados que se obtuvieron al variar la intensidad de las descargas se dan a continuación.

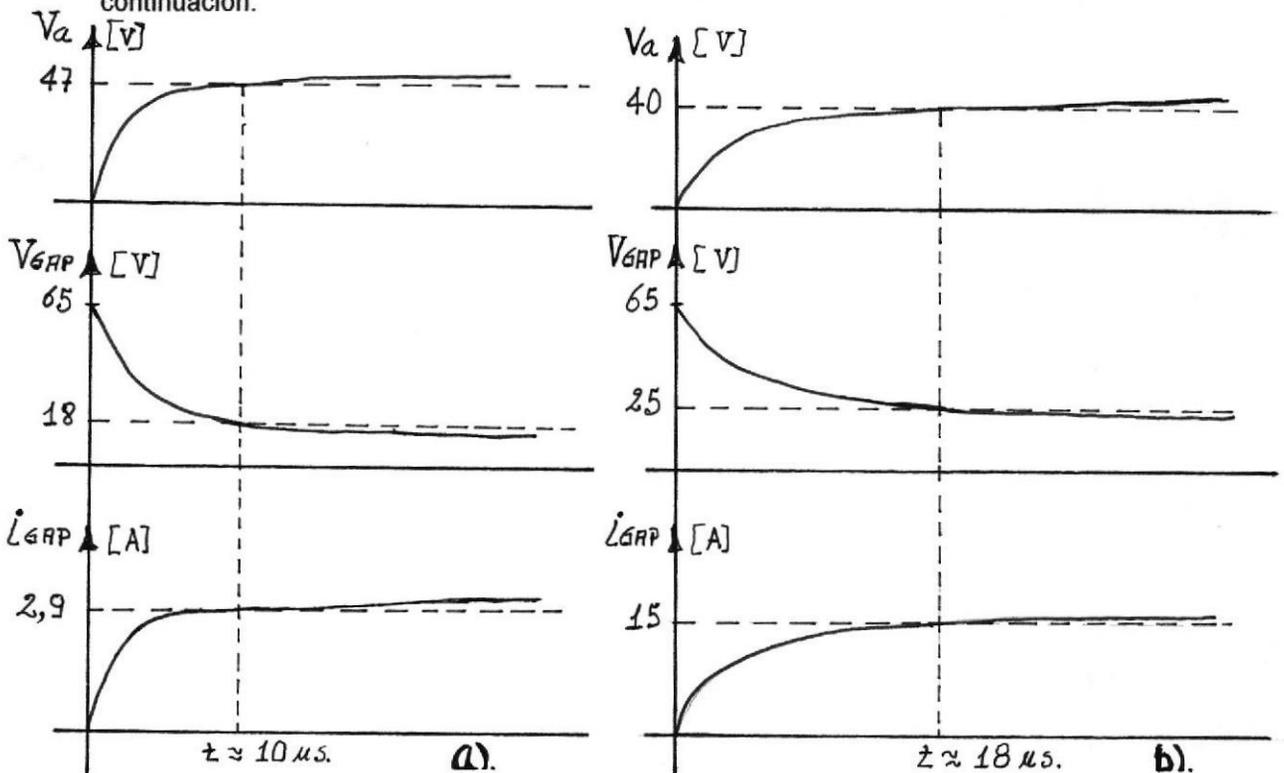


Fig # 45 FORMAS DE LA CORRIENTE Y VOLTAJE DEL GAP PARA DIFERENTES INTENSIDADES DE CORRIENTE DE DESCARGA

Estas formas de ondas nos dicen que al incrementar la corriente la zona de rápido crecimiento de la corriente dura mayor tiempo. Desde el punto de vista atómico esto era lógico esperarse porque mayor corriente no es otra cosa que mayor número de portadores pasando por el circuito por unidad de tiempo; entonces para obtener más electrones en el dieléctrico se precisa que la ionización dure más tiempo para que las avalanchas sean en mayor número y

con el baje la resistencia del dieléctrico aún más, para incrementar así la corriente al nuevo valor de mayor magnitud.

Otra característica que se aprecia es que el voltaje del gap es mayor para corriente más grande, esto nos dice las gráficas No. 45 a y b, obtenidas de la máquina ONA-IRU. Aunque aquí no podemos aplicar la ley de ohm podríamos decir que la resistencia no disminuye en la misma forma en que incrementa la corriente resultando por ello en un incremento del voltaje.

Otra manera de analizar el desarrollo de la descarga es de forma visual es decir observando el comportamiento de la descarga al variar su tiempo de duración y su intensidad de corriente.

Haciendo estas variaciones se concluye que, manteniendo la corriente constante, la descarga conforme avanza el tiempo se desarrolla aumentando el diámetro del canal de conducción; pues sí, porque cuando es mayor el tiempo de duración se observa una descarga con un brillo más grueso. Mientras que cuando variamos la corriente, manteniendo el tiempo de duración constante, se observa que a mauor corriente la descarga es más fuerte, más definida, de mayor energía, mayor sonido; y esto es precisamente debido a que los electrones tienen mucha más velocidad y son en mayor cantidad (ver fig. 46)

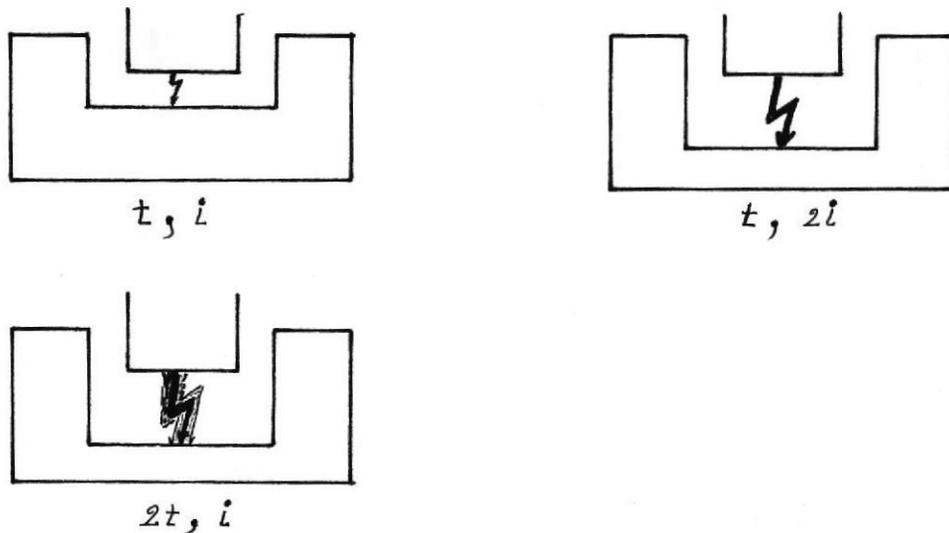


FIG # 46. FORMAS DE LA DESCARGA AL VARIAR EL TIEMPO DE DURACION O LA INTENSIDAD DE LA MISMA.

5.2 FACTORES QUE INFLUYEN EN EL VOLUMEN EROSIONADO POR MINUTO POR UNA MAQUINA DE ELECTROEROSION

Se ha visto la forma en que se comporta la corriente del gap en función del tiempo. A continuación presentamos la forma de la corriente obtenida en la máquina ONA-IRU para la posición III (8 amp.) y V (24 amp.).

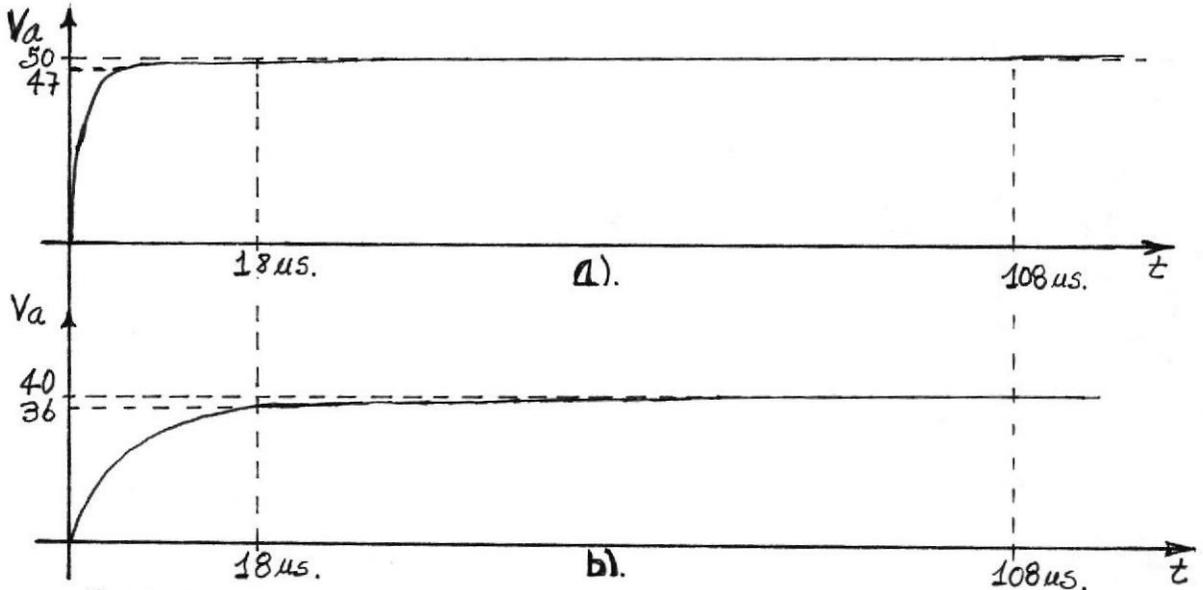


Fig.# 47 GRAFICO DE LA CORRIENTE PARA LA POSICION III Y V DE LA MAQUINA ONA-IRU

Analicemos estas curvas paralelamente con la tabla No. 3 en que se presenta el volumen erosionado por minuto para estas corrientes, podemos concluir:

Cuando la corriente alcanza su máximo nivel genera la máxima energía calorífica que va a fundir los polos, pero esta requiere de tiempo para propagarse. Por otro lado el volumen erosionado por minuto esta dado por la fórmula:

$$V = v \cdot f$$

Donde V : Volumen erosionado por minuto

v : Volumen erosionado por cada descarga

f : frecuencia de las descargas.

Analizando el caso de la fig. No. 47a, aproximadamente a los 3 us. alcanza el valor, más o menos, máximo y entonces comienza a propagarse el calor; a los 5 us. (posición 4) el calor propagado funde un volumen v_1 que multiplicando con la frecuencia correspondiente f_1 tenemos $V_1 = v_1 \cdot f_1$.

Al pasar la posición del switch del tiempo de impulso a la posición 5 el calor se propaga a mayor volumen v_2 el cual al multiplicarlo con la respectiva frecuencia f_2 , produce un volumen $v_2 = v_2 * f_2$.

La frecuencia f_2 es menor a f_1 pero el volumen v_2 es lo suficientemente mayor a v_1 para superar la pérdida en frecuencia y por ello se obtiene un mayor volumen por minuto.

De igual manera ocurre cuando cambiamos el tiempo de impulso a la posición 6 (18 us.), se produce un V_3 que al multiplicar con su frecuencia f_3 da un $v_3 = v_3 * f_3$ que es mayor al anterior.

Al cambiar a la posición 7 (26 us.) el calor se propaga más, fundiendo un volumen v_4 mayor a v_3 , pero no lo suficiente para compensar la pérdida en frecuencia por ello obtenemos un $v_4 = v_4 * f_4$ menor a v_3 .

La causa para que este fenómeno ocurra es, que luego de iniciada la descarga esta comienza a desarrollarse en función del tiempo incrementando el diámetro del canal de conducción y con ello su área. Por tanto la corriente $J=i/A$ y la resistencia $R= \rho 1/A$ decrecen haciendo de esta manera decrecer la energía $P= i^2 * R$ que se convierte en calor. Por ello no se cumple lo que teóricamente se había estudiado en el capítulo 2, que al duplicar el tiempo de impulso el volumen erosionado por esa descarga se duplicaría también, y es porque en aquel análisis se consideraba que la energía calorífica no cambiaba.

Analizando la frecuencia que da el máximo erosionado en cada nivel de corriente; se puede decir que al duplicar la corriente la energía calorífica generada se duplica, entonces el volumen erosionado también debe duplicarse. Los datos de la tabla demuestran que eso precisamente está ocurriendo; por ello podemos incrementar la corriente tanto como se desee incrementar la rapidez de erosionado. Entonces la corriente se convierte en el parámetro que controla la rapidez de erosionado.

Por otro lado no podemos incrementar indefinidamente la corriente porque se presentan inconvenientes, como:

- Para altas corrientes la descarga es muy fuerte que los cráteres que produce el erosionado son tan profundos que podrían quebrar ya sea el electrodo o la pieza de trabajo.

- La rugosidad que se obtiene son demasionado grandes.
- El calor que alcanza el electrodo y pieza son muy altos que aún con el líquido no se logra enfriarlos entonces producen daños, los cuales pueden ir desde leves como la dilatación de los materiales alterando con ello sus medidas; a fuertes como quiebres de los polos.
- Quizá la más importante, es que el calor que generan es tan intenso que se vuelve peligroso porque logran inflamar el kérex, volviéndose entonces inestable el proceso de erosionado.

Todas estas razones limitan el valor máximo de corriente, las máquinas de electroerosión logran habilitar corriente de hasta 500 A; pero cuando se va ha trabajar con estas corrientes se debe tener un buen control del proceso de erosionado en todo instante.

5.3 FACTORES QUE INFLUYEN EN EL ACABADO DE LA SUPERFICIE TRABAJADA

Un análisis detenido del funcionamiento de la máquina, permite concluir que los factores que influyen en el acabado de la superficie trabajada son los siguientes:

- La intensidad de corriente y la frecuencia de las descargas.
- La magnitud del voltaje de ionización del líquido.
- La constante dieléctrica del líquido dieléctrico.
- La naturaleza de la pieza de trabajo que esta siendo erosionada.

La intensidad de corriente y la frecuencia de las descargas.- Las fotos que se muestran en la fig. No. 48a presentan el incremento de la rugosidad al disminuir la frecuencia; es decir, al aumentar el tiempo de duración de la descarga. La energía producida por un determinado nivel de corriente se va propagando a mayor volumen por ello el erosionado que se obtiene es cada vez de mayor profundidad y de mayor área porque el diámetro del canal de conducción también se desarrolla, ello origina la rugosidad mayor la cual se aprecia mejor el graf. No. 48b.

Cuando el nivel de corriente se duplica la energía calorífica se duplica ello produce erosionados mucho más profundos y también de mayor área. Esto es lo que se aprecia en las fotos de la fig. No. 49a, y se observa el efecto que produce en el gráfico No. 49b.

Además estas fotos nos permiten conocer de forma visual la rugosidad que se obtiene con los diferentes niveles de corriente y también, para el caso de la máquina ONA-IRU, cual es el mejor acabado que se puede obtener.

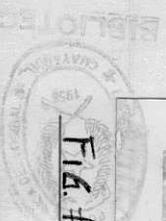
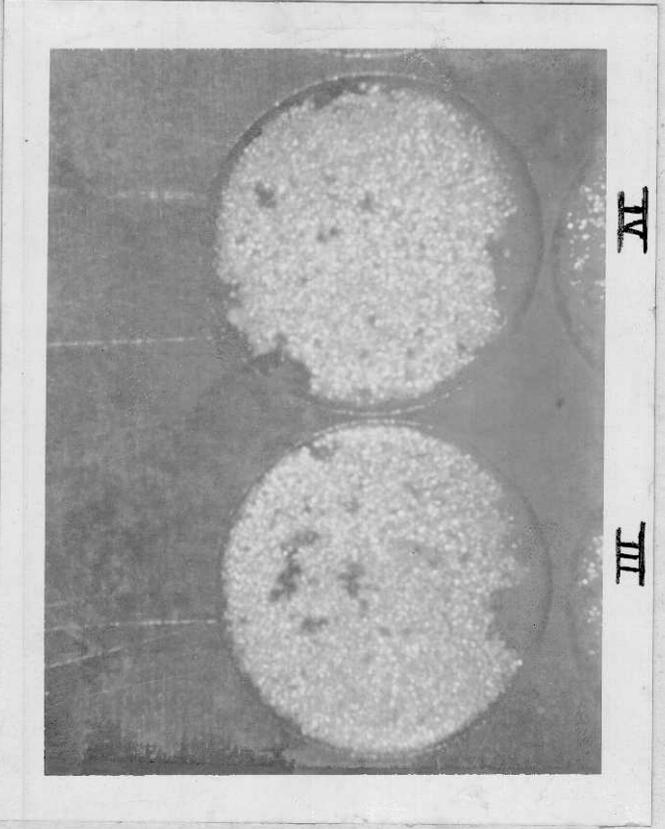
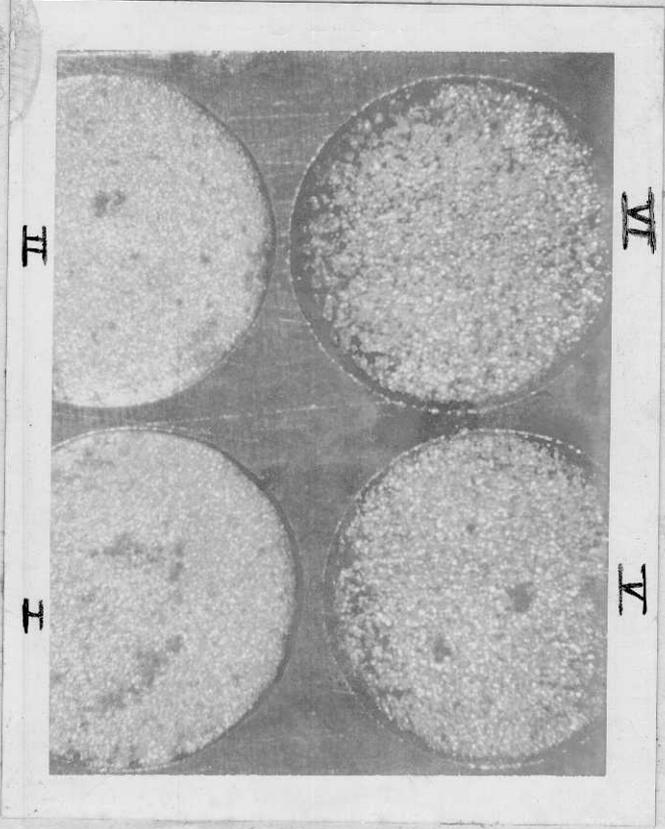
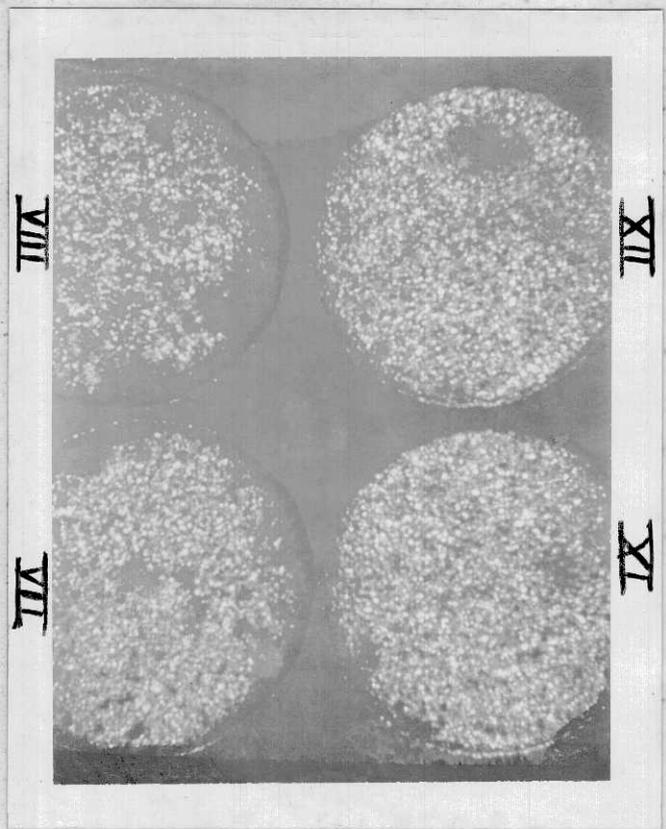
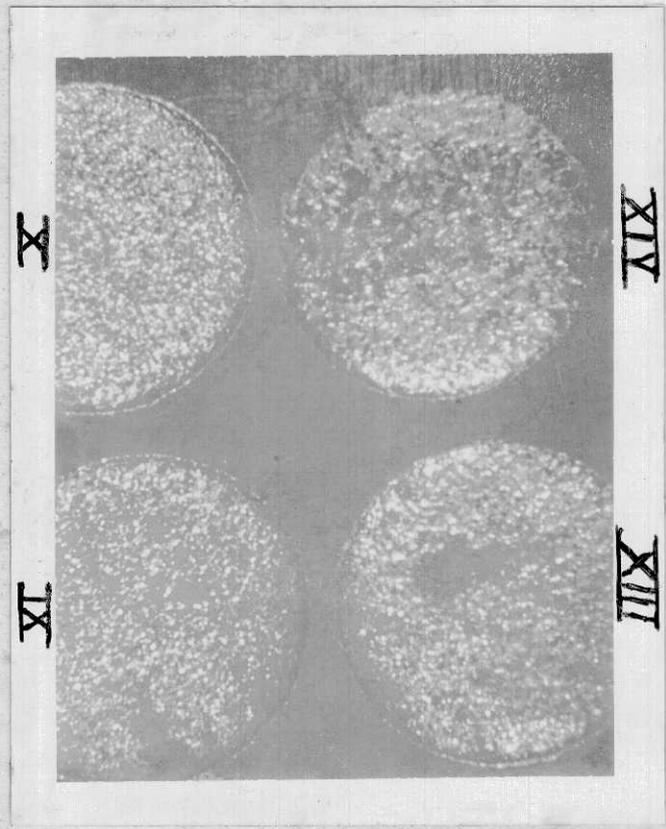


FIG. # 48

SUPERFICIES OBTENIDAS AL VARIAR LA FRECUENCIA DE LAS DESCARGAS, LOS NÚMEROS QUE APARECEN EN LAS FOTOS INDICAN LAS POSICIONES EN LA MÁQUINA. (VER TABLA # 2)



II

I

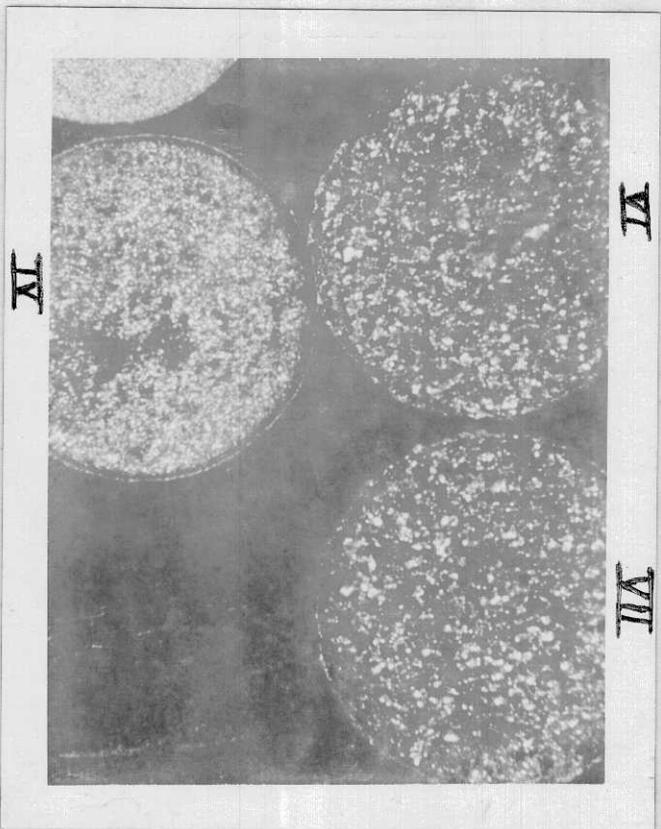
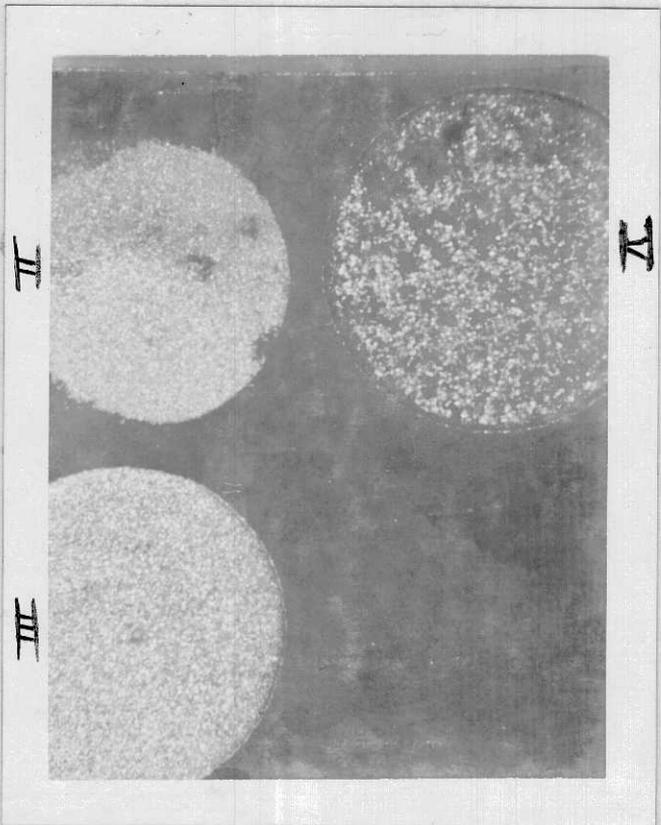


FIG. # 49 SUPERFICIES OBTENIDAS AL VARIAR LA INTENSIDAD DE CORRIENTE DE LA DESCARGA.
 LOS NUMEROS QUE APARECEN EN LAS FOTOS INDICAN LAS POSICIONES EN LA TABLA # 7)
 (VER TABLA # 7)

La magnitud del voltaje de ionización del líquido.- Cuando se está trabajando con la mínima corriente que da el mejor acabado en una máquina de electroerosión, el trabajo se realiza con mucho contratiempos debido a la dificultad de realizar la limpieza del gap debido a que este se vuelve tan pequeño que el líquido no ingresa fácilmente; se requiere de una gran presión para que este realice la limpieza, aún a pesar de ello se precisa hacer limpieza manual periódicamente.

Es por esta razón que las máquinas de electroerosión se limitan a trabajar con una determinada corriente mínima limitando con ello el acabado de la superficie de trabajo.

Para remediar este problema y más aún para poder trabajar con corrientes más pequeñas se precisa incrementar el gap de alguna manera. Esto puede ser hecho incrementando el voltaje de ionización del líquido, pues recordemos el término de la rigidez dieléctrica del líquido: 12 v/um. . De esta manera podemos tomar voltaje más grandes pero el inconveniente que se obtiene es el incremento en el consumo de la energía eléctrica.

La constante dieléctrica del líquido dieléctrico.- Otra forma de lograr mejorar el acabado es manipulando la constante dieléctrica, usando un líquido que permita menor valor de rigidez, de tal manera que se use poco voltaje con un tamaño del gap que se requiera. Pero el análisis que se hizo en el capítulo 3 no nos permite tener líquidos con valores de rigidez más pequeños. Por consiguiente estas máquinas se limitan a usar estos tipos de líquidos y por ello no pueden dar superficies de mejor acabado.

La naturaleza de la pieza de trabajo que están siendo erosionada.- Se refiere a las propiedades que presenta la pieza de trabajo. Como el erosionado depende del punto de fusión de la pieza de trabajo cuando esta tenga un valor muy bajo el volumen que erosiona será mayor, igual ocurre cuando la conductividad térmica del material es alta; esto es, el calor se propaga rápidamente fundiendo por consiguiente mayor volumen de material. Esto trae como resultado que cuando menor sea el punto de fusión del material y mayor de conductividad térmica, mayor será la rugosidad que presente.

5.4. VARIACION DEL TAMAÑO DEL ENTREHIERRO Y SU INFLUENCIA EN EL EROSIONADO.

El gap en una máquina de electroerosión se incrementa cuando incrementamos la intensidad de la corriente de descarga y disminuimos su frecuencia; esto se aprecia en la tabla No. 2. Pero, ¿por qué ocurre esto?, si habíamos dicho que este depende tan solo del voltaje de ionización del líquido dieléctrico. A continuación se da una hipótesis del por qué se observa este comportamiento.

El incremento del gap se originaría por dos razones:

- El incremento de la rugosidad al incrementar la corriente
- Por el fenómeno de electrización.

Al incrementar la rugosidad, la superficie presenta puntas de mayor tamaño, ver fig. No. 50

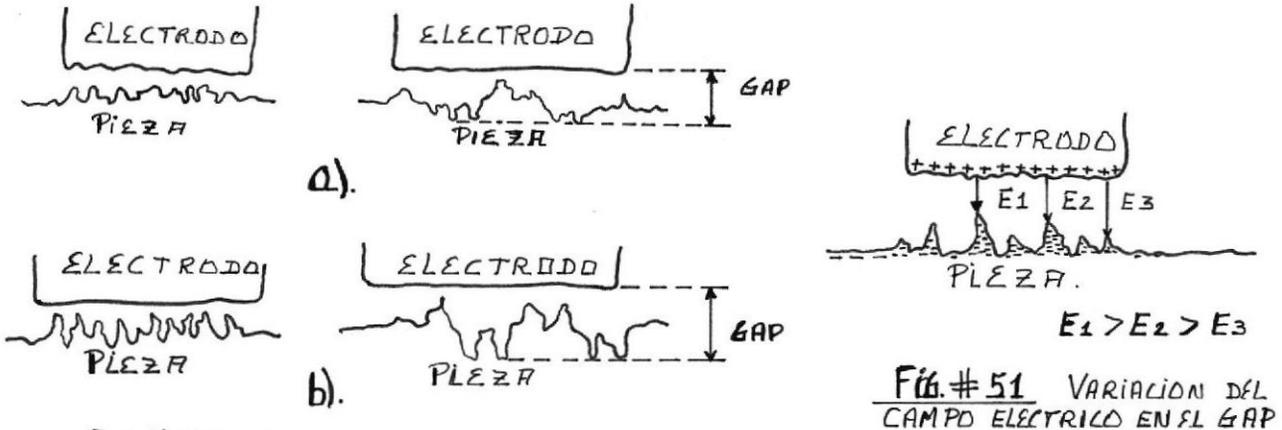


FIG. # 50 FORMAS EN QUE VARIA EL TAMAÑO DEL GAP.

FIG. # 51 VARIACION DEL CAMPO ELECTRICO EN EL GAP

Entonces la descarga fundirá una de esas puntas y lo erosionará produciendo un espacio más grande que viene a formar el gap del erosionado.

Por otro lado el fenómeno de electrización implica que cuando mayor es la punta que presenta la superficie, las cargas se almacenarán en mayor número en ese lugar, ver fig. 51.

El campo eléctrico es proporcional a las cargas $E \cdot Q$. El campo eléctrico será mayor en el espacio entre esta punta y el electrodo herramienta y será tan intenso que la descarga se lleva a cabo antes que este espacio sea el que la rigidez dieléctrica lo afirma. Resultando con ello una distancia mayor del gap. Entonces mientras más grande sea estas puntas; es decir, mayor rugosidad presente la superficie (mayor la intensidad de corriente), mayor será el tamaño del gap. Este mismo efecto ocurre el decrecer la frecuencia de las descargas.

Los efectos que produce la variación del tamaño del gap en el erosionado son muy importante ya que incrementan la rapidez de erosionado. Al ser el gap de mayor tamaño la limpieza se realiza fácilmente con líquido a baja presión, en tanto que para corrientes pequeñas el gap es pequeño entonces se requiere mayor presión del líquido que se inyecta al gap para que logre

entrar en él, esto va afectando a las descargas, porque para corrientes muy pequeñas el gap es demasiado pequeño que se requiere una alta presión del líquido, el líquido entonces alcanza una gran velocidad que no permite, en el tiempo que dura la descarga, que el líquido este inmóvil para que el canal se origine normalmente; entonces este se rompe afectando el erosionado, disminuyendo con ello la rapidez del trabajo.

Por ello los valores que se observan en la tabla No. 2 del volumen de erosionado por minuto no se duplican al duplicarse la corriente en algunos casos, precisamente en corrientes grandes, porque aquí estas se llevan a cabo de la mejor manera, de forma más tranquila. Pero a más de la limpieza, están otros factores como son la forma de actuar del hidráulico, que lo veremos más adelante y entonces analizaremos como afecta también el erosionado.

5.5. EFECTO QUE PRODUCE LA POLARIDAD DEL ELECTRODO Y PIEZA Y EL TIPO DE MATERIAL DE CADA UNO DE ELLOS EN EL EROSIONADO

Utilizando 5 tipos diferentes de materiales y con la ayuda de un osciloscopio se pudo observar el comportamiento del erosionado al realizar las diferentes combinaciones de ellas al usarlas como electrodo y pieza. Entonces utilizando la polaridad positiva para el electrodo y negativo para la pieza, se midió el voltaje V_a , ver fig. 53 y se obtuvo los resultados que se presentan en la fig. No. 52.

Estos resultados nos dicen que para el modo de operación NO-WEAR los materiales que mejores resultados dan, al ser usados como electrodo herramienta son el cobre y el grafito; mientras que el comportamiento del hierro y el aluminio son muy bajos.

En tanto que para la polaridad convencional es decir negativa para el electrodo y positiva para la pieza, a pesar que los resultados dicen que el cobre y el grafito son los mejores, hay mucha diferencia al comportamiento del erosionado cuando se tuvo la polaridad contraria. El cobre realiza bien las descargas con el aluminio pero no con el hierro, acero y el grafito, es porque estas tienen el punto de fusión mayor a él. En tanto que el grafito si realiza bien las descargas para todos los demás usados como pieza; hay que anotar que el grafito tiene el punto de fusión más alto que los demás. El hierro y el acero son malos materiales porque su comportamiento es muy bajo.

5.6 EL AVANCE AUTOMATICO

5.6.a CIRCUITO QUE CONTROLA EL MOVIMIENTO DEL ELECTRODO

El circuito que detecta el desarrollo de las descargas eléctricas para según ello enviar la orden de subir o bajar el electrodo, basa su control en el comportamiento del voltaje V_a ,

ver fig. No. 53. El hecho es que este voltaje cuando no se producen las descargas tiene un valor de aproximadamente cero voltios, y cuando se están produciendo, este tiene un determinado valor el cual depende de la corriente, pero para dar un valor diremos que es mayor a 35v. Entonces se precisa que cuando no hay descargas, esto es $V_a=0$, el electrodo baje para tener el gap deseado; y una vez que se produzcan las descargas, esto es $V_a > 35v.$, el electrodo se detenga, porque si continua bajando va llegar a chocar a la pieza de trabajo, ya que la velocidad de erosionado es mucho más lento que la de bajada del electrodo. El circuito empleado para controlar el movimiento del electrodo es el siguiente:

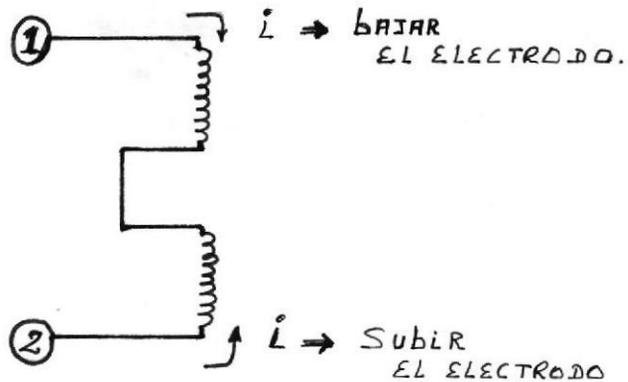
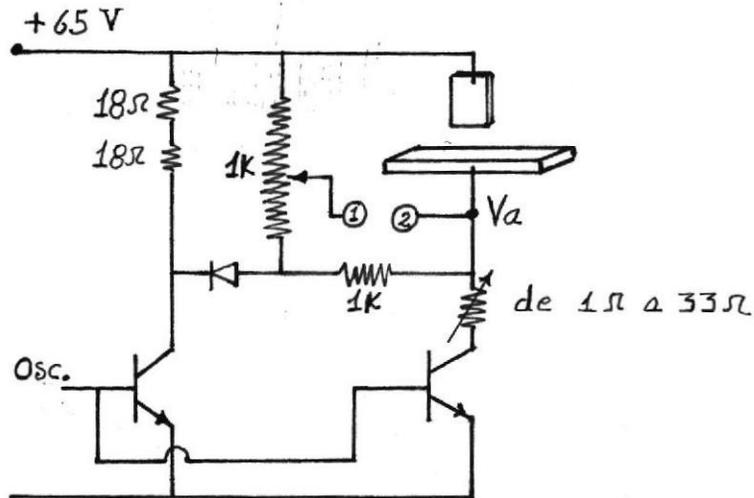


Fig. # 53 CIRCUITO QUE CONTROLA EL MOVIMIENTO DEL ELECTRODO

ELECTRODO (+) Y PIEZA (-)

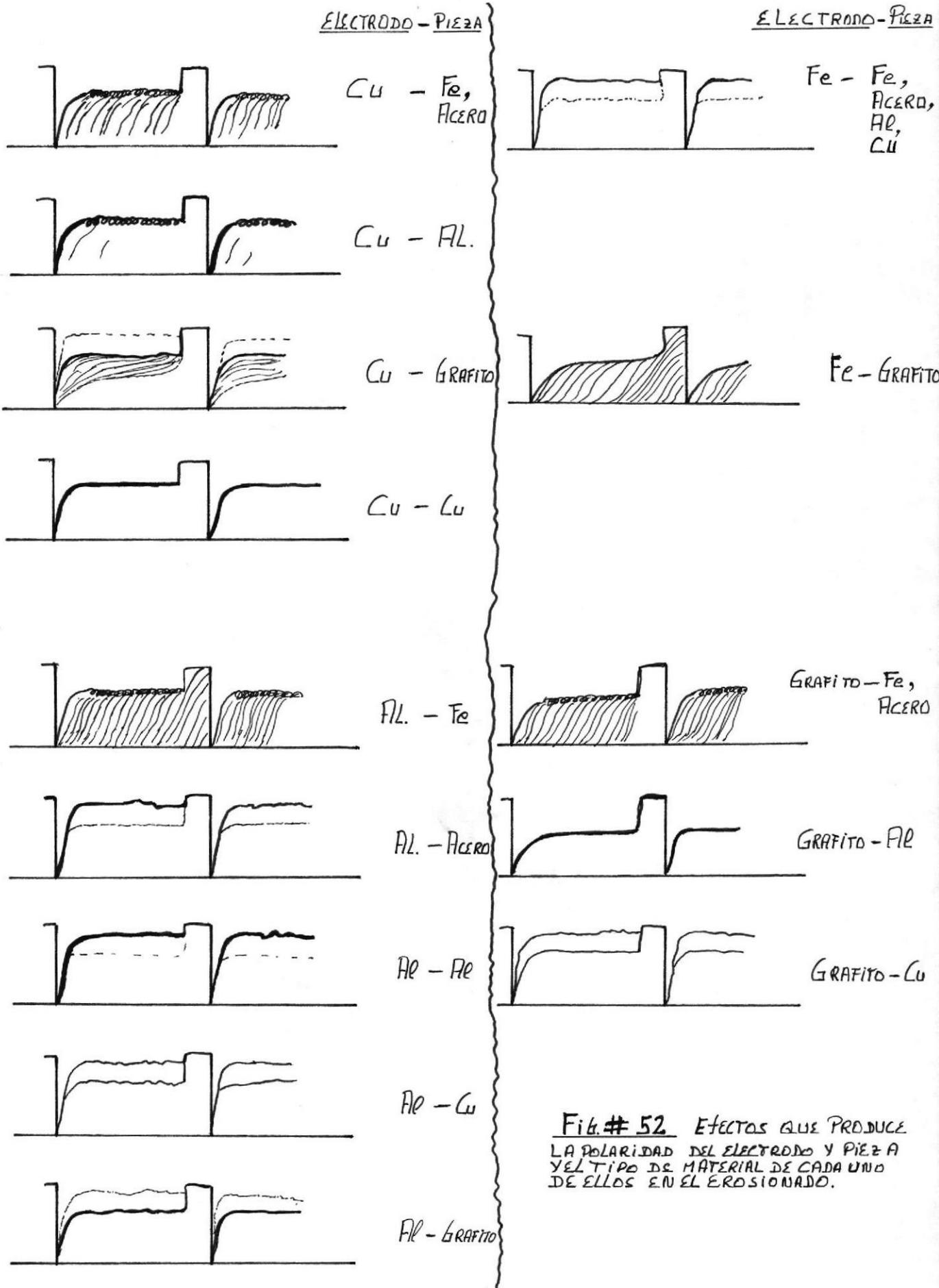


Fig. # 52 Efectos que produce la polaridad del electrodo y pieza y el tipo de material de cada uno de ellos en el erosionado.

Vamos a suponer que el potenciómetro P1, denominado "control de movimiento del electrodo" esta en la posición central.

Los puntos 1 y 2 van conectados a la bobinas de la servoválvula. Dependiendo del voltaje V_1 y V_a tendremos la corriente dirigida desde V_1 hacia V_a o viceversa. Cuando no hay descargas ($V_a=0$) la corriente fluirá desde V_1 hacia V_a , este sentido de corriente hace que la servoválvula realice los procedimientos para que el pistón baje y con él el electrodo. Cuando se producen las descargas ($V_a = 35v.$) el voltaje V_1 es menor a este voltaje (luego analizaremos cuando es menor), por lo tanto el sentido de la corriente se invierte y con ello la servoválvula envía la orden al pistón para que suba. Al subir el electrodo nuevamente dejan de producirse las descargas cambiando el sentido de la corriente con ello cambia el movimiento del pistón bajando el electrodo para producir las descargas y cuando esto ocurre lo sube nuevamente. Este proceso esta repitiéndose durante todo el proceso de erosionado por ello se observa, con ayuda de un calibrador de oscilación es muy pequeña e el orden de las 10 μm . La frecuencia es precisamente la máxima respuesta a la que responde el hidráulico (alrededor de los 500 hz). Entonces nos damos cuenta que el proceso de erosionado no es continuo sino intermitente.

El voltaje V_1 que entra en la servoválvula es variable, el objetivo de este control es regular la corriente que detecta la servoválvula; porque recordemos que ella no detecta voltaje sino corriente, ya que la servoválvula según la intensidad de corriente abre una determinada cantidad la compuerta, ingresando mayor o menor líquido al pistón. Cuando V_1 disminuye; es decir, el potenciómetro baja, la intensidad de corriente desde V_1 a V_a va disminuyendo con ello la velocidad de descenso del electrodo es cada vez menor; pero ocurre lo contrario con la corriente de ascenso es decir cuando se están produciendo las descargas. En definitiva mientras el potenciómetro más abajo se encuentre, la velocidad de descenso es menor y la de ascenso es mayor; lo contrario ocurre cuando más arriba se encuentra, entonces la velocidad de descenso es cada vez mayor y la de ascenso es menor. Cuando el voltaje V_1 sobrepasa el valor de V_a el electrodo solo desciende.

Entonces este control me permite regular la velocidad de descenso del electrodo, esto es necesario porque en un proceso de erosionado la velocidad de arranque de material de la pieza varía dependiendo de muchos factores según lo hemos visto capítulo anteriores. Existen materiales que se van erosionando rapidamente entonces se requiere un avance más rápido del electrodo, en todo que otros son más duros en erosionarse entonces se requiere un avance del electrodo también más lento.

5.6.b EL COMPORTAMIENTO DEL SISTEMA HIDRAULICO Y SU INFLUENCIA EN EL EROSIONADO

El comportamiento del hidráulico se ve influenciado por diferentes factores y este a su vez afecta directamente a la rapidez de erosionado de la pieza. Estos factores son:

- El peso del electrodo
- El área de trabajo
- La rapidez de erosionado
- La posición del control de movimiento del electrodo

El electrodo durante el proceso de erosionado tiene una determinada frecuencia de oscilación; esto quiere decir, utilizar un determinado tiempo en descender y otro en subir el electrodo, dependiendo cada uno de ellos de su velocidad y esta a su vez de la posición del control de movimiento del electrodo.

El peso del electrodo.- En el Capítulo 3 se estudió que la máxima respuesta de frecuencia del hidráulico depende, entre otros factores, de su inercia, es decir del peso del electrodo. Cuando el peso es mayor la frecuencia es menor; entonces, para electrodos de gran volumen el electrodo empleará mayor tiempo en descender y en ascender, puesto que tarda más en responder a la orden de cambio de sentido del movimiento; este efecto puede producir cortos circuitos los cuales afectan el erosionado, según se verá más adelante, entonces se precisa disminuir la velocidad del descenso del electrodo, es decir disminuir la posición del control. Esto hace que el erosionado sea más lento pero con la ventaja de que se efectúa de forma normal.

El área de trabajo.- Antes vamos a definir el término "velocidad de avance del erosionado" como la velocidad a la que avanza este solo en el sentido vertical; es decir, distancia por unidad de tiempo, y se diferenciará del término rapidez o velocidad de erosionado porque este trata el volumen erosionado por minuto.

Si en lugar de aumentar el volumen del electrodo incrementamos el área de trabajo, se requerirá mayor número de descargas para cubrir toda la superficie entonces la "velocidad de avance del erosionado" se ve afectado, disminuyéndose, si la velocidad del electrodo se mantiene constante, nuevamente se producirán cortos circuitos, siendo necesario disminuirla también para que el erosionado se lleve a cabo en forma normal, afectándose otra vez la rapidez del erosionado.

La rapidez de erosionado.- En el capítulo 4 se estudiaron los factores que afectan la rapidez de erosionado, si eligiendo cualquiera de ellos lo incrementamos se obtendrá como resultado una mayor "velocidad de avance del erosionado" en el proceso de electroerosión, para que el rendimiento sea óptimo será necesario incrementar también la velocidad de avance del electrodo. Esto hace que la rapidez de erosión se incremente aún más.

Esto es lo que ocurre con los valores de volumen erosionado por minuto que se presentan en la tabla No. 2 en el que se aprecia que para corrientes grandes estos valores incrementan más de lo esperado, es precisamente porque se incrementa la "velocidad de avance del erosionado".

La posición del control del movimiento del electrodo.- Ya lo hemos analizado y se encontró que controla la velocidad de avance del electrodo afectando el erosionado porque afecta la frecuencia del hidráulico y también porque un incremento exagerado hace que el electrodo avance mucho hacia la pieza produciendo cortos circuitos.

5.6.c CIRCUITO CONTROLADOR DE ARCOS Y CORTOS CIRCUITOS

Los cortos circuitos se originan cuando chocan ambos polos, electrodo y pieza. Cuando se está trabajando con corrientes pequeñas estos no producen daño en los polos pero afectan el proceso de erosionado al no permitir que se produzcan las descargas en forma normal y con ello disminuyen la velocidad de erosionado haciendo que el trabajo dure más tiempo del esperado. Cuando la corriente es grande los daños pueden ir desde puntos de soldadura que se producen en la superficie de la pieza, dañando con ello el acabado del trabajo, hasta rajaduras o quiebres de la pieza o del electrodo y recordemos que este último llega a costar hasta el 60% del precio total del trabajo entonces las pérdidas son grandes, debiéndose por tanto tomar medidas para controlarlo.

Los arcos tienen lugar cuando las descargas se efectúan entre los mismos puntos de ambos polos, esto ocurre cuando hay una mala limpieza de gap. Esto hace que la descarga se desarrolle mucho más aumentando su diámetro por ello se observa un brillo de mayor volumen, paralelamente la corriente se va incrementando hasta hacer que el voltaje del gap caiga a un valor muy próximo a cero (aproximadamente 2v.). Los efectos que producen son iguales al de los cortos circuitos.

Estos arcos y cortos circuitos cuando duran muy poco tiempo no logran producir los daños mencionados. Por ello cuando el movimiento oscilante del electrodo tiene una alta frecuencia esta logra cortarlos antes que hagan daño. Pero por desgracia esta frecuencia disminuye por los factores ya estudiados haciéndose más lento la oscilación es aquí que los cortos y arcos producen los daños mencionados. Para evitarlos las máquinas de electroerosión poseen un circuito adicional que los detecta y entonces inmediatamente sube el electrodo para que estos desaparezcan.

El circuito adicional, llamado control de cortos circuitos, es el que se muestra en la figura No. 54 obtenido de la máquina ONA-IRU.

< VER GRAFICO EN SIGUIENTE PÁGINA >

Su funcionamiento es el siguiente:

El capacitor C1 se carga a un valor máximo alrededor de 60V. con lo cual conduce el zener y el transistor T1 se satura. Este último hace que T2 se vaya a corte con lo cual el resto del circuito queda desabilitado. Mientras T1 este saturado V_a es superior a 47 V el diodo D1 deja de conducir, pero el zener sigue conduciendo y por tanto también el transistor T1 sigue saturado debido al voltaje que tiene el capacitor C1 pero entonces este comienza a descargarse. si el voltaje V_a no baja de 47 V en el tiempo que el capacitor requiere para caer por debajo de 33 V, entonces el zener deja de conducir y con ello el transistor T1 se corta. El transistor T2 comienza a conducir (se satura) energizando el resto del circuito el cual tiene la finalidad de producir una señal senoidal en las bobinas L1 y L2 cuyas funciones son las siguientes:

La señal de la bobina L1 es llevada hasta el oscilador la cual hace que este deje de producir la señal cuadrada, con ello logra que no se produzca descargas abriendo el circuito de descarga. En tanto que la señal de la bobina L2 energiza el transistor TCC el cual hace que el electrodo suba; y lo hará hasta que el voltaje V_a caiga por debajo de los 47 V.. Cuando llega a ocurrir esto comenzará nuevamente el diodo D1 a conducir lo cual hará que el capacitor vuelva a cargarse y paralelamente el zener y el transistor T1 conducirán con lo cual T2 se va a corte desenergizando el resto del circuito.

Entonces analizaremos cuando el voltaje V_a supera el valor de 47 V.. Con la ayuda del osciloscopio se observó que esto ocurre cuando existen cortos circuitos, cuando hay arcos y cuando la corriente de descarga es muy baja (menor a 4A); este último debido a que el voltaje del gap va disminuyendo cuando la corriente es cada vez menor.

El tiempo que demora el capacitor en descargarse desde su valor máximo hasta caer debajo de los 33 V nos determina el grado de sensibilidad de la máquina para detectar los cortos circuitos. Otras máquinas de electroerosión habilitan en su panel un control de sensibilidad de arcos y cortos circuitos. Al parecer lo que realizan es variaciones de la constante de tiempo, τ , de descarga del capacitor C1. Cuando al τ se hace menor el circuito será más sensible, en tanto que al hacerse mayor será menor sensible.

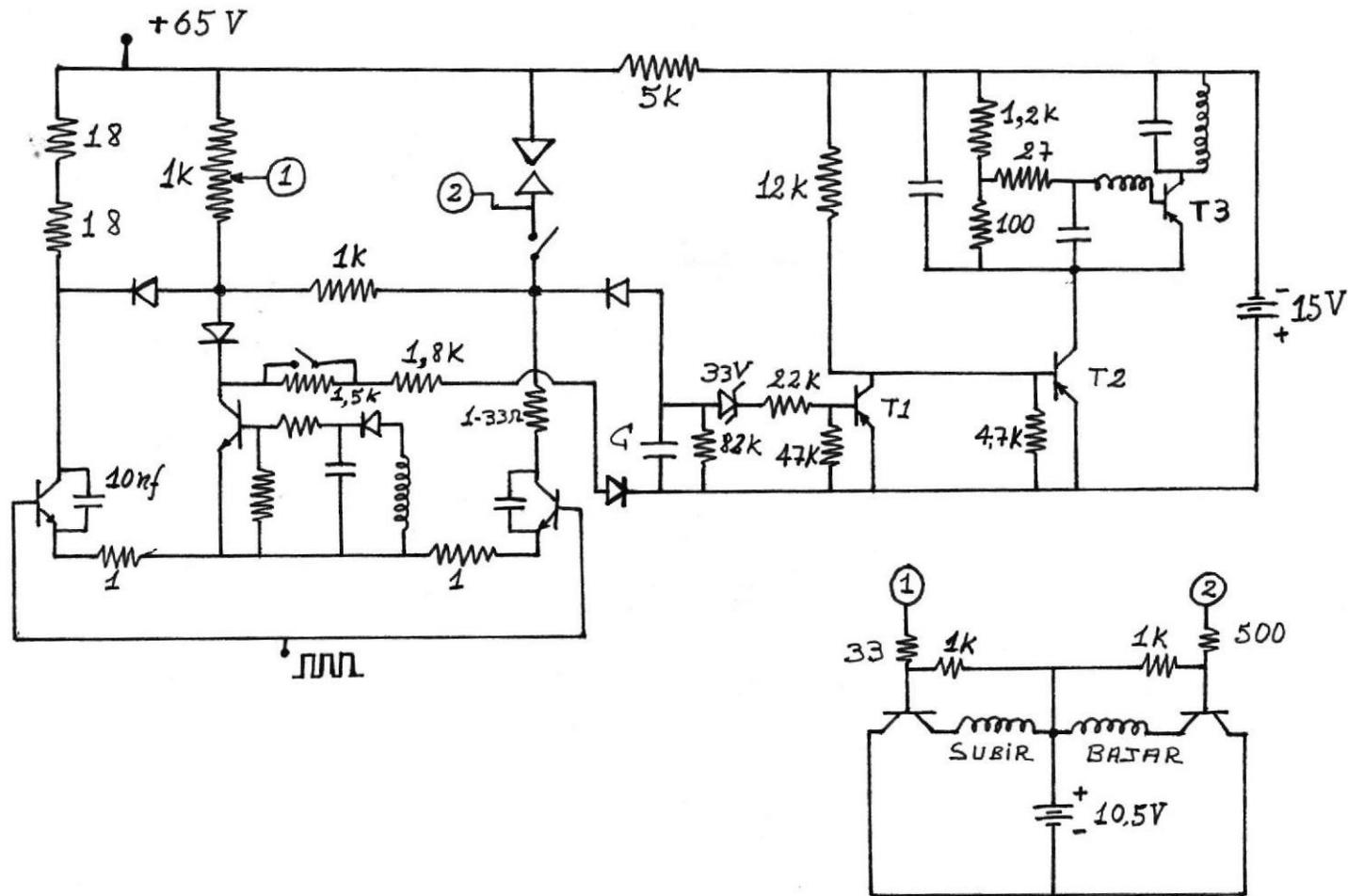


FIG. # 54 CIRCUITO DE CONTROL
DE CORTO-CIRCUITOS

CAPITULO 6

DISEÑO

6.1 DIAGRAMA DE BLOQUES

Las diferentes partes que conforman la máquina de electroerosión pueden ser sintetizadas en el siguiente diagrama de bloques.

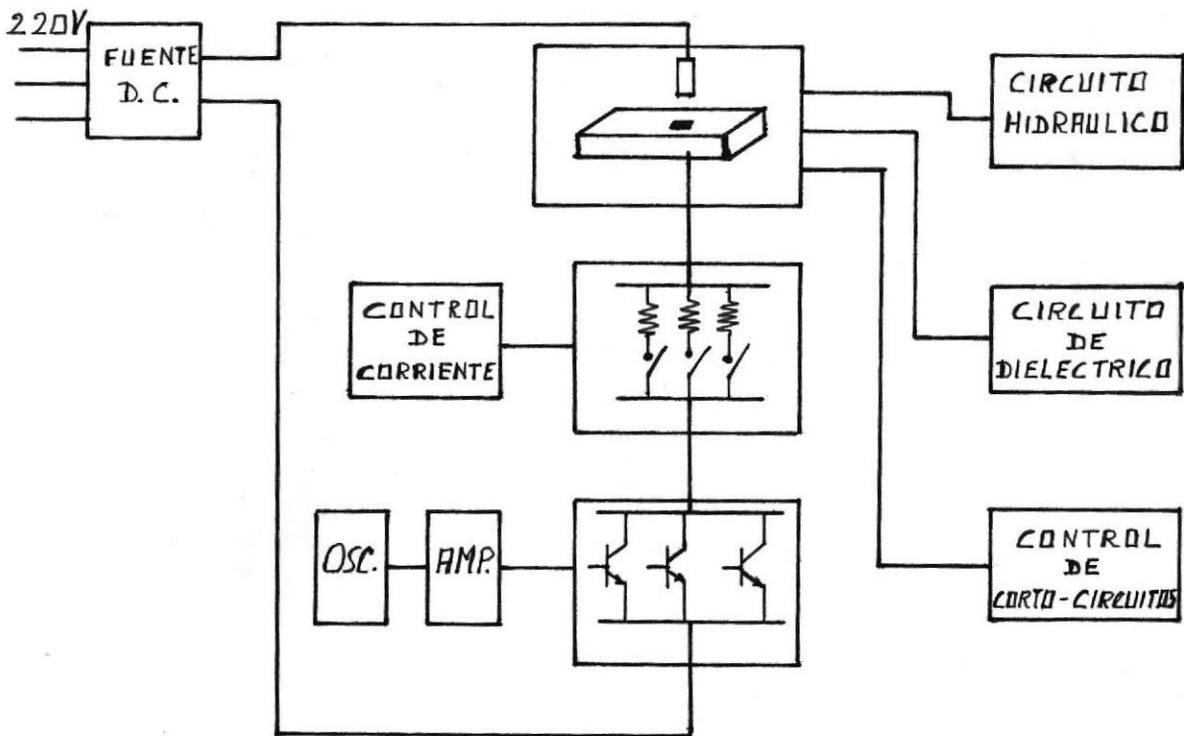


FIG.# 55 DIAGRAMA DE BLOQUES GENERAL DE LA MÁQUINA DE ELECTROEROSIÓN

Cada una de estas partes vamos a analizarlas detenidamente en este capítulo.

6.2 FUENTE GENERADORA DE VOLTAJE DC

Vamos a diseñar una fuente de las siguientes características:

$V_{dc} = 65 \text{ V}$.

Rango de corriente 2A a 80A

Rizado de 1V.

El circuito a emplear es el siguiente:

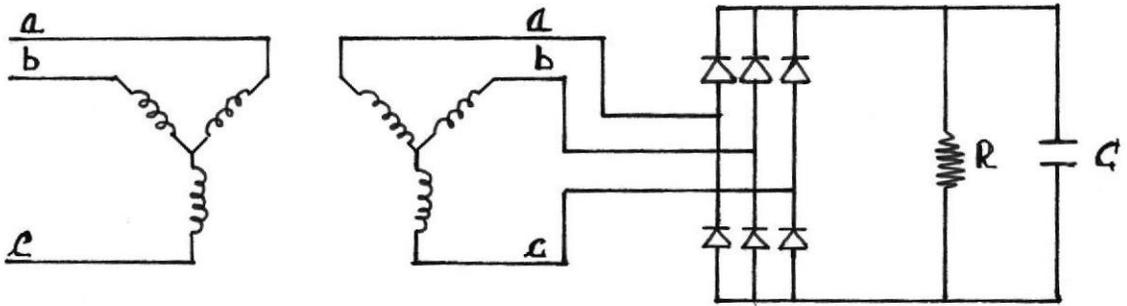


Fig. # 56 CIRCUITO DEL GENERADOR DE VOLTAJE DC.

Los diagramas de la forma de onda de las diferentes partes de este circuito se dan en la fig.

No. 57.

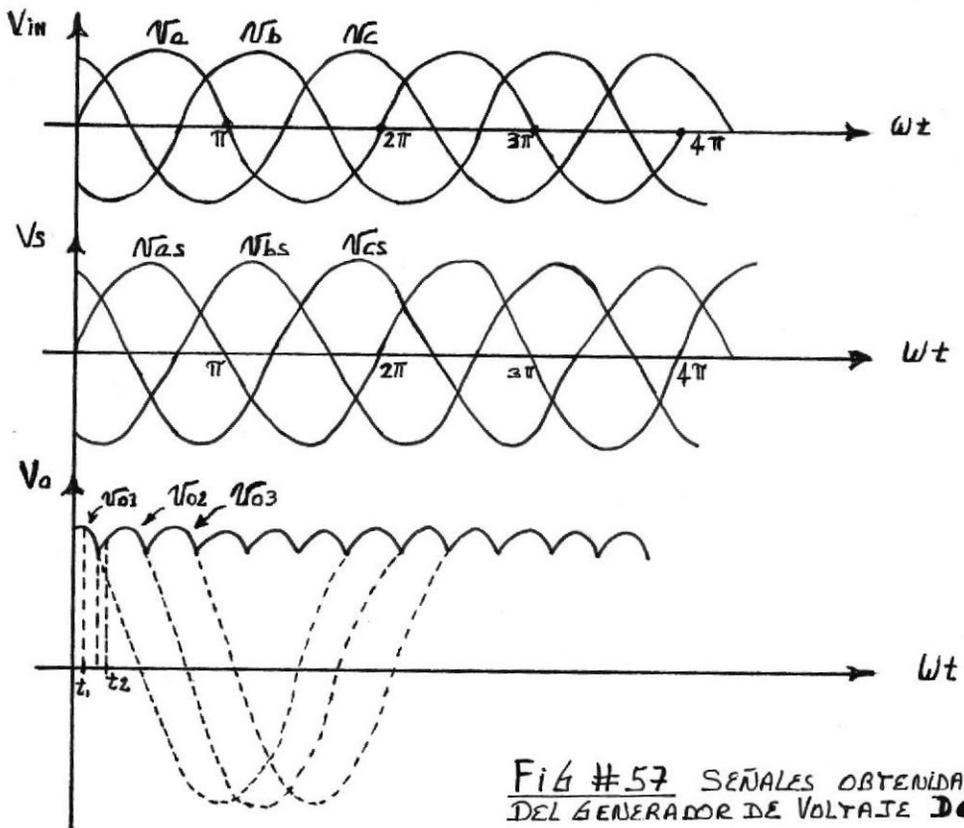


Fig # 57 SEÑALES OBTENIDAS DEL GENERADOR DE VOLTAJE DC.

En la fig. No. 58 presentamos una ampliación del voltaje de salida y la influencia del capacitor.

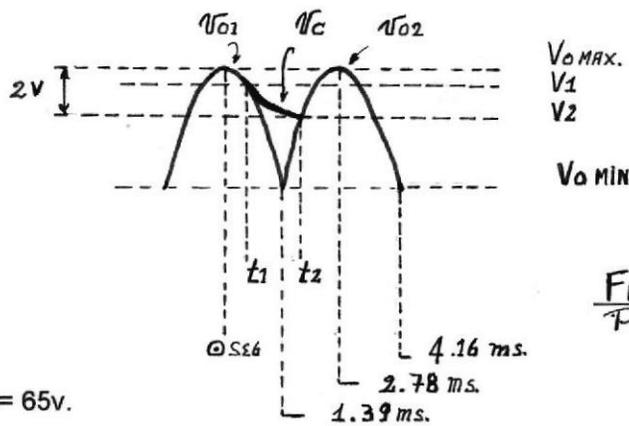


Fig. # 58 SEÑAL RECTIFICADA
POR EL CAPACITOR DE FILTRACION.

$$V_{dc} = V_{prom} = 65v.$$

$$V_{o \text{ max.}} = 66v.$$

$$V_2 = 64v.$$

$$V_{1ls} = V_{o \text{ max.}} + 2V_d = 66 + 2(1) = 68 v_p$$

$$V_{Ins} = V_{1l} / \sqrt{3} = 68 / \sqrt{3} = 39,26v$$

Entonces,

$$V_{as} = 39,26 \text{ sen } \omega t$$

$$V_{bs} = 39,26 \text{ sen } (\omega t - 2\pi/3)$$

$$V_{cs} = 39,26 \text{ sen } (\omega t - 4\pi/3)$$

$$\begin{aligned} V_{o \text{ min}} &= V_{as} (\omega t = \pi/6) - V_{bs} (\omega t = \pi/6) \\ &= 19,62 - 39,26 \\ &= 58,9v. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Rizado sin capacitor} &= V_{o \text{ max}} - V_{o \text{ min}} \\ &= 7,11 \end{aligned}$$

Aplicamos el capacitor para reducir este rizado a 1 v.

Observando la fig. No. 54

$$v_c = V_1 e^{-(t-t_1)/\tau}, \quad \tau = RC$$

Para t_1 , V_1

$$\left. \frac{dv_c}{dt} \right|_{t=t_1} = \left. \frac{dv_{oc}}{dt} \right|_{t=t_1} \rightarrow \begin{cases} \frac{dv_c}{dt} = -\frac{V_1}{\tau} e^{-(t-t_1)/\tau} \\ \frac{dv_o}{dt} = -V_{o \text{ max}} \omega \text{ sen } \omega t \end{cases}$$

Igualando

$$-(V_1/Z) e^{-(t-t_1)/\tau} = -V_{o\max} \omega \operatorname{sen} \omega t_1$$

$$(V_1/Z) = V_{o\max} \omega \operatorname{sen} \omega t_1 \rightarrow \textcircled{A}$$

Por otro lado en t_1

$$V_{oA} = V_{o\max} \cos \omega t_1$$

$$V_1 = V_{o\max} \cos \omega t_1 \rightarrow \textcircled{B}$$

La solución de estas dos ecuaciones, A y B son:

$$t_1 = \frac{1}{\omega} \tan^{-1} \frac{1}{\omega R_L C} \rightarrow \textcircled{C}$$

$$V_1 = \frac{V_{o\max} \omega R_L C}{[1 + (\omega R_L C)^2]^{1/2}} \rightarrow \textcircled{D}$$

Para T_2, V_2

$$V_C = V_{oB}$$

$$V_1 e^{-(t_2-t_1)/\tau} = V_{o\max} \cos(\omega t_2 - \pi/3) \rightarrow \textcircled{E}$$

También

$$V_2 = V_{o\max} \cos(\omega t_2 - \pi/3) \rightarrow \textcircled{F}$$

Con estas fórmulas ya podemos determinar el valor del capacitor. De la formula (f) obtenemos:

$$\begin{aligned} t_2 &= (\arccos(V_2/V_{o\max}) + \pi/3) / 120\pi \\ &= (\arccos(64/66) + \pi/3) / 120\pi \end{aligned}$$

$$t_2 = 3.43 \text{ mseg.}$$

Observando la figura 54 vemos que $T_2 = 2.78 \text{ m. seg.}$

Para encontrar el t_2 deseado, que lo denominaremos $t_2 \text{ real}$, procedemos así:

$$\begin{aligned} t_2 - 2.78 \text{ mseg.} &= (3.432 - 2.78) \text{ mseg.} \\ &= 0.652 \text{ mseg.} \end{aligned}$$

$$t_2 \text{ REAL} = (2.78 - 0.652) \text{ mseg.}$$

$$t_2 \text{ REAL} = 2.128 \text{ mseg.}$$

De la ecuación (E)

$$V_2 = V_1 e^{-(t_2 - t_1)/\tau}$$

Reemplazando t_1 y V_1 con las ecuaciones © y (D) respectivamente, tenemos:

$$V_2 = \frac{V_{\text{omax}} \omega \tau}{[1 + (\omega \tau)^2]^{1/2}} e^{-(t_2 - t_1)/\tau}$$

Reemplazando con los valores tenemos:

$$\frac{66(120\pi Z)}{[1 + (120\pi Z)^2]^{1/2}} e^{-\left(2,128 \times 10^{-3} - \frac{\tan^{-1} \frac{1}{120\pi Z}}{120\pi Z}\right) / Z}$$

Para determinar el valor de Z lo hacemos por tanteo:

Para $Z = 1$	tenemos	$64 \neq 65,86$
$= 0,1$		$64 \neq 64,63$
$= 0,085$		$64 \neq 64,39$
$= 0,07$		$64 \neq 64,069$
$= 0,069$		$64 \neq 64,042$
$= 0,068$		$64 \neq 64,0152$
$= 0,0675$		$64 \neq 64,0011$
$= 0,067$		$64 \neq 63,986$

Luego $Z = 0,0675 = RL$

Para determinar RL recordemos que la corriente varía entre 2A y 80A, entonces: $0,8125 < RL < 32,5$

Para obtener un minuto de 1V de rizado, tomamos $RL = 0,8125$

$$C = Z / RL = 0,0675 / 0,8125 = 83,08 \text{ mf}$$

Finalmente el circuito quedaría de la siguiente manera:

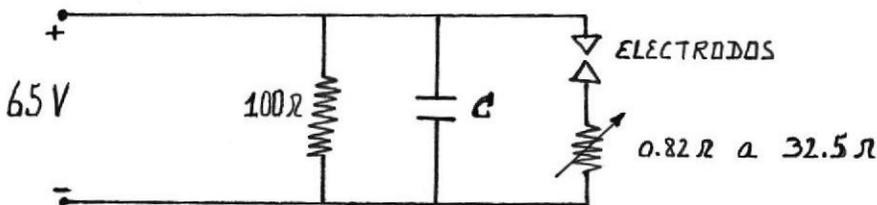


FIG. # 59 CIRCUITO DE RECTIFICACION DEL VOLTAJE DC PARA LA PRODUCCION DE LAS DESCARGAS.

Características de los elementos

Capacitor: 83,08 mf, 120 v.

Resistencia: $P=VI = V.V/R = (65)^2 / 100 = 42,25$
 100Ω , 60W.

Diodos: V inverso 80 V.

I Pico = 100 A

I promedio = $80 (4) / 12 = 26,7$ A

Transformador:

Si el voltaje de línea es de 220 v.

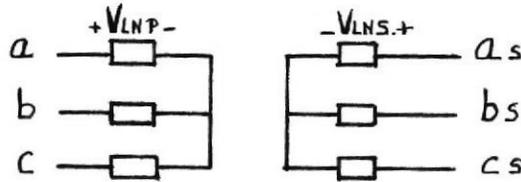


FIG. #60 TRANSFORMADORES DE ENTRADA AL GENERADOR DC

$$V_{inp}/V_{ins} = 220\sqrt{3} / 68\sqrt{3} = a = 3,23$$

$$I_s / I_p = 3,23$$

$$I_p = I_s / 3,23 = 80 / 3,23 = 24,77$$

Implica que se requiere, para el transformador trifásico, una relación de vueltas de devanado, en cada fase, de 3,23 entre el primario y el secundario. Y la corriente máxima que se consumirá de la línea serán de 24,77 A

6.3 SWITCHEO ELECTRONICO

Vamos a usar como transistor el switcheo el tipo que se da a continuación con su respectiva característica.

BDY56 (NTE 284) :
 $I_c \text{ max} = 16A$
 $V_{cb} = 180v$
 $V_{ce} = 180v$
 $V_{eb} = 5v$
 $H_{fe} = 70$
 $P_c \text{ max} = 150 w.$
 $F_t = 6 Mz$

En el numeral 6.4 se observará que son necesario 12 transistores de switcheo en paralelo para obtener la corriente de 80A que se requiere de esta máquina.

Entonces

$80 / 12 = 6,67 \text{ A} =$ Corriente máxima de cada transistor $6,67 / 70$ (ganancia Hfe) = 95 ma.

Lo cual implica que se requiere una corriente de base en cada transistor de aproximadamente 95 ma. para saturar cada uno de ellos. Ver fig. No. 61.

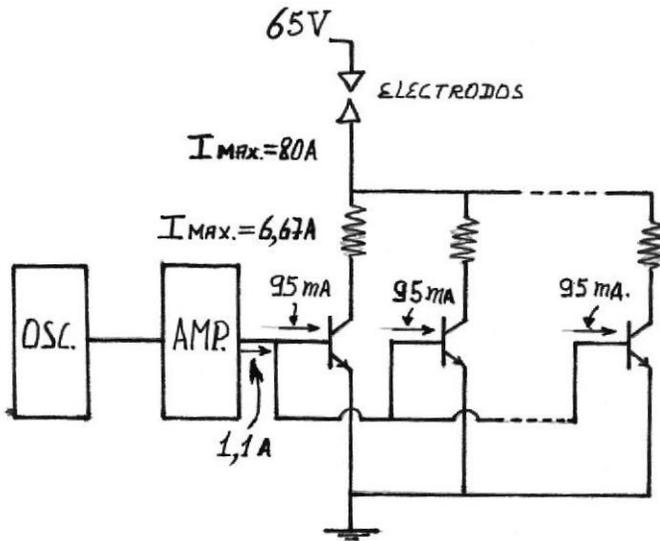


FIG. # 61 CIRCUITO DE SWITCHED ELECTRONICO

Circuito oscilador

Un circuito oscilador simple que genera una señal cuadrada y que permite controlar el tiempo de impulso en bajo y el tiempo del impulso en alto, es el siguiente:

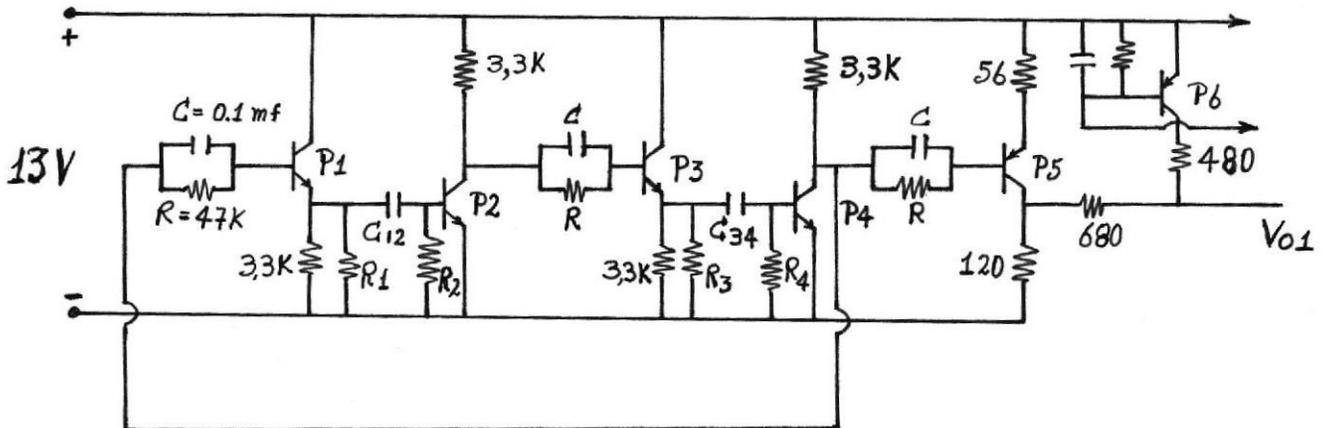


FIG. # 62 CIRCUITO OSCILADOR

Este circuito esta formado por 2 etapas: La una formada por los transistores P1 , P2 y la otra formada por P3, P4. Cada uno de estos transistores trabaja en corte o saturación.

Supongamos que P1 esta saturado entonces también lo estará P2 y con ello el voltaje V_{c2} es aproximadamente cero voltios, haciendo que P3 este en corte y este último hace que P4 este también en corte; todo esto hace que V_{c4} tenga un valor mayor que cero que viene a ser el pulso de salida en alto. Esto confirma la suposición de que P1 estaba en saturación, por la realimentación. Entonces cuando P1 y P2 están en saturación, P3 y P4 están en corte generando un pulso alto en V_{c4} . Pero la existencia del capacitor C12 hace que luego de un tiempo cuando este se cargue P2 se vaya a corte con lo cual P3 y P4 se saturan generando en V_{c4} una salida de aproximadamente cero voltios, que viene a ser el pulso de bajo.

Entonces cuando P1 y P2 están en corte, P3 y P4 en saturación se genera un voltaje bajo en V_{c4} . El tiempo de esta salida está determinado por el tiempo que tarda en cargarse el capacitor C34, entonces P4 se va a corte generándose nuevamente el pulso en alto y los transistores cambian de estado de trabajo.

Este proceso es repetitivo generando la onda cuadrada en el colector de P4) V_{c4} .

En conclusión los elementos que controlan el tiempo de duración del pulso de salida en alto y en bajo son los capacitores C12 y C34 respectivamente. Para controlarlos debemos controlar el tiempo de duración del cargado de estos, lo cual se hace variando las resistencias: R1, R2 para controlar C12 y R3, R4 para controlar C34.

La salida de V_{c4} tiene la forma que se da en la fig. 58.

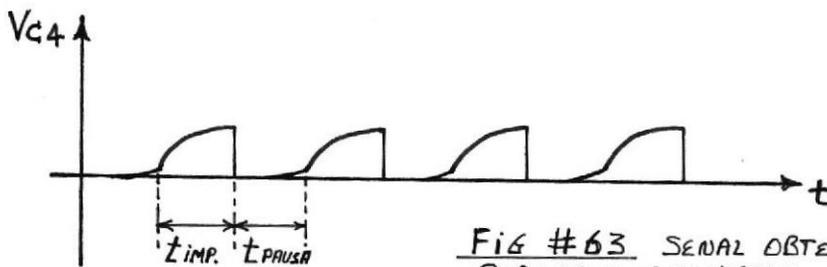


FIG #63 SENAL OBTENIDA DEL CIRCUITO OSCILADOR.

El transistor P5 actúa como un inverso desfasado la señal en 180 con la única finalidad de poder intercalar un transistor P6 en la posición que se indica.

El transistor P6 es accionado por la tarjeta de control de corto circuitos. Habíamos dicho, en el capítulo 5, que cuando existen corto circuitos entre el electrodo y pieza de trabajo este control

envía 2 senales la una hacia el oscilador para alzar el electrodo. Lo que ocurre es que envía un voltaje lo suficiente para saturar el transistor P6 entonces el voltaje V_{o1} será un pulso en alto constante, esta señal con los desfases que sufre en los transistores subsiguientes finalmente genera un pulso en bajo en la base del transistor de switcheo haciendo que este entre en corte y por tanto no conduce corriente eléctrica (switch abierto).

Cuando no hay corto circuitos, P6 esta en corte y V_{o1} es una señal cuadrada la cual pasa a la siguiente etapa que vamos a analizar y que se denomina amplificador .

Amplificador

El circuito es el siguiente:

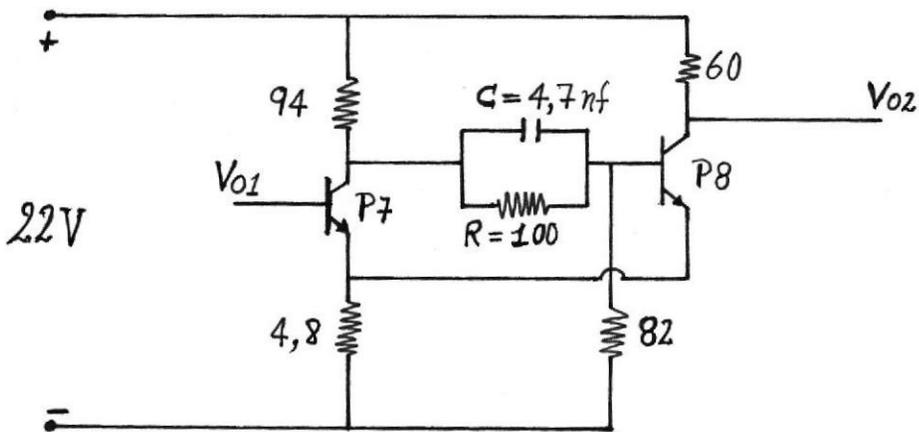


FIG #64 CIRCUITO DE LA ETAPA AMPLIFICADORA

La salida de la etapa anterior es de una corriente menor de 20 ma., y recordemos que para manejar todos los transistores de switcheo requerimos aproximadamente 1A, por ello la necesidad de esta etapa.

Esta etapa esta conformada por 2 transistores P7 y P8 cuyas características se da a continuación:

P7 : BSY - 86 (NTE 128)

$I_c \text{ max} = 1A$

$V_{cb} = 120v$

$V_{ce} = 80v$

$V_{eb} = 7v$

$H_{fe} = 90 \text{ min}$

$P = 1 \text{ w}$

$f = 100 \text{ Mz.}$

F8: BLY 15A (NTE 175):

$I_c \text{ max} = 3A$

$V_{cb} = 500$

$V_{ce} = 300$

$V_{eb} = 6v$

$H_{fe} = 60$

$P = 40 \text{ w}$

$f = 15 \text{ Mz.}$

Los cuales actúan en corte y saturación permitiendo una salida de alrededor de 500 ma. o 0,5 A.

El circuito RC en paralelo que aparece en la base de P8 también aparecía en el oscilador, su función es eliminar las distorsiones que se producen en el transistor al trabajar en corte y saturación.

Etapa final

El circuito de la etapa final es el siguiente:

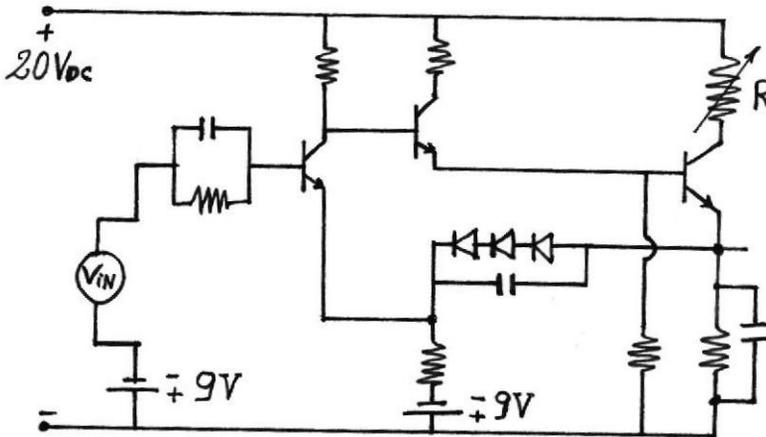


Fig. # 65 CIRCUITO DE LA ETAPA FINAL DE SWITCHED

P11 es el transistor que lo llamamos de switcheo por el cual va a pasar la corriente de la descarga eléctrica.

Los transistores usados en esta etapa se dan a continuación, sus características ya fueron dadas anteriormente.

P9: BSY 86 (NTE 128)

P10: BSY 86 (NTE 128)

P11: BDY 56 (NTE 84)

Entonces la corriente de salida del amplificador alimenta a las 12 etapas finales que contienen al transistor de switcheo. P9 es el preamplificador que emite la corriente necesaria para

activar el transistor P10 el cual es el amplificador de corriente que da el nivel de corriente necesario para saturar el transistor de switcheo P11, el cual está entre 0,1 y 0,2 A.

La fuente de 8v es simplemente para compensar o anular el efecto de la fuente de 9v sobre la señal de entrada. Esta última fuente (9v) es indispensable en el lugar en que se encuentra por la razón que a continuación analizamos

Un transistor para que este en estado de corte no es suficiente con tener cero voltios en la base porque existen electrones originales por la temperatura los cuales originan una corriente I_{bo} , en la base, que es pequeña pero que existe lo cual origina una corriente en el emisor y en el colector que van a ser 70 veces la I_{bo} (porque $H_{fe}=70$). Ahora bien, como P11 es el transistor que switchea; es decir, que abre y cierra el circuito para que produzca la descarga y para que desaparezca la descarga respectivamente. Cuando esta saturado P11 se cierra el circuito entonces se genera todo el proceso de ionización hasta producirse la descarga entre dos puntos del electrodo y pieza. Cuando P11 se va a corte el circuito se abre y es aquí que se precisa que la corriente de descarga desaparezca por completo para que desaparezca el canal de conducción en el líquido dieléctrico para que esto ocurra en el transistor tanto la corriente de colector como la de emisor y la de base deben de ser cero, lo cual se lo logra, según se vio, sólo teniendo el voltaje de base de cero voltios. Se precisa entonces polarizarlo al transistor en forma inversa, es decir, $V_{be} = 0$ para garantizar así que $I_b = I_c = I_e = 0v$. Esto se logra con la fuente de 9v.

La función de los 3 diodos es fijar un voltaje $V_{eb}=2,1v$. y garantizar con ello el corte efectivo del transistor.

6.3 CONTROL DE CORRIENTE

Vamos a establecer un circuito que nos de los siguientes valores de corriente: 2A, 4A, 8A, 16A, 24A, 48A, 80A.

Un circuito que nos de estas salidas puede ser el siguiente:

Y el circuito de control que opere sobre los reales para obtener las corrientes deseadas para la descarga, puede ser el siguiente:



BIBLIOTECA

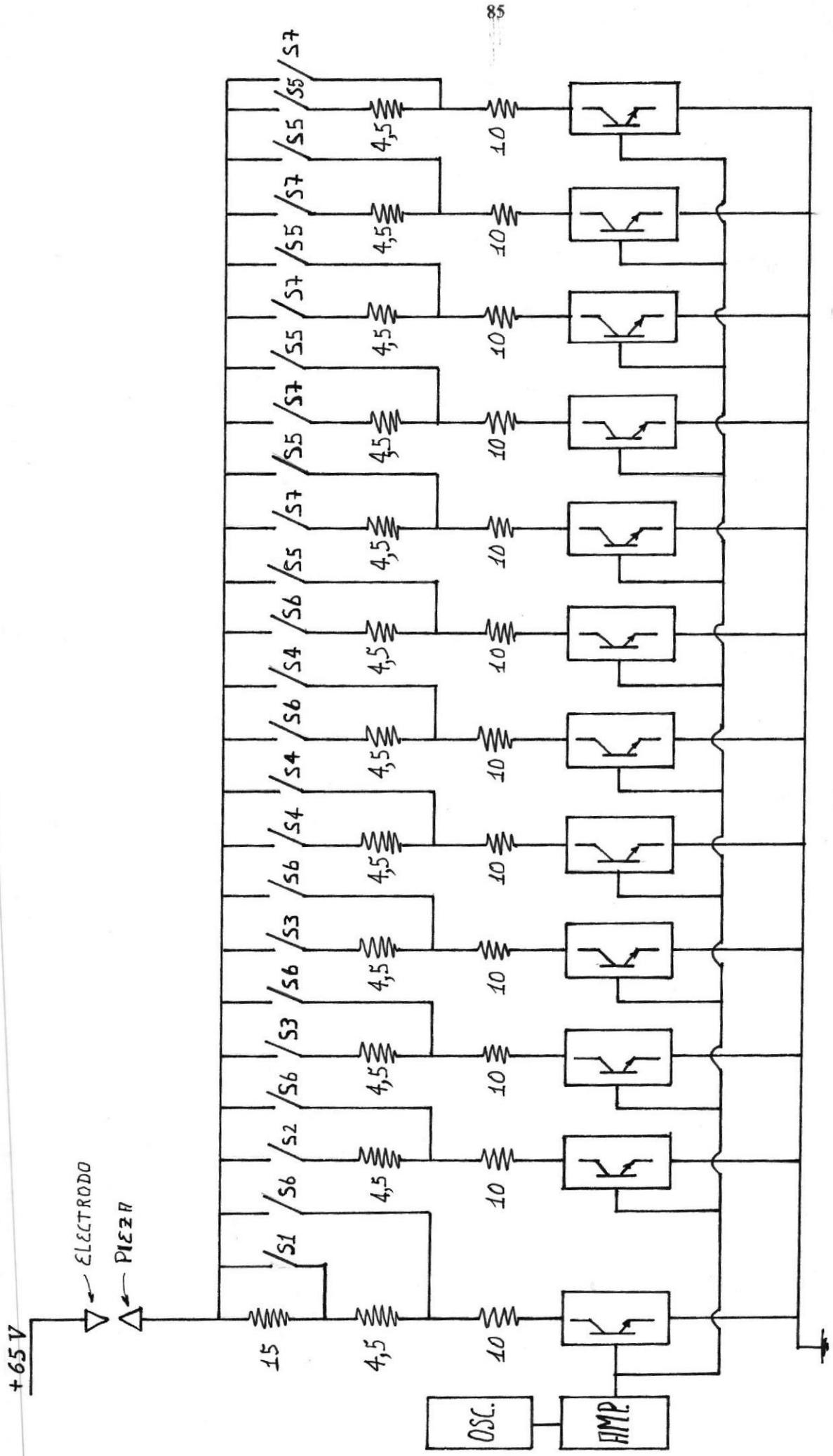


FIG. # 66 CIRCUITO DE CONTROL DE CORRIENTE

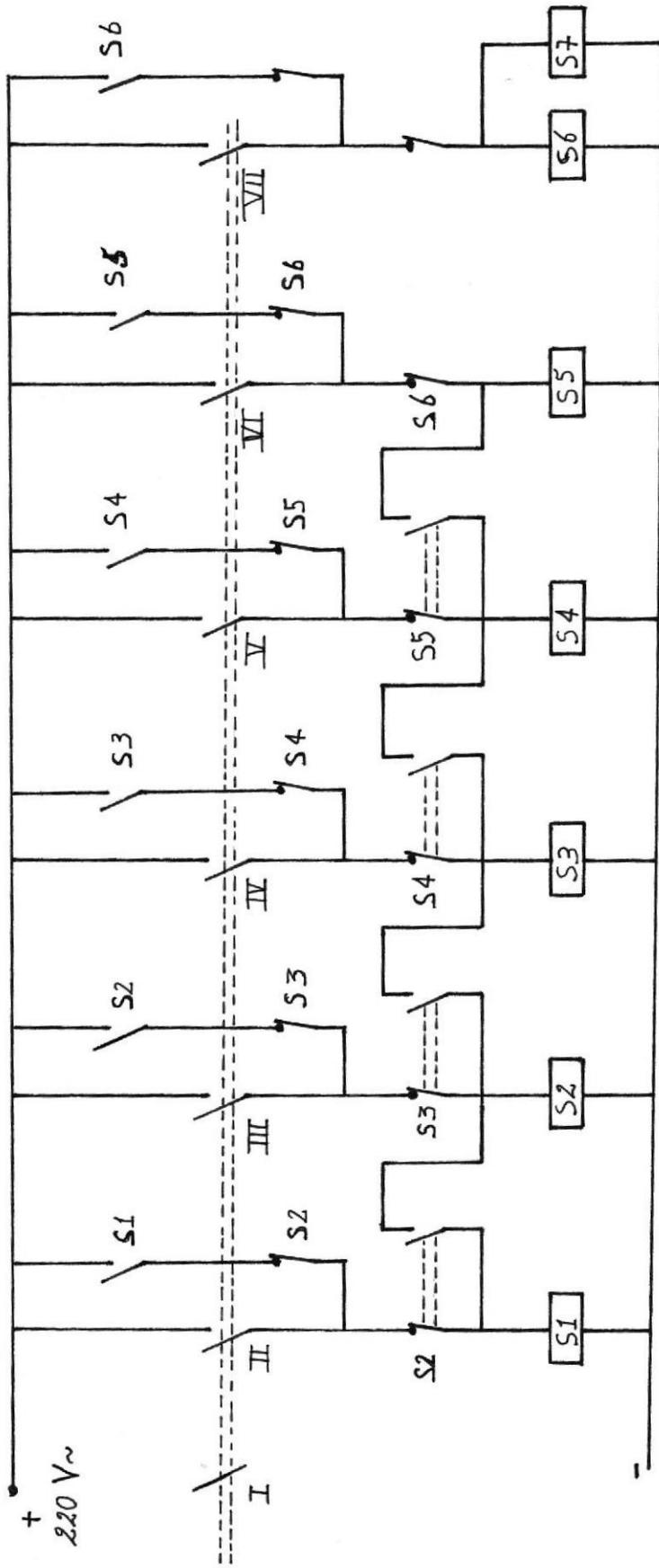


FIG. # 67 CIRCUITO DE ACCIONAMIENTO DE LAS DIFERENTES ETAPAS AMPLIFICADORAS

El funcionamiento de estos circuitos es como sigue:

Los números I, II, III, IV, V, VI, VII corresponden a las posiciones de un switch. Cuando este se encuentra en la posición I no se acciona ningún relee entonces al circuito de descarga quedan conectadas todas las resistencias de 15; 4,5 y 10 Ω y suman aproximadamente 30 Ω ; Si no consideramos la caída de voltaje entre los polos entonces la corriente de descarga sería $I = 65/30 = 2,16$ A., ya que no es necesario tener una corriente exacta el valor real se puede considerar que es de 2A.

Cuando colocamos el switch en la posición II tendremos una corriente de $I=65/14,5$ aproximadamente igual a 4A. Nuevamente no se precisa que el valor sea exacto puesto que van variando en magnitudes grandes.

En la Tabla No. 7 se dan las posiciones, las resistencia equivalente que queda conectado al circuito y la corriente que origina o corriente de descarga.

De esta manera controlamos la intensidad de corriente de descarga, para obtener otros valores de corriente es tan solo cuestión de variar las resistencias.

TABLA No. 7

POSICION	R. EQUIVALENTE	I. DE DESCARGA
I	30	2A
II	14,5	4A
III	7,25	8A
IV	3,625	16A
V	2,42	24A
VI	1,2	48A
VII	0,83	80A

VALORES DE RESISTENCIA Y CORRIENTE PARA CADA POSICION.

6.4 CIRCUITO DE DIELECTRICO, SISTEMA HIDRAULICO Y CONTROL DE CORTO CIRCUITO

Para el circuito de dieléctrico se requiere de un reservorio de más o menos 400 litros de capacidad, una bomba de 1 CV de potencia para enviar el líquido dieléctrico desde el reservorio a través del filtro hacia el tanque de trabajo. En realidad no hay mucho que citar respecto a este circuito. El tanque de trabajo debe tener más o menos una capacidad de 200 litros para que pueda el electrodo quedar sumergido en el líquido para llevar a cabo el trabajo.

Para el sistema hidráulico, en el capítulo 3 se estudio detalladamente este tema y se dieron los punto principales a tener en cuenta en el momento de diseñar este circuito.

El sistema hidráulico de la máquina estudiada ONA-IRU cuyas características ya conocemos, usa un acumulador cuya presión de trabajo esta entre 30 y 32 Kg.

El pistón tiene una capacidad de 100 Kg; es decir, puede levantar electrodos que pesan hasta 100 kg.

Finalmente el control de corto circuito fue presentado en detalles en el capítulo anterior.

TABLA No. 8

RAPIDEZ DE EROSIONADO	<ul style="list-style-type: none"> Corriente y frecuencia Tipo de material de los polos y su polaridad La limpieza El Sistema Hidráulico: Peso <ul style="list-style-type: none"> Area de Trabajo Rapidez de avance del electrodo
LA PRECISIÓN DEL TRABAJO	<ul style="list-style-type: none"> Desgaste del electrodo: Punto de Fusión y Conductibilidad <ul style="list-style-type: none"> Corriente, frecuencia y limpieza La Polaridad Tipos de Limpieza Exactitud de Electrodo Control del GAP
ACABADO DE LA SUPERFICIE TRABAJADA	<ul style="list-style-type: none"> Factores: Corriente y frecuencia <ul style="list-style-type: none"> Voltaje de Descarga Rigidez Dieléctrica Tipo de Material de la pieza Sistema Hidráulico

CUADRO RESUMIDO DE LOS FACTORES QUE INFLUYEN EN LOS PARAMETROS QUE RIGEN EL RENDIMIENTO DE ESTAS MAQUINAS.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. En definitiva los factores que influyen en los parámetros que rigen el rendimiento de las máquinas de electroerosión serían resumidas en la Tabla No. 8.
2. La intensidad de corriente y la frecuencia de las descargas, se observan que son los factores que afectan a todos los parámetros que rigen el rendimiento de estas máquinas. Estos determinan el volumen removido de la pieza por cada chispa eléctrica y al mismo tiempo el desgaste del electrodo porque la remoción de material ocurre en ambos polos.

Si alteramos estos factores de tal manera que incrementamos la rapidez de erosión por cada descarga, esto nos ayuda a agilizar un trabajo, con lo cual podríamos programar a nuestro antojo el tiempo de duración del mismo. Pero la desventaja que se obtiene es que incrementamos el desgaste del electrodo y también incrementamos la rugosidad de la superficie trabajada. Esto ocurre porque también se incrementa el volumen de material removido por la descarga lo cual se denomina desgaste; y porque los cráteres que se producen en la pieza son más profundos y anchos formando con ello una superficie más rugosa. Por estas razones cuando se requiere hacer un trabajo con un buen acabado o con una alta precisión, esta se realiza en dos etapas: de desbaste, a altas corrientes (alta rapidez de erosión); y de acabado, a baja intensidad de corriente (baja rapidez de erosión).

3. El tipo de material de los polos y su polaridad. El cobre y el grafito son los mejores materiales para utilizarlos como electrodos, inclusive el comportamiento de estos difiere dependiendo de la polaridad que tengan:

Cuando la polaridad es negativa para el electrodo y positiva para la pieza, el cobre se comporta bien con materiales, usados como pieza de trabajo, que tiene punto de fusión menor a él (1100 °C), en tanto que con los materiales cuyo punto de fusión es mayor el comportamiento es muy bajo. El grafito en cambio se comporta muy bien para todos los materiales precisamente porque su punto de fusión es bien alto (2300 °C).

Comportamiento bien bajo implica que de todas las descargas que deberían producirse son muy pocas las que logran realizarse, las demás son cortos circuitos. Si hablamos de desgaste, este es muy grande, llega a porcentajes promedios de 70% en comparación al arranque de material de la pieza.

Mientras que para la polaridad invertida, esto es positiva para el electrodo y negativa para la pieza, ambos tipos de materiales se comportan muy bien como electrodos y para todos los tipos de materiales, además el desgaste es mucho menos con un promedio de 7%. Esto hace que este tipo de polaridad sea mayormente empleado en la industria, ahora bien cuando se cuenta con una única combinación de materiales (electrodo-pieza) como por ejemplo cobre-grafito, acero-acero, etc., en estos casos es necesario recurrir a la tabla para ver el tipo de polaridad a escoger y los cuidados a tener.

4. La limpieza es tan importante como los parámetros antes mencionados. Una máquina de electroerosión debe contar si es posible con todos los equipos necesarios para realizar todos los tipos definidas de limpieza, porque la calidad de la limpieza influye también a los tres parámetros que rigen el rendimiento de una máquina.
5. La rigidez dieléctrica del líquido y el voltaje usado para la descarga también son muy importantes porque de igual manera influyen en los tres parámetros, ambos determinan la distancia entre electrodo y pieza, llamado gap, el cual tiene influencia directa a los 3 parámetros. Hay que tener en cuenta que el gap no se mantiene constante sino que varía con otros factores como la corriente y la frecuencia, influyendo de esta manera en la precisión de un trabajo.
6. El sistema hidráulico debido a su movimiento oscilante durante el proceso de erosionado, afecta a la rapidez de erosionado de la máquina porque periódicamente interrumpe el proceso continuo de erosión. Pero por otro lado ayuda a la limpieza, ya que al aumentar el gap el líquido tiene más facilidad para ingresar. Entonces a pesar de que disminuye la rapidez de trabajo, afecta positivamente a los otros parámetros porque permite una mejor limpieza evitando los arcos que afectarían el acabado de la superficie y también la precisión del trabajo. Este efecto es más importante cuando se trabaja con corrientes muy bajas, es decir cuando se realiza trabajos de buen acabado.

La oscilación del sistema hidráulico tiene una determinada frecuencia la misma que se altera debido a varios factores, haciendo que se vuelva más lento esto hace que la velocidad de avance del electrodo se incremente superando a la velocidad de erosionado entonces se producen efectos dañinos al trabajo que son los cortos circuitos. Hay dos maneras de controlar aquello; con un control denominado control de avance del electrodo, manejado por el operador de la máquina para regularla según se desee; el otro es un circuito eléctrico, el cual automáticamente al detectar un corto circuito entre los electrodos da la orden para que inmediatamente suba el electrodo y así evitar que se agrave el daño.

7. De todos los factores que afectan a los parámetros que rigen el rendimiento, los que son de carácter eléctrico son los siguientes:

1. La intensidad de corriente y la frecuencia.
2. Voltaje de descarga
3. El sistema hidráulico.
4. La polaridad
5. Los diferentes tipos de limpieza

La máquina habilita controles para cada uno de estos factores para poder manipular su comportamiento.

Analizando cada uno de estos factores encontramos que es la corriente el más importante para controlar la rapidez de erosionado o el acabado de un trabajo.

Incrementando la intensidad de corriente incrementamos la rapidez de erosionado pero existe un límite porque aparecen efectos peligrosos en el proceso de erosionado, por ello estas máquinas alcanzan una corriente máxima de 400 A. Igual ocurre cuando disminuimos la intensidad de corriente para obtener mejores acabados, estas máquinas alcanzan corrientes mínimas de hasta 0,1A; el limitante es que el trabajo se hace muy lento que no tiene caso disminuir más porque existen otras máquinas que permiten obtener los mismos resultados con mayor rapidez, entonces no es aplicable el habilitar una máquina con corrientes más pequeñas.

8. Con la finalidad de incrementar el rendimiento de estas máquinas estas son construidas con varias cabezas; esto quiere decir, que tiene habilitado para usar varios electrodos y piezas de trabajo, como se observa en la Fig. No. 68. Las cuales son alimentados de dos maneras: desde una misma fuente, en este caso se puede hacer varios trabajos fuente, en este caso se pueden hacer varios trabajos idénticos, aplicando cuando se desean hacer varios trabajos en paralelo; y la otra es alimentarlos desde fuentes separadas de tal manera que cada una funciona independientemente, de esta manera cada una de ellas puede utilizarse para distintos acabados.

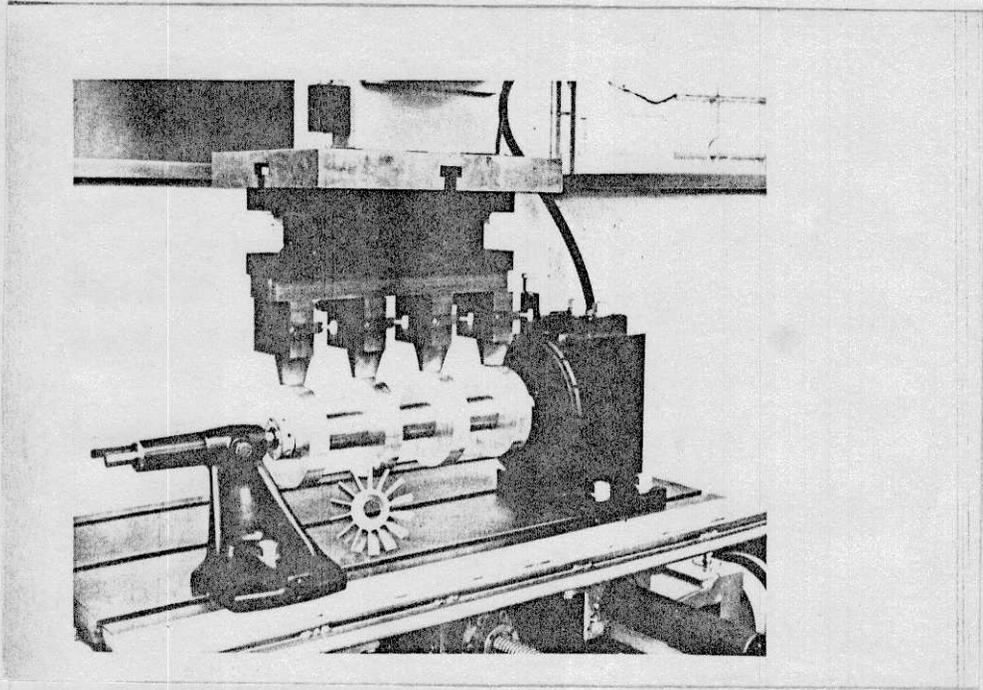


Fig. # 68 FORMA EN QUE SE PUEDEN INCREMENTAR
EL RENDIMIENTO DE ESTAS MAQUINAS.
MAQUINA DE 4 CABEZAS.

BIBLIOGRAFIA

1. BRADWELL, A. Electrical Insulation, Short run press, Inglaterra, 1983, 1-50 p.
2. DOYLE, LAURENCE E. Manufacturing Processes and materials for engineers, Prentice-Hall, New Jersey, 1985 765-775 p.
3. DURR, A Y WACHTER O. Hidráulico Aplicada a las máquinas herramientas, Blume, Barcelo 1975, 218 p.
4. KALPAKJIAN SEPORE, Manufacturing Processes for engineering materials, Addison-Wesley, Estados Unidos 1984, 585-590 p.
5. MERRIT, HERBERT E. Hidraulic Control Systems, Jhon Wiley & Sons, New York 1967, 354 p.
6. POLLACK, HERMAN W. Manufacturing and Machine Tool, Operations, Prentice-Hall, New Jersey 1979. 500-520 p.
7. ROTH, ARNOLD, Técnica de la Alta Tensión, Labor S.A., Barcelona, 1966, 227-315 p.
8. SEIDMAN, ARTHUR H. Y WAINTRANB, JACK L. Divices, Discrete and Integrated Circuits.
9. MIRANOFF N, PRAU, I Usinagen Electroerosiva, Ateliers Des Charmilles S.A. Brazil
10. MANUAL DEL TECNICO, Matrizadora de Electro-Impulsos "Erosmatriz ONA", Modelo B-A-BI-IRU. B-SEI.