



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
CAMPUS ARAGON

77
2-9

**PROTOTIPO ELECTRÓNICO DEL SISTEMA
ELECTROEROSIONADOR**

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA
P R E S E N T A
SAAIB RODRÍGUEZ ADRIAN

ASESOR: ING. BENITO ZUÑIGA VILLEGAS

MÉXICO

1999

269900

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

DEDICATORIA:

A mis padres:

Antonio Saaib Torres y Emilia Rodriguez Polanco que nos impulsaron siempre a superarnos con la ilusión de ver el día en que concluyéramos una carrera brindándonos todo su apoyo y cariño. Tomando esto como un objetivo en su vida.

A mis hermanos:

Jorge, Juver, Dagoberto, Maria Elena, Sergio y Liliana que siempre me brindaron su cariño y apoyo para continuar adelante durante y después de mis estudios.

A mi esposa y amiga:

Adriana Escandón Paredes que hemos compartido en estos 4 años de casados días tanto de felicidad como de prueba que nos han ayudado a madurar juntos. Espero seguir compartiendo estos momentos de felicidad con ella y seguir apoyándonos mutuamente en los momentos difíciles hasta que Dios decida separarnos.

A mis hijas:

Ana Karina y Carolina que me hacen comprender el por qué mis padres deseaban lo mejor para mí y mis hermanos; ya que su presencia y una sonrisa bastan para sentir la dicha de ser padre y la necesidad de salir adelante dando lo mejor.

A mi hermano Juver:

Porque en los momentos en que decaía el ánimo a continuar adelante, tubo la fuerza de darme un nuevo impulso brindándome todo su apoyo de hermano y amigo.

A mis maestros:

Que me dieron con gran ética las bases necesarias para desempeñar con dignidad mi profesión permitiendo con ello elevar un prestigio personal y de la institución que me ha formado en mi carrera.

A mis amigos:

Que me brindaron ese impulso adicional que todo ser humano necesita para continuar adelante.

PROTOTIPO ELECTRONICO DEL SISTEMA ELECTROEROSIONADOR.

Indice:

CAPITULO I INTRODUCCION

I.1.- GENERALIDADES

- I.1.1.- tipos de trabajos por erosión
- I.1.2.- Historia
- I.1.3.- Definición

I.2.- FISICA DE LA ELECTROEROSION

- I.2.1.- El sistema electroerosionador
- I.2.2.- Corriente
- I.2.3.- Frecuencia
- I.2.4.- Envoltura electrónica
- I.2.5.- Dieléctrico
- I.2.6.- Limpieza
- I.2.7.- Material del electrodo
- I.2.8.- Material de la pieza de trabajo

I.3.- ETAPAS DEL SISTEMA

- I.3.1.- Fuente de poder
- I.3.2.- Limpieza
- I.3.3.- Desplazamiento del electrodo
- I.3.4.- Control central
- I.3.5.- Interface usuario-máquina

CAPITULO II NECESIDADES

II.1.- SUGERENCIA DE COMPONENTES

- II.1.1.- Fuente de poder
- II.1.2.- Disparo de erosión
- II.1.3.- Limpieza
- II.1.4.- Desplazamiento del electrodo
- II.1.5.- Interface usuario-máquina
- II.1.6.- Control central

II.2.- OBSERVACIONES SOBRE ALGUNOS COMPONENTES

- II.2.1.- Voltaje de los capacitores
- II.2.2.- Reguladores de voltaje y la regulación de voltaje
- II.2.3.- Funcionamiento del transistor bipolar de juntura.

- II.2.4.- Motores de corriente directa de imán permanente
- II.2.5.- Motor a pasos

CAPITULO III DISEÑO

III.1.- FUENTE DE PODER

- III.1.1.- Circuito
- III.1.2.- Cálculo y características de componentes
- III.1.3.- Lista final de componentes

III.2.- DISPARO DE EROSION

- III.2.1.- Circuito
- III.2.2.- Cálculo y características de componentes
- III.2.3.- Lista final de componentes

III.3.- LIMPIEZA

- III.3.1.- Circuito
- III.3.2.- Cálculo y características de componentes
- III.3.3.- Lista final de componentes

III.4.- DESPLAZAMIENTO DEL ELECTRODO

- III.4.1.- Circuito
- III.4.2.- Cálculo y características de componentes
- III.4.3.- Lista final de componentes

III.5.- INTERFACE USUARIO-MAQUINA

- III.5.1.- Circuito
- III.5.2.- Cálculo y características de componentes
- III.5.3.- Lista final de componentes

III.6.- CONTROL CENTRAL

- III.6.1.- Circuito
- III.6.2.- Cálculo de componentes
- III.6.3.- Lista final de componentes
- III.6.4.- Programa del controlador

III.7.- ACOPLAMIENTO FINAL

- III.7.1.- Acoplamiento
- III.7.2.- Pruebas

CAPITULO IV MANUAL DEL USUARIO

IV.1.- INSTALACION

IV.1.1.- Requerimientos del mecanismo a controlar

IV.1.2.- Instalación de componentes

IV.1.3.- Consideraciones de unidades de desplazamiento

IV.2.- OPERACION

IV.2.1.- Descripción del teclado

IV.2.2.- Introducción de parámetros

IV.2.3.- Erosionado

IV.2.4.- Señalización

IV.2.5.- Manipulación

CAPITULO V

CONCLUSIONES

BIBLIOGRAFIA

DIAGRAMAS

CAPITULO I

INTRODUCCION

Cada día es necesario un acabado más fino en moldes; acompañado de una mayor rapidez, siendo trabajos muy delicado y elaborados. Además hay que buscar un método que nos permita *maquinar* metales y aleaciones que en pequeña escala son difíciles de trabajar e incluso en ocasiones se usan métodos peligrosos para las operaciones como el uso de arcos eléctricos o sopletes para cortar ciertos materiales lo que provoca el goteo o chisporroteo del material.

1.1.- GENERALIDADES

Los atributos sobresalientes del electroerosionador son:

1ª Su principal propiedad es poder reproducir cualquier forma, con la única condición de que tenga salida, es decir que el electrodo se pueda desmontar de la pieza.

2ª Su otra propiedad es la de poder trabajar con metales o aleaciones duras, con lo cual se pueden cortar o modelar matrices y otros útiles de acero templado y aleaciones como carburo de tungsteno.

Los distintos trabajos se pueden dividir en tres grupos:

- 1) Reproducción de formas.
 - 2) Corte.
 - 3) Rectificado.
- 1).- Reproducción de formas.



Figura 1.1.- Reproducción de formas: a) Pasante b) tridimensional

Son trabajos en los cuales el electrodo penetra en la pieza, que pueden ser orificios pasantes de sección constante y cavidades tridimensionales.

2).- Corte.

Son los trabajos en que la pieza se corta o troza por medio de hilo, cuchilla, cinta o disco giratorio.

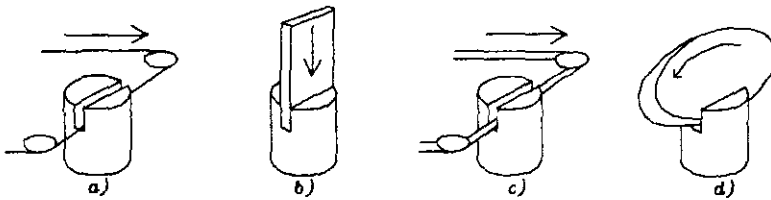


Figura 1.2.- Corte a) Por hilo b) Por cuchilla c) Por cinta d) Por disco

3).- Rectificado.

Son los trabajos que se realizan por medio de un electrodo giratorio cuya velocidad de giro no depende de la velocidad de avance; pueden distinguirse rectificadores de interiores, exteriores y planos.

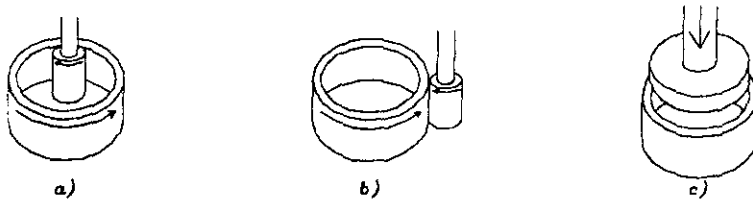


Figura 1.3.- Rectificado de a) Interiores b) Exteriores c) Planos

Historia

Los primeros efectos erosivos de las descargas eléctricas fueron descubiertos por el físico inglés Priestsley en el año 1768, pero fueron los físicos soviéticos B. R. y N. I. Lazarenc, quienes supieron usar dichos efectos erosivos para el trabajo de metales, en el año 1943. Aunque al principio el proceso se limitaba a la desintegración de brocas y machos rotos. Hasta 1950 en que aparecieron los generadores de relajación se usó de forma totalmente controlada, pero el plan definitivo fue en el año 1964 cuando aparecieron los generadores de impulso.

Definición

La electroerosión consiste en la eliminación de material por una sucesión de descargas eléctricas no estacionarias separadas unas de otras en el tiempo y dentro de un fluido dieléctrico, por medio de una tensión superior a 20 voltios.

I.2.- FISICA DE LA ELECTROEROSION

Cuando el electrodo se acerca a la pieza de trabajo, el potencial aplicado entre ellos, produce un campo eléctrico de tal manera que cuando el potencial aplicado es igual o mayor que el voltaje de ruptura del dieléctrico, se produce la descarga eléctrica formada por electrones que emite el electrodo y viajan hacia la pieza de trabajo, acelerados por el intenso campo eléctrico existente entre ellos.

Si el electrodo es del tipo apropiado, se produce un mecanismo de avalancha que consiste en liberar electrones de algunos átomos del dieléctrico, los cuales se suman a los emitidos por el electrodo y todos chocan sobre la pieza de trabajo produciendo un calentamiento en una pequeña área, en donde se vaporiza el metal siendo expelido y dejando en su lugar una cavidad. Si la descarga continúa, la cavidad o cráter crece, por lo que el calor disipado por sus paredes aumenta y llega el momento en que el calor suministrado por el choque de los electrones no es suficiente para seguir vaporizando material y el proceso se detiene. La repetición del fenómeno descrito da como resultado el maquinado por descarga eléctrica o electroerosión.

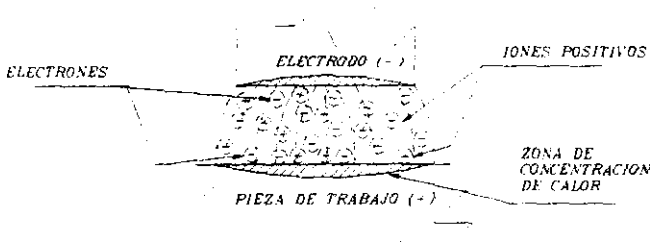


Figura 1.4 -
Física de la
electroerosión

Al mismo tiempo que ocurre la descarga de electrones, los iones del hidrógeno, así como los radicales de hidrocarburo que se forman, debido a su carga positiva, se aceleran hacia el electrodo. Una parte de los electrones emitidos neutralizan algunas de las partículas antes de que lleguen al electrodo, las que no son neutralizadas chocan sobre el electrodo produciendo un calentamiento y desgaste similar al que ocurre en la pieza de trabajo.

El sistema electroerosionador

Para aplicar eficientemente los sistemas de electroerosión, es necesario conocer los factores determinantes en el proceso, ellos son: corriente, frecuencia, envoltura electrónica, dieléctricos, limpieza, material del electrodo y material de la pieza de trabajo.

Corriente.- La velocidad de remoción de metal depende de la cantidad de corriente que se emplea para el maquinado (su valor en amperes) puede conocerse leyendo directamente sobre el medidor correspondiente.

Cuando se aumenta la corriente para una frecuencia particular de descargas, la velocidad de remoción aumenta proporcionalmente.

Otro efecto que se observa con el incremento de la corriente es el acabado de la superficie; si la corriente aumenta, aumenta el tamaño del cráter, obteniéndose una superficie más rugosa.



Figura 1.5.- Efectos de la corriente en la electroerosión.

Frecuencia.- El acabado de la superficie es de primordial importancia; por los métodos convencionales generalmente con un corte grande se obtiene una superficie áspera y con un corte pequeño se obtiene una superficie fina. En un electroerosionador, el factor determinante del acabado, es la frecuencia de las descargas, o sea el número de pulsos por segundo aplicados entre electrodo y pieza de trabajo. Esto es, a mayor frecuencia, mayor número de descargas con menor energía, lo cual deja cráteres más pequeños.

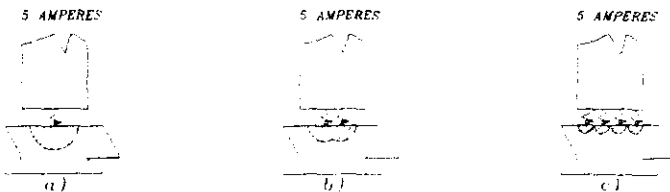


Figura 1.6 - Efectos de la frecuencia en la electroerosión a) Una descarga por segundo b) Dos descargas por segundo c) Cuatro descargas por segundo.

Envoltura electrónica.- Así se denomina al espacio entre el electrodo y la pieza de trabajo cuando se está electroerosionando, tomando la forma del electrodo.

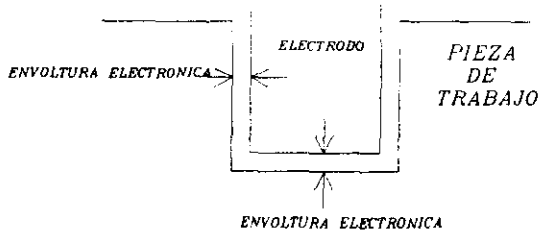


Figura 1.7.- Envoltura electrónico durante el proceso de electroerosión.

Dieléctrico.- Es un fluido que forma una barrera aislante entre el electrodo y la pieza de trabajo, además de que enfría las partículas erosionadas y las retira de la zona de trabajo; comúnmente se usa un aceite como dieléctrico, aunque podría utilizares agua destilada o algún gas comprimido.

Limpieza.- Existe varios métodos de limpieza entre los cuales están:

a).- Limpieza por inyección, el cual consiste en hacer una perforación ya sea en el electrodo o en la pieza de trabajo y el dieléctrico inyectado es desalojado por el espacio entre el electrodo y la pieza junto con las partículas de desecho.

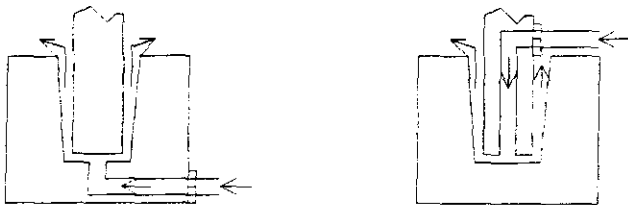


Figura 1.8 - Limpieza por inyección de dieléctrico

b).- Limpieza por aspiración en este método se perfora igual que en el método anterior; pero en vez de inyectar dieléctrico, se aspira.

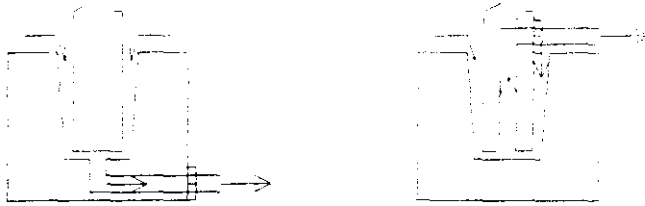


Figura 1.9 - Limpieza por aspiración

c).- Limpieza por combinación.- Usa los dos métodos anteriores para determinar la trayectoria de las partículas de desecho para maquinados complicados.

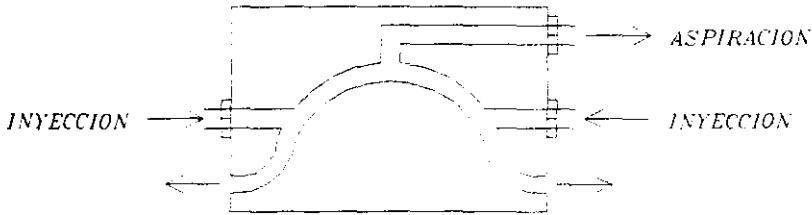


Figura 1.10 - Limpieza por combinación.

d).- Limpieza por elevación sincronizada.- Es para trabajos profundos o muy complicados. Consiste en retirar el electrodo y se inyecte dieléctrico para remover las partículas, de nuevo se continúa la erosión y se para la limpieza, hasta terminar la pieza.



Figura 1.11 - Limpieza por elevación sincronizada a) erosión
b) Limpieza

e).- Limpieza por agitación.- Se usa para hacer orificios muy profundos y se basa en el hecho de que al ser desplazado el electrodo, deja un espacio que ocupará el dieléctrico, y cuando de nuevo se introduce el electrodo, se desplaza el dieléctrico junto con los desechos de la electroerosión.

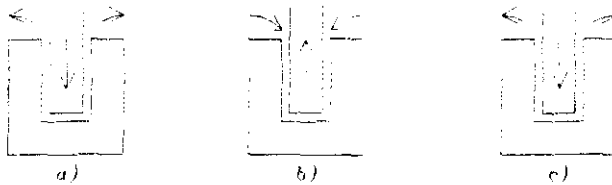


Figura 1.12 - Limpieza por agitación a) Introduce el electrodo y expulsa el dieléctrico y desechos. b) Sale el electrodo y succiona dieléctrico c) Introduce electrodo y expulsa dieléctrico y desechos.

e).- Limpieza por inyección lateral.- Se usa para trabajos poco profundos y es inyectando dieléctrico por un costado entre la pieza de trabajo y el electrodo.

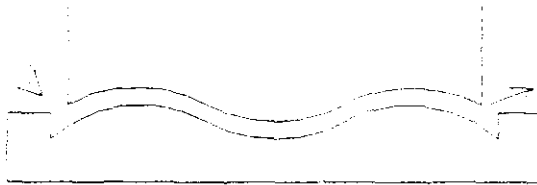


Figura 1.3 - Limpieza por inyección lateral

Material del electrodo.- Se ha encontrado que es casi imposible obtener un material que sea óptimo para todas las aplicaciones; algunos se desgastan poco pero son difíciles de darles forma, o son muy costosos; otros son baratos pero se desgastan mucho.

Para el mecanizado del acero, del carburo de tungsteno y materiales raros, los materiales más rentables y que dan mejores resultados son:

- Cobre electrolítico
- Cobre-tungsteno
- Grafito
- Cobre-grafito

Material de la pieza de trabajo.- Puede ser casi cualquier conductor de electricidad, como el acero, cobre, carburo, vanadio, cromo, bronce, berilio, acero inoxidable, tungsteno, molibdeno, titanio, níquel y todo tipo de aleaciones.

I.3.- ETAPAS DEL SISTEMA

A grosso modo, las etapas que componen al sistema electroerosionador son:

- 1) Fuente de poder.
- 2) Disparo de erosión.
- 3) Limpieza.
- 4) Desplazamiento del electrodo.
- 5) Control central.
- 6) Interface usuario-máquina.

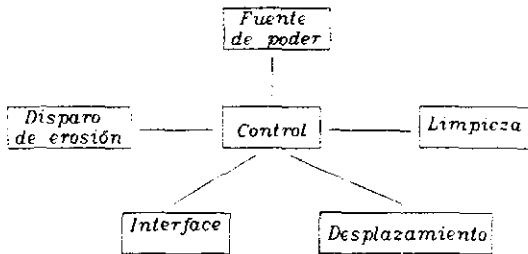


Figura 1.14 - Sistema electroerosionador

Fuente de poder.- Es la etapa en la cual el sistema toma la energía de la línea para tenerla disponible para el trabajo de erosionado; manteniendo siempre el nivel de voltaje y de corriente óptimos requeridos para el proceso.

Disparo de erosión.- Esta parte permite el paso y corta la corriente para que se lleve a cabo el proceso de erosión controlada. Debe responder a los diferentes periodos de tiempo de conducción y corte requeridos; debiendo de tener una respuesta rápida y eficiente, para aprovechar totalmente el fenómeno y evitar las pérdidas de energía.

Limpieza.- A pesar de su aparente sencillez, la limpieza no solo es la simple remoción de desechos; debe tomarse en cuenta la velocidad del fluido; ya que al

igual que la velocidad de erosión, el volumen de desechos varía en la misma proporción. Además se debe de tomar en cuenta que una velocidad en exceso, puede desviar el arco y electrodos muy débiles pueden tener deformaciones e incluso ser rotos.

Otro factor que debe de tomarse en cuenta al llevarse a cabo en la limpieza; es la viscosidad del dieléctrico usado, ya que a mayor viscosidad, mayor esfuerzo de la bomba y mayor fricción con el electrodo.

Por último, se debe de tomar en cuenta la calidad que se debe de llevar a cabo; ya que por ejemplo el desbaste requiere una pequeña cantidad de impureza para que éste sea más rápido; y en un acabado fino, dichas impurezas deberán de ser eliminadas totalmente.

Desplazamiento del electrodo.- El desplazamiento está en coordinación con la erosión y en ocasiones con la limpieza; ya que cuando está en posición de trabajo, depende de la velocidad de erosión de la pieza y en algunos casos también de la necesidad de retirar el electrodo para una limpieza profunda (*Limpieza por elevación sincronizada*). Aunque también es necesario tener una manera de sensar la cercanía del electrodo de la pieza de trabajo para disminuir la velocidad de acercamiento a velocidad de trabajo y evitar la colisión entre piezas; claro, sin menospreciar el control de la posición del electrodo, para no perder la referencia de avance del trabajo.

Control central.- Todas las etapas anteriores interactúan entre sí, por lo que es necesaria una etapa que se dedique a coordinar la acción de cada una de ellas, para que se cumplan las especificaciones dadas por el usuario a través de la interfaces. Es necesario que aunque cada una de las etapas sólo necesitan las especificaciones para el proceso que se esta llevando a cabo, es necesario que esté *monitoreando constantemente los parámetros* críticos, como son: avance y coordinación avance-erosión-limpieza cuando así se requiera.

Interface usuario-máquina.- Para el operario es importante poder tanto introducir los datos del proceso, como poder consultar los parámetros que se están ejecutando. A través de esta interface el operario podrá ordenar directamente al control central pudiendo con ello mandar sobre todo el sistema como mejor convenga al proceso; además de poder pedirle los datos que requiera monitorear para estar enterado de como se va desarrollando el proceso.

CAPITULO II

NECESIDADES

Nuestro prototipo tendrá el fin de ser aplicado en piezas pequeñas que generalmente se encuentran fuera del ambiente industrial; por lo que lo alimentaremos con 127VCA, el cual es el voltaje más común para el consumo popular; además de que debe ser un sistema muy sencillo, de fácil reemplazo de sus partes y sobretodo económico.

II.1 .- SUGERENCIA DE COMPONENTES

Como lo comentamos en la introducción, nuestro sistema esta compuesto de:

- 1).- Fuente de poder
- 2).- Disparo de erosión
- 3).- Limpieza
- 4).- Desplazamiento del electrodo
- 5).- Control central
- 6).- Interface usuario-máquina

Fuente de poder.- Estará compuesta de 2 transformadores de 127/24VCA 5A de salida; estos transformadores tendrán su secundario en serie para obtener un voltaje total en su secundario de 58VCA RMS, este voltaje será rectificado por un puente rectificador de onda completa, filtrado con capacitores y regulado con el circuito integrado LM317, con su respectiva etapa de potencia a base de transistores. La selección del nivel del voltaje se hará con transistores saturados manejados por el control central a través de buffers(MC14503).

En cuanto a la corriente, también será manejada por el control central a través de buffers que manejarán un arreglo de transistores que limitarán el nivel de corriente, además de que el resultado de esta limitación de corriente será monitoreada indirectamente para detectar un posible exceso de corriente en sus terminales.

Estos parámetros son introducidos por medio de la interface usuario-máquina y manejados por señales digitales, por lo cual, dichas salidas digitales se deberán adaptar para obtener el resultado deseado, a través de una conversión digital analógica adecuada.

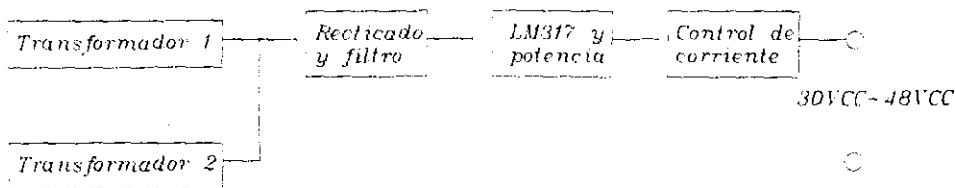


Figura II.1.- Fuente de poder del prototipo

Disparo de erosión.- Los disparos se harán a través de una salida controlada del procesador central, la cual maneja un arreglo Darlington con una ganancia muy alta de corriente para saturar definitivamente al transistor de salida evitando con ello en lo posible una caída de tensión en él y con ello una disipación de calor extra.

Los intervalos de disparo y corte, trabajo y pausas, estarán dados por el usuario a través de la interface usuario-máquina y guardados en memoria, para mantenerlos presentes y usarlos posteriormente al iniciarse el proceso.

Cabe señalar que esta etapa esta muy relacionada con el desplazamiento; por lo que estará sensado el éxito del disparo para ver si hay necesidad de avance; esto se hará con una pequeño transformador de corriente que alimentará un limitador de voltaje sensado por el control central.

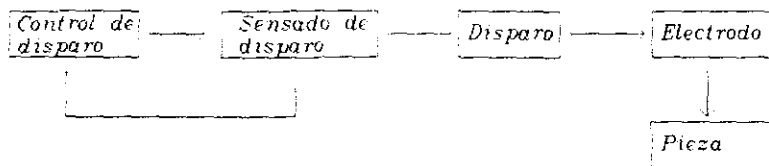


Figura II.2.- Control de disparo de erosión.

Limpieza.- Como se comentó en el capítulo I, debe de haber varios niveles de limpieza, y considerando un diámetro constante en el ducto que conduce el dieléctrico de limpieza, además de tener una bomba centrífuga, tenemos que el nivel de limpieza depende de la velocidad del fluido y que dicha velocidad es proporcional a la velocidad del motor impulsor.

Nuestro sistema soportará piezas con un peso máximo de 20Kg y un electrodo con un peso máximo de 250g, por lo que en la limpieza usaremos un motor de corriente directa de imán permanente de 12Volts, 20watts; en el cual su velocidad se controlarán teniendo varios niveles de voltaje en su armadura manejándolos con un circuito integrado regulador de voltaje LM340, el cual no da mas de 3A, con lo cual protege al motor de una eventual sobrecarga. Dicho integrado estará controlado por una señal digital enviada desde el control central y manejada por un buffer antes de ser convertida a analógica.

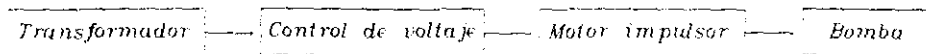


Figura 11.3.- Control de limpieza

Desplazamiento del electrodo.- Para un sistema motriz en donde se debe controlar la velocidad y tener movimientos precisos; además de mantener ubicada la posición de un punto en movimiento, se tiene como excelente al motor a pasos para un sistema digital; ya que si no se excede su capacidad de torque, dicho motor sigue fielmente la secuencia de movimiento que se le indica.

En esta ocasión usaremos un motor a pasos con 1 grado angular de movimiento por paso y 12 volts de alimentación; la secuencia de pasos la dará el procesador central además de llevar la contabilidad de los pasos que se han llevado a cabo para ubicar la posición del electrodo.

Al inicio de cada secuencia el electrodo busca un microswitch de inicio para actualizar su valor de conteo; en caso de que esté activado, el electrodo avanzará un poco para salirse momentáneamente de la acción del micro; para regresar y pararse al accionar actualizando el valor de su contador, evitando así el punto muerto que el micro mecánico tiene. Además de el micro de actualización de inicio, habrá un micro de seguridad hacia arriba, por si falla el primero, y un micro de seguridad hacia abajo por si se sale de secuencia el motor y hace movimientos no registrados. Estos micros de seguridad estarán constantemente muestreados por el procesador central para evitar en lo posible el deterioro de las piezas mecánicas por esfuerzos mayores a los calculados por colisiones no contempladas en la estructura.

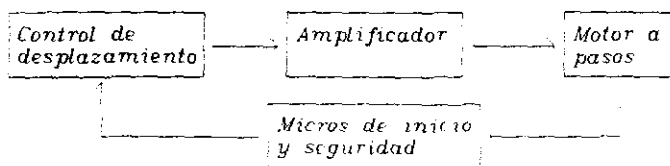


Figura 11.4.- Control de desplazamiento del electrodo

Interface usuario-máquina.- Este consta de un teclado que se distribuyen de la siguiente forma:

- a) 1 Flecha hacia la derecha.
- b) 1 Flecha hacia arriba.

- c) 1 Flecha hacia abajo.
- d) 1 Tecla de inicio.

Además se tiene un display alfanumérico en el cual se despliegan:

- a) Estatus del sistema erosionador
- b) Parámetros del proceso:
 - 1).- distancia a erosionar
 - 2).- nivel de corriente
 - 3).- nivel de voltaje
 - 4).- duración de disparo en milisegundos
 - 5).- duración de pausa de disparo en milisegundos
 - 6).- si tendrá limpieza normal o por elevación sincronizada
 - 7).- que nivel de limpieza tendrá
 - 8).- tiempo de erosión por tiempo de limpieza (cuando hay limpieza por elevación sincronizada),
- c) Guía de navegación entre parámetros

Por último se tiene una señalización adicional, para agregar visibilidad al indicar:

- a) Error(cuando algo no planeado sucede)
- b) Disponible(cuando no se está ejecutando ninguna función)
- c) Termina proceso(terminó penetración de electrodo)
- d) Proceso parado(se congeló proceso con la tecla Para proceso)

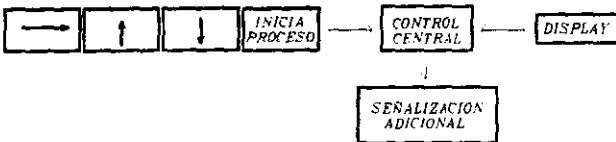


FIGURA 11.5 - Componentes de la interfaz USUARIO-MAQUINA

Procesador central.- Este deberá controlar:

- a) 4 niveles de corriente (4 bits)
- b) 4 niveles de voltaje (7 bits)
- c) Control de disparo (1 bit)
- d) Sensado de disparo (1 bit)
- e) Sensado de exceso de corriente(1 bit)
- f) 4 niveles de limpieza (4 bits)
- g) Control del movimiento del electrodo y micro auxiliar (5 bits)
- h) Teclado (4 bits)
- i) Señalización adicional (1 bit)
- j) Display (3 de control y 8 de datos)

Lo cual nos da un total de 39 bits, por lo que se tendrán que multiplexar los bits que no tienen una gran prioridad de muestreo, como son:

- a) Niveles de corriente
- b) Niveles de voltaje
- c) Niveles de limpieza
- d) Control de movimiento del electrodo y micro auxiliar
- e) Señalización adicional

los cuales se pueden manejar con 8 bits de datos y 3 de control. Sumándoles los bits de los periféricos restantes tenemos que se le agregarán 1 bit del disparo, 1 bit del sensado de disparo, 1 bit de sensado de sobrecorriente, 4 bits de teclado, 1 adicional y 11 bits del display se tiene un total de 30 pines de entradas-salidas y aunado a que son necesarias mínimo 3 entradas analógicas, usaremos el microcontrolador PIC16C74 de microchip para tal efecto; ya que maneja 33 entradas-salidas distribuidos en 1 puerto RA de 6 bits, de los cuales 5 pueden ser configurados como analógicas o digitales; 3 puertos de 8 bits (RB, RC y RD), y 1 puerto RE de 3 bits, los cuales pueden ser configurados como analógicas o digitales; con la particularidad de que dichos puertos se pueden usar como tales ó manejar de forma independiente cada uno de sus bits.

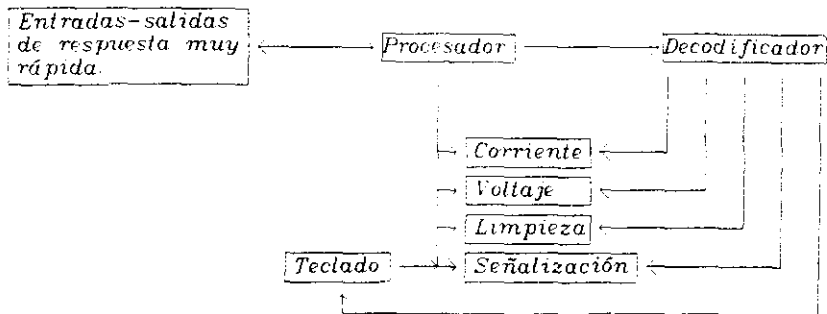


Figura 11.6.- Control de periféricos del control central

11.2.- OBSERVACIONES SOBRE ALGUNOS COMPONENTES.

Generalmente el fabricante de componentes nos proporciona los datos de sus productos considerando que tenemos las bases para tomar en cuenta las desviaciones propias de su producto. Tomando en cuenta que nuestro sistema es en buena parte digital, y que en sistemas digitales solo se debe de cuidar que los niveles del pulso y tiempos de respuesta sean, nuestra atención se centra en:

- a) Voltaje de los capacitores
- b) Reguladores de voltaje y la regulación de corriente
- c) Saturación de transistores
- d) Motor de CC
- e) Motor a pasos

Voltaje de los capacitores.- En los transformadores comerciales para fuente de poder de circuitos electrónicos, generalmente solo traen como dato el voltaje y la corriente en su secundario, tomando por lógica que se alimenta su primario con un voltaje de 127 Volts de corriente alterna. Pues bien, debido a que el transformador real contiene impedancias en serie, el voltaje secundario de un transformador varía con la carga, así el voltaje de alimentación permanezca constante; por lo que hay una variación entre el voltaje en vacío y a plena carga. Relacionando dichas tensiones, obtenemos el coeficiente de regulación de voltaje VR

$$VR = \frac{V_{vacio} - V_{pc}}{V_{pc}} \times 100\%$$

donde:

VR = Coeficiente de regulación de voltaje

V_{vacio} = Voltaje en el secundario del transformador sin carga

V_{pc} = Voltaje en el secundario del transformador a plena carga

Despreciando las pérdidas por histéresis y corrientes parásitas, además considerando que tenemos una carga con un factor de potencia unitario, tenemos que el voltaje en vacío es:

$$V_{vacio} = I_{pc} \sqrt{R_{eq}^2 + (2\pi 60 L_{eq})^2} + V_{pc}$$

donde:

V_{vacio} = Voltaje en vacío

I_{pc} = Corriente a plena carga

R_{eq} = Resistencia total equivalente de los dos devanados

L_{eq} = Inductancia equivalente en los devanados

V_{pc} = Voltaje a plena carga

De lo anterior vemos que a mayor corriente, el coeficiente de regulación de voltaje aumenta; por lo que debemos de considerarlo para la selección de los niveles de voltaje que manejan los puentes rectificadores y los capacitores de filtro para que no se queden cortos. Además del coeficiente de regulación de voltaje, se debe de tomar en cuenta que el voltaje que se mide con los voltímetros y multímetros, es un valor raíz cuadrático medio o efectivo, por lo que debemos de obtener el valor pico

$$V_{pico} = \sqrt{2} V_{rcm}$$

donde:

V_{pico} = Valor máximo que alcanzan las crestas de la corriente alterna.

V_{rcm} = Valor registrado por el multímetro o voltímetro.

De lo anterior, tenemos que al elegir los capacitores de filtro, debemos considerar el valor pico; ya que los capacitores en esta aplicación sirven para mantener en lo posible estable el voltaje, y cuando no se consume corriente, éstos almacenarán el voltaje pico o máximo que se presente.

Reguladores de voltaje y la regulación de corriente.- Existe una gran variedad de reguladores de voltaje, siendo los mas populares los de 3 terminales para una regulación que no exigen una estabilidad a toda prueba; estos reguladores son bastante robustos y manejan corrientes relativamente altas según el modelo, tienen el poder de disipar altas potencias garantizando el voltaje con una aceptable estabilidad, además de estar autoprotejidos contra cortocircuito, esto es, en un eventual cortocircuito, el integrado no dará mas corriente que la que le permita su limite de corriente protegiendo a las etapas anteriores, posteriores y así mismo. Pero una de las características que los hace bastante atractivos además de su bajo costo, es la sencillez de su aplicación; ya que en los de voltaje fijo, basta alambrrarlos para tener un voltaje regulado, y los de voltaje variable solo requieren de dos resistencias calculadas bajo una sencilla fórmula para obtener el voltaje deseado.

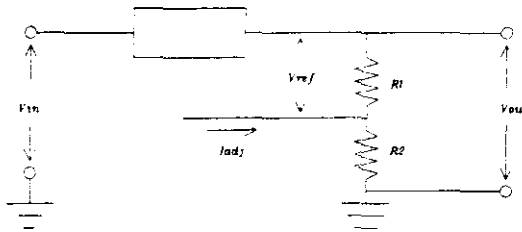


Figura 117 - Regulador de voltaje de 3 terminales

$$V_{out} = V_{ref} \left(1 + \frac{R1}{R2} \right) + I_{ref} R2$$

donde

V_{out} = Voltaje deseado

V_{ref} = Voltaje de referencia propio del integrado, el cual, generalmente es de 1.25 Volts

$R1$ y $R2$ = Resistencias de ajuste

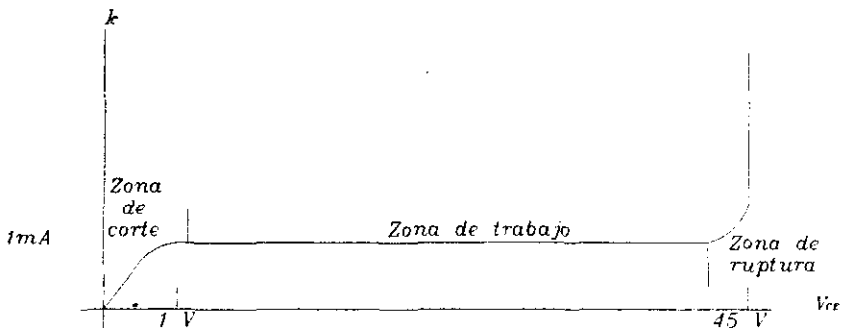
I_{ref} = Corriente de ajuste de voltaje, la cual es mínima (50 a 100 μ A)

La capacidad de trabajo de temperatura de unión en el transistor de salida (-55° C a 125°C generalmente), permite el uso de un buen disipador de calor para disipar la potencia no utilizada.

Pues bien, la regulación de corriente se puede realizar también con estos integrados con una gran precisión, pero en algunos casos, no tienen, estos integrados, la capacidad de manejar corrientes altas o no manejan una diferencia de potencial alta entre la entrada y salida: y los que están diseñados para este propósito no se encuentran muy difundidos en el mercado nacional. Por ello, la regulación total de la corriente se lleva a cabo por medio de transistores manejados por salidas digitales aplicadas a sus bases, y estos a su vez controlan al transistor de muy alta potencia que controla la corriente. En el caso de que la resistencia entre el cátodo-dieléctrico-ánodo después que se rompe la rigidez dieléctrica sea menor a la esperada, el regulador de corriente tendrá una caída de potencial, disminuyéndolo a la salida, y con ello, disminuye también la corriente; si la corriente tiende a ser muy elevada, el regulador hará que a la salida, el voltaje disminuya drásticamente, lo cual es registrado y se comienza a retirar el electrodo hasta que se logre estabilizar la corriente al nivel deseado.

funcionamiento del transistor bipolar de juntura.- Se consideran varias zonas de funcionamiento del transistor bipolar de juntura, estas son:

- a) Zona de corte
- b) Zona activa
- c) Zona de ruptura
- d) Zona de saturación



Comportamiento ideal del transistor BC317

Zona de corte.- En esta zona se considera que no existe una corriente en la base que permita al conducción entre el colector y el emisor. Pero en realidad existe una pequeña corriente debido a la corriente inversa de portadores minoritarios y una corriente de fuga superficial; esto se debe a que el dopado del semiconductor no es perfecto y existen impurezas mínimas que se comportan como un conductor; además de que por las distancias tan pequeñas que existen

entre diferentes capas del transistor y de las deficiencias de aislamiento (casi nulas), existen fugas de corrientes por arqueo. A la suma de las corrientes producidas por los dos fenómenos anteriores descritos, se le denomina corriente de corte de colector. Dicha corriente está en el orden de los nanoamperes, por lo que es despreciable, pero debe evitarse en lo posible su amplificación, lo cual provocaría problemas de operación.

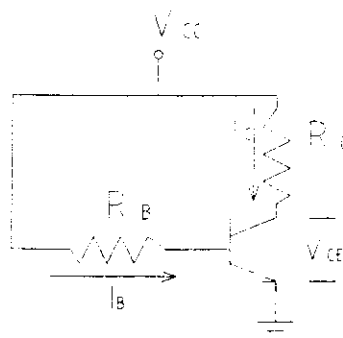
Zona activa.- Es la zona en la cual el transistor está operando al aplicársele una corriente a su base, suficiente para obtener una corriente de colector a emisor mayor a la corriente de corte de colector, pero menor a la de saturación. Los diseñadores llevan a esta zona a los transistores de salida para amplificadores de señales analógicas y variantes en el tiempo. En nuestro caso, usamos señales digitales, en las cuales, los transistores se encuentran en corte o saturación, disipando poca potencia, y con ello se reduce el precio y espacio que ocupan dichos transistores.

De lo anterior se tiene que, es necesario evitar en lo posible que nuestros transistores caigan en esta zona activa, para evita disipación de potencia innecesaria.

Zona de ruptura.- Al igual que el caso de un diodo, el transistor tiene un límite de voltaje entre colector y emisor que puede soportar antes de que tenga una corriente inversa en avalancha que destruya o acorte la vida del transistor por estar fuera de su funcionamiento. Cabe señalar que este voltaje disminuye conforme aumentamos la corriente de operación. Para evitar caer en esta zona, basta ver que nuestro transistor maneje un voltaje menor que el máximo que se considera habrá en sus terminales.

zona de saturación.- Esta zona junto con la de corte, son las que nos interesa por la naturaleza digital de nuestro circuito. La zona de saturación se alcanza inyectando la corriente necesaria a la base, para tener la menor caída de tensión que permite el transistor entre su colector y su emisor $V_{CE(SAT)}$ (tener la mayor caída de tensión posible en la resistencia de colector)

Figura # 9 - Transistor polarizado



Para obtener dicha corriente de saturación que permita una caída de tensión en la resistencia de colector, se multiplica la ganancia β por la corriente de la base I_B ; pero se deben de considerar varios factores que hacen que varíe la ganancia y otro parámetros de un transistor, entre los que se encuentran:

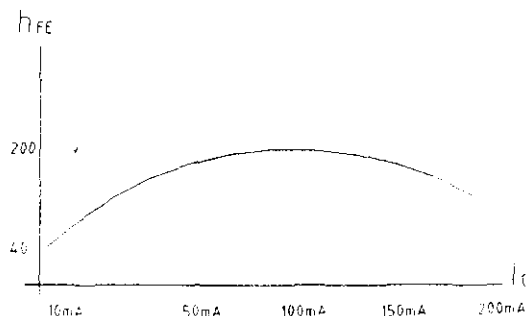
- a) Su fabricación
- b) La temperatura
- c) La corriente que está conduciendo

En la fabricación de transistores de iguales características, no siempre son totalmente idénticos, e incluso los transistores de un mismo lote son ligeramente diferentes entre sí, lo cual se debe de tomar en cuenta para tener una holgura para este caso.

Si hablamos de la temperatura y esta se mantiene estable, la ganancia también se mantiene estable, pero, a grandes variaciones de temperatura, grandes variaciones de ganancia, como nos lo muestra la gráfica del BC372, el cual, con una temperatura de 25° C tiene una ganancia de 10000, a 125° C tiene una ganancia de 30000 y a una temperatura de -55° C tiene una ganancia de 4000; por lo que para los cálculos para una temperatura de 25° C, en el caso del aumento de temperatura permitirá al transistor una saturación fuerte, lo cual es satisfactorio, pero en el caso de que la temperatura disminuya, no tendremos a nuestro transistor saturado obteniendo un resultado erróneo. Por lo anterior, es necesario estar consciente del ambiente en el cual nuestro prototipo estará funcionando.

por último tenemos un factor que casi nunca tomamos en cuenta cuando hacemos referencia a la ganancia, siendo este la corriente de colector; esto es, existe una curva de ganancia muy pronunciada en varios transistores (como en el BC337) en el cual existe un punto de la corriente en el cual la ganancia es máxima, pero conforme la corriente sube o baja, la ganancia de corriente baja, ya que en este transistor la ganancia fluctúa de 40 a 200 por esta característica.

Figura 11 - Comportamiento de la ganancia ante la variación de la corriente de colector



Motor de corriente directa de imán permanente.- Hoy en día, para sistemas en los cuales se requiere una inversión baja para un control amplio de velocidad y trabajo continuo, se sigue usando los motores de corriente directa, principalmente en aplicaciones donde dicho motor es de muy baja capacidad, ya que mientras más pequeña es la aplicación, es mas competitivo el precio de dichos motores. El mas popular de los motores para estas aplicaciones es el motor de corriente directa de imán permanente, por su bajo costo y sencillez de aplicación.

Estos motores tienen sus polos formados por imanes, por lo que la única posibilidad de variar su velocidad, es la variación de su voltaje de armadura o agregando resistencia a su armadura (esta segunda opción entorpece el funcionamiento normal del motor), por lo que su análisis se reduce a

$$V_T = I_A R_A + E_A$$

donde

V_T = Voltaje aplicado al motor.

I_A = Corriente que circula por la armadura del motor.

R_A = Resistencia de la armadura.

E_A = Voltaje inducido en la armadura.

En donde el voltaje inducido es directamente proporcional a la velocidad de la armadura del motor.

$$E_A = K \phi \omega$$

donde

ϕ = Flujo magnético

ω = Velocidad angular del motor

$$K = \frac{ZP}{2\pi a}$$

siendo

Z = Número de conductores de armadura que son cortados por el flujo magnético.

P = Número de polos.

a = Número de ramas de armadura en paralelo.

Considerando que el motor moverá una carga, esta requiere un par dado por el motor el cual esta dado por

$$\tau = K\phi I_A$$

donde

τ = Par inducido en el motor por la corriente que circula por él

la corriente necesaria para obtener este par se obtiene despejando la anterior fórmula

$$I_A = \frac{\tau}{K\phi}$$

Sustituyendo el voltaje inducido en la armadura por la velocidad y la corriente que produce el par en la primera fórmula, se obtiene

$$V_T = K\phi\omega + \frac{\tau}{K\phi} R_A$$

De donde se observa que para un voltaje aplicado constante, a mayor velocidad, menor par requerido y viceversa por lo que considerando que la carga es constante, el par requerido es constante y con ello la velocidad.

$$\omega = \frac{V_T}{K\phi} - \frac{R_A}{(K\phi)^2} \tau$$

Con lo anterior se garantiza que basta predeterminar un voltaje para mantener una velocidad regularmente estable.

Motor a pasos. - Este motor se utiliza ampliamente en sistemas digitales por la precisión de sus movimientos. Su operación se basa en el par de reluctancia, el cual es producido en un objeto de hierro en presencia de un campo magnético externo; este par ocurre porque el campo magnético externo induce en el hierro del objeto un campo magnético interno y aparece un par entre los dos campos, torciendo el objeto de hierro para alinearlo con el campo externo. Para que se produzca el par de reluctancia en un objeto, éste debe ser estirado a lo largo de los ejes con ángulos que corresponda a los ángulos entre polos adyacentes del campo magnéticos externo. En el motor a pasos, estos ángulos están repartidos en forma secuencia a través del estator, esto es, hay un grupo de bobinas que están alimentadas en forma independiente una de otras y cada una de ellas corresponde a ángulos determinados del motor. Esto es, en una posición determinada sólo una bobina tendrá el efecto de mover al motor en un sentido un ángulo determinado;

para mover al motor en el mismo sentido, se debe alimentar otra bobina. Cuando se termina de recorrer todas las bobinas, se hace de nuevo el recorrido en la misma secuencia para continuar girando en el mismo sentido; en nuestro caso, tenemos que para completar una revolución, son necesarios 200 pasos o 50 ciclos de 4 pasos.

Otra consideración que se debe de tomar en cuenta en los motores a pasos, es que sus bobinas están formadas por una inductancia y la resistencia propia del alambre que las forman (75 ohms y 42 miliHenrys para nuestro caso), lo cual equivale a un circuito RL

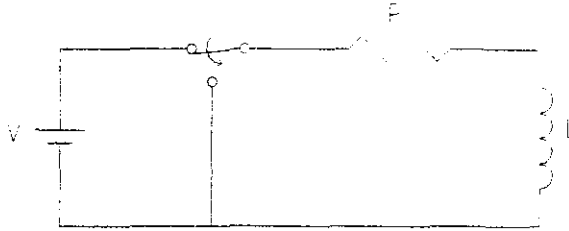


Figura 12 - Circuito equivalente de una bobina del motor a pasos

en el momento de energizar nuestra bobina el circuito equivalente queda

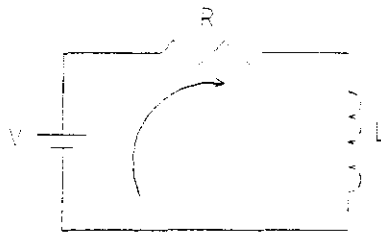


Figura 13 - Circuito en el instante en que le es aplicado voltaje

aplicando la ley de Kirchhoff obtenemos

$$V + L \frac{di}{dt} + iR = 0$$

despejando di tenemos

$$-\left(\frac{di}{dt} + i\frac{R}{L}\right) = \frac{V}{L}$$

$$di = -\frac{R}{L}\left(\frac{V}{R} - i\right)dt$$

reacomodando tenemos

$$\frac{di}{\frac{V}{R} - i} = -\frac{R}{L}dt$$

integramos

$$\int_0^t \frac{di}{\frac{V}{R} - i} = -\int_0^t \frac{R}{L}dt$$

$$\left[\ln\left(\frac{V}{R} - i\right) \right]_0^t = -\frac{1}{\frac{L}{R}}t \Big|_0^t$$

$$\ln\left(\frac{V}{R} - i\right) - \ln\frac{V}{R} = -\frac{t}{\frac{L}{R}}$$

$$\ln\left(1 - i\frac{R}{V}\right) = -\frac{t}{\frac{L}{R}}$$

despejando a i

$$1 - i\frac{R}{V} = e^{-\frac{t}{\frac{L}{R}}}$$

$$i = \frac{V}{R} - \frac{V}{R}e^{-\frac{t}{\frac{L}{R}}}$$

$$i = \frac{V}{R}\left(1 - e^{-\frac{t}{\frac{L}{R}}}\right)$$

si le damos valores y los graficamos, dicha gráfica la veríamos así

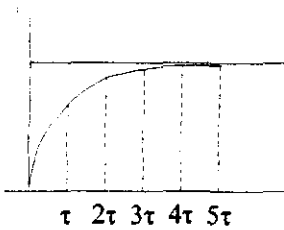


Figura B.14 - Carga exponencial de una inductancia

siendo τ la constante de tiempo dada por

$$\tau = \frac{L}{R}$$

para fines prácticos se considera que a 5τ la inductancia se encuentra totalmente cargada. En nuestro caso el tiempo de carga sería

$$t = 5\tau = 5\left(\frac{42 \times 10^{-3}}{75}\right) = 2.8 \text{mseg.}$$

lo cual sería igual para la descarga de la inductancia, dándonos un tiempo total de carga y descarga de

$$t = 2(5\tau) = 2(2.8 \text{mseg}) = 5.6 \text{mseg}$$

lo cual no permite ejecutar una cantidad de pasos por segundo

$$\omega = \frac{1 \text{paso}}{t} = \frac{1 \text{paso}(1000 \text{mseg})}{5.6 \text{mseg}(\text{seg})} = 178.571 \text{paso/seg}$$

dado en revoluciones por minuto, considerando que nuestro motor ejecuta una revolución por cada 200 pasos serían

$$\omega = (178.571 \text{paso/seg}) \left(\frac{1 \text{rev}}{200 \text{paso}} \right) = 0.893 \text{rev/seg}$$

$$\omega = (0.893 \text{rev/seg}) \left(\frac{60 \text{seg}}{1 \text{min}} \right) = 53.57 \text{rev/min}$$

considerando la precisión con que son hechos los movimientos, la velocidad es bastante aceptable; pero para una velocidad de crucero, ésta velocidad es

relativamente lenta. Después de vencer la inercia, se puede usar solo un τ , ya que en este tiempo la bobina que se carga, a alcanzado el siguiente porcentaje de su capacidad

$$100\% \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right) = 63.2\%$$

de igual manera, la bobina tiene el mismo porcentaje de descarga en el mismo tiempo; por lo que se puede alcanzar una velocidad relativamente segura usando rampas de arranque y paro para evitar en lo posible un deslizamiento. Esta velocidad es 5 veces la velocidad de trabajo, lo cual es bastante aceptable, considerando que la velocidad de trabajo es alta.

$$\omega = 5(53.57 \text{ rev/min}) = 267.86 \text{ rev/min}$$

En conclusión, los pulsos para asegurar que el motor no se salga de sincronía en operación normal, deben de ser cada 5.6mseg para la velocidad de trabajo, y de 1.12mseg para velocidad de crucero, disminuyendo los periodos de 5.6mseg hasta alcanzar 1.12mseg paulatinamente, y con una rampa igual para parar estando con periodos de 5.6mseg, asegurando el alto total en el punto deseado.

CAPITULO III

DISEÑO

Uno de los objetivos del producto final es el que resulte económico y sobretodo que las refacciones sean de fácil adquisición.

III.1.- FUENTE DE PODER

Como se recalcó en el capítulo anterior, deberá ser controlado su voltaje y su corriente por medio de buffers; mientras no exceda la corriente predeterminada, la fuente deberá mantener estable el voltaje de salida; pero cuando se exceda de esa corriente, el voltaje deberá ser abatido para que no se siga incrementando dicha corriente.

Circuito. - El circuito tentativo es el siguiente, el cual como se ve, esta dividido en tres etapas que son:

- Alimentación
- Regulador de corriente
- Regulador de voltaje

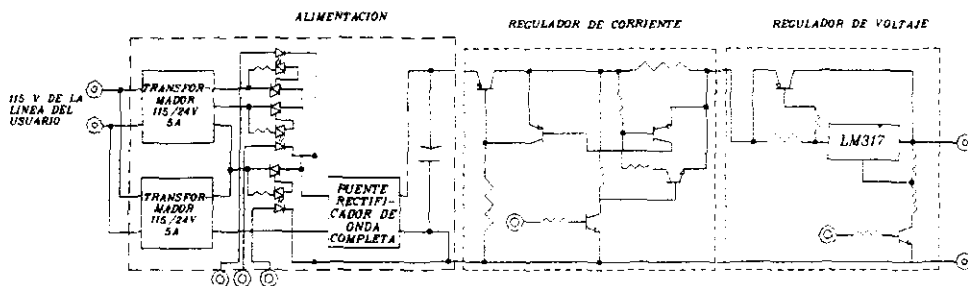


FIGURA III.1.- FUENTE DE PODER DEL SISTEMA DE EROSION

Calculo y características de componentes. - Iniciamos por orden con la etapa de alimentación.

Obteniendo una lectura directa del secundario del transformador 127/24V, 5A, obtenemos 12.6V en el tap central y un total de 25.2V, por lo que se tiene un valor máximo en los secundarios de $2(25.2)=50.4V$ en vacío. El voltaje pico, o sea el voltaje que deberán soportar los capacitores es

$$V_{PC} = \sqrt{2}(50.4V) = 71.276V$$

donde

V_{PC} = Voltaje pico o voltaje máximo que debe soportar el capacitor.

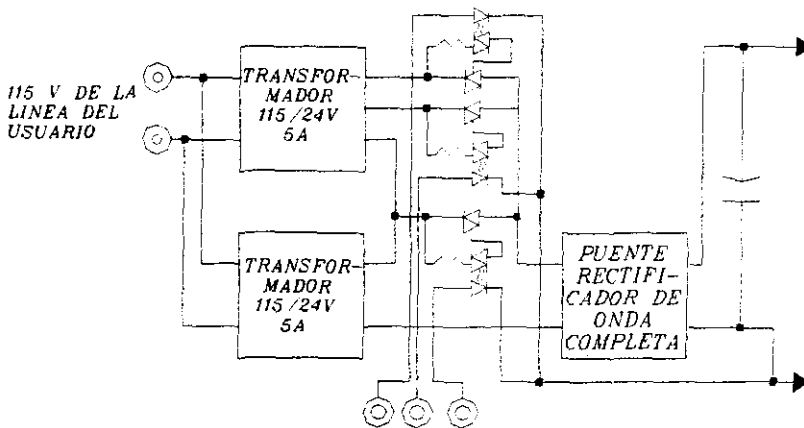


FIGURA III.1.a.- ALIMENTACION

Usando el secundario del primer transformador, considerando que esta proporcionando su corriente nominal (5A), el voltaje pico que se tendrá

$$V_{p24} = \sqrt{2}(24) = 33.941V$$

Considerando que el voltaje mínimo que deseamos obtener es de 20V contra una corriente máxima y constante de 5A, además de que nuestro regulador debe tener una diferencia mínima entre su entrada y salida de 3V, se permite una caída de voltaje de 10V; con estos datos calculamos la capacidad de los capacitores a usar.

Considerando que el voltaje de corriente alterna será rectificado por un puente de onda completa, el periodo entre crestas será la mitad del ciclo de una onda senoidal

$$t = \frac{2\text{ciclos}}{60\text{ciclos/1seg}} = 33.333 \times 10^{-3} \text{ seg}$$

El tiempo en que el capacitor entrega energía al sistema, es en el instante en el que la alimentación de onda senoidal no alcanza los 20 volts; para 0 a 90° de la onda senoidal de entrada

$$20V = 33.941V \text{ sen } \Phi \Rightarrow \Phi = \text{sen}^{-1} \frac{20V}{33.941V} = \text{sen}^{-1} .589 = 36.104^\circ$$

De lo anterior se tiene que el tiempo en el cual el capacitor entrega energía entre crestas es de

$$\frac{2(36.104^\circ)}{2(90^\circ)} = \frac{x}{33.333x10^{-3} \text{ seg}} \Rightarrow x = \frac{(36.104^\circ)(33.333x10^{-3} \text{ seg})}{90^\circ} = 13.37x10^{-3} \text{ seg}$$

Sabemos que

$$q = CV$$

donde

q = Carga en el capacitor

C = Capacitancia

V = Voltaje en las terminales del capacitor

además

$$q = It$$

donde

I = Corriente del capacitor

t = Tiempo de demanda de corriente del capacitor

resolviendo C por igualación tenemos

$$CV = It \Rightarrow C = \frac{It}{V} = \frac{(5A)(13.37x10^{-3} \text{ seg})}{10V} = 6.686x10^{-3} F$$

Agregando que el integrado no puede manejar una diferencia de potencial entre su entrada y su salida mayor a 40V, se optó por hacer una selección entre los taps de los transformadores para con ello tener a la entrada del regulador un voltaje acorde al que se desea obtener a su salida. La selección del tap a usar se hará por medio de triacs disparados por optoacopladores; dichos optoacopladores son manejados por la misma señal que elige el nivel de voltaje de salida del LM317.

El triac elegido para realizar los acoples de el tap requerido con el resto de la fuente es el T2500B que soporta 6A de corriente continua, 60A pico(un

instante), soporta 200V, tiene un voltaje a vencer en la compuerta de 2.5V para ser disparado y una corriente de 25 a 60 mA para su disparo.

El optoacoplador que se usa para manejar este triac es el MOC3012, el cual es disparado por una corriente de 5mA en su led y soporta un voltaje de 125V, además da una corriente pico de 1A a la salida.

El triac no se encenderá de inmediato, por lo que en cualquier instante el optoacoplador no deberá de exceder la corriente de 1A, por lo que la resistencia que lo une con el triac deberá de ser igual o ligeramente mayor al voltaje que maneja el triac.

Para el primer tap se tiene un voltaje pico de $25.2\sqrt{2} \approx 35.63V$, por lo que la resistencia será de 39Ω .

Para el segundo tap se tiene un voltaje pico de $37.8\sqrt{2} = 53.45V$, por lo que la resistencia próxima mayor que mas se acerca es de 56Ω .

Para el máximo voltaje se tiene $50.4\sqrt{2} = 71.276V$, lo cual da una resistencia de 82Ω .

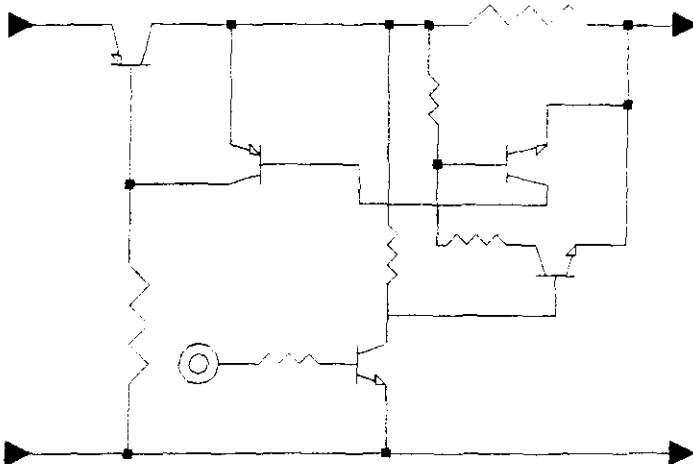


FIGURA III.1.b.- REGULADOR DE CORRIENTE

Volteando nuestra vista al regulador de corriente, considerando que el transistor de muy alta potencia deberá soportar un voltaje máximo de 50V entre su colector y emisor contra 5A de corriente, esto es, deberá poder manejar una potencia de

$$P = VI = (48V)(5A) = 240W \text{ mínimo}$$

El transistor comercial que se le acerca mas a esta característica, es el transistor Darlington MJ11033, el cual tiene una ganancia de corriente mínima de 400 .disipa una potencia de 300 Watts y tiene un voltaje de encendido entre su base y emisor de 3V . Considerando un voltaje de 24V y que debe de conducir una corriente de 5A, la resistencia en su base deberá de ser de

$$I_C = \beta \frac{(V_{\text{APLICADO}} - V_{BE})}{R} \Rightarrow R = \beta \frac{(V_{\text{APLICADO}} - V_{BE})}{I_C} = (400) \frac{(24V - 3V)}{5A} = 1680\Omega \approx 1500\Omega$$

La potencia que deberá disipar esta resistencia será máxima cuando se esté usando los voltajes mas altos y cuando no haya consumo de energía externo a la fuente, estando dada por

$$P_{\text{MAX}} = \frac{(V_{\text{MAX}} - V_{BE})^2}{R} = \frac{(71.276V - 3V)^2}{1500\Omega} = 3.108W \approx 5W$$

En cuanto al transistor que corta al transistor de potencia, deberá conducir una corriente máxima de

$$I = \frac{V}{R} = \frac{71.276V}{1500\Omega} \approx 47.517 \times 10^{-3} A$$

para ello se elige al transistor 2N5400 el cual pide una corriente de base del 10% de su corriente de colector para asegurar su saturación.

Considerando una resistencia de 1Ω para tener una caída de tensión suficiente para realizar divisores de tensión para controlar el encendido del transistor que iniciará el proceso de corte del transistor de potencia, esta caída de tensión deberá de ser suficiente para encender un transistor de pequeña señal, que a su vez suministrará una corriente de 4.7mA al transistor que corta al transistor de potencia; ese transistor de pequeña señal será el 2N4410. Para el caso de una circulación de corriente de 1A por la resistencia, se requiere una resistencia de base para ese transistor de

$$I_C = \beta \frac{(V_R - V_{BE})}{R} \Rightarrow R = \beta \frac{(V_R - V_{BE})}{I_C} = 60 \frac{(1V - 0.8V)}{4.7 \times 10^{-3} A} = 2553.191\Omega \approx 2.2K\Omega$$

Uno de nuestros objetivos es que el periodo de caída de tensión se inicie cuando la corriente alcance un nivel predeterminado; en ese nivel se enciende el transistor y se inicia la caída de tensión; por lo que aún para obtener un nivel de corriente de 1A se requiere un divisor de tensión para que inicie su regulación aproximada mente cuando se alcance esa corriente y no antes, las resistencias divisoras considerando que el transistor que las selecciona es el 2N4410 son recordando que el transistor sensor tiene un voltaje de encendido de 0.8V y un voltaje de saturación de 0.2V

$$V = R_{DIV} \left(\frac{V_R - V_{SAT}}{R + R_{DIV}} \right) \Rightarrow R_{DIV} = \frac{RV}{V_R - V_{SAT} - V} = \frac{(0.8V)(2200\Omega)}{V_R - 0.2V - 0.8V} = \frac{1760V\Omega}{V_R - 1V}$$

Para 1A agregando el transistor de selección, la resistencia deberá de irse a infinito

Para 2A

$$R_{DIV} = \frac{1760V\Omega}{2V - 1V} = 1760\Omega$$

Para 3A

$$R_{DIV} = \frac{1760V\Omega}{3V - 1V} = 880\Omega$$

Para 4A

$$R_{DIV} = \frac{1760V\Omega}{4V - 1V} = 586.667\Omega$$

Para 5A

$$R_{DIV} = \frac{1760V\Omega}{5V - 1V} = 440\Omega$$

La resistencia divisora deberá conducir una corriente máxima de

$$I = \frac{V_R - V_{SAT}}{R + R_{DIV}} = \frac{5V - 0.2V}{2200\Omega + 440\Omega} = 1.818 \times 10^{-3} A$$

Por lo que la resistencia en su base deberá ser

$$I = 10 \left(\frac{V_R - V_{BE}}{R_B} \right) \Rightarrow R_B = 10 \left(\frac{5V - 0.8V}{1.818 \times 10^{-3} A} \right) = 23102.31\Omega \cong 22K\Omega$$

Dicha resistencia deberá ser puesta a tierra para cortar al transistor, para ello se usa otro transistor 2N4410; considerando que dicho transistor estará manejado directamente por un buffer COMAS y conducirá una corriente máxima de

$$I_{MAX} = \frac{V_{MAX} - V_{SAT}}{R} = \frac{71.276V - 0.2V}{22000\Omega} = 3.23 \times 10^{-3} A$$

Por lo que deberá tener una resistencia de base considerando que el buffer puede suministrar un voltaje alto mínimo de 4.3V contra una alimentación de 5V de

$$I_{MAX} = 10 \left(\frac{V_{CMOS} - V_{BE}}{R} \right) \Rightarrow R = 10 \left(\frac{V_{CMOS} - V_{BE}}{I_{MAX}} \right) = 10 \left(\frac{4.3V - 0.8V}{3.23 \times 10^{-3} A} \right) = 10835.91 \cong 10K\Omega$$

En cuanto al voltaje que se obtiene en el LM317 esta dado por

$$V_{OUT} = V_{REF} \left(1 + \frac{R2}{R1} \right) + I_{ADJ} R2$$

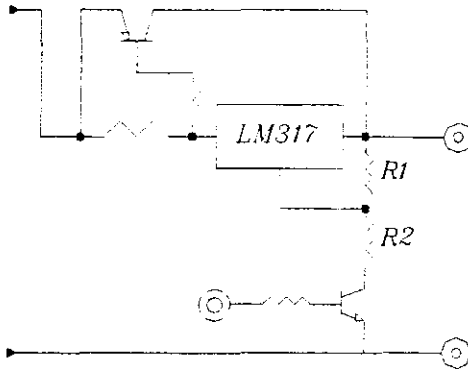


FIGURA III.1-c.- REGULADOR DE VOLTAJE

donde

V_{REF} = Voltaje de referencia interna (1.25V)

I_{ADJ} = Corriente de ajuste (50-100 μ A)

$R1$ = Resistencia de referencia

$R2$ = Resistencia de ajuste

despejando $R2$ considerando una $R1 = 330\Omega$ se tiene

$$V_{OUT} = V_{REF} \left(1 + \frac{R2}{R1} \right) + I_{ADJ} R2 \Rightarrow V_{OUT} - V_{REF} = V_{REF} \frac{R2}{R1} + I_{ADJ} R2$$

$$R2 = \frac{V_{OUT} - V_{REF}}{\frac{V_{REF}}{R1} + I_{ADJ}} = \frac{V_{OUT} - 1.25V}{\frac{1.25V}{330\Omega} + 100 \times 10^{-6} A} = \frac{V_{OUT} - 1.25V}{3.8888 \times 10^{-3} A}$$

Para obtener un voltaje de 20V, es necesaria una $R2$ de

$$R2 = \frac{V_{OUT} - 1.25V}{3.8888 \times 10^{-3} A} = \frac{20V - 1.25V}{3.8888 \times 10^{-3} A} = 4822.53\Omega$$

Para obtener un voltaje de 30V, es necesaria una $R2$ de

$$R2 = \frac{V_{OUT} - 1.25V}{3.8888 \times 10^{-3} A} = \frac{30V - 1.25V}{3.8888 \times 10^{-3} A} = 7394.55\Omega$$

Para obtener un voltaje de 40V

$$R2 = \frac{V_{OUT} - 1.25V}{3.8888 \times 10^{-3} A} = \frac{40V - 1.25V}{3.8888 \times 10^{-3} A} = 9966.56\Omega$$

Para un voltaje de 50V

$$R2 = \frac{V_{OUT} - 1.25V}{3.8888 \times 10^{-3} A} = \frac{50V - 1.25V}{3.8888 \times 10^{-3} A} = 12538.58\Omega$$

La corriente que circulará por $R2$ en los diferentes niveles de voltaje despreciando la corriente de ajuste esta dada para 20V

$$I_{R2} = \frac{20V}{330\Omega + 4822.53\Omega} = 3.881 \times 10^{-3} A$$

Para 30V

$$I_{R2} = \frac{30V}{330\Omega + 7394.55\Omega} = 3.883 \times 10^{-3} A$$

Para 40V

$$I_{R2} = \frac{40V}{330\Omega + 9966.56\Omega} = 3.884 \times 10^{-3} A$$

Para 50V

$$I_{R2} = \frac{50V}{330\Omega + 12538.58\Omega} = 3.885 \times 10^{-3} A$$

De lo anterior se tiene que la potencia que disipará el resistor de mayor valor será de

$$P_{R2} = I_{R2}^2 R2 = (3.885 \times 10^{-3} A)^2 (12538.58\Omega) = 0.1892W$$

de lo anterior se deduce que basta un potenciómetro tipo preset para servir de ajuste, ya que el fabricante asegura una disipación de potencia de .25 Watts a una temperatura ambiente de 40°C.

Los anteriores potenciómetros serán elegidos a través de un transistor de pequeña señal el cual deberá soportar un voltaje de 71.276V entre su colector y emisor por un instante (cuando se esté cambiando de parámetros y se haya estado usando los voltajes mayores en el proceso), el transistor que mas se acerca a esta característica es el 2N4410 de motorola; el fabricante recomienda una corriente en la base del 10% de la corriente en el colector para un aseguramiento de saturación además de que su voltaje entre base y emisor es de 0.85V

$$I_B = \frac{I_C}{10} = \frac{3.885 \times 10^{-3} A}{10} = 388.5 \times 10^{-6} A$$

El microcontrolador asegura un voltaje alto mínimo de 4.3V contra 5V de alimentación por lo que para obtener la anterior corriente de base en el transistor se requiere una resistencia entre el integrado y el transistor de

$$I = \frac{V - V_{BE}}{R} \Rightarrow R = \frac{V - V_{BE}}{I} = \frac{4.3V - 0.85V}{388.5 \times 10^{-6} A} = 8880.31\Omega \cong 8.2K\Omega$$

Considerando que usaremos un LM317 con empaque T, y este tiene un incremento de 50°C por cada watt a una temperatura ambiente de 25°C y que en caso crítico de cuando se exija un voltaje de 40V, se tendrá un voltaje de alimentación de 71.276V, se tendrá una caída de tensión de 31.276V; considerando que puede trabajar con un rango de temperatura de 0°C a 125°C, dejando un margen del 25% se tiene que sin disipador puede manejar 2W y alcanzar una temperatura de 100°C. Por lo anterior tenemos que el integrado deberá de conducir una corriente antes de que inicie su acción el transistor de potencia de

$$P = VI \Rightarrow I = \frac{P}{V} = \frac{2W}{31.276V} = 63.947 \times 10^{-3} A$$

Tomando en cuenta que un transistor de potencia Darlington PNP disipará una potencia de (Recuerde que los capacitores están calculados para no permitir una caída mayor a 10V del voltaje pico).

$$P = VI = (20V)(5A) = 100W$$

Se elige el transistor 2N6051 que disipa una potencia de 150W con una ganancia de corriente mínima de 750 y un voltaje de encendido de 2.8V; con este último dato se elige la resistencia que deberá ir en serie con el LM317 para tener una caída de voltaje suficiente para el encendido del transistor.

$$I = \frac{V}{R} \Rightarrow R = \frac{V}{I} = \frac{2.8V}{63.947 \times 10^{-3} A} = 43.786 \Omega \cong 47 \Omega$$

Con la aproximación de la resistencia se elige la resistencia de base del transistor de potencia la cual deberá permitir la saturación permanente del transistor, pero no deberá de aportar una corriente significativa al regulador; además de no permitir una caída de tensión mayor a 4V (considerando que el transformador de 24V deberá suministrar un voltaje mínimo de 20V) a la entrada del regulador al estar proporcionando 5A a la carga

$$I_c = \beta \left(\frac{V_2 - V_1}{R} \right) \Rightarrow R = \beta \left(\frac{V_2 - V_1}{I_c} \right) = 750 \left(\frac{4V - 2.8V}{5A} \right) = 180 \Omega$$

donde

I_c = Corriente de colector del transistor de potencia

β = Ganancia de corriente

V_2 = Caída de voltaje máximo en la resistencia serie

V_1 = Voltaje de encendido del transistor

R = Resistencia en la base del transistor

En resumen el diagrama final es el denominado "FUENTE DE PODER" el cual se agrega en una hoja aparte.

Lista final de componentes.- Basándonos en el diagrama final como referencia, se da la lista final de componentes en la siguiente tabla

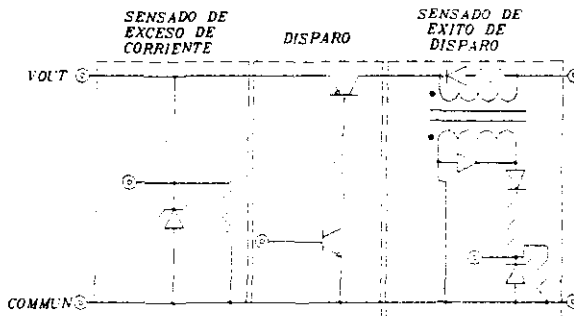
LISTA FINAL DE COMPONENTES

ELEMENTO	DESCRIPCION
T1, T2	TRANSFORMADOR MONOFASICO 115/24 VCA, 5A, CON TAP CENTRAL EN EL SECUNDARIO
Q1, Q2, Q3	TRIAC 6A, 200V, T2500B DE MOTOROLA
Q4, Q5, Q6	MANEJADOR DE TRIAC OPTOACOPLADO MOC3012
R1	RESISTENCIA 39 OHM, ¼ WATT
R2	RESISTENCIA 56 OHM ¼ WATT
R3	RESISTENCIA 82 OHM ¼ WATT
U1	PUNTE RECTIFICADOR DE ONDA COMPLETA MONOFASICO
C1	CAPACITOR ELECTROLITICO 10000 MICROFARADIOS 80 VOLT
Q7	TRANSISTOR DE POTENCIA PNP, 300 WATT, 120 VOLT MJ11033 DE MOTOROLA
R4	RESISTENCIA 1500 OHM, 5 WATT
Q8	TRANSISTOR DE PEQUEÑA SEÑAL PNP, 2N5400 DE MOTOROLA
R5, R6, R7, R8	RESISTENCIA 22000 OHM, ¼ WATT
Q9, Q10, Q11, Q12	TRANSISTOR DE PEQUEÑA SEÑAL NPN, 2N4410 DE MOTOROLA
R9	RESISTENCIA 1 OHM, 25 WATT
R10	RESISTENCIA 2200 OHM, 25 WATT
R11	RESISTENCIA 220 OHM, ¼ WATT
Q13	TRANSISTOR DE PEQUEÑA SEÑAL NPN, 2N4410 DE MOTOROLA
R12	POTENCIOMETRO TIPO PRESET, 500 OHM, ¼ WATT
R13, R14	POTENCIOMETRO TIPO PRESET, 1000 OHM, ¼ WATT
R15	POTENCIOMETRO TIPO PRESET, 5000 OHM, ¼ WATT
Q14, Q15, Q16, Q17	TRANSISTOR DE PEQUEÑA SEÑAL NPN, 2N4410 DE MOTOROLA
R16	RESISTENCIA 47 OHM, ¼ WATT
R17	RESISTENCIA 180 OHM, ¼ WATT
Q18	TRANSISTOR DE POTENCIA PNP, 150 WATT, 120 VOLTS, 2N6051 DE MOTOROLA
U2	CIRCUITO INTEGRADO REGULADOR DE VOLTAJE LM317T DE MOTOROLA
R18	POTENCIOMETRO TIPO PRESET, 5000 OHM, ¼ WATT
R19, R20	POTENCIOMETRO TIPO PRESET, 10000 OHM, ¼ WATT
R21	POTENCIOMETRO TIPO PRESET, 15000 OHM, ¼ WATT
Q19, Q20, Q21, Q22	TRANSISTOR DE PEQUEÑA SEÑAL NPN, 2N4410 DE MOTOROLA

TABLA III.1.- LISTA FINAL DE COMPONENTES DE FUENTE DE PODER

III.2.- DISPARO DE EROSION

FIGURA III.2 -
DISPARO DE
EROSION



Esta etapa esta directamente relacionada con la fuente de poder y el desplazamiento; esto es, esta alimentada de forma directa por la fuente de poder, y en esta etapa se sensa el éxito del disparo de erosión para una corriente

determinada y la caída de tensión por un acercamiento excesivo entre el electrodo y la pieza, lo que regula el desplazamiento para regular el exceso de corriente o el no éxito del disparo.

Circuito.-El circuito, aunque mas sencillo que el de fuente de poder, también esta dividido en tres etapas como la fuente de poder, las cuales son:

- a).- Sensado de exceso de corriente
- b).- Disparo de erosión
- c).- Sensado de éxito de disparo

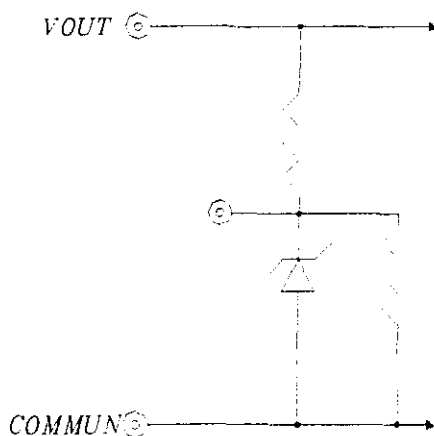


FIGURA III.2.a- SENSADO DE EXCESO DE CORRIENTE

En el sensado de exceso de corriente, se tiene un divisor de voltaje, el cual alimenta a un diodo zener, el voltaje zener se considera de 5V, considerando que el detector de la señal (buffer CMOS) consumirá 1microamper, y que el diodo zener consume 5 microamper antes de que se supere su voltaje, a la resistencia del divisor conectada al común se le dan 10mA para despreciar las anteriores corrientes y superar relativamente el ruido en el ambiente. De lo anterior, la resistencia conectada al voltaje tendrá un valor de

Para 50V

$$R = \frac{V_{OUT} - V_z}{I} = \frac{(50V - 5V)}{10 \times 10^{-3} A} = 4500\Omega \cong 4700\Omega$$

Además la resistencia al común será

$$R = \frac{V_Z}{I_R} = \frac{5V}{10 \times 10^{-3} A} = 500 \Omega \cong 470 \Omega$$

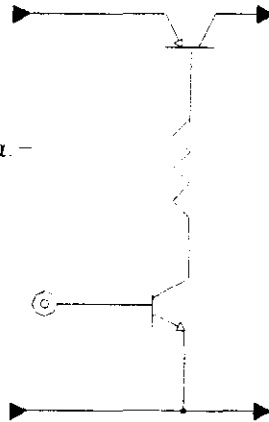
Analizando el divisor de voltaje, observamos a simple vista que este nos proporcionará un décimo del voltaje que estará sensando, esto es, para 50V nos dará 5V, para 40V nos dará 4V, para 30V nos dará 3V y para 20V nos dará 2V. Estos niveles serán leídos por una entrada analógica del microcontrolador.

En el caso de que haya un desperfecto en la fuente de poder y esto provoque una elevación del voltaje a su máximo nivel, se colocará un diodo zener para evitar que se dañe la entrada analógica que se esta usando; ya que se sigue usando como referencia el voltaje de alimentación y ello nos permite un voltaje no mayor a dicho voltaje mas 0.6 volts arriba. El diodo mas comercial para este caso sería de 5.1V, el cual en el peor de los casos disiparía una potencia de

$$P_{MAX} = \frac{(V_{MAX} - V_Z - IR)^2}{R} = \frac{(71.276V - 5.1V - [10 \times 10^{-3}] [4700])^2}{4700 \Omega} = 78.238 \times 10^{-3} WATT$$

Por lo que se usará el zener popular de 5.1V, 0.5 watt

FIGURA III.2.a. -
DISPARO DE
EROSION



En el caso del disparo, el transistor deberá conducir una corriente constante máxima de 5A, por lo que se usa el transistor 2N6668 de MOTOROLA, el cual tiene una ganancia de 1000 contra 5A y de 100 contra una corriente de 10A; el fabricante recomienda una corriente de base de 10mA para obtener una corriente de saturación I_C de 5A y una caída de tensión entre su colector y emisor V_{CE} de 2V; considerando que dicho transistor tiene un voltaje de encendido entre su base

y emisor de 2.8V y que habrá una caída de tensión de 0.2V en el transistor que manejará la señal, la resistencia de base será considerando un voltaje de 20V

$$R_B = \frac{V - V_{BE} - V_{SAT}}{I_B} = \frac{20V - 2.8V - 0.2V}{10 \times 10^{-3} A} = 1700\Omega \cong 1800\Omega$$

Dicha resistencia deberá de soportar una potencia máxima de

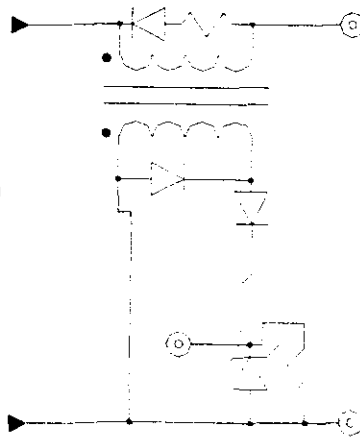
$$P_{MAX} = \frac{(V_{MAX} - V_{BE} - V_{SAT})^2}{R_B} = \frac{(50V - 2.8V - 0.2V)^2}{1800\Omega} = 1.227WATT \cong 2WATT$$

En cuanto al transistor que maneja la señal, se elige al 2N4410 de motorola, y su resistencia de base debe permitir una corriente equivalente a un décimo de la corriente de colector (10 mA) como lo recomienda el fabricante; tomando en cuenta que tiene un voltaje de encendido de 0.8V y que el voltaje suministrado por el sistema será de 4.7V mínimo.

$$R_B = \frac{V_1 - V_{ON}}{I_B} = \frac{4.7V - 0.8V}{1 \times 10^{-3} A} = 3900\Omega$$

En cuanto al sensado del éxito de disparo, se usará el principio de inducción de voltaje ante una variación en el nivel de corriente, para sensar los 5 diferentes niveles midiendo el voltaje inducido en el secundario del transformador de corriente.

FIGURA III.2.c.-
SENSADO DE EXITO
DE DISPARO



El transformador de corriente cuenta con un primario con 11 vueltas de alambre y con 3 devanados de 28 vueltas en el secundario; su núcleo tiene un radio medio de 1 cm con una sección transversal de 0.5 cm x 1 cm.

Considerando a nuestro transformador como ideal, la inductancia se deduce de la siguiente forma:

$$V = L \frac{di}{dt} = N \frac{d\phi}{dt} \Rightarrow L = N \frac{d\phi}{di}$$

donde:

L = Inductancia del conductor.

N = Numero de vueltas del conductor en su núcleo.

ϕ = Flujo magnético generado en el toroide.

Como ϕ e i varían en la misma proporción, la anterior formula nos queda

$$L = N \frac{\phi}{i}$$

El flujo magnético está dado por

$$\phi = \frac{\mu NiA}{l_c}$$

donde

μ = Permeabilidad magnética del núcleo la cual está dada por

$$\mu = \mu_0 \mu_r$$

donde

μ_0 = Permeabilidad en el vacío equivalente a $4\pi \times 10^{-7}$ Wb/A-vuelta-m

μ_r = Permeabilidad relativa del material (5000 para el hierro)

por lo que $\mu = 4\pi(10^{-7})(5000) = 2\pi(10^{-3})$ Wb/A-vuelta-m

A = Area transversal del núcleo

l_c = Longitud central del núcleo

Sustituyendo el flujo magnético en la fórmula de la inductancia, nos da

$$L = N \frac{\phi}{i} = \frac{N}{i} \left(\frac{\mu N i A}{l_c} \right) = \frac{\mu N^2 A}{l_c}$$

De lo anterior se deducen las inductancias para el primario, secundario y mutuas. Para el primario se tiene:

$$L_1 = \frac{(2\pi \times 10^{-3} \text{ Wb/A-vueltas-m})(11 \text{ vueltas})^2 (0.005\text{m})(0.01\text{m})}{2\pi \times 0.01\text{m}}$$

$$L_1 = 605 \times 10^{-6} \text{ Henry}$$

Para el secundario

$$L_2 = \frac{(2\pi \times 10^{-3} \text{ Wb/A-vueltas-m})(3(28\text{vueltas}))^2 (0.005\text{m})(0.01\text{m})}{2\pi \times 0.01\text{m}}$$

$$L_2 = 4.62 \times 10^{-3} \text{ Henry}$$

Despreciando pérdidas tenemos que la inductancia mutua esta dada por

$$M = \sqrt{L_1 L_2} = \sqrt{(605 \times 10^{-3})(4.62 \times 10^{-3})} = 1.67 \times 10^{-3} \text{ Henry}$$

Sabemos que

$$E = N \frac{d\phi}{dt}$$

para el secundario del transformador es

$$E_2 = N_2 \frac{d\phi_M}{dt} = N_2 \frac{d\phi_{12}}{dt} - N_2 \frac{d\phi_{21}}{dt} = N_2 \frac{d\phi_{12}}{dt} - N_2 \frac{d(k\phi_2)}{dt}$$

donde

E_2 = Voltaje inducido en el secundario del transformador

ϕ_M = Flujo mutuo

ϕ_{12} = Flujo inducido por el devanado primario

ϕ_{21} = Flujo inducido por el devanado secundario

k = Coeficiente de acoplamiento(en nuestro caso es 1 por considerar a nuestro transformador ideal)

$\varphi_2 =$ Flujo magnético producido por el devanado secundario.

Recordando que

$$V = L \frac{di}{dt} = N \frac{d\varphi}{dt} \quad \text{y} \quad E = M \frac{di_1}{dt} = N_2 \frac{d\varphi_{12}}{dt}$$

Sustituyéndolas en el voltaje inducido en el secundario queda

$$E_2 = M \frac{di_1}{dt} - L_2 \frac{di_2}{dt}$$

En vista que la carga en el secundario es resistivo consideramos para fines prácticos

$$i_2 = \frac{E_2}{R_2}$$

$$E_2 = M \frac{di_1}{dt} - \frac{L_2}{R_2} \frac{dE_2}{dt} \Rightarrow E_2 + \frac{L_2}{R_2} \frac{dE_2}{dt} = M \frac{di_1}{dt}$$

Considerando que el sensado de la corriente se deberá hacer en el corte de la corriente por tener las condiciones mas estables, y recordando que cuando se tiene una corriente inicial y se abre la fuente de corriente dejándose circular libremente por la resistencia, esta continúa a razón de:

$$i = -I_0 e^{-Rt/L}$$

donde

$I_0 =$ Corriente que circula antes del cambio

$i =$ Corriente que circula después del cambio

$R =$ Resistencia del circuito (Prácticamente la agregada en serie con el diodo)

$t =$ Tiempo en que se tomará la lectura del voltaje inducido

Sustituyendo esta ecuación en la anterior, tenemos

$$E_2 + \frac{L_2}{R_2} \frac{dE_2}{dt} = -M \frac{dI_0 e^{-\frac{Rt}{L}}}{dt}$$

considerando que

$$d(e^v) = e^v dv \quad \text{e } I_0 \text{ constante}$$

sustituyendo en la ecuación anterior tenemos

$$E_2 + \frac{L_2}{R_2} \frac{dE_2}{dt} = -MI_0 \left[\left(e^{-R_1 t / L_1} \right) \left(\frac{R_1}{L_1} \right) \right] = -\frac{R_1}{L_1} MI_0 e^{-R_1 t / L_1}$$

Para resolver la anterior ecuación diferencial, observamos que es una ecuación lineal de primer orden de la forma

$$\frac{dy}{dx} + py = Q$$

en la cual para resolverse se iguala

$$y = uz$$

en donde las dos literales son ecuaciones independientes. Además debemos considerar que:

$$\frac{dy}{dx} = \frac{duz}{dx} = u \frac{dz}{dx} + z \frac{du}{dx}$$

sustituyendo en la primera ecuación del grupo y agrupando las operaciones con z tenemos

$$u \frac{dz}{dx} + z \left(\frac{du}{dx} + pu \right) = Q$$

se hace

$$\frac{du}{dx} + pu = 0 \quad \text{y se resuelve u}$$

Con la consideración anterior nos queda a resolver

$$u \frac{dz}{dx} = Q$$

Para tener una ecuación de igual formato, nuestra ecuación es multiplicada por

$\frac{R_2}{L_2}$ obteniendo

$$\frac{dE_2}{dt} + \frac{R_2}{L_2} E_2 = -\frac{R_2 R_1}{L_2 L_1} M I_0 e^{-\frac{R_1}{L_1} t}$$

Cambiamos literales para relacionarla con el modelo tenemos

$$\frac{dy}{dx} + \frac{R_2}{L_2} y = -\frac{R_1 R_2}{L_1 L_2} M I_0 e^{-\frac{R_1}{L_1} x}$$

Sustituyendo con $y = uz$

$$u \frac{dz}{dx} + z \frac{du}{dx} + \frac{R_2}{L_2} uz = -M \frac{R_1 R_2}{L_1 L_2} I_0 e^{-\frac{R_1}{L_1} x}$$

Haciendo

$$z \left(\frac{du}{dx} + \frac{R_2}{L_2} u \right) = 0 \Rightarrow \frac{du}{dx} = -\frac{R_2}{L_2} u \Rightarrow \frac{du}{u} = -\frac{R_2}{L_2} dx$$

$$\ln u = -\frac{R_2}{L_2} x \Rightarrow u = e^{-\frac{R_2}{L_2} x}$$

Ya conocemos u y considerando que la ecuación igualada a cero desaparece nos queda

$$e^{-\frac{R_2}{L_2} x} \frac{dz}{dx} = -M \frac{R_1 R_2}{L_1 L_2} I_0 e^{-\frac{R_1}{L_1} x} \Rightarrow \frac{dz}{dx} = -M \frac{R_1 R_2}{L_1 L_2} I_0 e^{\left(\frac{R_2}{L_2} - \frac{R_1}{L_1}\right) x}$$

$$z = \frac{-M \frac{R_1 R_2}{L_1 L_2} I_0 e^{-\left(\frac{R_2}{L_2} - \frac{R_1}{L_1}\right) x}}{\left(\frac{R_2}{L_2} - \frac{R_1}{L_1}\right)} + C$$

Regresando a $y = uz$

$$y = -\frac{M \frac{R_1 R_2}{L_1 L_2} I_0 e^{\left(\frac{R_2 - R_1}{L_2 - L_1}\right)x - \frac{R_2}{L_2} x}}{\left(\frac{R_2}{L_2} - \frac{R_1}{L_1}\right)} + C e^{-\frac{R_2}{L_2} x}$$

Considerando las condiciones iniciales igual a cero (cuando la corriente es constante, el voltaje inducido es cero) nos queda

$$y = -\frac{M \frac{R_1 R_2}{L_1 L_2} I_0 e^{\left(\frac{R_2 - R_1}{L_2 - L_1}\right)x - \frac{R_2}{L_2} x}}{\left(\frac{R_2}{L_2} - \frac{R_1}{L_1}\right)}$$

regresando a nuestras literales

$$E_2 = -\frac{M \frac{R_1 R_2}{L_1 L_2} I_0 e^{\left(\frac{R_2 - R_1}{L_2 - L_1}\right)x - \frac{R_2}{L_2} x}}{\left(\frac{R_2}{L_2} - \frac{R_1}{L_1}\right)}$$

Considerando que el tiempo que transcurrirá en llevarse a cabo la lectura del voltaje inducido en el secundario es el de un periodo para configurar la entrada y el tiempo de muestreo.

El oscilador que se usará en el microcontrolador será de 4MHz; por lo que cada instrucción se llevará 1 μ s y el tiempo de muestreo será de 2 μ s; por lo que sumados nos da un gran total de 3 microsegundos; lo cual nos reduce a

$$E_2 = -\frac{M \frac{R_1 R_2}{L_1 L_2} I_0}{\left(\frac{R_2}{L_2} - \frac{R_1}{L_1}\right)}$$

Despejando R_2 tenemos:

$$E_2 \left(\frac{R_2}{L_2} - \frac{R_1}{L_1}\right) = -M \frac{R_1 R_2}{L_1 L_2} I_0 \Rightarrow E_2 \frac{R_2}{L_2} - E_2 \frac{R_1}{L_1} = -R_2 \left(\frac{MR_1}{L_1 L_2}\right) I_0$$

$$R_2 \left(\frac{E_2}{L_2} + \frac{MR_1}{L_1 L_2} I_0 \right) = E_2 \frac{R_1}{L_1} \Rightarrow R_2 = \frac{E_2 \frac{R_1}{L_1}}{\frac{E_2}{L_2} + \frac{MR_1}{L_2 L_1} I_0}$$

Considerando un voltaje inducido máximo en el primario de 50V, para evitar en lo posible el que se exceda el voltaje inverso del transistor de disparo y éste sea dañado; para ello, se coloca una resistencia en serie con el diodo de bombeo para que no haya una gran inducción en el secundario pero con el cuidado de que no sea muy grande y permite que se incremente demasiado el voltaje en el primario. Como sabemos, la corriente inicial máxima será de 5A, y para tener una caída de 50V es necesaria una resistencia de 10Ω quedando un margen de 30V para una eventual sobrecarga. Sustituyendo valores:

$$R_2 = \frac{50 \left(\frac{10}{605 \times 10^{-6}} \right)}{\frac{50}{4.62 \times 10^{-3}} + \frac{(1.67 \times 10^{-3})(10)(5)}{(605 \times 10^{-6})(4.62 \times 10^{-3})}} = \frac{8.2645 \times 10^5}{10622.5108 + 29873.707} = 20.3076 \Omega$$

La cual estará compuesta por una resistencia de 18Ω y una de 1.8 Ω las cuales forman un divisor de voltaje los cuales dan diferentes voltajes para las diferentes corrientes predeterminadas sin importar el voltaje que se está usando; en general tenemos:

$$E_2 = \frac{-M \frac{R_1 R_2}{L_1 L_2} I_0}{\frac{R_2}{L_2} - \frac{R_1}{L_1}} = \frac{-\left(1.67 \times 10^{-3}\right)(19.8)(10)}{\left(4.62 \times 10^{-3}\right)\left(605 \times 10^{-6}\right)} I_0 = \frac{-118299.882 I_0}{-12459.6615} = 9.4946 I_0 V$$

para $I_0 = 1A$

$$E_2 = (9.4946)(1) = 9.4946V$$

para $I_0 = 2A$

$$E_2 = (9.4946)(2) = 18.989V$$

para $I_0 = 3A$

$$E_2 = (9.4946)(3) = 28.4838V$$

para $I_0 = 4A$

$$E_2 = (9.4946)(4) = 37.9784V$$

para $I_0 = 5A$

$$E_2 = (9.4946)(5) = 47.473V$$

El diagrama final de la etapa de disparo es el denominado "Disparo de Erosión"; con los siguientes elementos:

LISTA FINAL DE COMPONENTES	
ELEMENTO	DESCRIPCION
R1	RESISTENCIA 4700 OHM, ¼ WATT
Z1	DIODO ZENER 5.1V, ¼ WATT
R2	RESISTENCIA 470 OHM, ¼ WATT
Q1	TRANSISTOR DE POTENCIA PNP, 65 WATTS, 80V, 2N6668 DE MOTOROLA
R3	RESISTENCIA 1800 OHM, 2 WATT
Q2	TRANSISTOR DE PEQUEÑA SEÑAL NPN, 2N4410 DE MOTOROLA
R4	RESISTENCIA 3900 OHMS, ¼ WATT
D1	DIODO RECTIFICADOR, 1A, 50V
R5	RESISTENCIA 10 OHM, ¼ WATT
T1	TRANSFORMADOR TOROIDE CON 1 DEVANADO PRIMARIO Y 3 SECUNDARIOS
D2	DIODO RECTIFICADOR, 1A, 50V
D3	DIODO RECTIFICADOR, 1A, 50V
R6	RESISTENCIA 18 OHM, ¼ WATT
Z2	DIODO ZENER 5.1V, ¼ WATT
R7	RESISTENCIA 1.8 OHMS, ¼ WATT

TABLA III.2.- LISTA FINAL DE COMPONENTES DE DISPARO DE EROSION

III.3.- LIMPIEZA

El control de la velocidad del motor que mueve a la bomba que impulsa al dieléctrico para llevar a cabo la limpieza, está dado por el integrado LM350 el cual nos proporciona 3A de corriente antes de que entre su protección de sobrecarga. La limpieza se dará en 3 etapas y corte de limpieza. En le caso de que se requiera la velocidad máxima, se incrementará la velocidad por etapas asta alcanzar el nivel deseado.

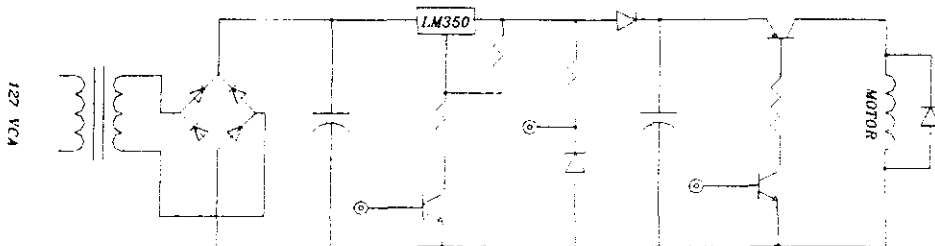


FIGURA III 3 - CONTROL DE VELOCIDAD DEL MOTOR DE LA BOMBA DE LIMPIEZA

CIRCUITO. - El circuito que regula la velocidad del motor de la bomba de limpieza, es una fuente de poder en su mas sencilla expresión, considerando que se estarás alimentando una inductancia.

El transformador de alimentación será de 127 VCA/12Vca, 3A; el cual tiene a su salida su respectivo puente rectificador de onda completa monofásico; el capacitor que filtra los picos, deberá soportar un voltaje máximo de

$$V_C = \sqrt{2}(V_{NOM}) = \sqrt{2}(12) = 16.97V$$

como estaremos alimentando una inductancia, podemos tener una caída de voltaje de hasta 10 para mantener un 50% del voltaje máximo; sin tener variaciones perceptibles en la corriente del motor.

$$V_{MIN} = 6V = 16.97 \text{ sen } \varphi \Rightarrow \varphi = \text{sen}^{-1} \frac{6}{16.97} = \text{sen}^{-1} 0.353 = 20.7^\circ$$

de donde el tiempo en que el capacitor entrega energía es de

$$\frac{20.7}{90} = \frac{x}{33.333 \times 10^3} \Rightarrow x = \frac{(33.333 \times 10^3)(20.7)}{90} = 7.66 \times 10^{-3} \text{ seg}$$

además sabemos que

$$V = \frac{It}{C}$$

de donde despejamos y obtenemos la capacitancia

$$C = \frac{It}{V} = \frac{(3)(7.66 \times 10^{-3})}{10} = 2.298 \times 10^{-3} F \approx 2200 \mu F$$

Los transistores que manejarán la señal de los niveles de voltaje continúan siendo 2N4410 de MOTOROLA.

El voltaje que se obtiene en el LM350, al igual que el LM317 está dado por

$$V_{OUT} = V_{REF} \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) + I_{ADJ} R_2$$

donde

V_{REF} = Voltaje de referencia (1.25V)

I_{ADJ} = Corriente de ajuste (50 - 100 μ A)

R_1 = Resistencia de referencia (330 Ω)

R_2 = Resistencia de ajuste

De la formula se despeja R_2 , obteniendo en forma general

$$V_{OUT} = V_{REF} \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) + I_{ADJ} R_2 \Rightarrow V_{OUT} - V_{REF} = V_{REF} \frac{R_2}{R_1} + I_{ADJ} R_2 \Rightarrow R_2 = \frac{V_{OUT} - V_{REF}}{\frac{V_{REF}}{R_1} + I_{ADJ}}$$

$$R_2 = \frac{V_{OUT} - 1.25}{\frac{1.25}{330} + 100 \times 10^{-6}} = \frac{V_{OUT} - 1.25}{3.8888 \times 10^{-3}}$$

Para un voltaje de 6V ($\frac{1}{2}$ de la velocidad máxima)

$$R_2 = \frac{V_{OUT} - 1.25}{3.8888 \times 10^{-3}} = \frac{6 - 1.25}{3.888 \times 10^{-3}} = 1224.23 \Omega$$

Para un voltaje de 9V ($\frac{3}{4}$ de la velocidad máxima)

$$R_2 = \frac{V_{OUT} - 1.25}{3.8888 \times 10^{-3}} = \frac{9 - 1.25}{3.888 \times 10^{-3}} = 1993.31 \Omega$$

Para un voltaje de 12V (la máxima velocidad que se alcanza)

$$R_2 = \frac{V_{OUT} - 1.25}{3.8888 \times 10^{-3}} = \frac{12 - 1.25}{3.888 \times 10^{-3}} = 2764.35 \Omega$$

La corriente que circulará por R_2 será de

$$I_{R_2} = \frac{12}{330 + 2764.35} = 3.878 \times 10^{-3} A$$

Considerando la recomendación del fabricante de inyectar un 10% de la corriente de saturación del colector, se busca una corriente de $0.387 \times 10^{-3} A$ de corriente en la base del transistor 2N4400 para asegurar su saturación; por lo que la resistencia que se le agrega a su base es de

$$I_B = \frac{V - V_{BE}}{R_B} \Rightarrow R_B = \frac{V - V_{BE}}{I_B} = \frac{5 - .75}{0.3878 \times 10^{-3}} = 10959.25 \Omega \approx 10K\Omega$$

El diodo por supuesto, es de 3A, y el transistor de potencia que corta la corriente al motor es el 2N6040, el cual tiene una ganancia de corriente mínima de 1000; pero se inyecta una corriente en su base de 12 mA para asegurar su saturación (es lo que recomienda el fabricante para 3A de corriente en su colector) cuando el motor está trabajando. El transistor que maneja la corriente de base será el 2N4400, el cual tendrá una corriente de base de 1mA para asegurar su saturación.

La resistencia que el 2N6040 tendrá en su base para asegurar su saturación con 3A de corriente cuando haya 12V será de

$$I_B = \frac{V - V_{EB} - V_{CE}}{R_B} \Rightarrow R_B = \frac{V - V_{BE} - V_{CE}}{I_B} = \frac{12 - 4.5 - .75}{12 \times 10^{-3}} = 562.5 \Omega$$

la resistencia que va en la base del 2N4400 deberá ser de

$$I_B = \frac{V - V_{BE}}{R_B} \Rightarrow R_B = \frac{V - V_{BE}}{I_B} = \frac{5 - 0.95}{1.2 \times 10^{-3}} = 3375 \Omega \approx 3.3K\Omega$$

En cuanto al diodo zener, éste deberá soportar una corriente de 20mA, que es la corriente en la que inicia su regulación para el extremo de tener un voltaje de 16.97(cuando se está cargando el capacitor de arranque); para ello es necesaria una resistencia en serie de

$$I_Z = \frac{V - V_Z}{R_Z} \Rightarrow R_Z = \frac{V - V_Z}{I_Z} = \frac{16.97 - 5.1}{20 \times 10^{-3}} = 593.5 \Omega \approx 560 \Omega$$

En cuanto al capacitor, deberá poder suministrar una cantidad de energía de 0.1 Joule para romper la inercia de arranque del motor; esta energía tendrá una diferencia de potencial de 10V (arrancará siempre con 6V y se incrementa en múltiplos de 3V).

Sabemos que se realiza una acumulación de energía en un capacitor al incrementarse su potencial; es decir:

$$W = C \int V \Rightarrow W = \frac{1}{2} CV^2 \Rightarrow C = \frac{2W}{V^2} = \frac{2(0.1)}{(10)^2} = 2000 \mu F \approx 2200 \mu F$$

El diagrama final es el denominado LIMPIEZA; siendo los siguientes elementos los que lo integran:

LISTA FINAL DE COMPONENTES	
ELEMENTO	DESCRIPCION
T1	TRANSFORMADOR PARA FUENTE DE PODER 127/12VCA, 3A
U1	PUENTE RECTIFICADOR DE ONDA COMPLETA MONOFASICO, 3A
C1, C2	CAPACITOR ELECTROLITICO, 2200µF
U2	REGULADOR DE VOLTAJE POSITIVO, 3A, LM350 DE MOTOROLA
R1	RESISTENCIA 330 OHM, ¼ WATT
R2, R3, R4	POTENCIOMETRO TIPO PRESET 5000 OHM
Q1, Q2, Q3	TRANSISTOR DE PEQUEÑA SEÑAL 2N4400 DE MOTOROLA
R5, R6, R7	RESISTENCIA 10000 OHM, ¼ WATT
R9, R10	RESISTENCIA 560 OHM, ¼ WATT
D1, D2	DIODO RECTIFICADOR 3A, 50V
Q4	TRANSISTOR PNP, 2N6040 DE MOTOROLA
R11	RESISTENCIA 3300 OHM, ¼ WATT

TABLA III.3.- LISTA FINAL DE COMPONENTES DE LIMPIEZA

III.4.- DESPLAZAMIENTO DEL ELECTRODO

Es esta la etapa mas sencilla, ya que sólo es el medio por el cual el control central actúa sobre el motor que mueve al electrodo.

CIRCUITO.- Este consta sólo de un transformador para fuente de poder 127/18V, 300mA, un puente rectificador, un regulador de voltaje a 12V LM7812, los transistores de señal y sus diodos de bombeo. El transistor conducirá

$$I_C = \frac{V - V_{CE}}{R_C} = \frac{12 - 0.75}{75} = 150 \times 10^{-3} A$$

donde

I_C = Corriente que consume el motor por devanado

V = Voltaje que entrega la fuente (12V)

V_{CE} = Caída máxima de voltaje en saturación entre su colector y emisor

R_C = Resistencia del devanado del motor a pasos

La corriente que deberá circular por la base del transistor es del 10% de la del colector como recomienda el fabricante para asegurar su saturación; esto es, 15mA. De ello se deduce la resistencia que llevará la base.

$$R = \frac{V - V_{BE}}{I_B} = \frac{5 - .75}{15 \times 10^{-3}} = 283.333 \approx 330 \Omega$$

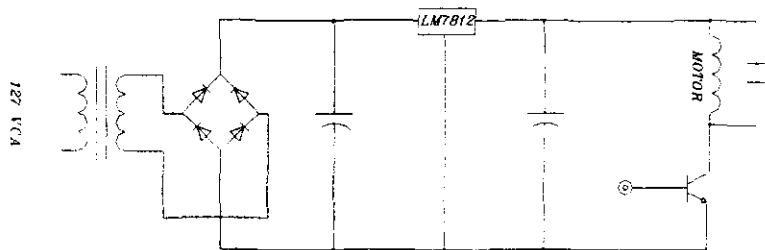


FIGURA III.4.- DESPLAZAMIENTO DEL ELECTRODO

El transistor que cumple con estos requisitos es el 2N4400. El diodo de bombeo es mínimo(1A, 50V).

En cuanto a los capacitores, el voltaje que deberá soportar el primero es de

$$V_{MAX} = \sqrt{2}V_{RMS} = \sqrt{2}(18) = 25.45V$$

el voltaje mínimo que debe tener a la entrada el regulador de voltaje es de 14.5V, para tener una regulación apropiada; el tiempo en que el capacitor entrega energía es de.

$$14.5 = 25.45 \text{ sen } \varphi \Rightarrow \varphi = \text{sen}^{-1} \frac{14.5}{25.45} = 34.72^\circ$$

$$\frac{34.72}{90} = \frac{x}{33.33 \times 10^{-3}} \Rightarrow x = \frac{(33.33 \times 10^{-3})(34.72)}{90} = 12.86 \times 10^{-3} \text{ seg}$$

de donde se deduce la capacitancia

$$C = \frac{It}{V} = \frac{(300 \times 10^{-3})(12.86 \times 10^{-3})}{10.95} = 352 \times 10^{-3} F \approx 470 \mu F, 35V$$

En cuanto al segundo capacitor, este debe ser de .1 μ F como lo recomienda el fabricante para proteger al integrado de transitorios.

El diagrama final es denominado "DESPLAZAMIENTO DEL ELECTRODO" el cual consta de los siguientes elementos:

LISTA FINAL DE COMPONENTES	
ELEMENTO	DESCRIPCION
T1	TRANSFORMADOR PARA FUENTE DE PODER 127/18VCA, 300A
U1	PUENTE RECTIFICADOR DE ONDA COMPLETA MONOFASICO, 1A
C1	CAPACITOR ELECTROLITICO, 470 μ F
U2	REGULADOR DE VOLTAJE POSITIVO LM7812 DE MOTOROLA
C2	CAPACITOR TANTALIO 0.1 μ F
Q1, Q2, Q3, Q4	TRANSISTOR DE PEQUEÑA SEÑAL 2N4400 DE MOTOROLA
R1, R2, R3, R4	RESISTENCIA 330 OHM, 1/4 WATT
D1, D2, D3, D4	DIODO RECTIFICADOR

TABLA III.4.- LISTA FINAL DEL DESPLAZAMIENTO DEL ELECTRODO

III.5.- INTERFACE USUARIO MAQUINA

Esta etapa permite la comunicación del personal operario con el procesador central.

CIRCUITO.- Como se observa, hay una independencia absoluta entre el teclado, el display y los indicadores; además, como se observa, no tiene su propia fuente de poder, sino que depende de la del procesador central.

En el diagrama del teclado se observa la pequeña matriz de 4 teclas; se ve su interconexión entre ellas (solo la alimentación) y la distribución de ellas por su función encerrada entre líneas punteadas. La resistencia que asegura el nivel bajo, no deberá tener una caída mayor a .1V (El micro acepta una caída de .2V), contra 5 μ A que consume el microcontrolador.

$$R = \frac{0.1}{5 \times 10^{-6}} = 20000\Omega \approx 18000\Omega$$

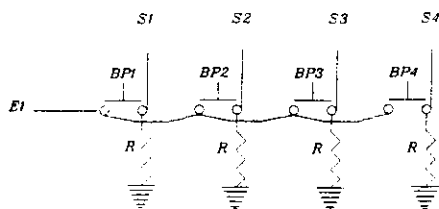
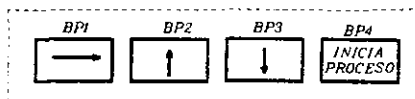


DIAGRAMA ELECTRICO



DISTRIBUCION

FIGURA III.5 - TECLADO

En cuanto al display, éste interactúa con el procesador central, el cual incluso le proporciona la alimentación; los indicadores adicionales sólo reciben señal. En cuanto al potenciómetro del display, éste será tipo preset de 15K Ω (el fabricante recomienda uno entre 10 y 20 K Ω).

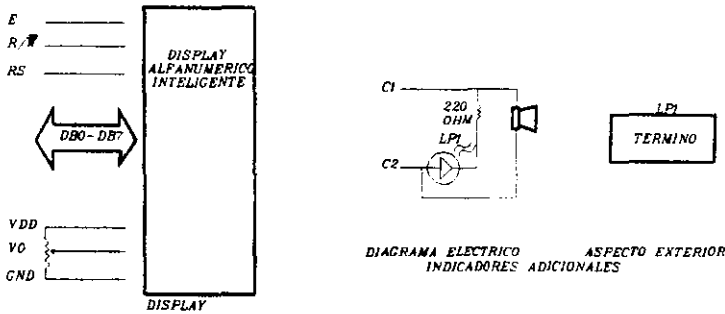


FIGURA III.6.- DISPLAY ALFANUMERICO E INDICADORES ADICIONALES

Como se observa en la parte de indicadores adicionales, el indicador luminoso tiene una resistencia en serie para limitar la corriente protegiéndolo y evitando consumir el voltaje que le corresponde a la alarma sonora en paralelo. Estos indicadores adicionales tendrán como fuente luminosa diodos de alto brillo; y como fuente sonora un vibrador de alta impedancia.

No hay un diagrama de referencia ya que los esquemáticos son bastante explicativos.

LISTA FINAL DE COMPONENTES

ELEMENTO	DESCRIPCION
BP1, BP2, BP3, BP4	BOTÓN PULSADOR NEGRO, CON CONTACTO NORMALMENTE ABIERTO
R1	RESISTENCIA 18000 OHMS, ¼ WATT
R2	POTENCIOMETRO 15000 OHMS, TIPO PRESET
LP1	LED DE ALTO BRILLO
D1	DIODO RECTIFICADOR 1A, 50V
BUZ1	CHICHARRA MINIATURA 12V

TABLA III.5.- LISTA FINAL DE INTERFACE USUARIO-MAQUINA

III.6.- CONTROL CENTRAL

El sistema del control central es relativamente sencillo, el cual consta solo del procesador, el multiplexor, los buffers de entrada los latches de salida, los respectivos amplificadores de corriente para los circuitos periféricos que no los tengan, y su fuente propia de corriente.

CIRCUITO.- El procesador central controla directamente al display, usando con puerto paralelo al puerto rd y como puerto de control los 4 últimos bits del puerto rc; los primeros 4 bits del puerto rc son usados para manejar el multiplexaje para la lectura y escritura en los periféricos. Por último tenemos que los primeros 4 bits del puerto rb son usados para recibir la señal multiplexada desde los periféricos; y los

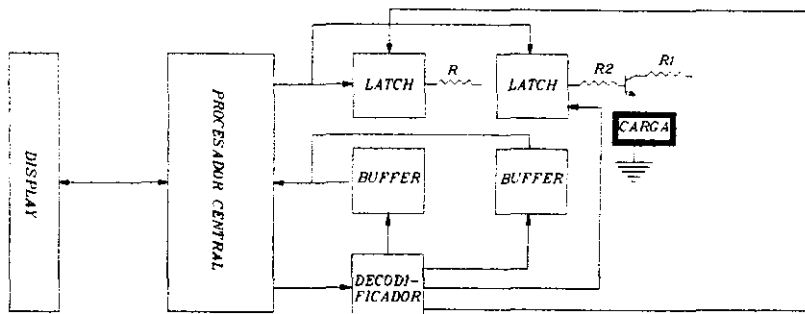


FIGURA 111.7 - CONTROL CENTRAL

últimos 4 bits envían las señales a los periféricos. La fuente de poder es la mas simple en su género (solo consta de un transformador, un puente rectificador de onda completa, dos capacitores de filtro de picos y un integrado positivo de 5 V de salida LM7805); los amplificadores de corriente solo constan de un pequeño transistor, una resistencia en su base, en ocasiones solo se limita la corriente al periférico con una resistencia en serie con la salida del latch hacia dicho periféricos, aunque en ocasiones no es necesario como se ve en el diagrama.

El criterio para elegir los elementos discretos, es el siguiente: los optoacopladores moc de la serie 3010 que forman parte de la fuente de poder, necesitan en su LED 15mA para el disparo de su triac teniendo una caída de 1.15 V dicho LED; la mayor corriente que puede circular por el LED del optoacoplador es de 60mA, por lo que se le pide 20mA, considerando al transistor 2N4400, se tiene que

$$R_1 = \frac{V - V_{CE} - V_{LED}}{I_C} = \frac{5 - 0.25 - 1.15}{20 \times 10^{-3}} = 180 \Omega$$

En cuanto a la resistencia de base, esta debe permitir un paso mínimo de 1.5 mA (10% de la corriente del colector como lo recomienda el fabricante) por lo que dicha resistencia es

$$R_2 = \frac{V - V_{BE} - V_{LED}}{I_B} = \frac{5 - 0.95 - 1.15}{1.5 \times 10^{-3}} = 1900 \cong 1800 \Omega$$

En cuanto a las resistencias que limitan las corrientes a los periféricos, debe aportar una corriente de base tomando en cuenta la máxima referencia en el voltaje de la etapa de fuente de poder para limitar su corriente. El voltaje máximo que soportan sus transistores es de 71.276 V con una resistencia de 22 K Ω , obteniendo una corriente máxima de:

$$I = \frac{V - V_{CE}}{R} = \frac{71.276 - 0.25}{22000} = 3.228mA$$

Por lo que la resistencia en la base para obtener 0.32 A es de

$$R = \frac{V - V_{BE}}{I} = \frac{5 - 0.95}{0.32 \times 10^{-3}} = 12656\Omega \cong 12K\Omega$$

El diagrama que nos muestra esta etapa del proyecto es el denominado "PROCESADOR CENTRAL" de donde obtenemos el material necesario para armar esta etapa.

LISTA FINAL DE COMPONENTES	
ELEMENTO	DESCRIPCION
U1	MICROCONTROLADOR CON ENTRADAS ANALOGICAS PIC16C74 DE MICROCHIP
U2,U3,U4	LATCH DOBLE DE 4 BITS CADA UNO CMOS, LM14508
U5,U6	BUFFER NO INVERSOR CON 6 BITS, MC14503
U7	DECODIFICADOR 4 ENTRADAS A 16 SALIDAS, MC14514
U8	PUNTE RECTIFICADO DE ONDA COMPLETA, 2A
U9	REGULADOR DE VOLTAJE POSITIVO 5, LM7805
U10	INVERSOR MC16069
Q1, Q2, Q3, Q4	TRANSISTOR DE PEQUEÑA SEÑAL NPN, 2N4400 DE MOTOROLA
R1	RESISTENCIA 180 OHMS, ¼ DE WATT
R2, R3, R4, R13	RESISTENCIA 1800 OHMS, ¼ WATT
R5, R6, R7, R8, R9, R10, R11, R12	RESISTENCIA 12000 OHMS, ¼ WATT
LED ALARMA	SÓN EL LED CON LA RESISTENCIA EN PARALELO CON LA CHICHARRA
C1	CAPACITOR ELECTROLITICO, 2200µF, 15V
C2	CAPACITOR ELECTROLITICO, 22µF, 15V
T1	TRANSFORMADOR MONOFASICO 127/9VCA, 2AMPÈRES, PARA FUENTE

TABLA III.6.- LISTA FINAL DE CONTROL CENTRAL

III.6.4.-PROGRAMA DEL CONTROLADOR.-El programa òptimo para el funcionamiento total de la máquina es:

;Programa completo para desplegar mensajes y valores, introducir parámetros, y ;realizar desplazamientos con los parámetros introducidos.

```
device pic16c74, xt_osc, wdt_off, protect_off, pwrt_off
```

```
ent_1    =    rb.0
ent_2    =    rb.1
ent_3    =    rb.2
ent_4    =    rb.3
sal_1    =    rb.4
sal_2    =    rb.5
sal_3    =    rb.6
sal_4    =    rb.7
dir_1    =    rc.0
dir_2    =    rc.1
dir_3    =    rc.2
```

dir_4	=	rc.3
r_w	=	rc.5
RS	=	rc.4
E	=	rc.6
LCD_pwr	=	rc.7
data	=	rd
mant	=	20h.0
eleva	=	20h.1
espera	=	20h.2
sincro	=	20h.3
dispara	=	20h.4
corta	=	20h.5
igual	=	20h.6

org		21h
movimiento	ds	1
retardo	ds	1
direc	ds	1
temp	ds	1
temp2	ds	1
count	ds	1
counter	ds	1
num1	ds	1
num2	ds	1
num3	ds	1
num4	ds	1
num5	ds	1
num6	ds	1
che_volt	ds	1
che_amp	ds	1
tiempo	ds	1
tiempo1	ds	1
tiempo2	ds	1
un_seg	ds	1
w_copy	ds	1
s_copy	ds	1
voltaje	ds	1
amper	ds	1
limpieza	ds	1
nivel	ds	1
desp_1	ds	1
desp_2	ds	1
desp_3	ds	1
desp_4	ds	1
desp_5	ds	1
desp_6	ds	1
tiedis_1	ds	1


```

tiedis_2    ds    1
tiecor_1    ds    1
tiecor_2    ds    1
tiero_1     ds    1
tiero_2     ds    1
tielimp_1   ds    1
tielimp_2   ds    1
regdesp_1   ds    1
regdesp_2   ds    1
regdesp_3   ds    1
regdesp_4   ds    1
regdesp_5   ds    1
regdesp_6   ds    1
regdis_1    ds    1
regdis_2    ds    1
regcor_1    ds    1
regcor_2    ds    1
regero_1    ds    1
regero_2    ds    1
reg_limp_1  ds    1
reg_limp_2  ds    1

```

```

        org    0
        jmp :start
        org    4
        clrb toif
        mov w_copy, w
        mov s_copy, status
        djnz un_seg, :segundos
        djnz tiempo1, :solo
        dec tiempo2
        mov tiempo 1, #10
:solo   mov un_seg, #125
:segundos swap w_copy
        mov w, <> w_copy
        reti
:start  mov ra, #0
        mov rb, #0
        mov rc, #0
        mov rd, #0
        mov re, #0
        setb rp0
        clr wdt
        mov option, #5
        mov trisa, #11111111b
        mov trisb, #00001111b
        mov trisc, #11110000b

```

```

mov trisd, #11111111b
mov trise, #111b
mov intcon, #0
mov adcon, #4
clrb rp0
setb LCD_pwr
inc rc
:lazo_3
cjb rc, #7, :_lazo_3
mov rc, #0
cja voltaje, #9, :borra
cja amper, #9, :borra
cja limpieza, #9, :borra
cja desp_1, #9, :borra
cja desp_2, #9, :borra
cja desp_3, #9, :borra
cja desp_4, #9, :borra
cja desp_5, #9, :borra
cja desp_6, #9, :borra
cja tiedis_1, #9, :borra
cja tiedis_2, #9, :borra
cja tiecor_1, #9, :borra
cja tiecor_2, #9, :borra
cja tiero_1, #9, :borra
cja tiero_2, #9, :borra
cja tielimp_1, #9, :borra
cja tielimp_2, #9, :borra
cja regdesp_1, #9, :borra
cja regdesp_2, #9, :borra
cja regdesp_3, #9, :borra
cja regdesp_4, #9, :borra
cja regdesp_5, #9, :borra
cja regdesp_6, #9, :borra
cja regdis_1, #9, :borra
cja regdis_2, #9, :borra
cja regcor_1, #9, :borra
cja regcor_2, #9, :borra
cja regero_1, #9, :borra
cja regero_2, #9, :borra
cja tielimp_1, #9, :borra
cja tielimp_2, #9, :borra
jmp :inicio
:borra
clr voltaje
clr amper
clr limpieza
clr desp_1
clr desp_2
clr desp_3

```

```

clr desp_4
clr desp_5
clr desp_6
clr tiedis_1
clr tiedis_2
clr tiecor_1
clr tiecor_2
clr tiero_1
clr tiero_2
clr tielimp_1
clr tielimp_2
clr regdesp_1
clr regdesp_2
clr regdesp_3
clr regdesp_4
clr regdesp_5
clr regdesp_6
clr regdis_1
clr regdis_2
clr redcor_1
clr regcor_2
clr regero_1
clr regero_2
call ceros
cal ini_LVCD
clr direc
mov rc, #8
snb rb.0
call suelta
call param
snb rb.3
call suelta
call run
jmp :inicio

```

:inicio

```

;*****
; ** RUTINA param QUE LLAMA LA RUTINA QUE CAMBIA LOS PARAMETROS
; **
;*****

```

```

param    mov nivel, #4
         mov num1, voltaje
         mov count, #15
         mov direc, #16
         call decide
         mov voltaje, num1
         mov num1, amper
         mov direc, #31

```



```

run      mov count, #16
        mov direc, #142
        cal ini_LCD
        call envia
        call ceros
        setb rb.5
        mov rc, #4
        clr rc
        clr rb
:regr   call busca
        jb igual, :final
        call chispa
        jb igual, :final
        jb lim_ero, :regr
        call cero
        call limpiando
        jmp :regr
:final  clr rb
        mov rc, #4
        clr rc
        mov count, #16
        mov direc, #174
        call ini_LCD
        call envia
        setb rb.6
        mov rc, #6
        clr rc
        clrb rb.6
        mov rc, #8
        sb rb.3
        jmp :final
        call suelta
        clr rc
        clr rb
        mov rc, #6
        clr igual
        call ceros
        ret

```

```

*****
|
| ****          RUTINA busca BUSCA LA PIEZA A EROSIONAR
|
| ***
|
*****
|

```

```

busca   clrb rb
        mov rc, #2
        clr rc
        setb rb.5

```

```

mov rc, #1
clr rc
clr rb
setb rb.4
mov rc, #3
clr rc
clr rb
setb rb.7
mov rc, #6
clr rc
clr rb
:cont mov adcon0, #64
call increm
mov adcon0, #133
mov rc, #8
snb rb.2
call congela
clr rc
call compara
jb igual, :regresa
cja adres, #50, :cont
:regresa ret

```

```

;*****
;* RUTINA decide INCREMENTA O DECREMENTA VALOR DE PARAMETRO **
;*****
;

```

```

decidenop
:reg call ini_LCD
call envia
mov retardo, #10
snb rb.3
mov retardo, #1
clr temp2
clr temp
jnb rb.1, :uno
cje num1, #9, :dos
cja num1, nivel, :dos
inc num1
jmp :fin
:dos cje num2, #9, :tres
inc num2
clr num1
jmp:fin
:tres cje num3, #9, :cuatro
inc num3
clr num1

```

```

:cuatro      clr num2
             jmp :fin
             cje num4, #9, :cinco
             inc num4
             clr num1
             clr num2
             clr num3
             jmp :fin
:cinco       cje num5, #9, :seis
             inc num5
             clr num1
             clr num2
             clr num3
             clr num4
             jmp :fin
:seis        inc num6
             csne num6, #10
             clr clr num6
             clr num1
             clr num2
             clr num3
             clr num4
             clr num5
             jmp :fin
:uno         jnb rb.2, :siete
             cje num1, #0, :ocho
             sub num1, #1
             jmp :fin
:ocho        jnb rb.2, :siete
             cje num2, #0, :nueve
             sub num2, #1
             mov num1, #9
             csne nivel, #1
             mov num1, #1
             csne nivel, #3
             mov num1, #3
             csne nivel, #4
             mov num1, #4
             jmp :fin
:nueve       cje num3, #0, :diez
             sub num3, #1
             mov num1, #9
             csne nivel, #1
             mov num1, #1
             csne nivel, #3
             mov num1, #3
             csne nivel, #4

```

```

mov num1, #4
mov num2, #9
jmp :fin
:diez    cje num4, #0, :once
         sub num4, #1
         mov num1, #9
         csne nivel, #1
         mov num1, #1
         csne nivel, #3
         mov num1, #3
         csne nivel, #4
         mov num1, #4
         mov num2, #9
         mov num3, #9
         jmp :fin
:once    cje num5, #0, :doce
         sub num5, #1
         mov num1, #9
         csne nivel, #1
         mov num1, #1
         csne nivel, #3
         mov num1, #3
         csne nivel, #4
         mov num1, #4
         mov num2, #9
         mov num3, #9
         mov num4, #9
         jmp :fin
:doce    sub num6, #1
         csne num6, #255
         mov num6, #9
         mov num1, #9
         csne nivel, #1
         mov num1, #1
         csne num1, #3
         mov num1, #3
         csne num1, #4
         mov num1, #4
         mov num2, #9
         mov num3, #9
         mov num4, #9
         mov num5, #9
         jmp :fin
:siete   jnb rb.0, :fin
         call suelta
         ret
:fin     djnz temp, :fin

```



```
djnz temp2, :fin
djnz retardo, :fin
jmp :reg
```

```
*****
**** RUTINA ini_LCD INICIALIZA EL DISPLAY DE CRISTAL LIQUIDO ****
*****
```

```
ini_LCD   clr RS
          mov temp2, #00110000b
          call blip_E
          mov temp2, #00001110b
          call blip_E
          mov temp2, #00000110b
          call blip_E
          mov temp2, #10000000b
          call blip_E
          ret
```

```
*****
***** RUTINA envia ENVIA EL MENSAJE A LA PANTALLA *****
*****
```

```
envia     mov counter, #0
:loop_2   mov w, counter
          add w, direc
          call msg
          mov temp2, w
          call blip_E
          inc counter
          cjb counter, count, :loop_2
          cjb counter, #16, :fin
          cjb counter, #14, :ciento
          cjb counter, #15, :digito
          mov w, num6
          call numero
          mov temp2, w
          call blip_E
          call numero
          mov temp2, w
          call blip_E
          mov w, num4
          call numero
          mov temp2, w
          call blip_E
          mov w, num3
          call numero
```

```

                mov temp2, w
                call blip_E
:ciento        mov w, num2
                call numero
                mov temp2, w
                call blip_E
:digito       mov w, num1
                call numero
                mov temp2, w
                call blip_E
:fin          nop
                ret

```

```

*****
:*****  RUTINA blip_E COLOCA LOS CARACTERES DE envia  *****
*****

```

```

blip_E        movb mant, RS
                clrb RS
                setb R_W
                setb rp0
                mov trisd, #255
                clrb rp0
:lazo_2       setb E
                nop
                mov temp, data
                clr E
                snb temp.7

                jmp :lazo_2
                movb RS, mant
                clrb R_W
                setb rp0
                mov trisd, #0
                mov data, temp2
                setb E
                nop
                clrb E
                ret

```

```

*****
:*****  RUTINA wait DETIENE UN INSTANTE LA EJECUCION DEL PROGRAMA  *****
*****

```

```

wait          clr temp
                clr temp2
                mov temp2, #200

```

```
djnz temp, :lazo_1
djnz temp2, lazo_1
ret
```

```
*****
;**** RUTINA msg QUE ALMACENA LOS MENSAJES A DESPLEGAR
****
*****
;
```

```
msg      jmp pc+w
         retw 'PRIMER PROTOTIPO'
         retw 'NIVEL VOLTAJE '
         retw 'NIVEL AMPERAJE '
         retw 'NIVEL LIMPIEZA '
         retw 'SINCRONIA L-E? '
         retw 'DISTANCIA '
         retw 'T_CHISPA(ms) '
         retw 'T_CORTE(ms) '
         retw 'T_EROSION (s) '
         retw 'T_LIMPIEZA(s) '
         retw "*EROSIONA PIEZA*"
         retw "*TRABAJO PARADO*"
         retw "*TERMINO TRABAJO"
```

```
*****
;**** RUTINA numero AYUDA AL DESPLIEGUE DEL VALOR DE REGISTROS
****
*****
;
```

```
numero  jmp pc+w
         retw '0'
         retw '1'
         retw '2'
         retw '3'
         retw '4'
         retw '5'
         retw '6'
         retw '7'
         retw '8'
         retw '9'
```

```
*****
;RUTINA ceros INICIALIZA POSICION DE ELECTRODO Y REGISTRO DE
POS.*
*****
;
```

```

ceros      nop
:saca     mov rc, #9
          jnb rb.0, :mete
          call baja
          jmp :saca
:mete     call retrae
          jnb rb.0, mete
          clr regdesp_1
          clr regdesp_2
          clr regdesp_3
          clr regdesp_4
          clr regdesp_5
          clr regdesp_6
          ret

```

```

*****
:*** RUTINA chispa ACTIVA DISPAROS DE EROSION SEGUN PARAMETROS
**
*****

```

```

chispa    mov un_seg, #125
          mov tiempo1, tiro_1
          mov tiempo2, tiero_2
          mov intcon, #10100000b
          cjne voltaje, #1, :treinta
          setb rb.5
          mov rc, #1
          clr rc
          clr rb
          mov che_volt, #20
          jmp :corriente
:treinta  cjne voltaje, #2, :cuarenta
          setb rb.6
          mov rc, #1
          clr rc
          clr rb
          setb rb.5
          mov rc, #3
          clr rc
          clr rb
          mov che_volt, #40
          jmp :corriente
:cuarenta cjne voltaje, #3, :cincuenta
          setb rb.7
          mov rc, #1
          clr rc
          clr rb
          setb rb.6

```

```

        mov rc, #3
        clr rc
        clr rb
        mov che_volt, #60
        jmp :corriente
:cincuenta  setb rb.7
            mov rc, #1
            clr rc
            clr rb
            setb rb.7
            mov rc, #3
            clr rc
            clr rb
            mov che_volt, #80
:corriente  cjne amper, #0, :dos_amp
            clr rb
            mov rc, #2
            clr rc
            mov che_amp, #20
            jmp :dispara
:dos_amp    cjne amper, #1, :tres_amp
            setb rb.7
            mov rc, #2
            clr rc
            clr rb
            mov che_amp, #40
            jmp :dispara
:tres_amp   cjne amper, #2, :cuatro_amp
            setb rb.6
            mov rc, #2
            clr rc
            clr rb
            mov che_amp, #80
            jmp :dispara
:cinco_amp  setb rb.4
            mov rc, #2
            clr rc
            clr rb
            mov che_amp, #60
:dispara    setb rb.7
            mov rc, #6
            clr rc
            clr rb
            mov adcon0, #64
            mov temp, tiedis_1
            mov temp2, tiedis_2
            call milesimas

```

```

mov adcon0, #69
nop
nop
csa adres, che_volt
call decrem
clr rc
clr rb
csne tiempo2, #0
cjetiempo1, #0, :finaliza
mov adcon0, #77
snb rb.2
call congela
csa adres, che_amp
call increm
call compara
jb igual, :finaliza
mov temp, tiecor_1
mov temp2, tiecor_2
call milesimas
mov rc, #8
snb rb.2
call congela
jb igual, :finaliza
jmp :dispara
:finaliza mov intcon, #0
ret

```

```

*****
;
; ***** RUTINA limpiando ACTIVA LAS BOMBAS DE LIMPIEZA *****
;
*****
;

```

```

limpiando mov un_seg, #125
mov tiempo1, tielimp_1
mov tiempo2, tielimp_2
cje limpieza, #0, :lim1
clr rb
mov rc, #4
clr rc
clr rb
jmp :limpia
:lim1 cjne limpieza, #1, :lim2
setb rb.5
setb rb.4
mov rc, #4
clr rc
clr rb
jmp :limpia

```

```

:lim2      cjne limpieza, #2, :lim3
           setb rb.6
           setb rb.4
           mov rc, #4
           clr rc
           clr rb
           jmp :limpia
:lim3      setb rb.7
           setb rb.4
           mov rc, #4
           clr rc
           clr rb
:limpia    csne tiempo2, #0, :ya_esta
           jmp :limpia
:ya_esta   setb rb.5
           setb rb.4
           mov rc, #4
           clr rc
           clr rb
           ret

```

```

*****
; ** RUTINA milisimas RETARDA MILESIMAS DE SEGUNDO CHISPA Y CORTE
**
*****
;

```

```

milisimas  clr counter
:oeste     mov count, #4
:este      djnz counter, :este
           djnz count, :este
           djnz temp, :oeste
           mov temp, #10
           djnz temp2, :oeste
           ret

```

```

*****
; ***** RUTINA increm BAJA ELECTRODO Y REGISTRA DESPLAZAMIENTO
*****
*****
;

```

```

increm     call baja
           cje regdesp_1, #9, :segundo
           inc regdesp_1
           ret
:segundo   cje regdesp_2, #9, tercero
           inc regdesp_2
           clr regdesp_1

```

```

ret
:tercero    cje regdesp_3, #9, :cuarto
            inc regdesp_3
            clr regdesp_1
            clr regdesp_2
            ret
:cuarto    cje regdesp_4, #9, :quinto
            inc regdesp_4
            clr regdesp_1
            clr regdesp_2
            clr regdesp_3
            ret
:quinto    cje regdesp_5, #9, :sexta
            inc regdesp_5
            clr regdesp_1
            clr regdesp_2
            clr regdesp_3
            clr regdesp_4
            ret
:sexta     inc regdesp_6
            csne regdesp_6, #10
            clr regdesp_6
            clr regdesp_1
            clr regdesp_2
            clr regdesp_3
            clr regdesp_4
            clr regdesp_5
            ret

```

```

*****
;* RUTINA decrem SUBE EL ELECTRODO Y REGISTRA SU
DESPLAZAMIENTO*
*****

```

```

decrem     call retrae
            cje regdesp_1, #0, :seg
            sub regdesp_1, #1
            ret
:seg       cje regdesp_2, #0, :ter
            sub regdesp_2, #1
            mov regdesp_1, #9
            ret
:ter       cje regdesp_3, #0, :cua
            sub regdesp_3, #1
            mov regdesp_1, #9
            mov regdesp_2, #9
            ret

```



```

:cua      cje regdesp_4, #0, :qui
          sub regdesp_4, #1
          mov regdesp_1, #9
          mov regdesp_2, #9
          mov regdesp_3, #9
          ret
:qui      cje regdesp_5, #0, :sex
          sub regdesp_5, #1
          mov regdesp_1, #9
          mov regdesp_2, #9
          mov regdesp_3, #9
          mov regdesp_4, #9
          ret
:sex      sub regdesp_6, #1
          csne regdesp_6, #255
          mov regdesp_6, #9
          mov regdesp_1, #9
          mov regdesp_2, #9
          mov regdesp_3, #9
          mov regdesp_4, #9
          mov regdesp_5, #9
          ret

```

```

*****
;****  RUTINA baja MUEVE UNA POSICION ABAJO AL MOTOR A PASOS
****
*****
;

```

```

baja      mov retardo, #255
          clr temp

:decrementa djnz temp, :decrementa
          djnz retardo, :decrementa
:giro_ya  cja movimiento, #1000000b, :step_4
          cja movimiento, #0100000b, :step_1
          cja movimiento, #0010000b, :step_2
          cja movimiento, #0001000b, :step_3
:step_1   mov movimiento, #1000000b
          call mueve
:regresa  ret
:step_2   mov movimiento, #0100000b
          call mueve
:step_3   mov movimiento, #0010000b
          call mueve
          ret
:step_4   mov movimiento, #0001000b
          call mueve

```

ret

```
*****
;
;*****
;          RUTINA retrae ELEVA EL ELECTRODO          *****
;*****
;
```

```
retrae      mov retardo, #255
            clr temp
:decre      djnz temp, :decre
            djnz retardo, :decre
:primer_pasocje movimiento, #1000000b, :paso_2
            cje movimiento, #0100000b, :paso_3
            cje movimiento, #0010000b, :paso_4
            cje movimiento, #0001000b, :paso_1
:paso_1     mov movimiento, #1000000b
            call mueve
            ret
:paso_2     mov movimiento, #0100000b
            call mueve
            ret
:paso_3     mov movimiento, #0010000b
            call mueve
            ret
:paso_4     mov movimiento, #0001000b
            call mueve
            ret
```

```
*****
;
; RUTINA mueve TRANSMITE SEÑAL DE MOVIMIENTO AL MOTOR A PASOS
**
*****
;
```

```
mueve      mov rb, movimiento
            mov rc, #5
            clr rc
            clr rb
            ret
```

```
*****
;
; RUTINA compara DETERMINA SI ALCANZO LA DISTANCIA PROGRAMADA
**
*****
;
```

```
compara    cjne desp_1, regdesp_1, :no_llego
            cjne desp_2, regdesp_2, :no_llego
            cjne desp_3, regdesp_3, :no_llego
            cjne desp_4, regdesp_4, :no_llego
```

```

    cjne desp_5, regdesp_5, :no_llego
    cjne desp_6, regdesp_6, :no_llego
    setb igual
:no_llego    ret

```

```

;*****
;
; ** congela INTERRUMPE PROCESO, PARA CONCLUIRLO O CONTINUARLO
; **
;*****
;

```

```

congela    mov rc, #0
:lazo_6    snb rb.3
           jmp :the_end
           jnb rb.1, :lazo_6
           setb igual
:the_end   clr rc
           ret

```

```

;*****
;
; *RUTINA suelta NO PERMITE QUE UNA TECLA ACTUE SOBRE OTRA RUTINA
; *
;*****
;

```

```

suelta     nop
:presionado    jb rb.0, :presionado
            jb rb.3, :presionado
            ret

```

III.7.- ACOPLAMIENTO FINAL

Le llamaremos acoplamiento final a la comunicación entre cada una de los módulos que forman el proyecto total.

ACOPLAMIENTO.- Como se ha venido diciendo cada una de las etapas tienen un funcionamiento propio, y solo reciben ordenes directas del procesador central y el producto de etapas anteriores, en algunos casos el control central toma datos de las etapas para llegar a una decisión pero son mínimas (solo cuando hay exceso de corriente, cuando falló el disparo de la chispa o cuando interactúa con el display).

El siguiente esquemático nos da una idea precisa del acoplamiento eléctrico entre las diferentes etapas, solo hay que buscar los diferentes nombres en las terminales de los diagramas; las terminales que reciben señal o son elidas por el control central, van encerradas en un "rectángulo con punta"; las que van o vienen

de otra etapa tienen sus terminales de inicio o de final abiertos; si es una etapa terminal, estará abierta.

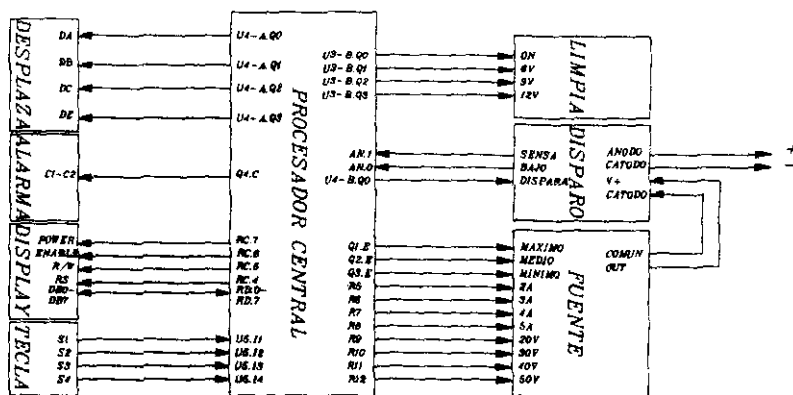


FIGURA III.8.- ACOPLAMIENTO ENTRE PARTES

Como se observa cada una de las etapas se representa como un rectángulo con su nombre. Una pequeña flecha indica hacia donde fluye la señal; en cada uno de los extremos de la flecha hay un nombre; en los periféricos del procesador central aparecen los nombres como están en sus diagramas, y en el procesador central el del elemento del que entra o sale la señal, si este es un subelemento, éste va nombrado después de un punto, ejemplos:

U4-A.Q0.- U4-A es la primera parte del integrado 4, y Q0 es una de su salida 0.

Q4.C.- Es el colector del transistor 4.

RC.7.- Es el bit 7 del puerto RC del microcontrolador.

U5.11.- Es la salida 1 del integrado numero 5.

R5.- Es la resistencia número 5.

NOTA: importante, como se observa en los diagramas, hay un común para todos los circuitos, la cual se toma como referencia para mandar y recibir señales, no se olvide etrelazarlos con este común, de lo contrario no responderán a las señales.

PRECAUCION: No inicie el ensamble y menos la operación antes de leer lo siguiente:

PRUEBAS.- Antes del acoplamiento, conforme se vayan armando los diferentes módulos se deben hacer las pruebas pertinentes para asegurarnos que cada una de las etapas cumplan con las especificaciones:

a).- La fuente de poder debe proporcionar el voltaje deseado al activarse sus diferentes niveles; se activa usando una fuente de 5V, colocando se negativo de la fuente en el común de nuestra etapa y el positivo a través de una resistencia de 5000 a 10000 ohms a la etapa que se desea activar y medir el voltaje obtenido. En cuanto a la regulación de corriente, se deben activar todas las entradas, menos la

que se desea monitorear y agregarle carga medida con un amperímetro, monitoreando también el voltaje para ver que caiga al sobrepasar el amperaje elegido.

b).- El disparo de erosión se prueba enviando pulsos de 5V a su terminal de disparo, colocando la fuente en su mínima corriente y poniendo en corto sus terminales. Con un osciloscopio se deberán de ver los pulsos de retroalimentación que la etapa enviará al control central.

c).- En cuanto a la limpieza las pruebas se pueden hacer de manera visual, activen las diferentes etapas y vean el resultado en el caudal entregado por la bomba, la activación se hace con una fuente de 5V con el negativo en el común y con el positivo se hace la activación.

d).- Se activan los diferentes pasos del motor para observar que cumpla con la secuencia; la activación se hace igual que en la etapa de limpieza.

e).- Una vez terminadas las pruebas, se procede al ensamble.

f).- Después de ensambladas las diferentes etapas, coloque al electrodo casi topando con el micro de inicio (casi totalmente arriba) e inicie una secuencia en la que el desplazamiento del electrodo sea pequeña; si el motor no se mueve, cheque de nuevo la secuencia de pasos del motor y corrijalo; en el caso de que de inmediato el electrodo inicie bajando, pare de inmediato el proceso (Lea en el siguiente capítulo como hacerlo), y cheque de nuevo la secuencia del motor a pasos y corrijala. En el caso de que se hayan hecho todas las pruebas anteriores y no inicie el movimiento del electrodo, busque algún elemento dañado.

**ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA**

CAPITULO IV

MANUAL DEL USUARIO

Este capítulo va encaminado a que cualquier persona aún sin conocimientos técnicos eléctricos, puedan usar sin ningún problema este primer prototipo total, aportando valiosas observaciones para su mejora.

INSTALACION

Se buscó que el prototipo fuera por etapas para poder dejar al criterio de la persona encargada del ensamble el acomodo de cada una de ellas (además de que se puedan mejorar en forma individual como ya se dijo), y no un solo módulo gigante y estorboso.

REQUERIMIENTOS DEL MECANISMO A CONTROLAR. - Debe eliminar las bandas muertas para aprovechar la precisión de los movimientos del motor a pasos, una recomendación personal, es que ese punto muerto se intente eliminar forzando la subida del electrodo a través de un muelleo, con lo que el esfuerzo de la transmisión siempre será en un sentido, eliminando con ello dicha banda muerta, además debe haber un amortiguamiento para los bruscos movimientos del motor a pasos.

La bomba debe tener un ducto flexible para poder direccionar el flujo del dieléctrico y así darle la orientación óptima para el proceso; además debe tener un soporte rígido para mantener dicha orientación. Otro requisito es que el lugar en donde se colocará la pieza a erosionar esté bien definido, esto es, que si se van a maquinar varias piezas iguales, baste con colocar la pieza y asegurarla sin tener que buscar el punto en donde se colocó la anterior. Igualmente el electrodo deberá ser sujeto sin necesidad de buscar una posición definida. En pocas palabras, el equipo deberá ser versátil y muy fácil de manejar.

INSTALACION DE COMPONENTES. - La posición de los diferentes módulos deberá ser de acuerdo a su función, aunque no debe olvidarse que las etapas disipan una cantidad de calor, principalmente la fuente de poder, por lo que debe haber algún medio para disipar dicho calor. Entre otras características del montaje, es que el panel en el que se monten sea metálico o un buen disipador de calor; y tenga la propiedad de atenuar el ruido eléctrico externo. Cada una de las etapas será un elemento independiente con su gabinete metálico comunicado al exterior a través de cable blindado calibre 22 AWG para la señal y cable trenzado 18 AWG para la fuerza. La malla del cable blindado deberá ir firmemente afianzado al gabinete principal estando este último aterrizado. Los cables de referencia a la pieza a erosionar deberá ser flexibles (como los cables de alta fidelidad) y tener un buen aislante. En cuanto al procesador centra, éste debe tener de preferencia conectores blindados para enviar y recibir señales a los periféricos. Si la temperatura ambiente excede los 20°C, pero menor a 25°C, el gabinete principal deberá tener un sistema de ventilación, teniendo cuidado de que el aire inyectado esté debidamente filtrado, y que dicho filtro sea limpiado o reemplazado periódicamente para evitar la suciedad dentro del gabinete; teniendo como mantenimiento periódico la limpieza con aire comprimido seco. Si la

temperatura es mayor a los 25°C deberá agregársele un aire acondicionado que mantenga la temperatura dentro del gabinete entre 20°C y 25°C.

CONSIDERACIONES DE UNIDADES DE DESPLAZAMIENTO.- El programa introducido al microcontrolador permite 999999 pasos del motor que controla el desplazamiento del electrodo; deberá haber una relación de reducción suficiente para que el desplazamiento por cada paso sea el requerido por las especificaciones mecánicas finales; tomando en cuenta que una relación de reducción demasiado alta reduce considerablemente la velocidad del electrodo y la distancia que puede cubrir; aunque también una muy pequeña provocará movimientos bruscos y los acabados podrían no ser tan precisos; además el electrodo deberá ser ligero, ya que casi todo el peso caería sobre el motor.

En conclusión: el programa está diseñado para que le sea programado un determinado número de pulsos, y esos pulsos serán una unidad determinada según la relación de reducción que le hayan dado.

IV.2.- OPERACION

La operación del prototipo eléctrico sólo será el introducir parámetros, arrancar, eventualmente parar y abortar proceso. Ya la parte mecánica será colocar el electrodo, tomar la distancia del electrodo a la pieza para ver cuánto deberá desplazarse, asegurar la pieza, orientar la manguera correctamente, etc.

DESCRIPCIÓN DEL TECLADO

- 1).- BP1 (→) sirve para entrar a los diferentes menús de parámetros, conforme se va pulsando, va cambiando al siguiente parámetro hasta el último, regresando a esperar otra orden.
- 2).- BP2 (↑) sirve para incrementar los valores de los parámetros que se encuentran en pantalla para ser modificados y para abortar un proceso congelado.
- 3).- BP3 (↓) sirve para decrementar los valores de los parámetros que se encuentran en pantalla para ser modificados y para congelar un proceso corriendo.
- 4).- BP4(INICIA PROCESO) sirve para iniciar el proceso de erosionado, para subir la velocidad del incremento o decremento del valor de un parámetro que está siendo modificado para reiniciar un proceso congelado y para indicar que está enterado que finalizó el proceso de erosionado.

NAVEGACION POR LOS MENÚS

- 1).- Después de energizado el sistema aparecerá en la pantalla la leyenda "PRIMER PROTOTIPO", lo cual indica que está esperando instrucciones.

- 2).- Pulse la tecla BP1 (→), aparecerá el mensaje "NIVEL VOLTAJE" y el nivel del parámetro.
- 3).- Para incrementar el valor pulse la tecla BP2(↑), y para decrementar el valor pulsar la tecla BP3(↓).
- 4).- Los niveles de voltaje son:
- a).- 1=20V
 - b).- 2=30V
 - c).- 3=40V
 - d).- 4=50V
- 5).- Después de haber elegido el nivel adecuado pulse de nuevo BP1(→), aparecerá el mensaje: "NIVEL AMPERAJE" y el valor que tiene en ese momento.
- 6).- Para incrementar el valor pulse la tecla BP2(↑), y para decrementar el valor pulsar la tecla BP3(↓).
- 7).- Los niveles de corriente son:
- a).- 0=1A
 - b).- 1=2A
 - c).- 2=3A
 - d).- 3=4A
 - e).- 4=5A
- 7).- Después de haber elegido el nivel adecuado pulse de nuevo BP1(→), aparecerá el mensaje: "NIVEL LIMPIEZA" y el valor que tiene en ese momento.
- 8).- Para incrementar el valor pulse la tecla BP2(↑), y para decrementar el valor pulsar la tecla BP3(↓).
- 9).- Los niveles de limpieza son:
- a).- 0=No hay
 - b).- 1=Bajo
 - c).- 2=Medio
 - d).- 3=Alto
- 10).- Después de haber elegido el nivel adecuado pulse de nuevo BP1(→), aparecerá el mensaje: "SINCRONIA L-E?" y el valor que tiene en ese momento.
- 11).- Para incrementar el valor pulse la tecla BP2(↑), y para decrementar el valor pulsar la tecla BP3 (↓).
- 12).- Este parámetro es el que le indica al sistema si habrá una elevación sincronizada o no y sus valores son:
- a).- 0=No hay elevación sincronizada

b).- 1=Hay elevación sincronizada

13).- Después de haber elegido el nivel adecuado pulse de nuevo BP1(→), aparecerá el mensaje: "DISTANCIA" y el valor que tiene en ese momento.

14).- Para incrementar el valor pulse la tecla BP2(↑), y para decrementar el valor pulsar la tecla BP3(↓), en el caso que se desee que los incrementos o decrementos se hagan con mayor velocidad, pulse simultáneamente la tecla BP4 (INICIA PROCESO) para que los incrementos se hagan 10 veces mas rápido.

15).- El valor que tiene este parámetro es el número de pasos que hará durante el proceso el motor y tendrá las unidades que la persona encargada de la relación de reducción le dé.

16).- Después de haber elegido el nivel adecuado pulse de nuevo BP1(→), aparecerá el mensaje: "T_CHISPA(ms)" y el valor que tiene en ese momento.

17).- Para incrementar el valor pulse la tecla BP2(↑), y para decrementar el valor pulsar la tecla BP3(↓), en el caso que se desee que los incrementos o decrementos se hagan con mayor velocidad, pulse simultáneamente la tecla BP4 (INICIA PROCESO) para que los incrementos se hagan 10 veces mas rápido.

18).- Es el tiempo en milisegundos que dura la chispa.

19).- Después de haber elegido el nivel adecuado pulse de nuevo BP1(→), aparecerá el mensaje: "T_CORTE(ms)" y el valor que tiene en ese momento.

20).- Para incrementar el valor pulse la tecla BP2(↑), y para decrementar el valor pulsar la tecla BP3(↓), en el caso que se desee que los incrementos o decrementos se hagan con mayor velocidad, pulse simultáneamente la tecla BP4 (INICIA PROCESO) para que los incrementos se hagan 10 veces mas rápido.

21).- Es el tiempo de erosión en el cual no hay corriente de erosión (corte) y esta dado en milisegundos.

22).- Después de haber elegido el nivel adecuado pulse de nuevo BP1(→), aparecerá el mensaje: "T_EROSION (s)" y el valor que tiene en ese momento.

23).- Para incrementar el valor pulse la tecla BP2(↑), y para decrementar el valor pulsar la tecla BP3(↓), en el caso que se desee que los incrementos o decrementos se hagan con mayor velocidad, pulse simultáneamente la tecla BP4 (INICIA PROCESO) para que los incrementos se hagan 10 veces mas rápido.

24).- Es el tiempo en el que el electrodo está disparando chispas sobre la pieza, estando dado en segundos; aunque cuando no es activado el parámetro de elevación sincronizada no es tomado en cuenta y el electrodo siempre está erosionando hasta que termina.

25).- Después de haber elegido el nivel adecuado pulse de nuevo BP1(→), aparecerá el mensaje: "T_LIMPIEZA (s)" y el valor que tiene en ese momento.

26).- Para incrementar el valor pulse la tecla BP2(↑), y para decrementar el valor pulsar la tecla BP3(↓), en el caso que se desee que los incrementos o decrementos se hagan con mayor velocidad, pulse simultáneamente la tecla BP4 (INICIA PROCESO) para que los incrementos se hagan 10 veces mas rápido.

27).- Es el tiempo en el que electrodo permanece arriba mientras se limpian los desechos de erosión; pero no tiene efecto cuando no es activado el parámetro de elevación sincronizada.

25).- Después de haber elegido el nivel adecuado pulse de nuevo BP1(→), aparecerá el mensaje: "PRIMER PROTOTIPO", indicando que regresó al inicio, es decir, que espera una nueva orden.

EROSIONADO

1).- Para iniciar el proceso de erosionado, la pantalla debe tener el mensaje "PRIMER PROTOTIPO", indicando con ello que esta disponible.

2).- Presionar el botón BP4(INICIA PROCESO) y el electrodo buscará el micro de inicio con el mensaje "**EROSIONA PIEZA**", arrancando la bomba con el nivel de limpieza mas bajo.

3).- Después que encuentra el micro de inicio, el electrodo busca la pieza.

4).- Encuentra la pieza e inicia a erosionar.

5).- Si desea parar el proceso de erosionado, pulse la tecla BP3(↓), parando de erosionar y desplegando el mensaje "**TRABAJO PARADO**".

6).- Si después de parado el proceso desea continuar con él, pulse la tecla BP4 (INICIA PROCESO), continuando con el proceso de erosionado. Si desea dar por terminado el programa congelado pulse la tecla BP2(↑) para concluirlo, no permitiendo que continúe.

7).- Después de un tiempo en segundos determinado por el parámetro "T_EROSION" el electrodo sube y la bomba sube su nivel de limpieza al programado en el parámetro "NIVEL LIMPIEZA".

8).- Si el parámetro "SINCRONIA L-E" es puesto en cero, se salta el punto anterior y continúa erosionando.

- 9).- Si el parámetro del punto anterior está en 1, el electrodo baja de nuevo a erosionar después del tiempo en segundos dado en el parámetro "T_LIMPIEZA".
- 10).- Cuando ya no alcanza el electrodo a erosionar, avanza, hasta alcanzar la distancia dada en el parámetro "DISTANCIA".
- 11).- Cuando se cumple la distancia predeterminada, se apaga la bomba, se enciende la alarma y la luz de "TERMINO" hasta que se pulsa la tecla BP4(INICIA PROCESO) .
- 12).- Después que se pulsa la tecla BP4(INICIA PROCESO), el electrodo regresa al reposo, se apaga la luz y la alarma, y despliega el mensaje "PRIMER PROTOTIPO" indicando que está esperando instrucciones.
- 13).- Para iniciar un nuevo proceso, pulse de nuevo BP4(INICIA PROCESO); no sin antes checar si los parámetros son idénticos a los anteriores. Si son diferentes, modificarlos siguiendo el procedimiento de la sección anterior.

CAPITULO V

CONCLUSIONES

La operación del prototipo cumple con las expectativas de fácil manejo en un ambiente amigable además de que es bastante económico y preciso.

El que sus controles se reduzcan a 4 teclas, permite un rápido aprendizaje; incluyendo que la pantalla indica con palabras el estado de la máquina y la actividad que está realizando. En cuanto a su programación se simplifica bastante porque a través de la pantalla se va indicando el parámetro y el valor que tiene en ese momento; al leer el capítulo anterior, se podrá observar que el cambio de valores es repetitivo, con lo cual se pretende que la persona que lo maneje se familiarice rápidamente con ella.

En el montaje se pretende que además de ser sencillo, sea flexible y darle la libertad al ingeniero encargado de ello de aplicar su criterio en cuanto a posición y precisión para un a aplicación específica.

En cuanto a su operación, las actividades se reducen a dar la orden de que inicie el proceso ya que las condiciones para que opere estén dadas, en caso de contingencia parar el proceso, después de parar el proceso aplicar el criterio de que si continúa o aborta, y cuando termina el proceso indicarle que está enterado de que terminó.

De lo anterior se deduce que cumple muy satisfactoriamente con los puntos de fácil manejo en un ambiente amigable.

En cuanto a la economía; realizando un recuento del material que se llevó en las diferentes etapas de este proyecto, sus precios unitarios y cantidades totales, se edita una tabla por etapa para deducir el costo de cada una de ellas y tener un estimado para realizar un presupuesto aproximado en caso de que se tenga una propuesta de mejora.

#	DESCRIPCION	PRECIO/U	PRECIO/T
2	TRANSFORMADOR 24V/5 A	\$ 78.00	\$ 156.00
4	DISIPADOR PARA TRANSISTOR PLASTICO	\$ 3.27	\$ 13.08
3	TRIAC T2500B	\$ 6.86	\$ 20.58
3	OPTOACOPLADOR MOC3012	\$ 5.30	\$ 15.90
14	RESISTENCIA CARBON ¼ WATT	\$ 0.12	\$ 1.68
1	PUENTE RECTIFICADOR 6 A	\$ 16.00	\$ 16.00
1	CAPACITOR ELECTROLITICO 1000µF, 80V	\$ 93.73	\$ 93.73
1	TRANSISTOR MJ11033	\$ 43.58	\$ 43.58
1	TRANSISTOR 2N5400	\$ 4.34	\$ 4.34
3	DISIPADOR TRANSISTOR DE POTENCIA	\$ 16.25	\$ 48.75
13	TRANSISTOR 2N4410	\$ 7.46	\$ 96.98
1	RESISTENCIA 5 WATTS	\$ 2.72	\$ 2.72
	TOTAL		\$ 513.34

TABLA V.1.- LISTA DE PRECIOS DE LA FUENTE DE PODER

La siguiente etapa es "disparo de erosión" la cual enlistamos a continuación

#	DESCRIPCION	PRECIO/U	PRECIO/T
7	RESISTENCIA CARBON ¼ WATT	\$ 0.12	\$ 0.84
2	DIODO ZENER 5.1V, ½ WATT	\$ 0.80	\$ 1.60
1	TRANSISTOR 2N4410	\$ 7.46	\$ 7.46
1	TRANSISTOR 2N6668	\$ 23.56	\$ 23.56
1	DISIPADOR TRANSISTOR DE POTENCIA	\$ 16.25	\$ 16.25
1	RESISTENCIA 2W	\$ 1.82	\$ 1.82
3	DIODO RECTIFICADOR 1AMPER, 200V	\$ 2.48	\$ 7.44
1	TOROIDE 1 PRIMARIO, 3 SECUNDARIOS	\$ 27.40	\$ 27.40
	TOTAL		\$ 86.37

TABLA V.2.- LISTA DE PRECIOS EN LA ETAPA DE DISPARO DE EROSION.

Los precios de la etapa de limpieza aparecen en la siguiente tabla:

#	DESCRIPCION	PRECIO/U	PRECIO/T
1	TRANSFORMADOR 12V/3 A	\$ 34.65	\$ 34.65
1	PUENTE RECTIFICADOR 200V/3 A	\$ 7.38	\$ 7.38
2	CAPACITOR 220µF, 16V	\$ 5.54	\$ 11.08
1	REGULADOR LM350	\$ 12.88	\$ 12.88
7	RESISTENCIA CARBON ¼ WATT	\$ 0.12	\$ 0.84
3	TRANSISTOR 2N4400	\$ 5.53	\$ 16.59
2	DIODO RECTIFICADOR 100V, 3 A	\$ 3.36	\$ 6.72
1	TRANSISTOR 2N6040	\$ 8.00	\$ 8.00
2	DISIPADOR PARA TRANSISTOR PLASTICO	\$ 3.27	\$ 6.54
	TOTAL		\$ 104.38

TABLA V.3.- LISTA DE PRECIOS EN LA ETAPA DE LIMPIEZA

La lista de los precios de la etapa de desplazamiento se da a continuación

#	DESCRIPCION	PRECIO/U	PRECIO/T
1	TRANSFORMADOR 18V, 500Ma	\$ 12.00	\$ 12.00
1	PUENTE RECTIFICADOR 100V, 1A	\$ 2.14	\$ 2.14
1	CAPACITOR 470µF, 25V	\$ 7.24	\$ 7.24
1	REGULADOR LM7812	\$ 5.44	\$ 5.44
1	DISIPADOR PARA TRANSISTOR PLASTICO	\$ 3.27	\$ 3.27
1	CAPACITOR 0.1µF	\$ 1.32	\$ 1.32
4	TRANSISTOR 2N4400	\$ 5.53	\$ 22.12
4	RESISTENCIA CARBON ¼ WATT	\$ 0.12	\$ 0.48
4	DIODO RECTIFICADOR 200V, 1 A	\$ 2.48	\$ 9.92
	TOTAL		\$ 63.45

TABLA V.4.- LISTA DE PRECIOS EN LA ETAPA DE DESPLAZAMIENTO.

Cantidades, precios y totales de los componentes de la etapa de interface usuario-máquina están dados en la siguiente tabla.

#	DESCRIPCION	PRECIO/U	PRECIO/T
4	BOTON PULSADOR	\$ 4.41	\$ 17.64
1	RESISTENCIA CARBON ¼ WATT	\$ 0.12	\$ 0.12
1	POTENCIOMETRO TIPO PRESET	\$ 5.73	\$ 5.73
1	LED DE ALTO BRILLO	\$ 7.86	\$ 7.86
1	CHICHARRA MINIATURA	\$ 8.93	\$ 8.93
1	DIODO RECTIFICADOR 2V, 1 A	\$ 2.48	\$ 2.48
1	DISPLAY DE CRISTAL LIQUIDO	\$ 87.31	\$ 87.31
	TOTAL		\$ 130.07

TABLA V.5.- LISTA DE PRECIOS EN LA ETAPA DE INTERFACE USUARIO-MAQUINA.

La tabla de los precios de los componentes de la etapa final aparece en la siguiente tabla

#	DESCRIPCION	PRECIO/U	PRECIO/T
1	MICROCONTROLADOR PIC16C74A/JW	\$ 326.75	\$ 326.75
3	LATCH MC14508	\$ 23.56	\$ 70.68
2	BUFFER MC14503	\$ 4.69	\$ 9.38
1	DECODIFICADOR MC14514	\$ 13.13	\$ 13.13
1	PUENTE RECTIFICADOR 100V, 3 A	\$ 7.38	\$ 7.38
1	REGULADOR LM7805	\$ 5.44	\$ 5.44
1	DISIPADOR PARA TRANSISTOR PLASTICO	\$ 3.27	\$ 3.27
1	INVERSOR MC16069	\$ 4.22	\$ 4.22
4	TRANSISTOR 2N4400	\$ 5.53	\$ 22.12
13	RESISTENCIA CARBON ¼ WATT	\$ 0.12	\$ 1.56
1	CAPACITOR 2200µF, 15V	\$ 12.93	\$ 12.93
1	CAPACITOR 22µF, 15V	\$ 4.33	\$ 4.33
1	TRANSFORMADOR 9V, 2 A	\$ 18.47	\$ 18.47
	TOTAL		\$ 499.66

TABLA V.6.- LISTA DE PRECIOS EN LA ETAPA DE CONTROL CENTRAL.

Para obtener el gran total, se suman los precios de las diferentes etapas agregándosele un concepto por varios en el cual se incluyen materiales que generalmente no tomamos en cuenta como es alambre, tableta de prototipo, cable, soldadura, energía eléctrica, etcétera; todo lo anterior sin considerar la mano de obra, ni el tiempo de investigación, ya que esto es una cortesía de su servidor. Posteriormente se tendrá un costo adicional en el cual posiblemente se mejorarán las diferentes etapas y se dará estética para hacer atractivo el producto, aunque de lo último no nos ocuparemos por el momento.

CONCEPTO	PRECIO
ETAPA DE FUENTE DE PODER	\$ 513.34
ETAPA DE DISPARO DE EROSION	\$ 86.37
ETAPA DE LIMPIEZA	\$ 104.38
ETAPA DE DESPLAZAMIENTO	\$ 63.45
ETAPA DE INTERFACE USUARIO-MAQUINA	\$ 130.07
ETAPA DE CONTROL CENTRAL	\$ 499.66
VARIOS	\$ 200.00
SUMA TOTAL	\$1597.27

TABLA V.7.- SUMA TOTAL DE TODAS LAS ETAPAS

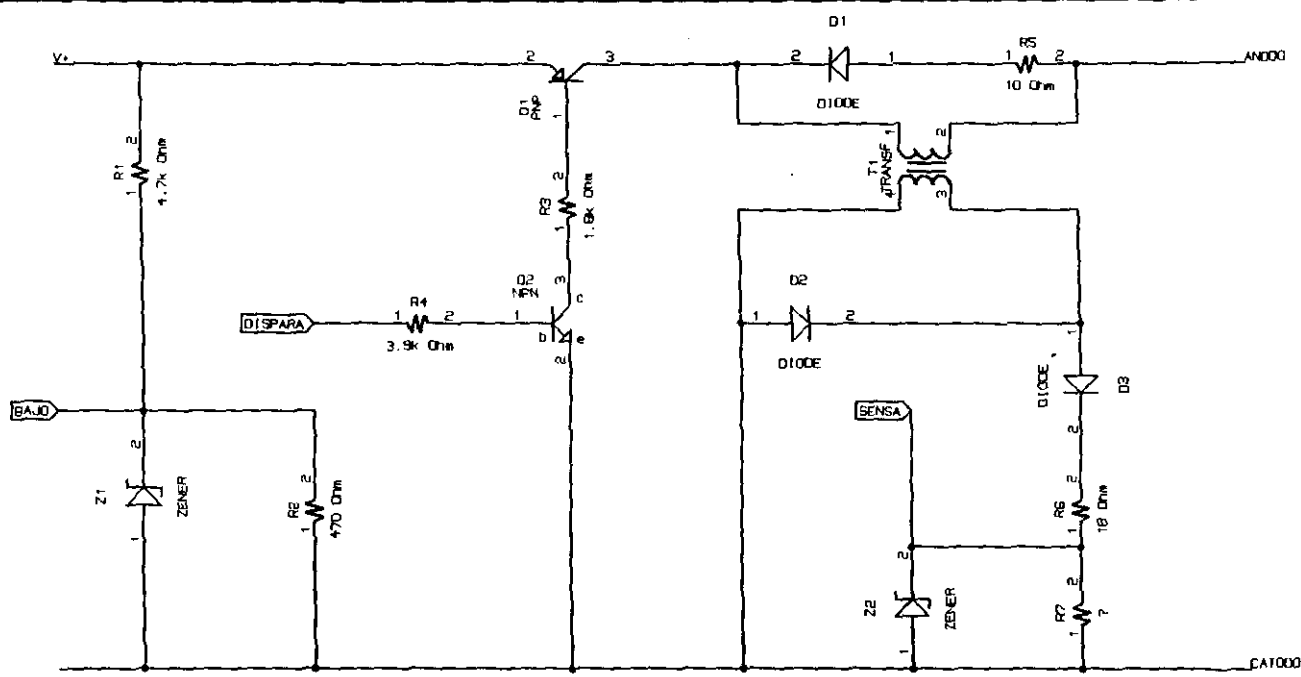
Considerando que el prototipo controla totalmente todas las etapas, que nos proporciona un medio amigable para comunicarnos con él y su versatilidad para que una persona especializada una de las etapas la pueda mejorar en forma independiente sin tener que adentrarse al resto del sistema, el precio es bastante competitivo.

En conclusión el prototipo cumple con las expectativas que se tenían del él (fácil manejo y económico).

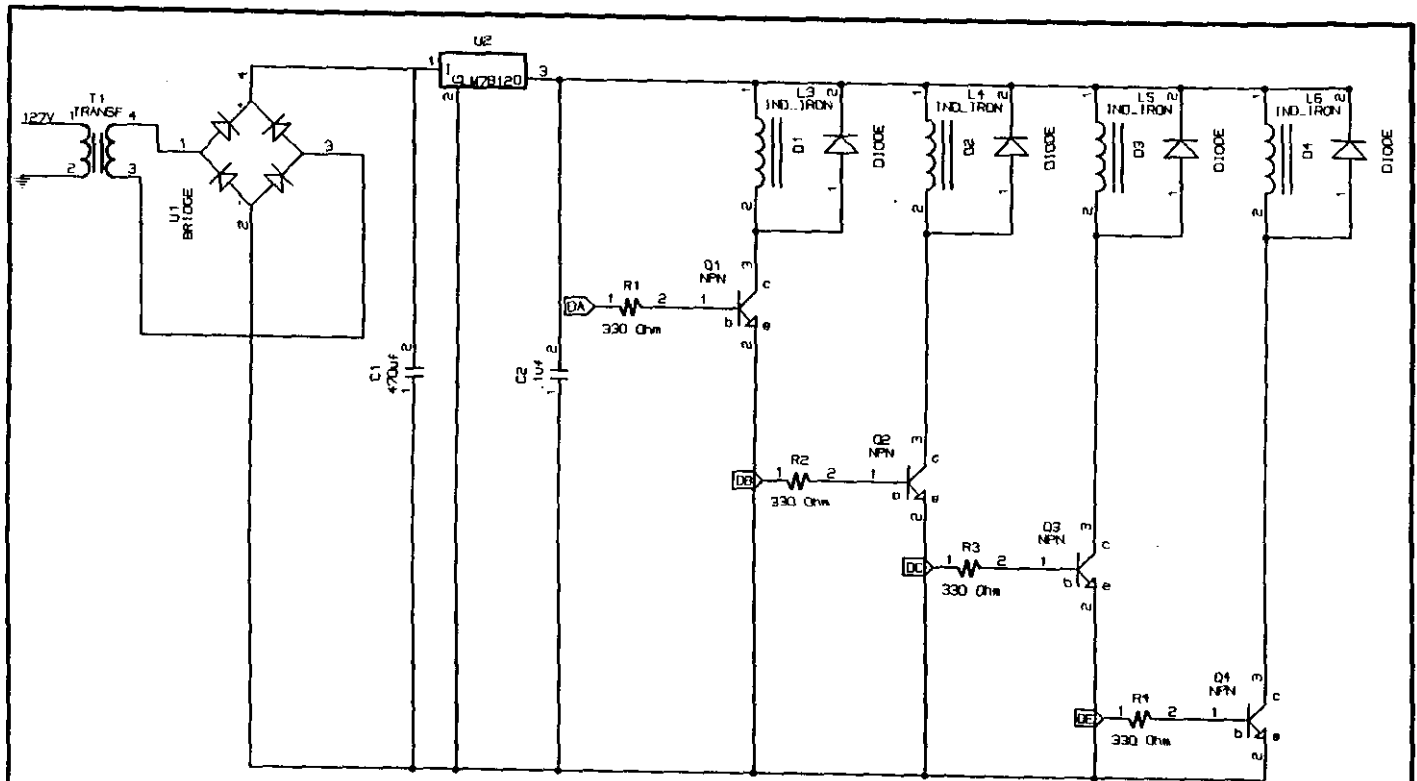
BIBLIOGRAFIA

- 1 **Manual de electroerosión**
METBA
1982
- 2 **Principios de Electrónica**
Alberto Paul Malvino
Editorial MacGraw-Hill
Quinta edición
1994
- 3 **PIC16/17 Microcontroller Data Book**
Microchip
1995/1996
- 4 **Embedded Control Handbook**
Microchip
1994/1995
- 5 **Electricidad y Magnetismo**
Para Estudiantes de Ciencias e Ingeniería
Luis L. Cantú
Editorial Limusa
1985
- 6 **Maquinas Eléctrica**
Stephen J. Chapman
Editorial McGraw-Hill
1989
- 7 **Microchip ECH Update I**
Microchip
1995/1996
- 8 **General Purpose Linear Devices Databook**
National Semiconductor
1989
- 9 **Física Para Estudiantes de Ciencias e Ingeniería**
Federick J. Bueche
Editorial McGraw-Hill
1979
- 10 **Cmos Logic Data**
Motorola
1990

- 11 Thyristor Device Data
Motorola
1995
- 12 Optoelectronics Device Data
Motorola
1995
- 13 Small-Signal Transistors, Fets and Diodes Device Data
Motorola
1994
- 14 Bipolar Power Transistor Data
Motorola
1995
- 15 Calculo Diferencial e Integral
Granville-Smith-Longley
Editorial UTEHA
1978
- 16 Microcomputer-Based Design
John B. Peatman
Editorial International Student Edition
1981
- 17 Circuitos Eléctricos
Joseph A. Edminister
Editorial MacGraw-Hill
1985
- 18 Eight-Bit 80C51 Embedded Processors
Intel Corporation
Advanced Micro Devices
1990



IVIER SAAIB RODRIGUEZ	
File: c:\ezrpute\ezr\p01c\drawing\dispara.sch	
Title: DISPARO DE EROSION	
Sheet: DISPARO DE EROSION	No. 1 Rev: 1.0
Drawn: ADRIAN SAAIB RODRIGUEZ	
Engineer: ADRIAN SAAIB RODRIGUEZ	Created: 23-JAN-1998 21:44
Approved: ING. BENITO ZULIGA	Checked: 3-MAY-1998 23:28



JUNER SAAIB RODRIGUEZ	
File: c:\vezroute\veztop\pic\drawing\desplaza.ecn	
Title: DESPLAZAMIENTO DEL ELECTRODO	
Sheet:	No: 1 Rev: 1.0
Drawn: ADRIAN SAAIB RODRIGUEZ	
Engineer: ADRIAN SAAIB RODRIGUEZ	Created: 6-FEB-1998 22:09
Approved: ING. BENITO ZUJIGA	Checked: 10-FEB-1998 22:30

