

272



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

DISEÑO DE UN SISTEMA DE CONTROL NUMERICO PARA UN TALADRO DE ALTA VELOCIDAD.

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO EN COMPUTACION
P R E S E N T A :
LETICIA ALVAREZ CASTILLO

Director de Tesis: Ing. Francisco J. Rodríguez Ramírez



**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

México, D. F.

1989



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 está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

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

INDICE.

I	INTRODUCCION. -----	1
II	ALGUNOS EJEMPLOS DE SISTEMAS DE CONTROL NUMERICO. -----	3
11.1	Definición y Objetivos del Control Numérico. -----	3
11.2	Origen del Control Numérico. -----	5
11.3	Técnicas del Control Numérico. -----	6
11.4	Características de los Sistemas de Control Numérico. --	18

III	ESPECIFICACIONES DEL SISTEMA, ALCANCES Y LIMITACIONES. -----	24
III.1	Parte Mecánica. -----	26
III.2	Parte Software. -----	35
III.3	Parte Hardware. -----	37
III.4	Alcances y Limitaciones. -----	38
III.5	Especificaciones de Diseño. -----	39
IV	DISEÑO DEL DISPOSITIVO: MECÁNICO, ELECTRÓNICO (HARDWARE), Y CONTROL (SOFTWARE). -----	40
	Antecedentes. -----	40
IV.1	Dispositivo Mecánico. -----	41
IV.2	Parte Hardware. -----	53
	IV.2.a Fuente de Alimentación. -----	54
	IV.2.b Circuito para manejar los Motores de Pasos. --	60
	IV.2.b.1 Motores de Pasos. -----	65
	IV.2.c Circuito para encender el Motor de CD. -----	82
	IV.2.c.1 Motor de CD. -----	83
	IV.2.d Circuito para encender el Drumal. -----	83
	IV.2.e Circuito de Protección. -----	84
	IV.2.f Circuito Sensor. -----	84
IV.3	Control del Sistema (Software). -----	86
	IV.3.a Breve descripción de una microcomputadora en base al microprocesador Z80. -----	90
	IV.3.a.1 Interfaz PIO-Z80. -----	96
V	EVALUACIÓN EXPERIMENTAL. -----	104
V.1	Evaluación Experimental de la Parte Mecánica. -----	105

V.2	Evaluación Experimental de la Parte Electrónica.	-----	107
V.3	Evaluación Experimental de la Parte de Control.	-----	107
VI	COSTO Y CONCLUSIONES.	-----	109
VI.1	Costos.	-----	109
VI.1.a	Costo de la Parte Mecánica.	-----	110
VI.1.b	Costo de la Parte Electrónica.	-----	111
VI.1.c	Costo de la Parte de Control.	-----	112
VI.2	Conclusiones.	-----	113
	APENDICE.	-----	116
	BIBLIOGRAFIA.	-----	127

I

INTRODUCCION.

Ante la imperiosa necesidad de desarrollar tecnologías propias en diversos campos del conocimiento, para proporcionar al país una menor dependencia tecnológica, se han realizado varios intentos con menor o mayor éxito, dentro de los cuales puede considerarse el presente trabajo titulado "DISEÑO DE UN SISTEMA DE CONTROL NUMÉRICO PARA UN TALADRO DE ALTA VELOCIDAD".

En este contexto no podía faltar la Industria Electrónica que, por sí sola, tiene un papel relevante; independientemente de estar relacionada con otras industrias como lo son la Química, Aeronáutica, Medicina, Máquinas-herramientas, etc. Teniendo presente esto, el

resultado de la vinculación entre la Electrónica, el Control y las Máquinas-herramientas, ha tenido como consecuencia el origen de una técnica conocida como Control Numérico, que consiste en el control de máquinas-herramientas por medios electrónicos.

Por lo que, el Control Numérico adquiere mayor importancia cada día en las industrias de manufactura que dependen de las máquinas-herramientas, puesto que con él se logran producciones superiores, tanto cuantitativa como cualitativamente, en la consecución de diferentes tipos de piezas, teniendo una gran importancia para la Ingeniería Electrónica.

Por lo anterior, se ha tenido la necesidad de manufacturar circuitos impresos, en la fabricación de diferentes sistemas electrónicos, con una determinada finalidad.

En la elaboración de circuitos impresos, es necesario hacer horadaciones, para colocar componentes de los mismos, y que hasta ahora se hace convencionalmente por medio de un taladro manual. Esto es realizable por medio de un sistema de Control Numérico, que incrementa rapidez y exactitud en su realización, siendo esto un ejemplo práctico de esta rama de la tecnología. Por estos motivos, me he permitido escoger el diseño y construcción de este dispositivo, como tema de tesis.

II

ALGUNOS EJEMPLOS DE SISTEMAS DE CONTROL NUMERICO.

II.1 DEFINICION Y OBJETIVO DEL CONTROL NUMERICO.

Se considera Control Numérico todo dispositivo capaz de dirigir posicionamientos de un mecanismo móvil en el que las órdenes relativas a los desplazamientos del móvil son elaboradas en forma totalmente automática, a partir de información numérica definida, ya sea manualmente, o por medio de un programa.

Probablemente la definición más aceptada es la ofrecida por la Asociación de Industrias Electrónicas (EAI), y la define como sigue: "Es un sistema en el cual las acciones son controladas por la inserción directa de datos numéricos en algún punto. El sistema automático interpreta por lo menos alguna parte de estos datos."

El Control Numérico es considerado extremadamente versátil operando máquinas automáticamente y almacenando datos en una cinta magnética o por algún otro medio. El Control Numérico tiene gran significado en casi cualquier área de la manufactura. Esta técnica es una forma de automatización relativamente nueva, es popular y es un concepto diferente en la ingeniería, por lo menos en lo referente a la industria de manufactura, que permite fabricar productos maquinados de alta calidad de manera más económica. Las máquinas de Control Numérico son más exactas, versátiles y eficientes.

La diferencia entre una máquina-herramienta típica y una máquina-herramienta controlada numéricamente, estriba en que la máquina clásica o típica es controlada manualmente por un operador para que, ésta realice sus funciones y, en una máquina-herramienta de Control Numérico, sus movimientos son controlados por una unidad electrónica. En la figura II.1 se presentan curvas comparativas en el costo de maquinado de una a mil piezas, realizadas por 3 diversos tipos de máquinas.

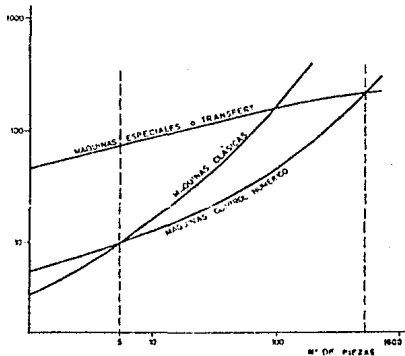


FIG. II.1 PRECIO DE EJECUCIÓN DE UNA PIEZA EN FUNCIÓN DEL NUM. DE PIEZAS.

Como puede observarse, resulta más económico utilizar una máquina típica en la ejecución de un número de piezas menor a 5. Si la cantidad es mayor, es conveniente la utilización de máquinas-herramientas de Control Numérico. En el maquinado de piezas a gran escala, es más ventajoso el uso de las máquinas especiales.

II.2 ORIGEN DEL CONTROL NUMÉRICO.

El primer intento para dotar a una máquina-herramienta de algún tipo de control, fue el desarrollado por Jacquard Loom, quien en 1801 ideó una máquina textil que permitía realizar distintos tipos de tejidos, con sólo variar un programa introducido en la máquina, a través de tarjetas perforadas.

Poco tiempo después de la Segunda Guerra Mundial, la fuerza aérea de Estados Unidos tuvo la necesidad de manufacturar componentes aéreos complejos con una precisión máxima. Durante este periodo de desarrollo, el primer intento serio para obtener un verdadero Control Numérico, partió de la necesidad de fabricar hélices de helicóptero, el cual fue realizado por la Compañía Parsons Corporation of Traverse de Michigan. Una propuesta que involucraba a una máquina que preparaba los componentes a templear, fue presentada a la fuerza aérea por Parson Corporation of Traverse, hecho que trajo como consecuencia un contrato de desarrollo en 1948. En 1949 Parson Corporation se unió con el Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT) con un contrato más importante sobre el proyecto.

Desarrollando un trabajo continuo, el Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT) obtuvo buenos resultados fabricando una máquina

de tres movimientos (véase figura II.2).

Los siguientes años fueron encaminados al refinamiento de Hardware y almacenamiento de información. Posteriormente, estudiando la aplicación de las máquinas de Control Numérico en estructuras de aviación de alta velocidad, la Asociación de Industrias Espaciales organizó la manufactura de partes aéreo-espaciales, recomendando a la fuerza aérea que, en adelante, las máquinas vieran con equipos de Control Numérico y en 1955, la fuerza aérea destinó 35 millones de dólares para la manufactura de aproximadamente 100 máquinas controladas numéricamente. (Véase figura II.3).

No fue sino hasta alrededor de 1960, que el Control Numérico entró a escala comercial. El incremento de las máquinas de Control Numérico fue fenomenal y, de acuerdo con un dato de diciembre de 1960, había 14,000 máquinas controladas numéricamente y en 1972, fueron aproximadamente 24,000. En la figura II.4 se muestra una gráfica sobre el incremento de máquinas de Control Numérico.

II.3 TÉCNICAS DE CONTROL NUMÉRICO.

Hay dos tipos principales de técnicas de control en máquinas-herramientas, estas son conocidas como: Punto a Punto y Contorneo.

En las máquinas-herramientas que utilizan la técnica Punto a Punto, el material que se va a trabajar permanece en una posición fija, mientras la herramienta se pone en movimiento para realizar su objetivo. (Véase figura II.5).

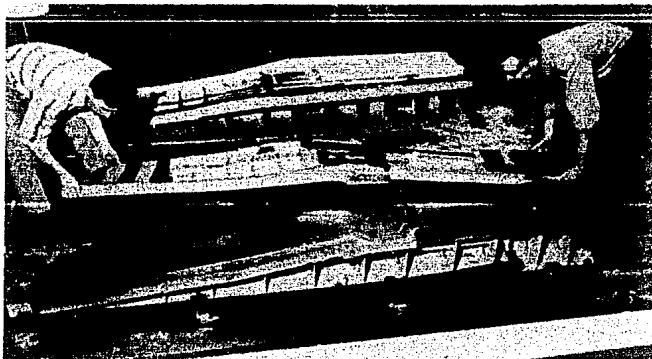
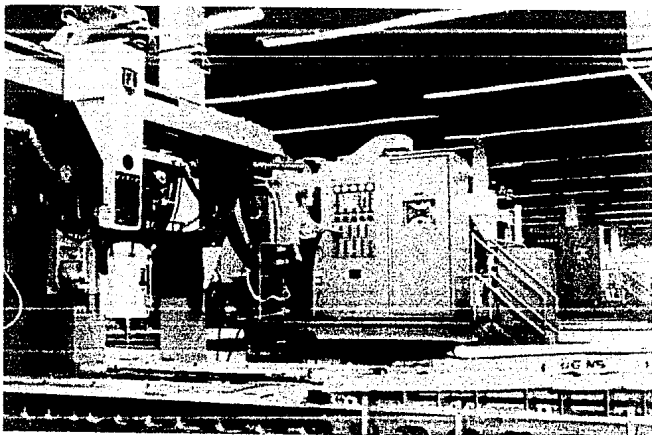


FIG.II.2 LA MAQUINA DE CONTROL NUMERICO MOSTRADA EN LA FIG. DE ARRIBA TIENE UNA MESA DE TRABAJO DE 30 PIES DE LARGO POR 12 DE ANCHO, LA FIG. DE ABAJO MUESTRA UNA ALA PARA AVION ELABORADA POR LA MAQUINA MOSTRADA EN LA FIG. DE ARRIBA.

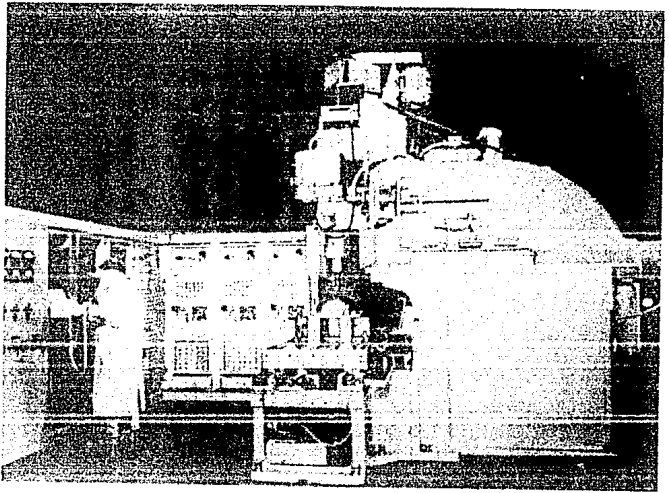
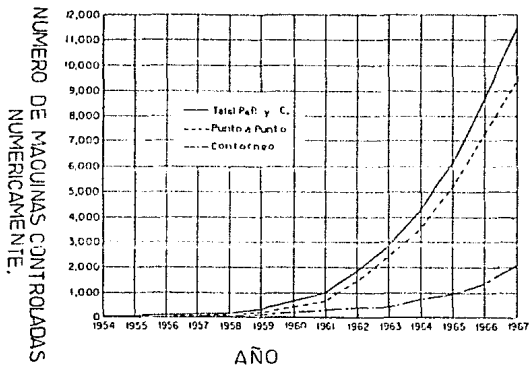


FIG.II.3 LA MAQUINA DE LA FIG. FUE MOSTRADA EN EL MIT EN 1952 ENTENDIENDOSE COMO LA PRIMERA MAQUINA CONTROLADA NUMERICAMENTE.



RAZON DE CRECIMIENTO DEL CONTROL
NUMERICO EN LOS
E.U.A.

FIG. 11.4

En las máquinas-herramientas que utilizan la técnica de Contorneo, tanto el material a trabajar como la herramienta están en movimiento. (Véase figura II.6).

Las diferencias entre las técnicas de Punto a Punto y Contorneo (Véanse figuras II.7 y II.8), estriba en que en la técnica de control Punto a Punto la información dimensional (la información dimensional es la información numérica para controlar el sistema), es suministrada a la máquina-herramienta en serie para posiciones requeridas. En este sistema la herramienta va hacia abajo y se regresa manualmente. Alternativamente el movimiento de la herramienta puede o no ser controlada por el equipo. También es usual, proporcionar un control automático eléctrico, para colocar partes en una posición seleccionada, mientras la herramienta llega al lugar deseado.

En un sistema de Contorneo la posición es relativa a la pieza de trabajo y la herramienta debe controlarse continuamente, llevándola al lugar deseado, mientras que la posición de la pieza es alterada. De este modo, el sistema de Control Numérico debe ser capaz de aceptar una serie de números, con el objeto de convertir éstos en una serie de velocidades y/o posiciones para la maquinaria que determina una posición fijada a un contorneo.

En otras palabras, en un sistema de Punto a Punto se ejecutan posiciones específicas y no afectan a la pieza de trabajo, cuando pasa de un punto al siguiente; no así en un sistema de Contorneo en el que el movimiento afecta a la pieza de trabajo, cuando pasa de un punto al siguiente.

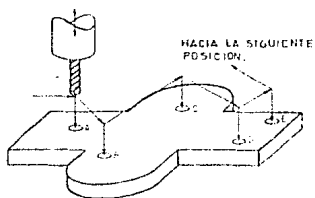


FIG. II.5 TECNICA DE CONTROL NUMERICO PUNTO A PUNTO

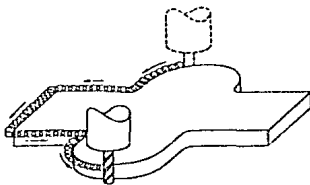


FIG. II.6 TECNICA DE CONTROL NUMERICO DE CONTORNEO

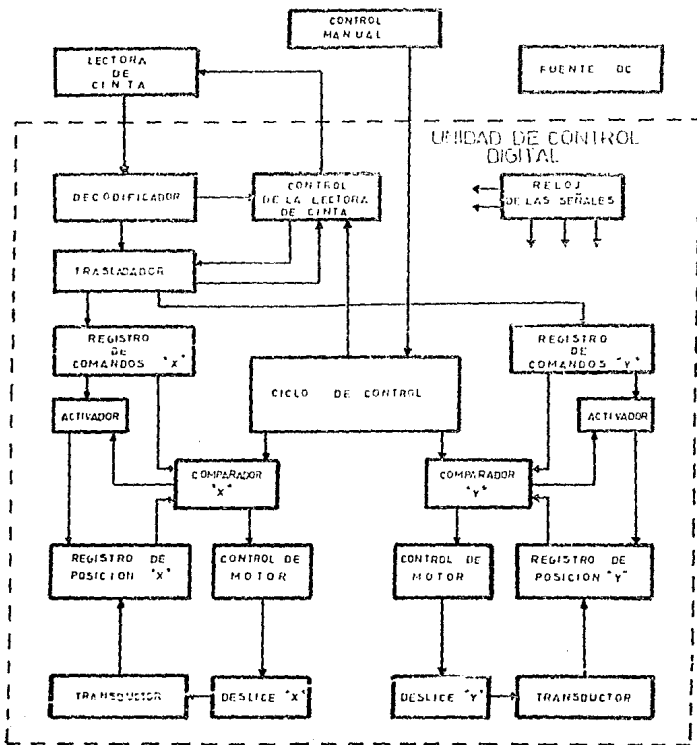


FIG.II.7 DIAGRAMA GENERAL DE UN CONTROL NUMERICO PUNTO A PUNTO.

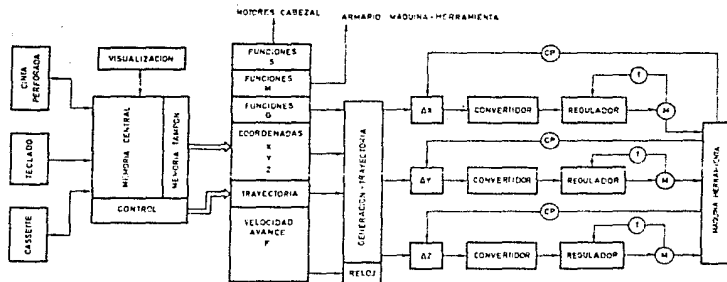


DIAGRAMA GENERAL DE UN CONTROL NUMERICO DE CONTORNEO DE 3 EJES.

FIG. II.8

Los sistemas de Control Numérico se dividen, como se ha mencionado, en dos tipos: Punto a Punto y Contorneo, los cuales se subdividen a su vez en Analógicos y Digitales, de tal manera que ambas técnicas de Control (Punto a Punto y Contorneo), pueden ser Analógicas o Digitales.

Los sistemas de Control Analógico y Control Digital usan entradas de datos digitales. Por otra parte, ambos usan servosistemas, los cuales necesitan tener salidas mecánicas en forma analógica, por que el desplazamiento (deslizamiento) debe ser armonioso y no saltar desde un punto a otro no consecutivo.

La principal diferencia entre sistemas de Control Analógico y Digital, es el camino en el cual los datos son procesados, ya sea que el dato se procese en forma digital originalmente y sea cambiado a forma analógica (Control Digital) o, si es cambiado a forma analógica antes del proceso (Control Analógico). Los dos métodos resultan apropiados a problemas de control numérico de máquinas-herramientas.

Un Sistema de Control Numérico Analógico, es aquel en el cual la entrada de los datos referentes a cada eje cambian en forma continua, la cual puede ser un voltaje, por ejemplo.

Un Sistema de Control Numérico Digital, es aquel en el cual la entrada de los datos para cada uno de los ejes cambia en forma discreta, esto es, en ciertos instantes de tiempo, generalmente se emplean niveles lógicos. Una vez que se ha procesado esta información, los resultados son convertidos a una señal continua (analógica), para el manejo de la herramienta de corte. La conversión de información digital a analógica

es realizada por un convertidor digital/analógico, el cual debe encontrarse una vez en el equipo. Este convertidor puede estar en la señal de comando o en el circuito medidor de posición.

Existen cuatro posibles tipos de sistemas de Control Numérico, dos de ellos son Analógicos y dos Digitales, cada uno de estos puede ser Posicional o Incremental, teniendo así sistemas:

- Analógico posicional.
- Analógico incremental.
- Digital posicional.
- Digital incremental.

Un sistema Posicional es aquel en el cual los datos manejan al servosistema, que contiene, información precisa, posicional con respecto a un dato determinado.

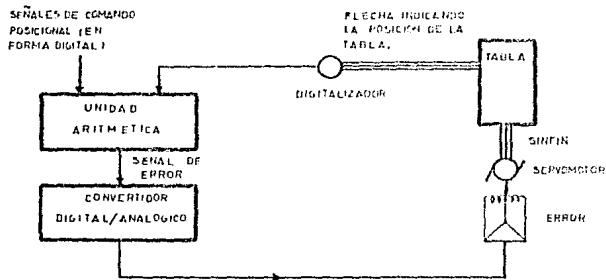
Un sistema Incremental es aquel en el cual los datos contienen información en forma de incrementos de distancia, desde un punto en reposo, hasta un cierto punto.

En un sistema Posicional la herramienta puede ser inmovilizada en el momento que se quiera, y además retrocedida y los desplazamientos se pueden modificar manualmente. En un sistema Incremental esto es imposible, ya que si los desplazamientos son modificados manualmente, los incrementos adicionales no son insertados al contador del mecanismo.

En un sistema de Control Digital Incremental las señales de comando y realimentación están constituidas de trenes de pulsos, cada

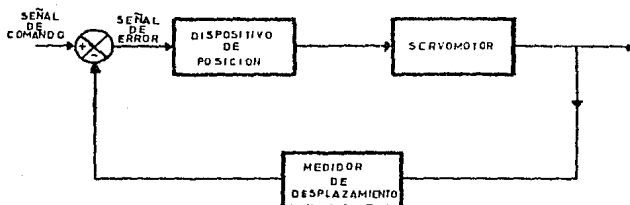
tren de pulsos representa una unidad específica de distancia. Los pulsos de las señales de comando y realimentación son comparadas y la diferencia, la cual no debe exceder un número de pulsos, es el error usado, después de la conversión a analógica para manejar el servomotor. La exactitud con la cual la información dimensional puede ser citada es de $\pm S/2$, donde S es una distancia representada por un pulso. La exactitud con la cual la información dimensional es tolerable para la máquina-herramienta es $\pm S$, provista de una adecuada ganancia, aprovechable por el sistema. Algunos de estos sistemas son controlados mediante señales senoidales en lugar de pulsos, controlando la información representada por cambios de frecuencia y fase.

En un sistema de Control Digital Posicional, la entrada es en forma digital. Esto representa posición y la realimentación debe ser también una representación posicional en forma digital. Una unidad aritmética es necesaria para determinar la diferencia entre las señales de comando y realimentación y esto se hace usualmente en forma de un contador bidireccional, es decir que cuenta en forma creciente o decreciente. Pasando la señal correcta a un convertidor digital/analógico, para proporcionar una señal analógica que maneja el servomotor. La señal que representa la posición de la mesa de trabajo debe ser también convertida a forma digital por medio de un digitalizador (es un dispositivo que indica analógicamente la posición lineal o rotacional de un desplazamiento o en términos digitales, haciendo uso de un código binario). Un bloque esquemático se muestra en la figura II.9.



SISTEMA DE CONTROL DIGITAL POSICIONAL INCLUYENDO UN DIGITALIZADOR.

FIG. II. 9



SERVOSISTEMA
FIG. II. 11

En un sistema de Control Analógico Incremental, la señal de comando es la diferencia de una posición analógica.

En un sistema de Control Analógico Posicional, cada posición es comandada por un código y es citada con respecto a un dato inicial de posición; después de un proceso de conversión, este comando de posición es devuelto por un voltaje analógico. Las señales de realimentación deben ser analógicas, ejecutadas en la misma escala usada para el comando de la señal. La exactitud del sistema es la misma con la cual los voltajes analógicos de comando y realimentación son generados.

La figura 11.10 muestra la clasificación general de los sistemas de Control Numérico.

11.4 CARACTERISTICAS DE LOS SISTEMAS DE CONTROL NUMERICO.

Los sistemas de Control Numérico se caracterizan por estar constituidos por dispositivos de posicionamiento, medidores de desplazamiento y servosistemas.

Los dispositivos de posicionamiento y de medición son conocidos como transductores. Hay diferentes dispositivos usados para medición de posición. Algunos de éstos son rotacionales y otros lineales. Los rotacionales son usados para medir el desplazamiento angular (ángulo de rotación) de la mesa de trabajo. También pueden ser usados indirectamente para medir la posición de un desplazamiento en términos de las revoluciones de un sinfín.

Los dispositivos lineales son usados para medir directamente el

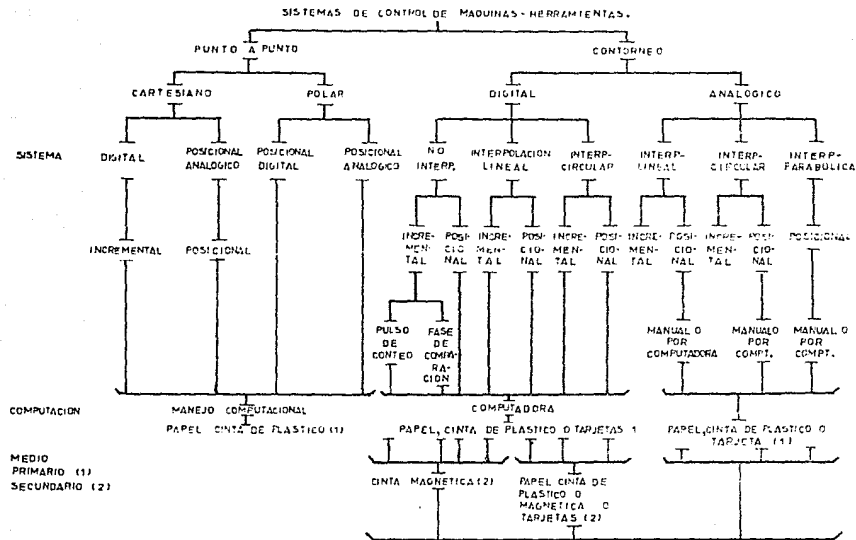


FIG. II.10 CLASIFICACION DE LOS SISTEMAS DE CONTROL NUMERICO.

desplazamiento o posición.

Un servosistema completo consiste por lo menos de un lazo de realimentación conteniendo al servomotor, el dispositivo medidor de posición y el diferenciador. (Véase figura II.11).

El lazo de realimentación lleva la información de la posición actual de la mesa de trabajo.

Un diferenciador tiene la función de aceptar dos señales de entrada y proveer una salida igual a la diferencia entre ellos.

Las señales de comando (entrada de referencia o posición deseada) y realimentación (posición actual) son suministradas al diferenciador para obtener la señal de error que lleva a la mesa de trabajo al lugar deseado (esto indicado por la señal de comando).

Las características de un Sistema de Control Numérico ideal se mencionarán a continuación, estos requerimientos no los tienen todos los sistemas y algunos no son esenciales.

Las características de un Sistema de Control Numérico Punto a Punto son las siguientes:

- 1.- El sistema debe ser fijo y confiable en su operación; debe tener un mantenimiento rápido y simple.
- 2.- Los dispositivos de posicionamiento deben estar funcionando todo el tiempo, sin fallas debidas a perturbaciones, por lo cual los desplazamientos tienen que ser controlados por servosistemas.
- 3.- El costo del sistema de control y de equipo debe estar razonablemente relacionado con el de la máquina-herramienta y el costo de operación.

- 4.- El sistema debe ser inherentemente exacto y estable. Preferentemente debe ser posible comprar sistemas que tienen el grado de exactitud requerido para el trabajo que se desea realizar, siendo el costo razonablemente relacionado a la exactitud requerida.
- 5.- Es conveniente usar un manual que especifique cómo posicionar la mesa de trabajo y no fallar en la exactitud de la pieza a realizar.
- 6.- El tamaño del equipo que forma el sistema de control debe ser tan grande como sea necesario.
- 7.- La preparación de datos debe ser barata, rápida y fácil.
- 8.- La cantidad de datos de control no debe ser demasiado grande, y debe ser capaz de usar datos almacenados fuera de la máquina.
- 9.- Esto es útil si el dato es capaz de ser modificado en el almacenamiento externo de la máquina por métodos manuales, sin necesidad de repetir todo.
- 10.- La máquina suministra automáticamente la rotación de la cabeza del taladro, de acuerdo a las instrucciones de almacenamiento externo.

Los requerimientos ideales para un sistema de Contorno son los mismos que para un sistema Punto a Punto y, además, adicionando los siguientes puntos:

- 1.- Debe tener corte en cualquier tipo de curvas, definido por una secuencia de puntos dimensionales o por datos geométricos o algebraicos.
- 2.- El sistema debe ser flexible en operación, siendo el operador capaz de:

- a) Iniciar y detener la máquina en cualquier momento durante la operación.
- b) Movimiento manual de la mesa, así como también cancelar una operación.
- c) Repetir cualquier parte de un contorno u otra operación deseada.
- d) Permitir que el programa sea elaborado sin faltar las consideraciones de el tamaño del corte.
- e) Usar cortes cuyas dimensiones no difieran de lo que fue programado.
- f) Variar la realimentación.
- g) Usar el mismo programa para hacer un corte rudo (duro).
- h) Es conveniente que la pieza de trabajo se pueda posicionar manualmente sobre la mesa.

3.- Es necesario un computador especial o un analizador diferencial para realizar interpolación, el cual debe encontrarse fuera del gabinete de control, siempre que esto sea posible.

4.- Las instrucciones numéricas otorgadas por la máquina incluyen instrucciones de manejo, las cuales involucran otras operaciones manuales.

Un sistema de Control Punto a Punto tiene solamente el movimiento de la pieza a puntos presentes, predeterminados y sucesivos en la superficie que el cortador requiere o cualquier otra herramienta y, por lo tanto, no requiere interpolación.

El sistema Punto a Punto puede operar dos deslíces hacia ángulos rectos o puede usar un control rotacional de la mesa. Los sistemas de

Coordenadas Cartesianas suministran un control de la mesa, el cual es usado con taladros o cualquier otro equipo para su funcionamiento.

Los sistemas de Control de Contorneo de Mesa Rotatoria, pueden ser usados como máquinas Punto a Punto o, para máquinas de Contorneo en coordenadas polares.

Los sistemas de Control de Contorneo de Mesa Rotatoria cartesianos, tienen el mismo principio, éstos tienen dos ejes principales de control de movimiento lineal, y las tablas rotatorias tienen solamente un eje y éste es solamente rotacional.

Los sistemas de Control de Contorneo difieren totalmente de un sistema de Control de Contorneo de Mesa Rotatoria, una importante diferencia es la interpolación usada en el proceso de datos de éstos últimos.

También hay Sistemas de Interpolación Mixta, Circular y Lineal. Los Sistemas Mixtos contienen interpolación parabólica y lineal, y estos existen en Sistemas Posicionales. Ahora, cuando no existe interpolación, existen sistemas Incrementales y Posicionales. En los Sistemas Incrementales Digitales y Sistemas Posicionales Digitales se tiene un control cartesiano.

Las máquinas-herramientas Punto a Punto son controladas principalmente por sistemas de control posicional.

Los sistemas Incrementales no son usados en la Gran Bretaña, pero sí en los E.U.A.

III

ESPECIFICACIONES DEL SISTEMA, ALCANCES Y LIMITACIONES.

Como un ejemplo modesto de algunas bondades y aplicaciones que tiene el Control Numérico, se diseñó el sistema para hacer agujeros en tarjetas de baquelita.

En el sistema para hacer perforaciones en tarjetas de baquelita se requiere, a la entrada de éste, de una tarjeta de dicho material en la cual se desea hacer un circuito impreso para colocar componentes electrónicos. A la salida sólo se tendrá la misma tarjeta de baquelita con el número de horadaciones y en las coordenadas cartesianas que se le indiquen al sistema. (Véase figura III.1).

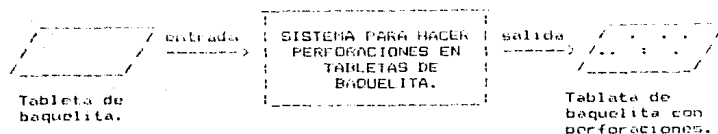


Fig. III.1

Para que la operación anterior pueda ser realizada adecuadamente, el sistema debe constar de:

- Un dispositivo que mueva la baquelita a una coordenada determinada.
- Un taladro para realizar las horadaciones.
- Un dispositivo que almacene información, (memoria), sobre el número de horadaciones a realizar y las coordenadas en donde se lleven a cabo las perforaciones.
- Un dispositivo que coordine el material anterior. (microprocesador)
- Y de las conexiones, (interfases), necesarias para enlazar las partes mencionadas.

Teniendo conocimiento de la gran utilidad que para la industria electrónica tiene una máquina que haga perforaciones en placas de baquelita, particularmente para fábricas pequeñas o talleres que no pueden adquirir en el mercado internacional una perforadora de importación, como la XI-3 DRILLER ROUTER, que a precios actuales se cotiza en \$ 300,000,000.00, me decidí a diseñar un aparato que, por medio del Control Numérico, horadara placas de baquelita y que no resultara tan inaccesible económicamente. Ignoro si a la fecha se hayan diseñado en México otras máquinas similares, pero el presente

ensayo pudiera ser útil para perfeccionarlo, no sólo en cuanto a la calidad de los materiales que lo constituyen, sino en cuanto a su rapidez, precisión, alcance, etc.

El sistema consta de tres partes:

- Mecánica: Dispositivo usado para mover la baquelita y el taladro. En adelante también se mencionará al taladro como Dremel o Moto-tool.
- Software: Programa controlador de los movimientos mecánicos en una microcomputadora en base al microprocesador Z80.
- Hardware: Está formada por la interfaz que conecta la parte mecánica a la microcomputadora y por las fuentes de alimentación para los motores usados.

III.1 PARTE MECANICA.

El dispositivo mecánico cuenta, en primer lugar, con 4 movimientos. En el plano horizontal un par de movimientos en línea recta perpendiculares entre sí, para localizar el punto a horadar. (coordenadas cartesianas). El tercer movimiento es semicircular para bajar el dremel, hacer el orificio y subirlo nuevamente a su punto de origen. Por último, el cuarto movimiento es rotatorio y es realizado por la broca del dremel.

Para lograr lo anterior, el sistema mecánico consta de:

- a) Dos motores de pasos de 15 grados en el giro de la flecha por cada

grupo de pulsos aplicados a sus bornes, éstos pulsos pueden ser hasta de 24 VCD.

Las flechas de estos motores son, en realidad, tornillos sinfín y las medidas del cuerpo del motor son las mostradas en la figura III.2.

- b) Un motor de Corriente Directa (CD), con datos de placa de 12 VCD y 1 Ampere, provisto de un disco metálico que se fija a la flecha. Las medidas físicas se muestran en la figura III.3.
- c) Taladro, Moto-tool o Dremel con datos de placa de 115 AC-DC, 50-60 Hz, 0.8 Amperes y 30,000 RPM., con las medidas mostradas en la figura III.4.
- d) Dos prismas rectangulares de corralón con las medidas presentadas en la figura III.5, con 5 perforaciones cada uno de ellos, 2 en cada extremo, de 0.6 cms. de diámetro y, la perforación central, de 0.8 cms. de diámetro, con cuerda para que sirva de tuerca al tornillo sinfín.
- e) Dos soleras de aluminio de 1.9 cms. de ancho por 0.3 cms. de grueso y 58.5 cms. de largo, a las que se les ha dado una forma tal, que semejan dos porterías de fútbol soccer y en las que los postes y el travesaño son de 19.5 cms. ($58.5 \text{ cms.} / 3 = 19.5 \text{ cms.}$).
Al travesaño se le han practicado 5 agujeros simétricamente y un agujero a cada uno de los postes a 4.75 cms. de altura. (Véase figura III.6)
- f) Dos barras cilíndricas de aluminio de 0.64 cms. de diámetro por 19.5 cms. de largo.
- g) Un prisma cuadrangular de madera de 9.5 cms. por lado y 14.3 cms. de altura, en el que se han hecho 2 agujeros para introducir 2

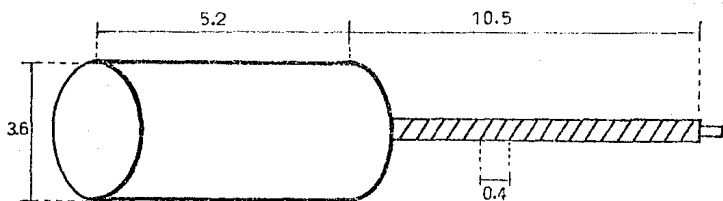


FIG. III.2 MOTOR DE PASOS.

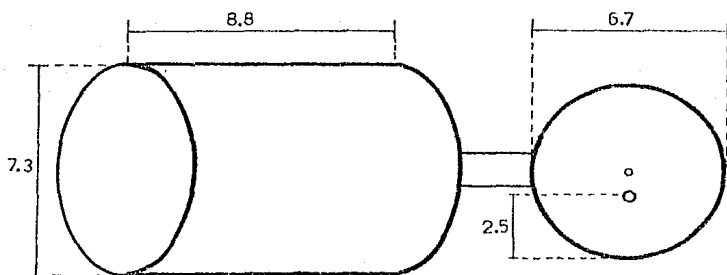


FIG. III.3 MOTOR DE CORRIENTE DIRECTA
PROVISTO DE UN DISCO METALICO.

NOTA: TODAS LAS DIMENSIONES SON EN CENTIMETROS

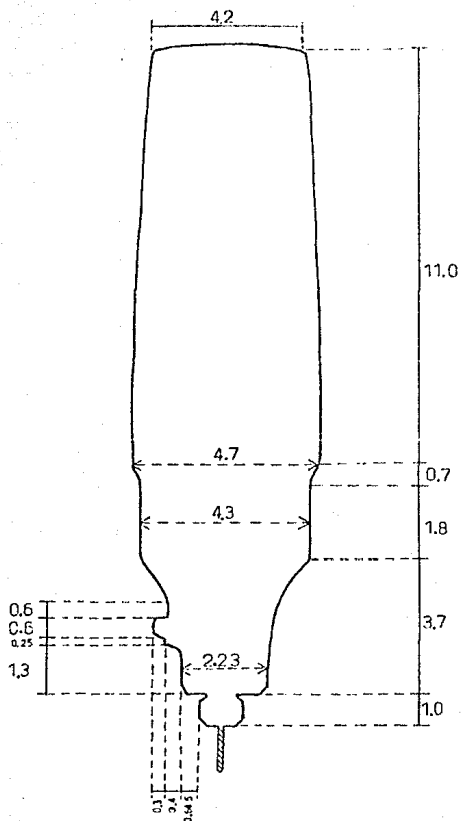


FIG. III.4 CONTORNEO DEL TALADRO O MOTO-TOOL.

NOTA : TODAS LAS DIMENSIONES SON EN CENTIMETROS.

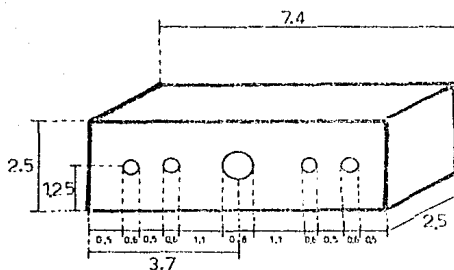


FIG. III,5 PRISMA RECTANGULAR DE CERALON.

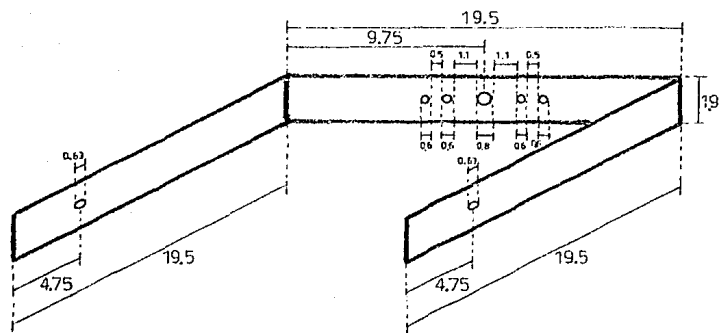


FIG. III,6 MARCO DE SOLERA DE ALUMINIO (PORTERIA)

NOTA: TODAS LAS DIMENSIONES SON EN CFNTIMETROS.

tubos, uno en cada abertura, con diámetro interno de 0.643 cms. en posiciones horizontales y ortogonalmente entre si, de lado a lado del prisma. El primero a 1.8 cms. y el segundo a 4.8 cms. de altura de la base, respectivamente. (Véase figura III.7)

- h) Tabla cuadrada de madera de 31.5 cms. por lado y 0.6 cms. de espesor.
- i) Cuatro fracciones de ángulo de aluminio de 1 cm. de ancho y 11.0 cms. de largo.
- j) Tabla cuadrada de 45 cms. por lado y 0.6 cms. de espesor, que sirve de base a todo el sistema.
- k) Lámina de acero inoxidable, cuadrada, de 19.5 cms. por lado.
- l) Biela formada por una solera de aluminio de 1.4 cms. de ancho, 0.3 cms. de grueso y 14.8 cms. de largo.
- m) Mútil de madera que afecta la forma de un prisma rectangular, cuya base tiene 6.1 cms. de largo por 2.2 cms de ancho y 19.5 cms. de altura.
- n) Bisagra de 6 cms. de largo.
- o) Barra de madera, portadora del taladro, en forma de prisma rectangular, con las dimensiones siguientes: 6.1 cms. de largo, 2.2 cms. de ancho y 44.2 cms. de alto, con un círculo de 4.3 cms. de diámetro, calado a 1.5 cms. de uno de sus extremos.
- p) Cuatro tramos de fleje metálico de 8 cms. de longitud por 1 cm. de ancho cada uno.
- q) Una abrazadera metálica.

En los siguientes párrafos nos ocuparemos de explicar por qué se utilizaron las medidas anotadas en las partes que constituyen la máquina.

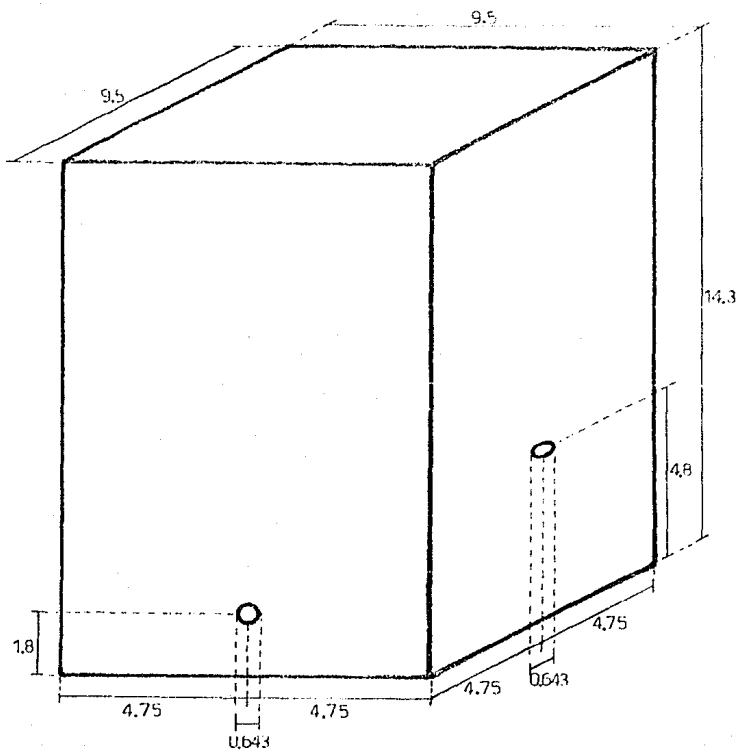


FIG. III.7 PRISMA CUADRANGULAR DE MADERA.

NOTA: TODAS LAS DIMENSIONES SON EN CENTIMETROS.

En el inciso a) en el que se menciona motores de pasos, como ya se dijo, constan de un tornillo sinfin en su flecha, con longitud de 10.5 cms. y 4 mm. en el paso del tornillo sinfin, Paso Mecánico de un tornillo es la distancia en línea recta que recorre una tuerca con un giro de 360 grados del tornillo. En los motores usados, con un giro mínimo de 15 grados en la flecha del motor. (En los motores de pasos, el giro mínimo de la flecha de éstos, se le llama Paso del Motor y para estos motores en particular, su paso es de 15 grados), el desplazamiento lineal que recorrería una tuerca sería de 1/6 mm.

La longitud del tornillo sinfin, como se mencionò es de 10.5 cms. y el prisma rectangular de ceralón es la tuerca de dicho tornillo, existiendo una longitud de contacto máxima entre ambos de 2.5 cms., por que el ancho de la tuerca es precisamente de 2.5 cms. y al entrar el tornillo sinfin está dentro de la cuerda del prisma a todo lo ancho, la longitud de contacto es la mencionada. La mínima es de 0.5 cms., es decir sólo 0.5 cms. del tornillo penetra en la cuerda de la tuerca, lo que determina un desplazamiento de la tuerca de:

$$10.5 \text{ cms.} - 0.5 \text{ cms.} = 10.0 \text{ cms.}$$

El desplazamiento de 10 cms. es la máxima longitud que recorren los dos prismas de ceralón, (tuercas), en sus respectivos tornillos sinfin.

En el inciso g) la medida de 9.5 cms. por lado en su base, del prisma cuadrangular de madera, se determino convencionalmente, por lo que las "porterías" de solera del inciso e), tienen por lado la longitud de desplazamiento de la tuerca de ceralón, más la longitud

que tiene por lado la base del prisma:

$$10.0 \text{ cms.} + 9.5 \text{ cms.} = 19.5 \text{ cms.}$$

Luego entonces la longitud de las barras del inciso f) es de 19.5 cms. que es por donde se desplaza el prisma, distancia necesaria para que éste recorra 10.0 cms.

Por lo anterior, también la lámina cuadrada del inciso b) tiene por lado 19.5 cms. (superficie en la que se desplaza el prisma cuadrangular de madera)

La altura de 14.3 cms. que tiene el prisma cuadrangular de madera, se determinó tomando en cuenta que el punto más alto que tiene que cubrir la tabla cuadrada del inciso b), que se coloca sobre el prisma, es de 13.8 cms. dándole, además un margen de 0.5 cms.

Las cuatro fracciones de Angulo mencionadas en el inciso i), son para formar un marco cuadrado de 11 cms. por lado, para colocar dentro de éste una placa de baquelita, también cuadrada, de 11 cms. por lado, quedando un margen perimetral en la baquelita de 0.5 cms. de ancho que no podrá ser perforado, puesto que como se explicó, el desplazamiento del prisma es de 10.0 cms. en ambas direcciones de los tornillos sinfin, entonces la baquelita que se encuentra depositada arriba del prisma tiene un Área de trabajo de 10.0 cms. X 10.0 cms.

De acuerdo con el inciso o), la barra portadora del *dremel*, que tiene la forma de prisma rectangular, cuenta con las dimensiones señaladas en el inciso, adecuadas para soportar el peso del taladro a efecto de que éste realice satisfactoriamente las funciones que tiene encomendadas.

Por otra parte, el ancho y el largo, tanto de la barra portadora del

dremel, inciso o), como del mástil, inciso m), tienen las mismas dimensiones, ya que ambos estarán unidos por una bisagra.

III.2 PARTE SOFTWARE.

Es un programa en lenguaje ensamblador Z-80, el cual controla los movimientos de la parte mecánica y se encuentra almacenado en una memoria EPROM 2716, (memoria programable y borrable para sólo lectura) con capacidad de almacenamiento de 16 Kbits, organizada en 2 Kbytes de 8 bits.

El usuario introduce los siguientes datos: el número de puntos a horadar y las coordenadas de estas horadaciones en la memoria RAM, (memoria volátil de acceso aleatorio) del Starter Kit, (microcomputadora en base al microprocesador Z80).

Los datos se encuentran a partir de la localidad de memoria 2000H (hexadecimal), empezando con el número de puntos a horadar; el segundo dato es para el movimiento de la baquelita en la dirección "X" de la primera coordenada, (dato X1 en la localidad de memoria 2001H); el tercer dato es el desplazamiento (eje Y) de la baquelita que es perpendicular al primer movimiento (dato Y1 en la localidad de memoria 2002H). El segundo y tercer datos forman la coordenada para el primer punto a horadar; el cuarto y quinto datos (X2 y Y2, se localizan en las localidades de memoria 2003H y 2004H, respectivamente), forman la coordenada para el segundo punto a horadar; para el tercer punto a perforar la abcisa y ordenada de la coordenada (X3, Y3) se encuentran en las localidades de memoria 2005H y 2006H, respectivamente; para agujerar el cuarto punto, los datos X4 y Y4 se encuentran en las

localidades de memoria 2007H y 2008H, respectivamente. De esta forma se teclean un par de datos para cada punto a horadar a partir de la localidad 2001H, ya que en la localidad de memoria 2000H, se teclea el número de orificios; entonces, el número de datos en la tabla de valores son dos veces el número de orificios más uno.

Antes de hacer funcionar el programa, es conveniente examinar las localidades de memoria en donde se encuentran los datos para verificar que se hayan tecleado los datos deseados.

Tomando en cuenta que la mínima distancia que la tuerca recorre linealmente es de $1/6$ de mm., el sistema controlador se programó para que el desplazamiento mínimo de la baquelita sea de 2 mm; luego, cuando el microprocesador Z80 lee de la tabla de datos los desplazamientos (X_n, Y_n) , las tuercas tienen un desplazamiento efectivo de $(X_n \times 2mm, Y_n \times 2mm)$, ya que la mínima distancia que hay entre agujeros para circuitos impresos, es la misma que hay entre las patas de un chip (circuito integrado), es decir 2 mm., por tanto, todos los desplazamientos serán múltiplos de 2 mm.

Una vez introducidos los datos y revisados, el interruptor S3 de la microcomputadora, (Starter Kit), es cambiado a la posición "PROM1 RESTART" y automáticamente el PC, Contador del Programa, apunta a la dirección de memoria 800H de la PROM1 (base donde se colocó la EPROM 2716). Oprimiendo la tecla "EXEC" del Starter kit, se inician los movimientos de ejecución de la máquina-herramienta controlada numéricamente.

III.3 PARTE HARDWARE.

Está constituida por las fuentes de voltaje para los motores de pasos y para el motor de CD, y, además, por la interfaz que conecta, por medio de un bus de 20 cables el Starter Kit a los 4 motores. Las conexiones que el usuario debe realizar son:

- Del bus se toman 2 cables para el conector de 16 patas, uno de ellos, el azul marino, (último cable), se conecta a 0 Volts y el otro a 5 Volts de la microcomputadora.
- Al siguiente conector de 14 patas, se le asigna un cable, el cual se conecta a B $\overline{5TB}$, pata de control para el puerto "B" del PIO-Z80, (entrada/salida, paralelo del Z80). Otro cable también es destinado para este conector sin función alguna.
- El conector de 16 patas, que se le destinan 16 cables, es introducido a la base de los puertos del PIO-Z80.
- La fuente con datos de placa mostrados a continuación, se conecta al Starter Kit para la alimentación de éste.

input: 105-132 VAC, 45-440 Hz.

output: 5 VCD

20.0 Amperes @ 40 grados centígrados.

18.5 Amperes @ 50 grados centígrados.

16.5 Amperes @ 60 grados centígrados.

11.1 Amperes @ 71 grados centígrados.

III.4 ALCANCES Y LIMITACIONES.

ALCANCES.

- El sistema controlador tiene una gran flexibilidad ya que:
 - . El desplazamiento mínimo (2 mm.) de la mesa de trabajo puede ser modificado para ser más grande o pequeño.
 - . La velocidad a la cual se transmiten las señales de mando a los motores de pasos puede ser incrementada o decrementada.
 - . La manera de cómo se busca la coordenada del sitio en que se realizará la perforación puede ser modificada.
 - . El aparato tiene una resolución alta en el par de movimientos perpendiculares para la localización de la coordenada de 1/4 mm.
- Es una máquina que ofrece un rendimiento aceptable, es decir, entrega un buen número de unidades procesadas.

LIMITACIONES.

- Poca durabilidad del aparato en razón de que varias partes que lo integran son de madera y no de un material con mayor resistencia.
- Las placas de baquelita están limitadas a un área de trabajo de 10.0 cms. X 10.0 cms.

III.5 ESPECIFICACIONES DE DISEÑO.

- Control de dos motores de pasos para que éstos posicionen la mesa de trabajo en coordenadas cartesianas. Teniendo los motores las siguientes especificaciones:
 - . Motor de pasos con 24 pasos/rev.
 - . Resolución de 15 grados.
 - . Voltaje máximo 24 Volts de CD.
 - . Exactitud de 0.3 grados.
 - . Velocidad de 600 pasos/segundo.
- Control del encendido y apagado de un motor de CD.
- Control del encendido y apagado de un motor de CA.
- El taladro automático se controle por el Starter Kit, otro microprocesador, o un circuito controlador.
- Parte de control
 - . Velocidad en los motores de paso constante.
 - . Detector de error.
 - . Realice incrementos o decrementos para pasar de una posición a la siguiente.
 - . Muestre en los despliegues del Starter Kit la posición a la cual tiene que llegar la mesa de trabajo.
- Interfaz
 - . Circuitos para controlar los cuatro motores por cualquier sistema elegido.
 - . Circuito para proteger la parte controladora de la corrientes manejadas por los motores.
 - . Fuentes de alimentación para los circuitos mencionados en la interfaz.

IV

DISEÑO DEL DISPOSITIVO: MECÁNICO, ELECTRÓNICO (HARDWARE) Y CONTROL (SOFTWARE).

ANTECEDENTES

Las máquinas-herramientas han jugado un papel fundamental en el desarrollo tecnológico del mundo, hasta el punto de afirmar que el desarrollo de las máquinas-herramientas determinan la tasa del desarrollo industrial.

La conveniencia de utilizar nuevas técnicas que permitieran sustituir al operador tradicional, introdujo la forma automática en los procesos de fabricación, la cual se justifica por las siguientes razones:

- a) Necesidad de fabricar productos que no se podían lograr en la cantidad y calidad requeridas, sin recurrir a la automatización del proceso de fabricación.
- b) Necesidad de obtener productos hasta entonces imposibles o difíciles de fabricar, por ser excesivamente complejos para ser producidos por un obrero o artesano.
- c) Necesidad de fabricar productos a precios suficientemente bajos.

Para esto, el hombre ha ideado de acuerdo a cada problema, numerosos dispositivos automáticos de tipo mecánico, electromecánico, neumático, hidráulico, electrónico, etc.

Algunas ideas para crear la máquina perforadora de placas de baquelita fueron tomadas de máquinas comerciales que se utilizan en la industria para usos muy diversos. Otras fueron el resultado de la inventiva personal, tomando en consideración los escasos recursos de que se disponía para tal propósito.

La manera de cómo se fué desarrollando la construcción del dispositivo, con base en dichas ideas, se describirá en las siguientes secciones.

IV.1 DISPOSITIVO MECANICO.

El sistema construido para realizar perforaciones en tabletas de baquelita, tiene dos movimientos perpendiculares en el plano horizontal, para posicionar el punto a perforar abajo de la broca del dremel. El taladro baja y sube alternadamente, repitiéndose estos movimientos en cada nuevo orificio que se pretenda realizar.

A continuación me ocuparé de explicar cómo se encuentran ensambladas las partes que constituyen el sistema mecánico. Estas ya fueron descritas detalladamente en el capítulo III.

Primero explicaré como se obtienen los dos movimientos perpendiculares entre sí, en el plano horizontal, para el movimiento de la mesa de trabajo, transportadora de la baquelita.

Las fuentes generadoras de estos dos movimientos son los dos motores de pasos, uno para cada movimiento, y, las demás partes necesarias para el desplazamiento de la mesa en una dirección: un prisma rectangular de cerálón (tuerca), un marco (porteria) y una barra cilíndrica de aluminio.

Sobre la base general cuadrada, de madera, que sustenta al sistema, están colocados los motores de pasos, perpendicularmente, con sus flechas hacia el centro del cuadrado y a diferente altura; por tanto, el primero de ellos está fijo a la base general y el segundo, sobre un pequeño pedestal a 3.6 cms. de altura de la base, (véase figura IV.1). Esto con el propósito de que al estar funcionando los dispositivos de posicionamiento que jalan y empujan alternadamente los motores, a través de una tuerca, no exista interferencia entre sus trayectorias.

Lo que a continuación se explica no es precisamente armado de las partes, sino un cálculo.

La altura del pedestal está determinada como sigue: considerando que el diámetro de los motores de pasos es de 3.6 cms. y en el centro está colocada la flecha, que penetra a la tuerca de 2.5 cms. de ancho, la parte superior de esta, colocada en el primer motor, alcanza en

UBICACION DE LOS MOTORES DE PASOS EN EL SISTEMA

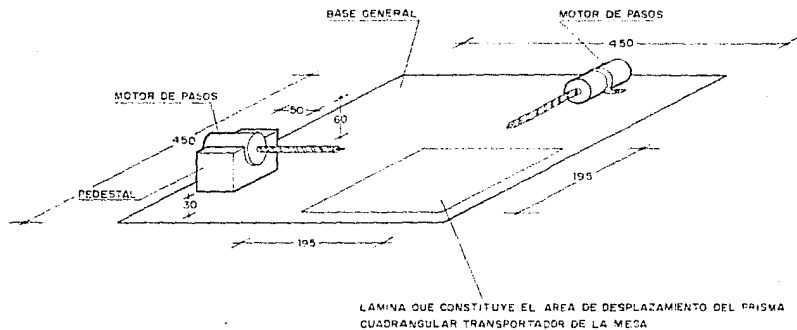


FIG. IV.1

ACOT. mm

su parte superior una altura de 3.05 cms., es decir, la mitad del diámetro del motor, más la mitad del ancho de la tuerca:

$$1.8 \text{ cms.} + 1.25 \text{ cms.} = 3.05 \text{ cms.}$$

Como entre una tuerca y otra se dejaron 0.5 cms. de margen para evitar interferencia entre ambas, la parte inferior de la tuerca colocada en el segundo motor estará a una altura de:

$$3.05 \text{ cms.} + 0.5 \text{ cms.} = 3.55 \text{ cms.},$$

consecuentemente, la flecha del segundo motor tuvo que situarse a 4.8 cms. de altura con relación a la base, esto es, la altura de la parte inferior de la tuerca del segundo motor, más la mitad del ancho de la tuerca:

$$3.55 \text{ cms.} + 1.25 \text{ cms.} = 4.8 \text{ cms.},$$

para ubicar la flecha del segundo motor a 4.8 cms. de altura de la base, fue necesario poner un pedestal de 3.0 cms., es decir, 4.8 cms., menos el radio del motor:

$$4.8 \text{ cms.} - 1.8 \text{ cms.} = 3.0 \text{ cms.}$$

Los dispositivos que posicionan la mesa de trabajo son dos, uno para cada motor de pasos. Cada uno consta de un prisma rectangular de ceralón con 5 agujeros, uno en medio, con rosca interior, en el cual entra la flecha (tornillo sinfin) de un motor de pasos y un par de agujeros a cada lado de la rosca, en los que se introducen tornillos para fijar el prisma rectangular de ceralón (tuerca), a una solera de aluminio. Como ya se indicó, la solera de aluminio, a semejanza de una portería de futbol soccer, tiene un travesaño y dos postes.

El prisma rectangular de ceralón va colocado al centro del "travesaño".

Los "postes" de la "portería" lleven un orificio redondo cada uno, a una altura de 4.75 cms., por donde penetra una barra

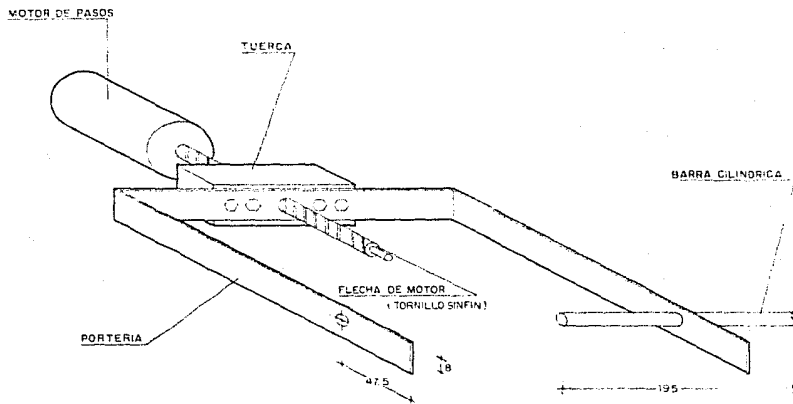
cilíndrica de aluminio que se solda a los "postes". (Véase figura IV.2). Previamente la barra cilíndrica fue introducida en uno de los agujeros del prisma cuadrangular de madera. (Véase figura IV.3)

Sobre la cara superior del prisma se centra una tabla cuadrada de 31.5 cms., la cual está sujeta mediante tornillos y pegamento, la que se denominará "mesa" en adelante. Sobre ésta, usando tornillos, se fijan cuatro segmentos de ángulo de aluminio con el objeto de formar un marco cuadrado, para colocar dentro de él, la tableta de baquelita que se va a perforar y que será utilizada para la elaboración de circuitos impresos. (Véase figura IV.4).

Ahora, para lograr el descenso del taladro, una vez posicionada la baquelita, se requiere de un tercer movimiento semicircular, generado por el motor de Corriente Directa (CD) para bajar el dremel y subirlo, una vez que se haya hecho una perforación. El cuarto y último movimiento es rotatorio, realizado por la broca del dremel para hacer la horadación. A continuación se explicará como se encuentran ensambladas las partes que hacen que se realicen los movimientos descritos.

Un mástil se levanta sobre la base general del sistema, sujeto a ésta por medio de pegamento y tornillos y, un brazo horizontal, unido por uno de sus extremos a la parte superior del mástil a través de una bisagra. Ambos forman ángulos que van de 115 a 90 grados y a la inversa, según el momento en que se observe el desplazamiento del brazo, en su trayectoria para

DISPOSITIVOS PARA EL DESPLAZAMIENTO DEL PRISMA CUADRANGULAR
TRANSPORTADOR DE LA MESA



ACOT. mm

Fig. IV.2

SISTEMA GENERADOR DE LOS MOVIMIENTOS PERPENDICULARES
EN EL PLANO HORIZONTAL

PRISMA CUADRANGULAR
TRANSPORTADOR DE LA MESA

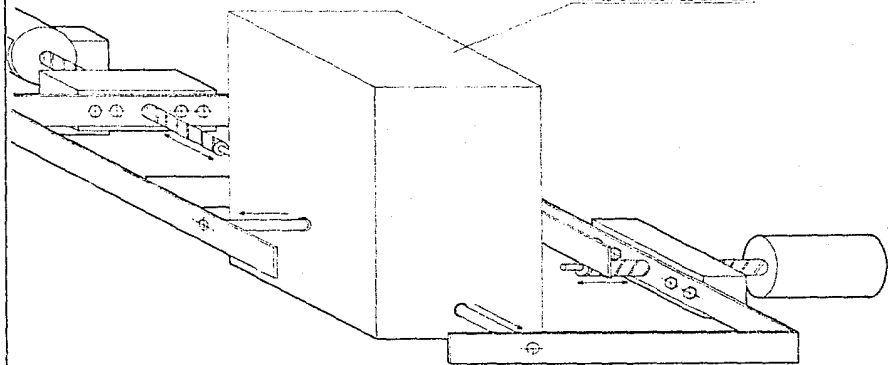


FIG. 19.3

MESA PORTADORA DE LA BAQUELITA

ANGULOS DE ALUMINIO
(\angle DE 10 x 10)

MARCO EN EL QUE SE COLOCA
LA BAQUELITA

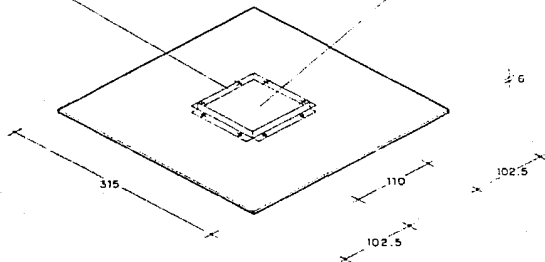


FIG. IV. 4

ACOT. : mm

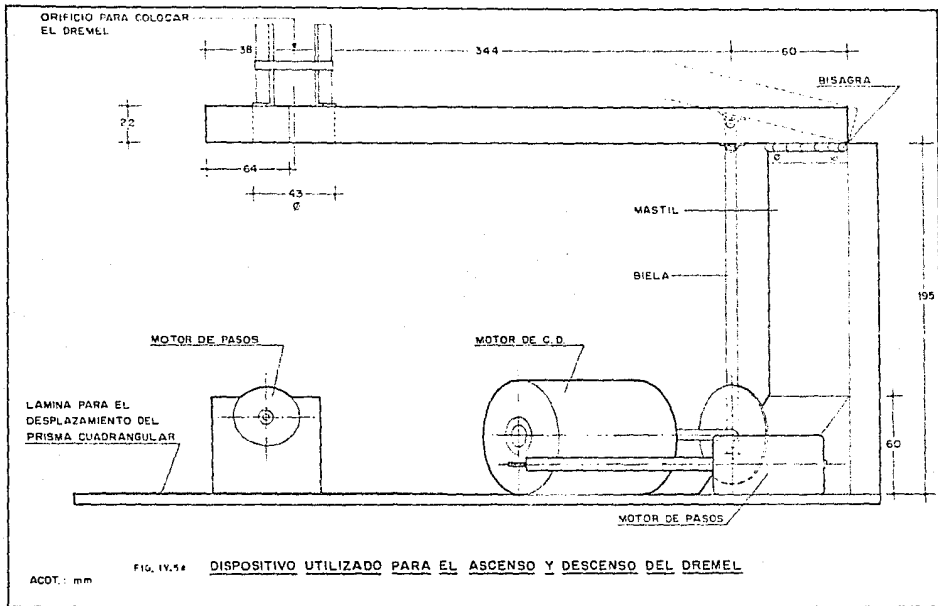
perforar. A una distancia de 6.5 cms. de la bisagra, por la parte inferior del brazo, se ha colocado una biela de solera de aluminio, que contiene en uno de sus extremos, una perforación en la que entre una "U" metálica. Esta "U" se sujeta al brazo por medio de tornillos. En el otro extremo, la biela se atornilla a un disco metálico de 6.0 cms. de diámetro y a 2.5 cms. de su circunferencia. Este, a su vez, está soldado a la flecha de un motor de CD que está situado en la base general del sistema.

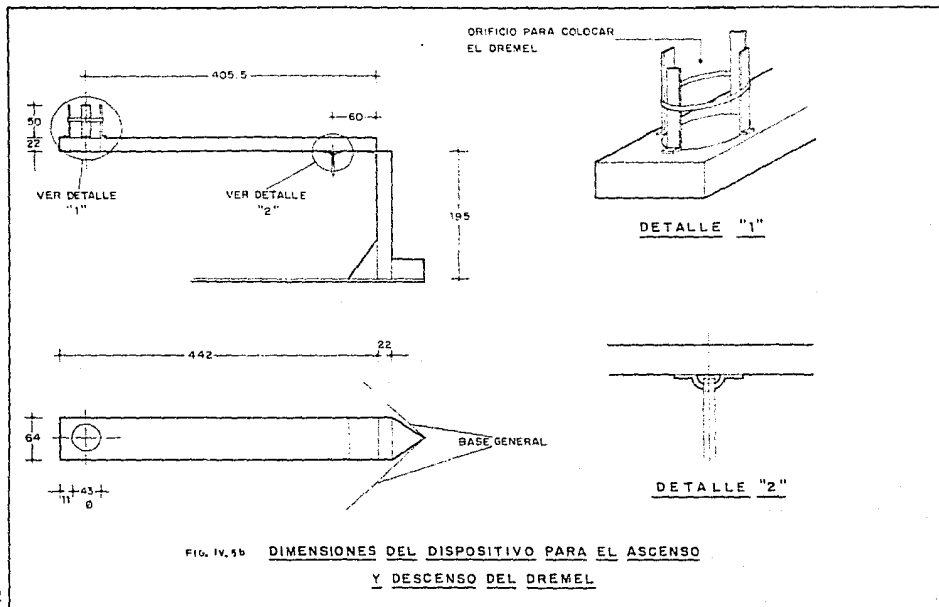
En el extremo del brazo opuesto a la bisagra, se ha calado un círculo igual al diámetro del taladro (4.3 cms.), para depositarlo ahí. Alrededor del círculo, por la parte superior del brazo, vertical y simétricamente, se han atornillado cuatro fracciones metálicas de fleje. Estas son circundadas por una abrazadera, que al apretarla, fijan el taladro al brazo. (Véase figura IV.5).

En la base general se ha colocado una lámina cuadrada de acero inoxidable, sujeta con pegamento, que sirve de pista al prisma cuadrangular para que se deslice sobre ella en sus diversos desplazamientos.

Cabe mencionar que el posicionamiento de la mesa es más preciso si el sinfín viene equipado, entre sus canales, con balines (usillos con bolillos), para reducir fricción y desgaste. (Véase figura IV.6).

Es necesario aclarar que aunque en este trabajo se utilizaron algunos mecanismos a efecto de lograr el funcionamiento del sistema,





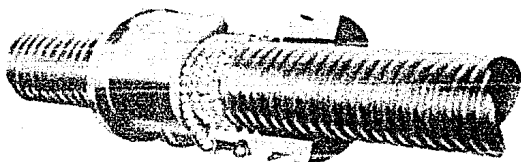


FIG. IV.6 EL TORNILLO SINFIN CON BALINES OFRECE MAS PRECISION Y MENOS FRICCION, Y ES USADO EN MAQUINAS CONTROLADAS NUMERICAMENTE.

sólo se incursionó en este campo, en forma empírica, pues el tema de tesis no es de mecánica, sino que tiene como propósito fundamental demostrar algunos de los conocimientos adquiridos durante la Carrera Profesional.

IV.2 PARTE HARDWARE.

La parte referente al Hardware, es la interfaz que conecta el sistema de control o sea el Starter Kit, con el sistema mecánico. (Véase figura IV.7).



Fig. IV.7 CONEXION ENTRE LAS PARTES QUE CONSTITUYEN AL SISTEMA.

Las fuentes generadoras de los movimientos como se ha mencionado anteriormente, para el sistema mecánico, son cuatro motores: dos motores de pasos, un motor de CD y un taladro o motor de CA. Luego, la parte electrónica, es el medio por el cual el Starter Kit controla los cuatro motores citados.

Por lo tanto se requiere de un circuito para manejar los motores de pasos, un circuito para encender el motor de CD, un circuito para encender el Dremel, un circuito que sense en qué momento se deben

apagar los motores de CD y CA, de un circuito para proteger el Starter Kit contra grandes corrientes que son manejadas por los motores y, por último, una fuente de alimentación con derivaciones para alimentar el circuito que maneja los motores de pasos, el circuito para encender el motor de CD y, el circuito para proteger el Starter kit contra grandes corrientes. Todo esto se ilustra mediante el diagrama de bloques de la figura IV.B.

En resumen la parte electrónica estará constituida por:

- a) La fuente de alimentación.
- b) Circuito para el manejo de los motores de pasos.
- c) Circuito para encender el motor de CD.
- d) Circuito para encender el Dremel o Moto-tool.
- e) Circuito de protección u opto-acoplador 4N25.
- f) Circuito sensor.

IV.2.a) FUENTE DE ALIMENTACION.

Las fuentes de alimentación están destinadas a alimentar los circuitos que gobiernan a los motores de pasos, al circuito para encender el motor de CD y a los circuitos para proteger el microprocesador de las corrientes requeridas por los motores.

Realizando pruebas de laboratorio con los motores de pasos y de CD con su respectiva carga cada uno, con el fin de obtener los valores de voltaje y corriente de dicha fuente, con dos derivaciones, la primera para alimentar a los circuitos que gobiernan a los motores de pasos y el circuito que enciende el motor de CD. La segunda alimentará al circuito de protección. Se llegó a la conclusión que para la

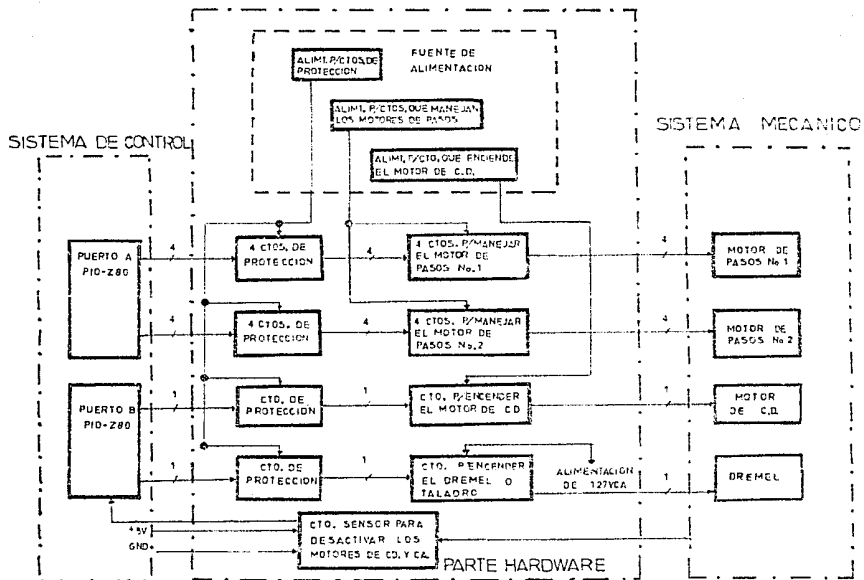


FIG. IV.8 DIAGRAMA DE BLOQUES DEL SISTEMA.

primera derivación se requieren 15.5 Volts a 1.2 Amperes y 12 Volts a 2 Amperes, para la última 5 Volts a 50 mili-âmperes.

SELECCION DE LAS PARTES QUE CONSTITUYEN LAS FUENTES DE ALIMENTACION.

- Elección del rectificador.

El rectificador elegido de onda completa que usa un transformador con tap central, tiene la ventaja de usar sólo dos diodos y de no estar restringido a niveles muy bajos de CD, 0.5 Watts o menos, como en el caso del rectificador de media onda. El rectificador seleccionado ocupa en un tiempo sólo media onda en el secundario.

- Elección del transformador.

El diagrama de la figura IV.9 representa un rectificador de onda completa que usa un transformador con tap central y un capacitor de filtro para regular el nivel de CD.

Donde:

V_{reg} debe ser de 3 Volts de CD a más.

V_{rect} es de aproximadamente 1.25 Volts de CD.

V_{ripple} es 10% el voltaje de pico.

La siguiente fórmula es usada para determinar el voltaje del secundario del transformador:

$$V_{ca} = \frac{(V_{out} + V_{reg} + V_{rect} + V_{ripple})}{0.92} \times \frac{V_{nom}}{V_{low\ line}} \times \frac{1}{\sqrt{2}}$$

donde 0.92 es la eficiencia típica de rectificación.

$\frac{V_{nom}}{V_{low\ line}}$ = es la razón del voltaje de línea a las condiciones $V_{low\ line}$ bajas permitidas en la línea.

Para nuestro caso:

$$V_{out} = 12 \text{ Volts.}$$

$$V_{reg} = 3 \text{ Volts.}$$

$$V_{rect} = 0.8 \text{ Volts.}$$

$$V_{ripple} = 0.6 \text{ Volts. (aprox. } 1.2 \text{ Vpp)}$$

$$V_{ac} = \frac{(12 + 3 + 0.8 + 0.6)}{0.92} \times \frac{127}{120} \times \frac{1}{\sqrt{2}} = 13.33 \text{ Volts}$$

$$2 \times V_{ac} = 2 \times 13.33 \text{ Volts} = \underline{26.67 \text{ Volts.}}$$

Por lo tanto el transformador puede ser especificado sobre 26 Volts.

- Determinación de la corriente del transformador.

En un rectificador de onda completa que usa un transformador con tap central y capacitor a la entrada del filtro, la corriente RMS se determina por:

$$1.2 \times \text{corriente de CD} = 1.2 \times 2 \text{ Amperes} = \underline{2.4 \text{ Amperes,}}$$

dando un factor de seguridad de 0.6 Amperes, la corriente seleccionada para el transformador es de 3 Amperes.

Por lo tanto las especificaciones del transformador son:

$$26 \text{ Volts} @ 3 \text{ Amperes} = \underline{78 \text{ VA.}}$$

- Selección del capacitor a la entrada del filtro.

En algunos casos el tamaño del capacitor tiene que ser incrementado para prevenir excesivos calentamientos internos.

El capacitor se selecciona mediante la fórmula:

$$C = \frac{I_L}{\Delta v} \times 6 \times 10^{-3}$$

donde:

I_L = corriente de CD en la carga.

Δv = voltaje de rizo pico-pico.

$$C = \frac{2}{2.6} \times 6 \times 10^{-3} = \frac{4615 \times 10^{-6}}{\text{Fd.}}$$

entonces $C = 4700 \mu \text{Fd.}$

- Consideraciones para la selección de los diodos.

Cuando se usa un regulador integrado de tres terminales y se prolonga un corto circuito a la salida, los diodos sufren un incremento de corriente que daña al regulador sin perjudicar a los diodos. Por lo tanto las hojas de datos del regulador deben ser consultadas para obtener el valor llímite de la corriente. Entendiéndose que previamente también se tuvieron que consultar estos datos para seleccionar el regulador en base a la corriente de carga.

Frecuentemente la corriente de entrada en el regulador de CI es menor que la corriente requerida para la carga.

El diodo rectificador IN-4001 está diseñado para manejar bajas frecuencias y grandes corrientes en sentido directo, y los datos especificados en el manual, son 0.95 Volts y 0.7 Amperes, cantidades suficientemente menores a las especificadas por las hojas de datos del regulador de voltaje, para así evitar dañarlo.

Por lo que para alimentar los circuitos que manejan los motores de pasos se logra por medio de un transformador reductor de 127-26 Volts con tap central, a 3 Amperes, un rectificador de onda completa constituido de dos diodos IN-4001 y el capacitor C1 para eliminar el rizo de la señal y así obtener un voltaje de 15.5 Volts a 1.2 Amperes.

En el caso de la alimentación del circuito que enciende el motor de corriente directa, que requiere de 12 Volts a 2 Amperes, se utiliza un regulador integrado (7812), alimentado con 15.5 Volts, que ofrece a la salida 12 Volts a 1 Amper máximo, para polarizar la base de un amplificador seguidor-emisor que está constituido de un transistor de potencia TIP 34, con las especificaciones siguientes $I_c = 10$ Amperes y $V_{ce} = 40$ Volts, en cuyo emisor se obtendrá 11.1 Volts a 2 Amperes.

Por último, para obtener los 5 Volts que alimentarán a los opto-acopladores, es necesario utilizar otro rectificador, ya que no es conveniente usar el mismo rectificador que ocupan los motores de pasos y de CD, por que éstos tienden a demandar demasiada corriente en los momentos en que se inicia su operación, pudiendo ocasionar irregularidades en la señal de 5 Volts. Luego la fuente de 5 Volts es obtenida del mismo transformador que ocupan los motores citados, un rectificador de onda completa (D3 y D4), un capacitor C3 para eliminar

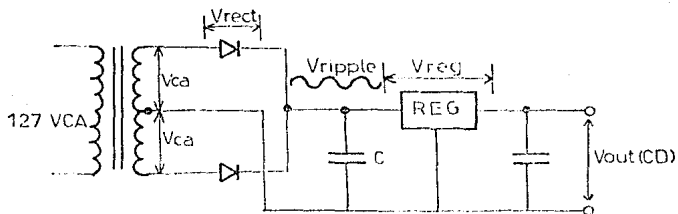
rizo, y de un regulador integrado (7805). Por lo anterior el diagrama total de alimentación queda como se muestra en la figura IV.10.

IV.2.b) CIRCUITOS PARA MANEJAR LOS MOTORES DE PASOS.

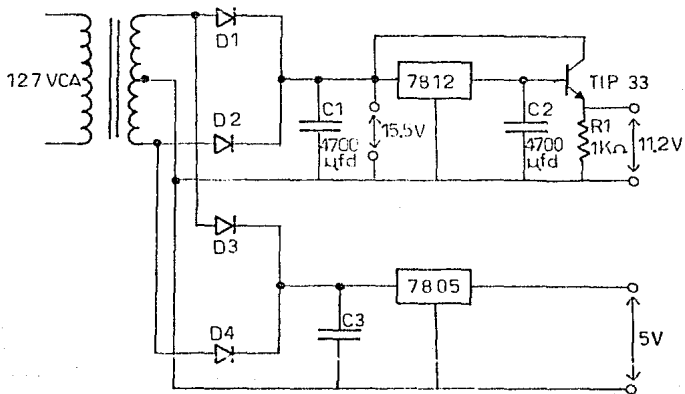
La sección que conecta los motores de pasos al circuito de protección, está constituido por etapas de potencia, éstas son las que manejan los motores de pasos, siendo una etapa para cada fase de los motores. Los motores de pasos tienen 5 cables en sus terminales, 4 de los cuales son para las fases y uno es el cable común a todas las fases o devanados del motor. Ver sección IV.2.b.1.

Cada etapa está alimentada con una señal necesaria para accionar satisfactoriamente los motores de pasos con su respectiva carga. La función de la etapa es activar el motor de pasos proporcionando a su salida, 1.1 Volts a 2 Amperes, a la cual está conectado el motor, excitando dicha etapa con una señal pequeña a la entrada. Por lo que se requiere que el circuito sea activado con la señal suministrada por el circuito opto-acoplador que es de 2.05 Volts También es necesario obtener a la salida 15.5 Volts.

Siendo el BC 547 un transistor de señal pequeña, que satisface los requerimientos de entrada, ya que sus características son $I_c = 0.6$ Amperes y $V_{ce} = 40$ Volts y, por otro lado, para el transistor de potencia TIP 34 se obtienen de las hojas de datos $I_c = 10$ Amperes y $V_{ce} = 40$ Volts. Por lo que cada etapa de potencia es como se muestra en la figura IV.11.



RECTIFICADOR DE ONDA COMPLETA CON
TAP CENTRAL.
FIG. IV.9



FUENTE DE ALIMENTACION.
FIG. IV.10

En la práctica se utilizan a menudo varias etapas o transistores en cascada, cuando se requiere de una corriente mayor, tal como una cabeza reproductora que tiene un nivel adecuado para excitar a otro transductor, como por ejemplo, un altavoz.

En la figura IV.11 se muestran dos transistores, el primero tiene la función de excitar al segundo transistor y éste a su vez, la fase de un motor de pasos.

El primer transistor por a señal pequeña, se encuentra trabajando en corte y saturación.

En corte la corriente de colector en un transistor físico (dispositivo real, no idealizado), cuando la corriente de emisor es cero, la corriente de colector se designa por el símbolo I_{cbo} . Debido a los efectos de temperatura, corriente de fuga, multiplicación por avalancha, I_{cbo} puede ser del orden de decenas de microamperes.

Considerando el circuito de la figura IV.12, donde V_{bb} representa un voltaje de polarización, cuyo objeto es mantener el transistor en corte, con $I_e = 0$ y $I_b = I_{cbo}$.

Si $V_{bb} = 0$ Volts, $I_{cbo} = 2 \times 10^{-6}$ Amperes y $R_b = 56000$ Ohms.

$$-V_{bb} + I_{cbo} R_b = -0 + (2 \times 10^{-6}) (56000) = 0.112 \text{ Volts.},$$

voltaje insuficiente en la base del primer transistor para activarlo, por lo tanto el segundo transistor permanece en corte con un voltaje colector-emisor de $V_{ce02} = 15.5$ Volts y un voltaje para la fase de:

$$V_{cc} - V_{ce} = 15.5 \text{ Volts} - 15.5 \text{ Volts} = 0 \text{ Volts.}$$

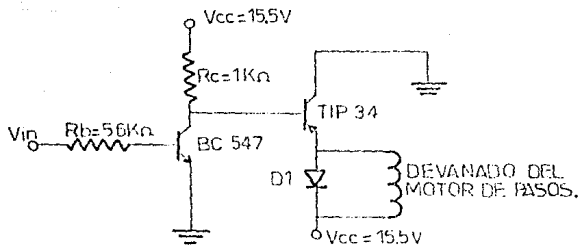


FIG. IV.11 ETAPA DE POTENCIA.

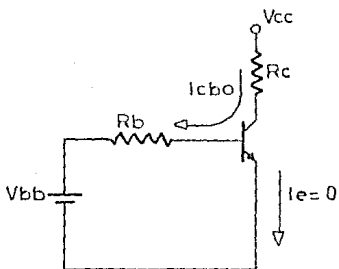


FIG. IV.12 ANALISIS PARA SEÑAL PEQUEÑA.

El transistor Q1 se satura con 2.05 Volts a la entrada del circuito de la figura IV.11, teniendo un valor de tensión $V_{ceQ1} = 0.5$ Volts, ocasionando la saturación del transistor Q2 y obteniéndose un voltaje colector-emisor de $V_{ceQ2(sat)} = 1.1$ Volts y, un voltaje para la fase excitada de:

$$V_{cc} - V_{ceQ2(sat)} = 15.5 \text{ Volts} - 1.1 \text{ Volts} = 14.4 \text{ Volts}$$

CALCULOS PARA LA ETAPA DE POTENCIA.

Los cálculos para los valores de la etapa de potencia se muestran a continuación. (Véase figura IV.13).

Si $V_{cc} = 15.5$ Volts, $\beta = 150$ y se fija $R_c = 1000$ Ohms con $V_{ce} = 0.5$ Volts

$$I_c = \frac{V_{cc} - V_{ce}}{R_c}$$

$$I_c = \frac{15.5 - 0.5}{1000} = \frac{15}{1000} = 15 \times 10^{-3} \text{ Amperes.}$$

$$I_c = \beta I_b \quad \text{de donde:} \quad I_b = \frac{I_c}{\beta}$$

$$I_b = \frac{I_c}{\beta} = \frac{15 \times 10^{-3}}{150} = \frac{15 \text{ mA.}}{150} = 0.1 \times 10^{-3} \text{ Amperes.}$$

$$I_b = \frac{V_{in}}{R_b} \quad \text{de donde:} \quad R_b = \frac{V_{in}}{I_b}$$

$$R_b = \frac{V_{in}}{I_b} = \frac{5V}{0.1mA} = \underline{50000 \text{ Ohms.}}$$

Por lo que el valor comercial de la resistencia más próximo es de 56000 Ohms.

Las señales de comando son enviadas por el sistema de control a través de los opto-acopladores 4N25, para evitar el contacto físico (galvánico), entre el microprocesador y las etapas de potencia, previniendo así que una gran corriente pueda llegar al sistema de control y lo dañe. Para un motor de pasos se requiere de 4 etapas de potencia, como la mostrada en la figura IV.14.

Las señales enviadas por el sistema de control al primer motor de pasos, vienen de los bits, del 0 al 3 y, para el segundo motor, proceden de los bits del 4 al 7 del puerto "A" del PIO-780.

IV.2.b.1) MOTORES DE PASOS.

En muchas situaciones en las que se requiere un control preciso de la trayectoria a seguir por la mano o herramienta de un robot manipulador, es más sencilla y económico usar motores de pasos que servomotores de CD con realimentación. El único problema que presentan los motores de pasos es una potencia limitada. Sin embargo, en cierto sentido, este problema está siendo resuelto por los nuevos diseños,

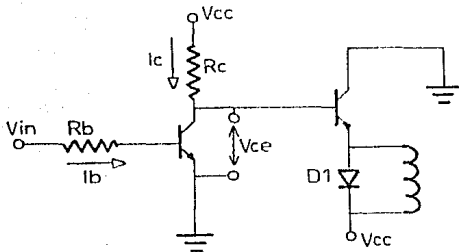


FIG. IV.13 ETAPA DE POTENCIA.

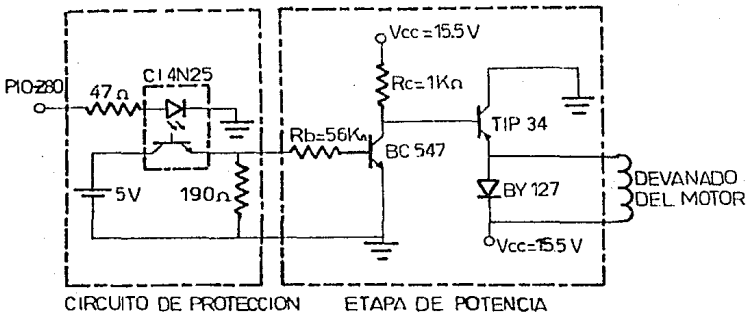


FIG. IV.14 INTERFAZ ENTRE UN DEVANADO DEL MOTOR DE PASOS Y UN BIT DEL PIO-Z80

con los que se ha logrado potencias superiores a 1 CV, suficientes en muchos casos para los robots comerciales de tamaño medio.

Los motores de pasos tienen un funcionamiento tal, que sólo pueden ubicarse en posiciones angulares fijas (su paso). La gran ventaja de estos motores reside en que pueden ser gobernados directamente a partir de los impulsos suministrados por el Starter Kit (con una interfase previa). Por cada impulso suministrado, el motor gira un ángulo fijo (paso), lo que se traduce en un avance preciso de la mesa. La velocidad de avance se podrá regular consecuentemente, variando la frecuencia de los impulsos de mando.

Un motor de pasos puede girar, en ambos sentidos, un número exacto de grados, con incrementos mínimos determinados por el diseño. Este incremento queda comprendido entre 0.72 grados y 90 grados, correspondientes a 500 y 4 pasos por revolución, respectivamente.

Aunque el motor de pasos es de concepción antigua, sólo se ha empleado, en la práctica, a partir de la aparición de los modernos semiconductores electrónicos que implementan los circuitos adecuados para la actuación y el control.

TIPOS DE MOTORES DE PASOS.

Existen tres tipos de motores de pasos: Motores de Imán Permanente, Motores de Reluctancia Variable y Motores Híbridos.

Un Motor de Imán Permanente contiene un estator con un cierto número de dientes. El rotor es cilíndrico, dentado y posee un imán permanente.

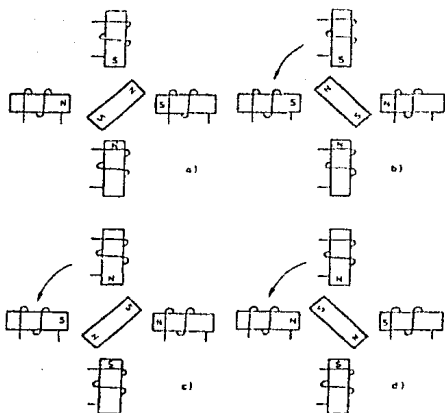
Al aplicar una corriente en los arrollamientos del estator, se generan unas fuerzas magnetomotrices que interaccionan con el flujo creado por el imán del rotor. Como la distribución de los arrollamientos es fija, existen una serie de puntos de equilibrio estables generados alrededor del rotor, éste se mueve hacia el más próximo y permanece en él.

Si los arrollamientos son excitados secuencialmente, el rotor sigue los distintos cambios de la posición de equilibrio y, por tanto, gira en respuesta a aquel conjunto de excitaciones.

Debido al imán permanente, existe un cierto par en el motor, incluso cuando no están excitados los arrollamientos del estator. Cuando el rotor se mueve desde la posición de reluctancia mínima, se genera un par restaurador que es mucho más débil que el par normal (un tanto por ciento del par máximo).

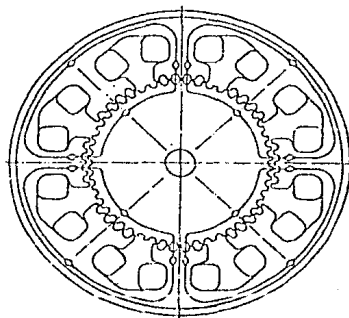
Si el estator consta de cuatro polos, como en el caso de la figura IV.15, formados por electroimanes y el rotor consistiese en un imán permanente, al cambiarse la polaridad de los polos del primero, mediante un control externo con la secuencia indicada, el segundo giraría en sentido contrario a las agujas del reloj, con incrementos de 90 grados. Claramente, un motor con incrementos de 90 grados no representa un dispositivo práctico de control, por lo que el diseño se ha modificado y afinado para obtener incrementos mucho más pequeños.

Para permitir una mejor resolución por paso, se añaden más polos al estator; además, en dichos polos se mecanizan una serie de dientes al igual que en el rotor. En la figura IV.16, se muestra la configuración de los dientes del rotor y del estator, para alcanzar una resolución de 1.8 grados por paso.



PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DE UN MOTOR DE PASOS DE IMAN PERMANENTE CON DOS FASES.

FIG. IV.15



DIENTES EN EL ROTOR Y EN EL ESTATOR PARA ALCANZAR $1,8^\circ$ POR CADA PASO.

FIG. IV.16

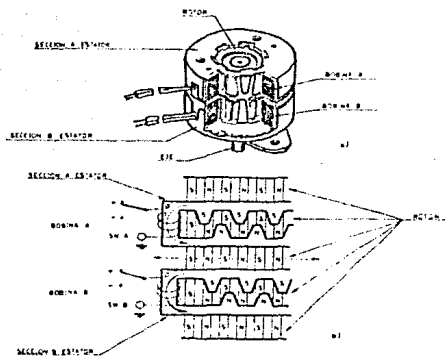
Un Motor de Reluctancia Variable también posee un estator con un cierto número de polos electromagnéticos pero, en este caso, no existe un imán permanente en el rotor de reluctancia variable.

Cuando se aplica una corriente a través del arrollamiento apropiado, aparece un par que hace girar el rotor a una posición de reluctancia mínima. Esta posición es estable, dado que será necesario aplicar un par externo para sacar el rotor de dicha posición. Sin embargo, existen muchos puntos estables.

Cuando se energiza otro conjunto de arrollamientos, el punto de reluctancia mínima ocurre en un conjunto diferente de polos y dientes del rotor, causando un nuevo movimiento en el rotor. Seleccionando la secuencia de activación, se produce un giro del rotor. En este caso no existe prácticamente par residual, dado que los dientes del rotor, en un Motor de Reluctancia Variable, tienen un magnetismo residual muy pequeño.

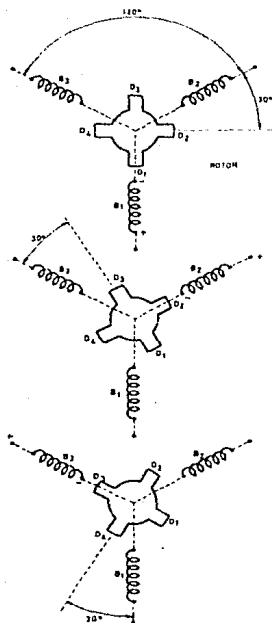
La construcción de un motor práctico se indica en la figura IV.17. El estator consiste en dos electroimanes con un número "n" de pares de polos cada uno. Como se aprecia en la figura IV.17, los polos Norte y Sur de cada uno están desplazados entre sí medio paso polar, al tiempo que entre los dos electroimanes existe un desplazamiento de un cuarto de paso polar, entre polos del mismo nombre.

En la figura IV.18, se muestra un Motor de Pasos de Reluctancia Variable, constituido por tres devanados B1, B2 y B3, excitados secuencialmente y por un rotor con cuatro dientes, D1, D2, D3 y D4. Refiriéndonos a la figura IV.18, cuando el primer arrollamiento, B1, recibe alimentación, atraerá al rotor hasta que el diente más cercano, por ejemplo, D1, se alinee con el campo. Al llegar la excitación a B2,



- a) CORTE DE UN MOTOR DE PASOS DE DOS FASES.
- b) CORTE DEL ROTOR Y EL ESTATOR MOSTRANDO LA POSICION RELATIVA DE LOS POLOS.

FIG. IV.17



GIRO DE LOS DIENTES DE ROTOR AL IR
 ACTIVANDO, SECUENCIALMENTE, LAS
 BOBINAS DEL ESTATOR.

FIG. IV.18

el diente D2, será el más próximo, con lo que el rotor girará 30 grados. De la misma forma, con el siguiente impulso aplicado a B3, será el diente D3 el alineado, girando otros 30 grados. Al restituir la alimentación a B1, el atraído será D4, con lo que se vuelve a avanzar un ángulo similar a los anteriores.

La principal característica de los motores con reluctancia variable es su elevada velocidad de accionamiento.

Por último, los Motores Híbridos son motores que incluyen componentes adicionales para amplificar el par o la potencia. Un ejemplo de estos motores son los que usan engranajes para amplificar el par, reduciendo el paso angular, sin modificar su potencia.

MODOS DE FUNCIONAMIENTO DE LOS MOTORES DE PASOS.

Existen dos modos de funcionamiento para los motores de pasos a saber:

- Paso Completo ("Full-step mode").
- Medio Paso ("Half-step mode").

Funcionamiento en Paso Completo.

El motor realiza el paso en cuanto la secuencia adecuada se transfiere a los bobinados. Después de cuatro pasos, se conectan nuevamente los dos primeros bobinados, repitiéndose la secuencia. Se llama ángulo de paso, al ángulo que gira el eje del motor, cada vez que se cambia la polaridad de los bobinados, siendo una función del número de dientes del rotor y de la secuencia aplicada.

En la figura IV.19 se ofrece el esquema de un motor de pasos con

funcionamiento de Paso Completo, así como la secuencia de los impulsos a los bobinados.

Funcionamiento en Medio Paso.

Mientras que la secuencia anterior era de cuatro pasos, la correspondiente al medio paso es de ocho. Bajo estas condiciones, el rotor gira la mitad de su recorrido normal por paso.

Por ejemplo, un motor de 1.8 grados por paso y 200 pasos por revolución, funcionaría con la secuencia de la figura 19.20, con un paso de 0.9 grados y 400 pasos por revolución.

Las ventajas de trabajar con Medio Paso consisten en una resolución mayor, con reducción de la resonancia y una velocidad mayor.

En los motores de pasos, a medida que se aumenta la velocidad disminuye la corriente y, por lo tanto, el par motor. La figura 19.21 muestra la curva que relaciona la velocidad con el par.

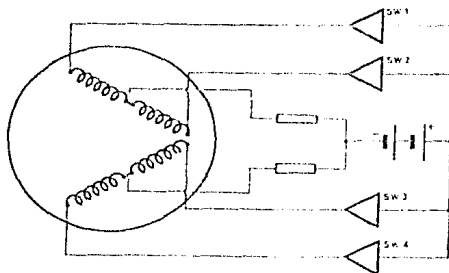
CRACTERISTICAS PRINCIPALES DE LOS MOTORES DE PASOS.

- Resolución.

Es el número de pasos por revolución o el ángulo del paso en grados, y varía normalmente entre 1 a 15 grados.

- Exactitud.

La posición de detención de un motor de pasos es determinada por las dimensiones de varias partes y ensamblajes hechos durante su construcción. La precisión es definida como un ángulo de error en cualquier posición de paso. También puede ser expresada como un



PASO	SW 1	SW 2	SW 3	SW 4
1	ON	OFF	ON	OFF
2	ON	OFF	OFF	ON
3	OFF	ON	OFF	ON
4	OFF	ON	ON	OFF
5	ON	OFF	ON	OFF

SECUENCIA Y DIAGRAMA DE IMPULSOS
EN "PASO COMPLETO."

FIG. IV.19

STEP	SW 1	SW 2	SW 3	SW 4
1	ON	OFF	ON	OFF
2	ON	OFF	OFF	OFF
3	ON	OFF	OFF	ON
4	OFF	OFF	OFF	ON
5	OFF	ON	OFF	ON
6	OFF	ON	OFF	OFF
7	OFF	ON	ON	OFF
8	OFF	OFF	ON	OFF
9	ON	OFF	ON	OFF

SECUENCIA DE FUNCIONAMIENTO EN
"MEDIO PASO":

FIG. IV.20

porcentaje del ángulo de paso o como una dimensión angular. Por ejemplo, un error de ± 0.25 grados en 24 pasos por revolución (15 grados por paso), debe ser tomado como una precisión de paso de $\pm 1.67\%$.

- Par.

El Par producido por un motor de pasos depende de los siguientes factores:

- . Velocidad de paso.
- . Corriente de devanado.
- . Diseño del controlador.

Cuando el motor está detenido y se le aplica la corriente nominal, el momento necesario para que gire un paso completo se llama "Par de Sujeción". Este Par es mayor que el de funcionamiento, utilizándose para frenar la carga. El "Par Residual" se debe al magnetismo permanente, con el motor desenergizado, y a la fricción en los descansos. Típicamente, es del orden de 1/10 del Par de Sujeción. Esta característica se refiere a los Motores de Imán Permanente. En el caso de los de reluctancia variable, el Par Residual se debe, únicamente, a la fricción.

- Par Dinámico.

La gráfica de la figura IV.22, representa el Par de Funcionamiento (línea gruesa) y el Par de Partida sin error (a trazos), para un Motor de Pasos de Imán Permanente.

Cuando el motor se encuentra en funcionamiento, existe un Par máximo que puede desarrollar, para una velocidad dada, sin perder pasos. La curva de Par de Funcionamiento representa esta condición

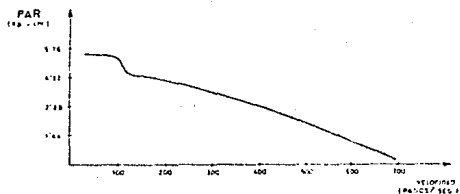


FIG. IV.21 CURVA QUE RELACIONA LA VELOCIDAD CON EL PAR.

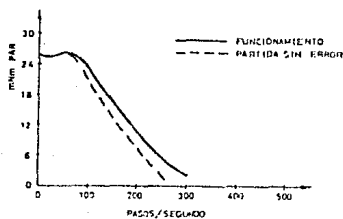


FIG. IV.22 CURVAS TÍPICAS DE PAR EN FUNCIÓN DE LA VELOCIDAD

cuando el motor se acelera gradualmente, mediante el controlador, hasta la velocidad de funcionamiento. La curva de partida sin error se refiere a la condición en que se aplica, desde el primer instante, una tensión con la frecuencia de pulso de funcionamiento.

La curva de par pull-out (par rápido), indica la máxima fricción de estado constante. La curva pull-in determina el máximo par de fricción con carga que un motor de pasos puede manejar. La región entre pull-in y pull-out es conocida como el Rango Slew.

Las curvas de par de velocidad son importantes para calcular la aceleración de un motor y la inercia de carga. (Véase figura IV.23).

La respuesta típica a un solo pulso (un paso) de un motor de pasos, se indica en la figura IV.24. Esta es la subamortiguada de un circuito de segundo orden con poca fricción. La fricción puede aumentarse sin deteriorar la velocidad de respuesta, mediante amortiguadores mecánicos de diseño especial. Estos, sin embargo, son complicados y caros. En la actualidad resulta más sencillo y económico usar un amortiguamiento electrónico que consiste, esencialmente, en una forma de onda similar a la que resultaría con realimentación derivada. Se aplica primero, un pulso retardado, seguido de un segundo con polaridad inversa y, de inmediato, de un tercer retardo seguido de otro con polaridad normal.

- Par Estático.

La curva fundamental que caracteriza un motor de pasos es la curva perteneciente al par. El origen de la curva es cuando un motor energizado va hacia una posición de reposo. Esta curva representa el

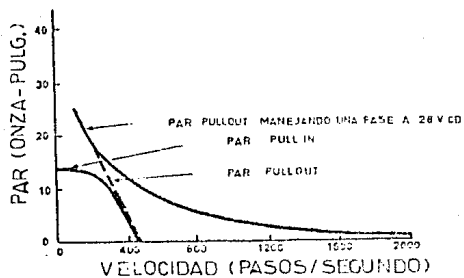


FIG. IV.23 PAR VS VELOCIDAD.

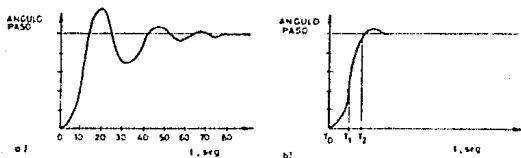


FIG. IV.24 a) RESPUESTA TIPICA DE UN MOTOR DE PASOS CUANDO SE LE APLICA UN PULSO DESDE LA POSICION DE REPOSO. LA RESPUESTA ES SUBAMORTIGUADA.
b) RESPUESTA DEL MISMO MOTOR A UN SOLO PULSO CON AMORTIGUAMIENTO.

par desarrollado cuando el rotor es quitado de una posición de movimiento y el rotor actúa en una dirección para llevar el rotor a un par cero.

La curva representada en la figura IV.25 describe una pérdida de velocidad, con la cual la fricción causa que vaya a una posición de alto.

- Curvas de Mínimo Tiempo de Respuesta.

Las Curvas de Mínimo Tiempo de Respuesta determinan la función de un motor de pasos en el Rango Slewing operando con baja fricción o con fricción nula. Estas curvas indican el mínimo tiempo de transición requerido para recorrer una distancia con inercia y carga. Las Curvas de Mínimo Tiempo de Respuesta son presentadas en la figura IV.26.

- Otras características son:

- La frecuencia de entrada en operación "star-stop" es una función inversa de la inercia, temperatura ambiente y del modo de mando del estator (corriente constante o tensión constante). En modo normal la velocidad máxima es de 1000 pasos/segundo.
- La respuesta del motor a un impulso es muy subamortiguada con tiempo de establecimiento grande. Se deberán utilizar técnicas especiales para reducir el problema: mando por corriente constante, amortiguamiento, reducir la inercia, etc.
- Necesidad de inercia muy baja como medio de disminuir el tiempo de establecimiento. Mediante amortiguamiento se mejora pero se

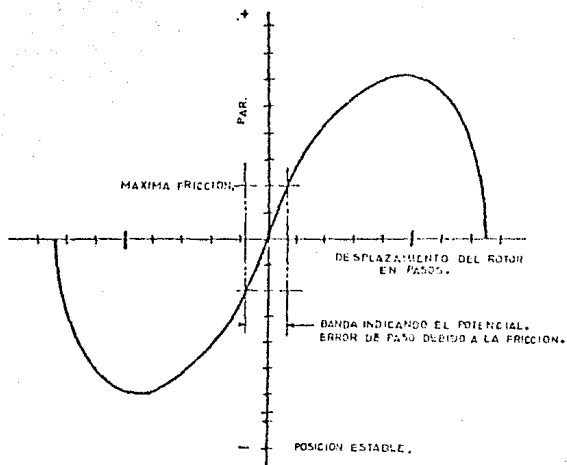


FIG. IV.25 CURVA DE PAR.

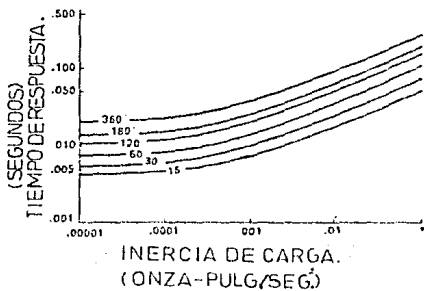


FIG. IV.26 CURVAS DE MINIMO TIEMPO DE RESPUESTA.

reduce el tiempo de respuesta.

- Si el sistema de rozamiento es alto, se amortigua la resonancia del rotor a un nivel aceptable. El motor no girará si el rozamiento excede 0.797 del par máximo.
- Cuando es activado, el par de mantenimiento es alto.
- La temperatura ambiente influye sobre la velocidad, disminuyendo al aumentar aquella.

Los motores de pasos en concreto, en el Control Numérico tienen bastante aplicación en los servomecanismos en lazo abierto por su simplicidad y bajo precio. Sin embargo, los motores de pasos presentan dos inconvenientes importantes. El primero proviene del hecho de que el salto de un paso al siguiente, se efectúa de una manera bastante brusca, lo cual repercute en el acabado de la pieza, en este caso, en el desplazamiento. El segundo inconveniente, hoy aminorado, reside en que los pares suministrados por estos motores son bastante débiles en comparación con los demás tipos de motores.

IV.2.c) CIRCUITO PARA ENCENDER EL MOTOR DE CD.

Para encender el motor de CD se requiere sólo de una etapa de potencia (ver sección IV.2.c.1), la que tiene una alimentación necesaria para activar el motor de CD con carga. Del mismo modo como operan las etapas de potencia para los motores de pasos, (ver sección IV.2.b), este circuito también se encuentra conectado entre el motor de CD y un circuito de protección, el cual es activado por el bit 1 del puerto "B" del PIU-Z80. Véase figura IV.27.

IV.2.c.1) MOTOR DE CD.

En general, el motor de CD consta de dos estructuras cilíndricas, concéntricas. Su estructura interior gira, mientras que la estructura exterior permanece estacionaria, el miembro giratorio se describe como un cilindro circular recto y liso. Mientras el estator se compone de polos magnéticos separados, que son los que producen el campo; las bobinas de campo están excitadas con corriente directa (CD) y el campo magnético de estado permanente es estacionario, tanto en el tiempo como en el espacio.

IV.2.d) CIRCUITO PARA ENFENDER EL DREMEL.

El Dremel o Moto-tool es un motor de Corriente Alterna (CA), es decir, que usa como fuente de alimentación la energía tomada del contacto de 127 VCA, por lo que es necesario usar un dispositivo con la función de un interruptor que permita el paso de 127 VCA al Dremel en el momento que se le indique.

El dispositivo también debe ser conectado entre el Dremel y un circuito de protección para el Starter Kit, como en los casos de los motores de pasos y el motor de CD.

El voltaje de 2.05 proporcionado por el circuito de protección, es la señal que activa el dispositivo para permitir el paso de 127 VCA al Dremel. Esto último se ve realizado cuando el optoacoplador recibe un nivel alto, "1" lógico, del bit 0 del puerto "B" del PIO-Z80.

El interruptor triodo para Corriente Alterna (triac) tic 206D tiene la función de dejar pasar a su terminal num. 2 lo que tenga la

terminal num. 1, habilitando la terminal num. 3 con un voltaje de disparo especificada en el manual de 2 Volts. Como el triac mencionado cumple con los requisitos citados, el circuito para encender el Dremel es como se muestra en la figura IV.28.

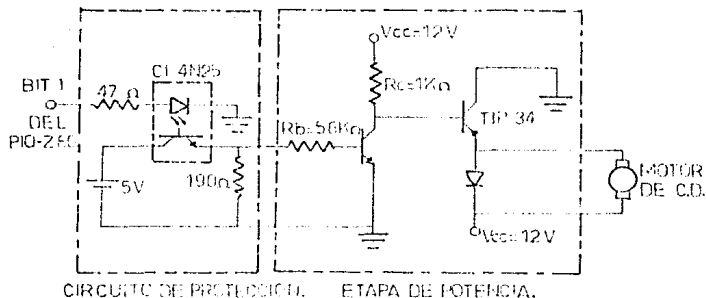
IV.2.6) CIRCUITO DE PROTECCION.

El opto-acoplador 4N25 es un circuito integrado que está constituido de un fototransistor NPN y un diodo emisor de luz infrarroja, no existiendo conexión interna entre ambos y, el aislamiento eléctrico permanece mientras el voltaje de entrada-salida no sea mayor de 2.5 kilo Volts. El fototransistor es activado por medio de la luz infrarroja emitida por el diodo, cuando se hace pasar una corriente especificada por el manual de 80 mili Amperes a través del diodo, obteniéndose a la salida un voltaje de 2.05 que excita las etapas de potencia para los motores de pausas y el motor de CD, así como también para activar el triac que enciende el Dremel. (Véase figura IV.29).

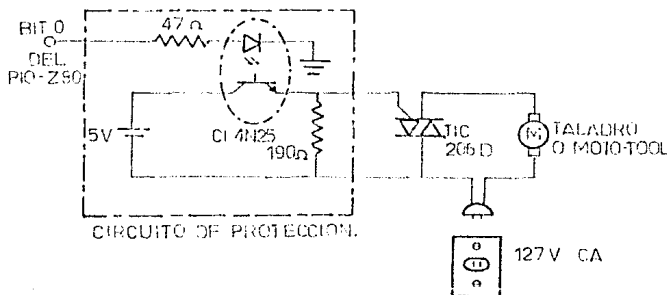
VI.2.6) CIRCUITO SENSOR.

El circuito sensor tiene la función de hacer que se origine un flanco de subida, es decir, un cambio de 0 a 1 lógico, en la pata B \overline{STU} del PIC0-299 del sistema de control, con el fin de que éste desactive el motor de CD, el Moto-tool, después de que se ha agujerado la baquelita y, cuando está subiendo, lo para en el inicio.

Este circuito sensor es implementado por un interruptor situado



INTERFAZ ENTRE EL MOTOR DE C.D.
Y UN BIT DEL PIO-Z80
FIG. IV.27



INTERFAZ ENTRE EL MOTO-TOOL Y UN BIT
DEL PIO-Z80
FIG. IV.28

debajo del disco del motor de CD y es activado mecánicamente por una saliente colocada convenientemente en dicho disco. Normalmente se tiene a la entrada del latch biestable 5 Volts, pero cuando el interruptor es activado, llega una señal de 0 Volts a dicho latch (7475), que contiene un flip-flop D, manteniendo su estado binario indefinidamente hasta que se cambie por una señal de entrada, esto es con el fin de evitar rebotes y que la señal llegue al buffer de amplificación (7407) sin distorsión, concluyendo la salida del buffer a la pata E STB del PIO-Z80, obteniendo aquí una señal de 4.7 volts de CD. (Véase figura IV.30).

IV.3 CONTROL DEL SISTEMA (SOFTWARE).

Como se indicó anteriormente, se hace uso de una microcomputadora en base al microprocesador Z80 (ver sección IV.3.1), en el que el programa se encuentra almacenado en una memoria EPROM.

Por medio de las teclas del Starter Kit se introducen los datos necesarios, estos son: primero el número de puntos a leer y las coordenadas (X_i, Y_i) , X_i e Y_i son cantidades que el usuario entiende como números en el sistema decimal, por lo que es necesario convertirlos a números en el sistema que maneja la microcomputadora y también, son factores que multiplican a 2.0 mm, distancia mínima que desplaza el dispositivo posicionador. El microprocesador sólo maneja números hexadecimales al sumar, restar, comparar, etc., por lo que es necesario hacer la conversión decimal a hexadecimal. En seguida se hará una explicación global de lo que constituye el programa:

10. Los datos que el usuario entiende como decimales los depositará a

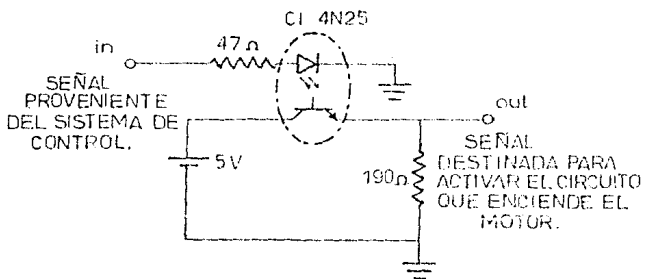


FIG. IV.29 CIRCUITO DE PROTECCION.

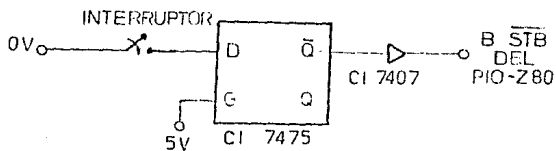


FIG. IV.30 CIRCUITO SENSOR.

partir de la localidad de memoria 2000H.

20. Se convierten los datos decimales a hexadecimal y se almacenan a partir de la localidad de memoria 2100H.

30. Una vez convertidos los datos decimales a hexadecimal, las coordenadas integradas por dos números, abscisa y ordenada, se acomodan de menor a mayor, comenzando por las abscisas que se encuentran en localidades impares. A continuación hace lo mismo con las ordenadas ubicadas en localidades pares, solamente en los casos en que existan coordenadas con dos o más abscisas con el mismo valor, en cuyo caso el orden que lleven definitivamente en la memoria del microprocesador, quedará determinada por los valores de la ordenada.

Ejemplo: Sean las coordenadas (0,3); (7,1); (9,4); (6,7); (6,5); y (6,1).

En el primer paso en que se ordenan las abscisas de menor a mayor, quedarían las coordenadas como sigue:

(6,7); (6,5); (6,1); (7,1); (0,3); y (9,4).

En el segundo paso en que se acomodan las ordenadas, las coordenadas quedarían definitivamente así:

(6,1); (6,5); (6,7); (7,1); (0,3); y (9,4).

40. Ordenadas las coordenadas en hexadecimal, como se indicó en el punto anterior y, previamente al posicionamiento de la mesa portadora de la baquelita, cuyo desplazamiento se efectuará en el orden dado a las coordenadas; nuevamente los datos en hexadecimal se convertirán en decimal, apareciendo en los despliegues del Starter Kit, en primer lugar la magnitud de la abscisa e

inmediatamente después la mesa se desplazará sobre el eje de las abscisas al punto donde se le haya ordenado. Ato seguido, desaparecen los datos de la abscisa y aparecen los de la ordenada en el despliegue, moviéndose inmediatamente después la mesa portadora de la baquelita sobre el eje de las ordenadas para llegar al punto de las coordenadas donde se realizará la perforación.

- 5o. Se hace el primer orificio.
- 6o. Si no existen otros puntos a horadar, termina el programa. Si hay más puntos a perforar, se realizan los incrementos o decrementos correspondientes, tanto de las abscisas como de las ordenadas, según las magnitudes de las coordenadas posteriores, tomando en cada una como punto de partida la abscisa y la ordenada de la coordenada anterior.

Ejemplo: Sea la primera coordenada (2,1). Si el segundo punto a perforar tiene como coordenada (3,8); a la abscisa inicial del primer punto se le aplicará un incremento de una unidad, mientras que en el caso de la ordenada el incremento será de 7. Si el tercer punto tiene como coordenada (5,2), a la abscisa se le aplicará un incremento de dos, y a la ordenada un decremento de 6 unidades, con respecto a la segunda coordenada y así sucesivamente.

Después de la explicación general para su mayor comprensión, el programa descrito se muestra en el apéndice.

IV.3.a) BREVE DESCRIPCIÓN DE UNA MICROCOMPUTADORA EN BASE AL MICROPROCESADOR Z80.

Existen dos tipos básicos de computadoras: Digitales y Analógicas.

La computadora Digital está formada principalmente por cuatro partes. (véase figura IV.31), que son: Unidad Central de Procesos (CPU), memoria, unidades de entrada y unidades de salida.

Se define como microcomputadora a la computadora Digital en la que la CPU está formada por un microprocesador, y sus componentes auxiliares por integrados que forman la familia del microprocesador (memoria, interfaces, decodificadores, etc.). La figura IV.32 ilustra un diagrama de una microcomputadora en base al microprocesador Z80.

En las microcomputadoras esta Unidad Central de Procesos se encuentra implementada en un sólo circuito integrado, comúnmente conocido como "Microprocesador".

La CPU es el cerebro del sistema de microcomputadora. Su función es la de obtener las instrucciones de la memoria y ejecutarlas. La memoria se usa para almacenar las instrucciones en código binario y los datos que se van a procesar.

El microprocesador Z80 es una Unidad Central de Procesos (Central Process Unit, CPU) de 8 bits paralelos. Se fabrica en un sólo circuito integrado de alta escala. El Z80 contiene 18 registros de 8 bits y 4 registros de 16 bits, en total 22 registros. De los 18 registros 14 son de propósito general y se pueden direccionar individualmente o en pares de registros. Tiene un registro de 6 banderas para indicar el estado del resultado de una operación (si es cero, el signo, acarreo, paridad/sobreflujo, acarreo medio y sustracción). Utiliza un bus de

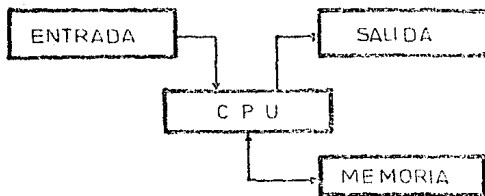


FIG. IV.31 DIAGRAMA A BLOQUES DE UNA COMPUTADORA

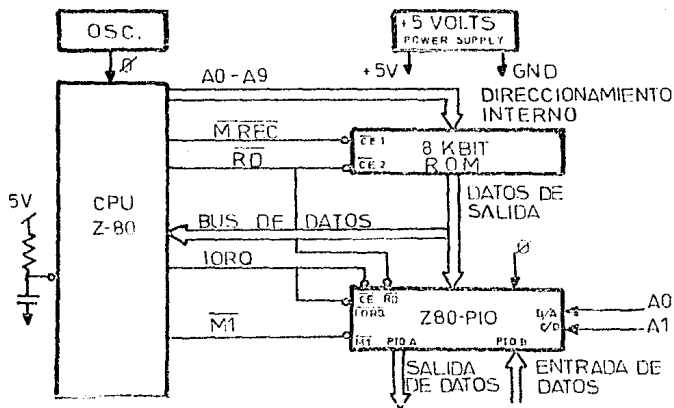


DIAGRAMA A BLOQUES DE UNA MICROCOMPUTADORA
FIG. IV.32

dirección de 16 líneas y un bus de datos de 8 líneas para la comunicación del Z80 con la memoria y los dispositivos de Entrada/Salida (E/S). El control final de los buses de dirección y de datos, reside en la señal de control BUSRD, la cual proporciona la habilidad de suspender las operaciones del procesador y forzar a los buses de dirección y de datos a su estado de alta impedancia.

El microprocesador Z80 se implementa en un circuito integrado de 40 pines, figura IV.30, con la siguiente distribución:

- Un bus de dirección de 16 líneas.
- . Un bus de datos de 8 bits.
- . 8 salidas de control desde el Z80.
- . 5 entradas de control al Z80.
- . 2 entradas de energía.
- . 1 entrada de reloj.

En seguida se describen las funciones de las pines terminales de entrada y salida de la CPU-Z80.

- A15-A0 (Bus de Dirección).

Salidas de tres estados y activas en nivel alto. Las líneas A15-A0 constituyen un bus de dirección de 16 bits, en donde A15 es la línea más significativa y A0 es la línea menos significativa.

- D7-D0 (Bus de Datos).

Entrada/Salida de tres estados y activas en nivel alto. Las líneas D7-D0 proporcionan un bus de datos para comunicación bidireccional entre la CPU Z80 y los dispositivos de memoria y de E/S para la transferencia de instrucciones y datos.

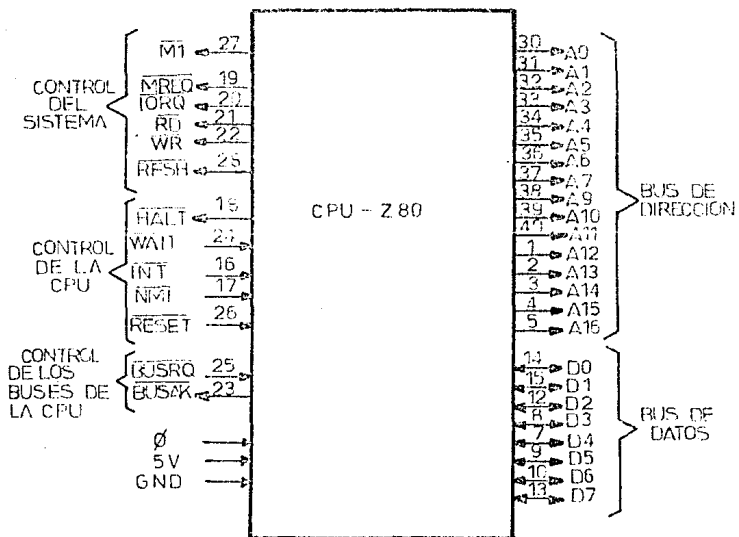


FIG. IV.33 DISTRIBUCION DE LAS PATAS DE LA CPU-Z80.

- $\overline{M1}$ (Ciclo de Máquina Uno).

Salida y activo a nivel bajo. La línea $\overline{M1}$ indica que el ciclo de máquina en proceso es un ciclo Fetch, y que se utiliza para obtener el código de operación de la próxima instrucción a ejecutar.

- \overline{MREQ} (Solicitud de Memoria).

Salida de tres estados y activo en nivel bajo. La señal de solicitud de memoria indica que el bus de dirección conserva una dirección válida para operaciones de leer y escribir en memoria.

- \overline{IOREQ} (Solicitud de E/S).

Salida de tres estados y activo en nivel bajo. La señal \overline{IOREQ} indica que las 8 líneas de dirección de más bajo orden tienen una dirección de E/S válida para operaciones de leer o escribir en dispositivos de E/S.

- \overline{RD} (Leer Memoria).

Salida de tres estados y activo en nivel bajo. La señal \overline{RD} indica que la CPU va a leer un dato de la memoria o un dispositivo de E/S.

- \overline{WR} (Escribir en Memoria).

Salida de tres estados y activa en nivel bajo. La señal \overline{WR} indica que el bus de datos tiene un dato válido que se debe almacenar en la memoria o en un puerto de E/S.

- \overline{RFSH} (Actualizar Memoria).

Salida y activa en nivel bajo. La señal \overline{RFSH} indica que las 7 líneas de más bajo orden presentes en el bus de dirección, contienen una dirección de refresco para memoria dinámica.

- \overline{HALT} (Estado de Alto).

Salida y activa en nivel bajo. La CPU ejecuta instrucciones NOP (no operación) para mantener la actividad de refresco de la memoria

dinámica.

WAIT (Espera).

Entrada y activa en nivel bajo. La señal WAIT indica a la CPU-280 que ha direccionado a una localidad de memoria o a un puerto de E/S que no tiene listo todavía el dato a transferir. La CPU continúa entrando a estados de espera tanto tiempo como esta señal esté en nivel bajo. Esta señal permite a la memoria o a los dispositivos de E/S de cualquier velocidad sincronizarse con la CPU.

INT (Solicitud de Interrupción).

Entrada y activa en nivel bajo. La señal de Solicitud de Interrupción es generada por los dispositivos de E/S.

NMI (Interrupción No-Mascarable).

Entrada, se dispara con el cambio de nivel alto-bajo. La línea de interrupción no-mascarable tiene una prioridad más alta que la entrada INT.

RESET (Limpiar).

Entrada y activa en nivel bajo. La señal RESET fuerza al contador del programa a cero e inicializa la CPU.

BUSRD (Solicitud del Bus).

Entrada y activo en nivel bajo. La señal de solicitud del bus se usa para solicitar que el bus de dirección, el bus de datos y las salidas de control de tres estados de la CPU, pasen al estado de alta impedancia, de tal manera que otros dispositivos externos puedan tomar el control de los buses.

BUSAK (Reconocimiento del Bus).

Salida y activa en nivel bajo. Cuando un dispositivo envía a nivel bajo la entrada BUSRD, solicitando el control de los buses, la CPU

indica que los buses ya están libres, enviando a nivel bajo la salida BUSAK.

- \emptyset (Señal de Reloj).

Entrada de señal TTL.

La arquitectura de la CPU-Z80 consta de las siguiente unidades funcionales:

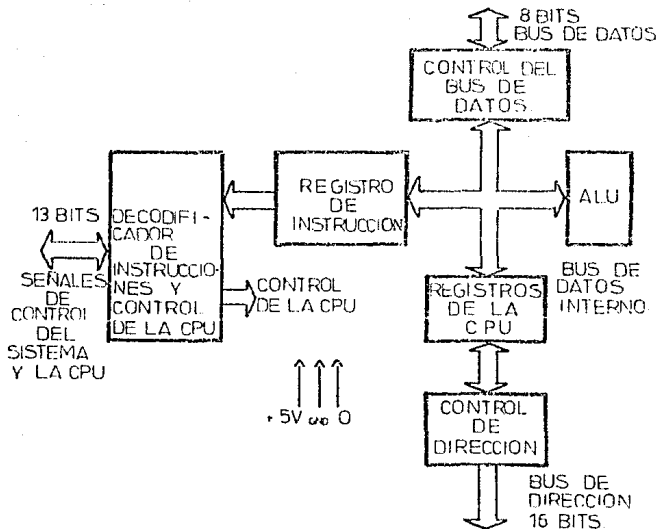
- . Arreglo de registros y una lógica de dirección.
- . Unidad aritmética y lógica (ALU)
- . Registro de instrucción, decodificadores de instrucción y de control de la CPU.
- . Control del bus de dirección y de datos.

La figura IV.34 ilustra los bloques funcionales dentro de la CPU Z80.

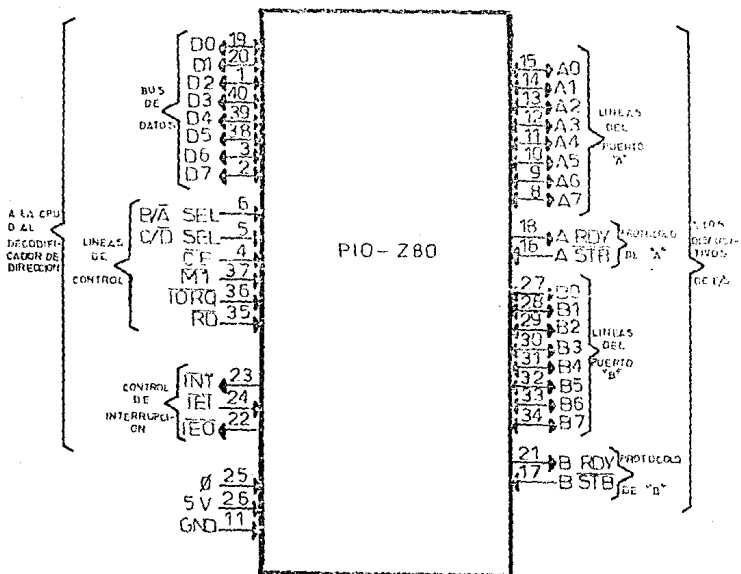
IV.3.a.1) INTERFAZ PIO-Z80.

El circuito Paralelo de Entrada/Salida, PIO-Z80 (Parallel I/O) es un circuito de 40 patas terminales, con dos puertos de 8 bits, que proporciona una interfaz compatible TTL entre dispositivos periféricos y el microprocesador Z80, figura IV.35. La interfaz PIO-Z80 se puede utilizar con teclado, lectora, perforadoras de cinta de papel, impresoras, programadores de memorias PROM, etc.

Una característica de la PIO-Z80 es que la transferencia de datos entre los dispositivos periféricos y la CPU-Z80 se puede realizar por medio de interrupciones. La lógica de interrupción de la PIO-Z80 permite utilizar, en forma eficiente, los diferentes modos de interrupción de la CPU-Z80 durante transferencia de Entrada/Salida.



CONFIGURACION DE LA CPU-Z80.
 FIG. IV.34



SEÑALES DE LA INTERFAZ PIO-280
FIG. IV.35

La PIO-Z80 cuenta con la lógica necesaria para formar configuraciones en cascada (cadenas), varias PIO-Z80, con diferentes prioridades de interrupción. Las características de la lógica de interrupción de la PIO-Z80 son:

- a) La habilidad para definir las condiciones que pueden iniciar una solicitud de interrupción.
- b) Definir la prioridad de las instrucciones.
- c) Proporcionar un vector de 8 bits cuando la CPU-Z80 reconozca las interrupciones.

La PIO-Z80 se puede programar para solicitar una interrupción cuando ocurre una condición de alarma en un periférico. Esto permite reducir el tiempo de atención comparándola al método de interrogación (polling o sacan).

La PIO tiene dos puertos de 8 bits (A7-A0 y E7-E0) que se pueden programar individualmente para transferencias de entrada, de salida o ambas (bidireccional) de datos. Cada puerto cuenta, además, con las dos siguientes señales de control que se utilizan para el protocolo entre el PIO y el periférico:

- . Salida READY. (Listo): Indica al periférico que el puerto está "listo" para la transferencia del dato (A RDY y B RDY).
- . Entrada STROBE. (Disparo): Por medio del cual el periférico ordena que se realice la transferencia (A \overline{STB} y B \overline{STB}).

La definición funcional de las pines de la PIO-Z80 son:

- D7-D0 (bidireccional de tres estados).

Datos.- La transferencia de datos y control entre la PIO y la CPU se realiza por estas líneas.

- CE (entrada).
Chip Enable.- Habilitar a la interfaz. Generalmente lo alimenta un decodificador de códigos de selección.
- B/ \overline{A} SEL (entrada).
Selecciona al puerto A (=0) o al B (=1).
- C/ \overline{D} SEL (entrada).
Control/Data Selector.- Selecciona un registro de "datos" (=0) o un registro de "control" (=1).
- $\overline{M1}$ (entrada).
Es la señal (con el mismo nombre) que se alimenta desde la CPU, indicando el ciclo M1 o Fetch.
- \overline{IORQ} (entrada).
Señal que se obtiene de la CPU e indica que se está realizando una solicitud de entrada/salida.
- \overline{RD} (entrada).
Señal que se obtiene de la CPU e indica leer datos (=0) o escribir datos (=1).
- A7-A0 (bidireccional de tres estados).
Líneas por las cuales el puerto A lee datos de un periférico o escribe (presenta) datos a un periférico.
- A RDY (salida).
Listo el puerto A.- Indica que el puerto A está "listo" para la transferencia del dato.
- A \overline{STB} (entrada).
Disparo del puerto A.- Por medio del cual el periférico ordena que se realice la transferencia.
- B7-B0 (entrada).

Igual que A7-A0 pero para el puerto B.

- B RDY (salida).

Igual que A RDY pero para el puerto B.

- B $\overline{\text{STB}}$ (entrada).

Igual que A $\overline{\text{STB}}$ pero para el puerto B.

- IEI (entrada).

Interrupt Enable In.- Esta señal se usa en combinación con IEO para formar una prioridad de cadena de margarita (Daisy Chain) cuando se utilizan más de una PIO. Un nivel alto en esta entrada indica que la CPU-Z80 no le está dando servicio a ningún periférico con mayor prioridad que a los periféricos conectados a un PIO en particular.

- IEO (salida).

Interrupt Enable Out.- La salida IEO toma nivel alto únicamente si la entrada IEI de la PIO tiene nivel alto y la CPU no está dando servicio a una solicitud de interrupción de la PIO. Cuando no se cumplen estas condiciones de salida, IEO toma nivel bajo y bloquea la solicitudes de interrupción de periféricos con menor prioridad que la que le corresponde a la PIO en particular.

- $\overline{\text{INT}}$ (salida).

Solicitud de Interrupción.- Señal de solicitud de interrupción. Se debe conectar a la CPU.

- $\overline{\text{RD}}$ (entrada).

Señal de reloj.- Utiliza la misma señal de reloj que la CPU.

- +5V (entrada).

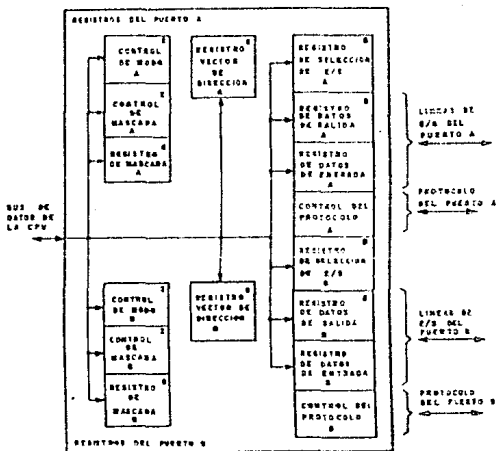
Entrada de alimentación de energía.

- GND.

Tierra.

Los registros que tiene cada uno de los puertos de la P10-200, (véase figura IV.36) son:

- . Un Registro de Datos de Salida de 8 bits.
- . Un Registro de Datos de Entrada de 8 bits.
- . Un Registro de Control de Modo de 2 bits, el cual indica si el puerto está en el modo de entrada, salida, bidireccional o de control (modos 0,1,2,3 respectivamente).
- . Un Registro de Selección de E/S o Control de E/S de 8 bits, el cual determina cuales bits del puerto son entrada (=1) y cuales son salidas (=0). Se usa en el modo 3 o de control.
- . Un Registro de Control de Protocolo que maneja las líneas RDY y STR.
- . Un Registro de Control de Máscara de 2 bits (se usa sólo en el modo 3 o de control) que determina la función lógica, OR o AND, que deben cumplir las entradas para generar una señal de solicitud de interrupción.
- . Un Registro de Máscara (se usa sólo en el modo 3 o de control) de 8 bits que determina cuales son las líneas del puerto que se deben monitorear para generar la señal de solicitud de interrupción.
- . Un Registro Vector de Interrupción de 8 bits que se usa con el sistema de interrupción.



REGISTROS DE LA INTERFAZ PIO-Z80
FIG. IV.36

V

EVALUACION EXPERIMENTAL.

El dispositivo para hacer agujeros de manera automática en tabletas de baquelita, usadas para la elaboración de circuitos impresos, es un prototipo académico de bajo costo y utilizado para demostrar la gran eficiencia que tienen las ciencias de la Computación y la Electrónica en diversos campos de aplicación.

Es necesario hacer notar que el taladro automático no responde a los requerimientos técnicos y exigencias de una máquina comercial, en razón de que se construyó con los escasos recursos de que se dispone en casa, sin el auxilio de las herramientas, maquinaria y materiales más apropiados para el efecto. Mas bien se trata de un aparato

demostrativo para aplicar los conocimientos adquiridos durante la Carrera, con la pretensión de constituirse en un material didáctico que pueda ser utilizado por maestros y alumnos en la consecución de los objetivos que señalan algunas asignaturas propias de la profesión.

V.1 EVALUACION EXPERIMENTAL DE LA PARTE MECANICA.

Desde el punto de vista mecánico, la evaluación experimental del dispositivo se describe en los siguientes cinco puntos:

1.- El posicionamiento en la plano horizontal de la mesa transportadora de la baquelita, mesa de trabajo, tiene una resolución de 1/6 de mm. por cada giro en la flecha de los motores de paso.

En la dirección de la flecha del motor no. 1, posicionamiento en "X", se tiene un rango de desplazamiento máximo de la mesa transportadora de 9.70 cms., y no de 10.00 cms., como se había mencionado; esto mismo ocurre para el rango de desplazamiento en la dirección de la flecha del motor no. 2, posicionamiento en "Y".

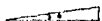
En el posicionamiento sobre la dirección "X", para un desplazamiento de 9.70 cms. de la tuerca de cerálón, se obtiene un desplazamiento real de la mesa de trabajo de 9.75 cms., debido a que existe un error en las barras guías del desplazamiento en la dirección de la flecha del motor no. 2, ocasionando que el movimiento en la dirección "X" salga fuera de curso, teniendo un ángulo de desviación de:



$$\cos \theta = \frac{9.7}{9.75}$$

$$\theta = \arccos \frac{9.7}{9.75} = 4.5 \text{ grados}$$

En cuanto al posicionamiento sobre la dirección "Y", se tiene un Angulo de desviación de:



$$\cos \theta = \frac{9.7}{9.72}$$

$$\theta = \arccos \frac{9.7}{9.72} = 3.67 \text{ grados}$$

Por lo que hay un error en el desplazamiento total (9.7 cms.) en la dirección "X" de 0.52% y para el desplazamiento total (9.70 cms.) en la dirección "Y" de 0.20%.

2.- En cuanto a la exactitud del posicionamiento de la broca del Moto-tool, puede decirse que:

Cuando el motor de CD tiene el brazo portador del Dremel en la posición más baja, este se encuentra paralelo al plano horizontal del sistema y el Dremel perpendicular al brazo portador; por lo tanto, también es perpendicular al plano horizontal del sistema y al de la mesa portadora de la baquelita. Por lo que es insignificante la diferencia que hay entre un ángulo de 90 grados y el ángulo que forma la mesa portadora y la broca del Moto-tool. Por otra parte, debiendo teóricamente existir sólo un punto en el cual la broca del Dremel deba agujerar, con respecto al área total posible de perforación, no ocurre así debido a que existe un pequeño desplazamiento de holgura tanto en la biela colocada en el disco del motor de CD como en la bisagra, los cuales provocan que al taladrar se presente un margen de error de 0.01 cms. alrededor

del punto deseado.

- 3.- El lapso de tiempo que hay entre cada giro, o paso del motor, en las flechas de los motores de pasos, es de 20 milisegundos, luego para un desplazamiento de 2 mm., distancia mínima programada de la mesa portadora de la baquelita, se requieren 12 pasos del motor, lo que se lleva un tiempo de 240 milisegundos. Por lo que para un recorrido de 9.6 cms., se llevaría un tiempo de 11.5 segundo.
- 4.- Una vez posicionada la mesa de trabajo para que el punto a horadar quede debajo de la broca del Dremel, el tiempo que se requiere para que el Moto-tool baje, agujere y suba a su posición inicial es de 3 segundos.
- 5.- Los motores de pasos tienen una respuesta de velocidad máxima de 600 pasos/segundo.

V.2 EVALUACION EXPERIMENTAL DE LA PARTE ELECTRONICA (HARDWARE).

En cuanto a la parte electrónica, cumple con los requisitos para la que fue diseñada. Tomando en cuenta que los motores de pasos son las fuentes generadoras de la mesa de trabajo y ésta en ciertos puntos presenta más fricción y los motores demandan más corriente. La microcomputadora controla el funcionamiento de los cuatro motores a través de la parte electrónica que opera satisfactoriamente.

V.3 EVALUACION EXPERIMENTAL DE LA PARTE DE CONTROL.

En cuanto a la parte que controla al sistema, también se llegó al objetivo deseado, excepto cuando nos referimos al número de puntos que

se van a horadar, debido a que los espacios, uno para cada dato, que se encuentran disponibles en memoria RAM son 876 y, de éstos, 16 son reservados para ser ocupados por el programa. En la mitad de las localidades restantes (440), se introducen datos en decimal y la otra mitad (440), es ocupada para datos en hexadecimal. De las 440 localidades, la primera es para indicar el número de horadaciones, y, por cada horadación, se necesitan 2 datos, por lo que sólo se pueden hacer 219 orificios.

Tomando en cuenta que el Área de trabajo es de 9.60 cms. X 9.60 cms., y que el desplazamiento mínimo entre orificios es de 2.0 mm., en esta Área total de trabajo se pueden realizar hasta 2304 horadaciones, por lo que el espacio en memoria disponible constituye sólo el 9.50% de lo requerido para el número máximo de horadaciones.

Esto es:

$$\frac{9.6 \text{ cms.}}{0.2 \text{ cms.}} = 48 \quad \text{es el número de orificios por lado.}$$

$$48 \times 48 = 2304 \quad \text{número máximo de orificios.}$$

VI COSTO Y CONCLUSIONES.

VI.1 COSTOS.

Desde el punto de vista económico, es de suma importancia contar con la información adecuada para seleccionar las alternativas de inversión en la adquisición de bienes y servicios. Mas aun, cuando se trata de montar un negocio en el que la calidad, precio, eficiencia, etc., deberán ser algunas de las características de los bienes de capital que lo integren, pues en este caso no debe perderse de vista que el objetivo del o los empresarios será la utilidad, la ganancia. Por tanto la información sobre costos es indispensable.

Como ya se manifestó en un apartado anterior, el dispositivo se realizó, en primer lugar, como tema de tesis y con el deseo de que pudiera ser útil en el marco académico de la escuela, pero nada menos sería considerar la posibilidad de que alguna persona o empresa se interesara por él para perfeccionarlo, producirlo y lanzarlo al mercado con fines comerciales, es decir, de lucro. En uno o en otro caso es necesario conocer el costo de la máquina.

Probablemente cuando el lector tenga en sus manos este trabajo, los precios de los componentes del taladro automático ya no sean vigentes, debido a la espiral inflacionaria que vive el país, que trae como consecuencia que los precios se se estabilicen y estén subiendo constantemente, pero podrían servir como un indicador que oriente a las personas interesadas en esta máquina.

A continuación se da una breve información sobre el costo total del aparato, así como de las diversas partes que lo constituyen, haciendo la aclaración que los precios son los que regían en marzo de 1983.

El costo total del dispositivo está constituido por el valor de la tres partes en las que se ha dividido el dispositivo.

VI.1.3) COSTO DE LA PARTE MECÁNICA.

En cuanto a la parte mecánica se refiere, se constituye de:

- Dos motores de pasos con costo de ----- \$ 200,000 cada uno.
- Un motor de CD para limpiadores de parabrisa de automóvil con un costo de ----- \$ 180,000

- Un motor de CA, Dremel (Moto-tool) con un costo de ----- \$ 199,000
 - Dos tuercas de coronación con un precio de ----- \$ 30,000 cada una.
 - Dos "porteras" de aluminio con 7 agujeros como se especifica en el capítulo III con precio de ----- \$ 5,000 cada una.
 - La mesa portadora de la baquelita con todo lo que la constituye (prisma cuadrangular de madera, tabla de madera y cuatro fracciones de Angulo de aluminio) tiene un precio de ----- \$ 10,000
 - Base general, portadora de todo el sistema con precio de ----- \$ 10,000
 - Lámina inoxidable de acero para el mejor desplazamiento de la mesa portadora de la baquelita con precio de ----- \$ 5,000
 - Buela de aluminio, disco de acero acoplado al motor de CD y tubo de acero en forma de "U" tiene un costo de ----- \$ 5,000
 - Material necesario para sujetar el Dremel, 4 tornos, de fleje y abrazadera, tienen un precio de ----- \$ 1,500
 - Material para bajar y subir el Dremel, martil de madera, barra portadora del dremel y bisagra, con costo de ----- \$ 10,000
 - Bases para sujetar los motores de pasos y CD con precio de ----- \$ 5,000
- Todo lo anterior tiene un costo de ----- \$ 891,500

VI.1.b) COSTO DE LA PARTE ELECTRONICA.

La parte electrónica está constituida por:

- 10 Opto-acopladores con costo de ----- \$ 2,800 cada uno.

- 12 Bases para integrado con un costo global de	\$	6,000	
- 11 Transistores de potencia con un costo global de			
-----	\$	44,000	
- 10 Transistores de señal pequeña con precio total de			
-----	\$	10,000	
- 10 Diodos BY 127 con precio global de	\$	9,000	
- 40 Resistencias cuyo precio suma	\$	7,200	
- 1 Irms con costo de	\$	1,800	
- 1 CI 7467 con costo de	\$	2,000	
- 1 CI 7475 con costo de	\$	2,600	
- 1 Transformador de bajada con costo de	\$	25,500	
- 4 Capacitores cuyo precio suma	\$	1,600	
- 2 Reguladores de voltaje con precio global de	\$	5,000	
- 4 Diodos rectificadores cuyo precio total es de	\$	760	
- 1 Metro de cable plano cuyo costo es de	\$	6,000	
- 3 Conectores para bases de CI cuyo costo global es de			
-----	\$	15,000	
- 1 Interruptor con precio de	\$	3,000	
- Tabletillas de baquelita con precio total de	\$	8,000	

En cuanto a la suma de las partes electrónicas se refiere se tiene un precio subtotal de ----- \$ 175,460

VI.1.c) COSTO DE LA PARTE DE CONTROL.

En cuanto al sistema de control se tiene:

- 1 Starter Kit (microprocesador Z-80) con precio de			
-----	\$	500,000	

- 1 Fuente de voltaje cuyo precio es de ----- \$ 50,000
- 1 Memoria EPK04 2716 con un precio de ----- \$ 18,000
- Esta última parte suma la cantidad de ----- \$ 568,000

Sumadas las tres partes dan un costo total de:

Parte Mecánica -----	\$ 891,500.
Parte Electrónica -----	\$ 175,460.
Parte de Control -----	\$ 568,000.
Total -----	\$ 1,634,960.

VI.2 CONCLUSIONES.

Algunos de los puntos que se han observado a lo largo del desarrollo de este trabajo y que es conveniente mencionar son:

- El tema de tesis "DISEÑO DE UN SISTEMA DE CONTROL NUMÉRICO PARA UN TALADRO DE ALTA VELOCIDAD", consta de una parte teórica y una parte práctica.
- La parte teórica consta de 126 hojas escritas a doble espacio, con los diagramas e ilustraciones correspondientes.
- La parte práctica está constituida físicamente por el aparato ensamblado.
- El taladro automático puede considerarse como un robot.
- Puede ser utilizado, desde el punto de vista académico, como un material didáctico.
- Constituye un antecedente en la escuela sobre el Control Numérico aplicado a la operación de un taladro.

- No tiene las ventajas con que cuentan taladros comerciales similares de importación.
- Puede ser perfeccionado y producido para lanzamiento comercialmente como un instrumento útil en la industria electrónica.
- En la mesa del taladro sólo es posible colocar tabletas de baquelita de 11 cms. X 11 cms.
- El Área Máxima de perforación es de 9.6 cms. X 9.6 cms.
- El máximo número de perforaciones que puede realizar el taladro automático en una tableta es de 219.
- Podría decirse que las perforaciones son precisas, pues el margen máximo de error se estimó en 0.01 cms.
- La parte mecánica se realizó empíricamente.
- El costo total de la máquina es sumamente bajo, comparado con los precios que alcanzan en el mercado perforadoras automáticas de importación.
- El costo del equipo de control (\$ 569,000) y el sistema Hardware (\$ 175,460) están adecuadamente relacionados con el costo de la máquina-herramienta. Precio total de la parte mecánica \$ 891,500. Luego el costo de la máquina-herramienta controlada numéricamente es de \$ 1,634,960., precio total del dispositivo.
- Indudablemente la máquina-herramienta es perfectible, una de las mejoras susceptibles de aplicársele, entre otras, podría ser que el posicionamiento de la mesa de trabajo utilizara usillos con bolillas, otra es la de tener una guía por la cual se desplace la barra transportadora del Dremel, etc.

Las máquinas-herramientas controladas numéricamente son en definitiva necesarias para un mayor beneficio a la humanidad en diversos campos de la industria, por que se logra por medio de ellas producciones a mayor escala y una mejor calidad en un lapso de tiempo corto, sin tener que requerir de un gran número de personas para su mantenimiento y operación.

APENDICE

```

*****
***** CONVIERTE LAS COORDENADAS DECIMALES A
***** COORDENADAS HEXADECIMALES.
*****
0800 (0800) ORG 000H #LDG. DE INICIO DEL PROGRAMA.
      FD210020 LD IY,(2000H) #INICIO DE LA TABLA DE DATOS EN
                                     #DECIMAL.
0804 DD21C021 LD IX,(21C0H) #INICIO DE LA TABLA DE DATOS EN
                                     #HEXADECIMAL.
0808 CDAB08 CALL CONU #CONV. DE DEC. A HEX. DEL No. DE
                                     #COORDENADAS.
                                     **E*-No. DE COORDENADAS.
080A 5F LD E,A
080C 3E00 LD A,(00H)
080E 0402 LD R,(02H)
0810 83 (LOPF: ADD A,E
0811 19FD DJNZ LOPF3
0813 5F LD E,A #E*-No. DE LLAMADO A CONU.
0814 DD23 LOPF2: INC IX
0816 FD23 INC IY
0818 CDAB08 CALL CONU
081A 1B DEC E
081C 20FA JR NZ,(LOPF2

*****
***** ORDENA LAS ABCISAS "X" LLEVANDOSE A SU
***** CORRESPONDIENTE ORDENADA "Y"
*****
081E DD21C021 LD IX,(21C0H)
0822 DD4600 LD R,(IX+00) #R*-No. DE COORDENADAS A ORDENAR.
0825 05 DEC R #R*-No. DE COMPARACIONES (PIVOTES)
0826 CA5509 JP Z,(PROPRINC
0829 DD23 INC IX #IX*-LOC DE INICIO DE DATOS A OR-
                                     #DENAR.
082B 4B OTROPIV:LD C,R #C*-No. DE COMPARACIONES CON EL
                                     #PIVOTE ACTUAL.
082C DD228523 LD (2305H),IX #ESTA Y LA SIG. INST. CARGAN "IX"
0830 FD2A9523 LD IY,(2385H) #A "IY", (2305) VAR. TEMP.
0834 FD23 OTRAVEZ:INC IY
0836 FD23 INC IY
0838 FD5E00 LD E,(IY+00) #E*-DATO A COMPARAR CON EL PIVOTE
083B DD5600 LD D,(IX+00) #D*-DATO PIVOTE.
083E DD7E00 LD A,(IX+00) #ESTA Y LAS 2 SIGS. INSTS. VEN SI
0841 93 SUB E #SE HACE CAMBIO.
0842 FA5708 JP M,(NOCAMB
0845 DD7300 LD (IX+00),E #LAS 6 INSTS. HACEN CAMBIO PARA
0848 FD7200 LD (IY+00),D #X* CON SU RESPECTIVA "Y*".
084B DD7E01 LD A,(IX+01)
084E FD5601 LD H,(IY+01)
0851 DD7401 LD (IX+01),H
0854 FD7701 LD (IY+01),A
0857 0D NOCAMB: DEC C #LAS 2 INSTS. VEN SI HAY MAS COMP.
0858 20FA JR NZ,(OTRAVEZ #CON EL MISMO PIVOTE.
085A DD23 INC IX
085C DD23 INC IX
085E 10CF DJNZ OTROPIV #LLEVA CUENTA DEL No. DE PIVOTES.

```

```

*****
*****+***** ORDENA LAS ORDENADAS *Y*.
*****
0060 BB21C021      LD IX,21C0H
0064 BB4600      LD B,(IX+00)
0067 05          DEC B
006B 0E00      LD C+00H
                #B. DE FIGURAS.
                #E*=CONTADOR DEL No. DE *X*
                #FIGURAS.

006A BB23          INC IX
006C BB7E00      FOP: LD A,(IX+00)
006F BB6E02      LD L,(IX+02)
0072 00          CP L
0073 2809      JR Z+01K0VAL
0075 00          DEC C
0076 FA7E00      JP M+OTR0VAL #SI *C*-1 ENTONCES LOS Nos. NO
                #SON IGUALES.

0079 CDC108      CALL ORDENAR
007C 1801      JR OTR0VAL
007E 0C          OTR0VAL:INC C
007F BB23      OTR0VAL:INC IX
0081 BB23          INC IX
                #*IX* TOMA OTRO VALOR PARA
                #COMPARAR.

0083 10E7          DJNZ FOR

```

```

*****
*****+***** CONVIERTE DE LA TABLA DE DATOS EN
*****+***** HEXADECIMAL ORDENADAS A: DECIMAL.
*****
0085 FB210020     LD IX,2000H #INICIO DE LA TABLA DE DATOS
                #EN DECIMAL.
0089 BB21C021     LD IX,21C0H #INICIO DE LA TABLA DE DATOS
                #EN HEXADECIMAL.
008B BB5E00      LD E,(IX+00) #E*=No. DE ORDENADAS.
0090 3F00      LD A+00
0092 0602      LD B+02H
0094 B3          LOOP6: ADD A,E
0095 10FB      DJNZ LOOP6
0097 5F          LD E+A
                #E*=No. DE LLAMADAS A
                #CONVDEC.

009B CBF800      CALL CONVDEC
009D BB23      LOOP7: INC IX
009F FB23      INC IY
00A2 CBF800      CALL CONVDEC
00A4 10          DEC E
00A6 20F6      JR NZ+LOOP7
00A8 C35509      JP FROPRINC

```

```

#SUBROUTINA QUE CONVIERTE DE DECIMAL A HEXADECIMAL.
*****
00AB FB7E00      CONV: LD A,(IX+00)
00AD 57          LD B+A #B*=VALOR ORIGINAL DECIMAL.
00AF E60F      AND 0FH
00B1 4F          LD C+A #C*=No. MENOS SIGNO. EN HEX.
00B3 0604      LD B+04H
00B5 CB3A      LOOP: SRL B

```

```

08B3 10FE          JLNZ LOOP
08B5 3E00          LD A,00
08B7 060A          LD B,0AH
08B9 B7           LOOP1: ADD A,D          ;*A*=No. MAS SIGNIF. EN HEX.
08BB 10FD          JLNZ LOOP1
08BC B1           ADD A,C          ;*A* *A* *C*, No. TOTAL EN HEX.
08BD D87700        LD (IX+00),A    ;DEPOSITA DATO EN LA BUENA TABLA.
08BF C9           RET

```

;SUBROUTINA QUE SE OCUPA PARA ORDENAR LAS ORDENADAS *Y*
 ;ORDENANDOLAS DE MAYOR A MENOR DE LAS ULTIMAS LOC. A
 ;LAS PRIMERAS SI LAS *Xs* SON IGUALES.
 ;*****

```

08C1 D828223      GENERAL:LD (2307H),IX  ;SI LING VALOR DE LAS *Xs* IGUALES
08C5 D0C3         JNC IX          ;MISMO VALOR DE LAS *Ys* EN LAS
08C7 0C          INC C          ;SOLO INTERCAMBIA LAS *Ys* YA QUE
08C8 41          LD B,C          ;LAS *Xs* SON IGUALES.
08C9 4C          OTROPY:LD C,H    ;No. DE PIVOTES.
08CA D828523      LD (2305H),IX
08CB FD2A8523     LD IX,(2305H)
08CD FD2B         OTRAVEZY:DEC IX
08CE FB2B         DEC IX
08CF FB2B         LD E,(IX+00)
08D0 F05E00      LD D,(IX+00)
08D2 D87E00      LD A,(IX+00)
08D4 B7           SUP E
08D6 F05E00      JP F,NOCAMBY
08D8 D87E00      LD (IX+00),E    ;SOLO INTERCAMBIA LAS *Ys* YA QUE
08DA D87300      LD (IX+00),D    ;LAS *Xs* SON IGUALES.
08DC FD2200      LD (IX+00),D
08DE 0D          NOCAMBY:DEC C
08E0 20E6        JR NZ,OTRAVEZY
08E2 072B        DEC IX
08E4 072B        DEC IX
08E6 25          DEC H
08E8 20B6        JR NZ,OTROPY;TOMA OTRO PIVOTE EN LAS *Ys*.
08EA D82A0723    LD IX,(2307H)   ;(2307H) VAR. TEMPORAL PARA SACAR
                                ;EL VALOR DE *IX* QUE SE METTO Y
                                ;QUE AL INICIO DE ESTA SUBROUTINA
                                ;SE OCUPA.
08F7 C9           RET

```

;SUBROUTINA QUE CONVIERTE DE HEXADECIMAL A DECIMAL.
 ;*****

```

08F8 D87E00      CONDEC:LD A,(IX+00)
08FA E37C        AND 0F0H        ;OBTIENE EL MAS SIGNIF. EN HEX.
08FC C82409      CALL DE:DEC     ;CONV. A DEC. EL MAS SIGNIF.
0900 0E00          LD C,00H
0902 2609        LD B,09H        ;MAYOR DIGITO EN SISTM. DECIMAL.
0904 D87E00      LD A,(IX+00)
0906 E60F        AND 0FH
0908 B9          CP C
090A 2814        JR Z,CONVDEC ;SI ES CERD SE TERMINA LA
                                ;CONVDEC.

```

```

090C 47 LD B,A
090D 14 CUENTAB:INC B          #COBRO, A DECIMAL EL MENOS SIG. Y
                              #TERMINA CUANDO *D*=0.
090E 7A LD A,D
090F E60F AND 0FH
0911 94 SUB A,H
0912 FA1F09 JR H,#FSUMAS
0915 3E01 LD A,01H          #PARA CUANDO EL MENOS SIG. ES 9,
0917 90 SUB A,B          #ES DECIR SI *D*=1 Y *A*=0 CUANDO
0918 2B04 JR Z,#FSUMAS   #*A*="A"*"H".
091A 7A LD A,D          #SI *R* DIF. DE 0 Y *D*=9 EN EL
091B E606 AND A,06H      #MENOS SIG. SE SUMA 6 A *D* QUE ES
091D 57 LD D,A          #LO QUE EXCEDE EL SISTE. HEX. AL
                              #DECIMAL.
091F 10EB FSUMAS:DJNZ CUENTAB
0920 ED2200 #CONVERTE DE HEX. A DEC.,
0923 C9 RET

```

#SUBROUTINA QUE NECESITA LA SUBROUTINA DE CONVREC
#CONVIERTE DE HEX. A DEC., SOLO OCUPADA PARA EL
#INO. MAS SIGNIFICATIVO EN HEXADECIMAL.

```

0924 FE00 DES:ADIC:CF 00H
0926 2010 JR Z,CCERO
0928 FE10 CP 10H
092A 2817 JR Z,CUNO
092C FE20 CP 20H
092E 2817 JR Z,CTRES
0930 FE30 CP 30H
0932 2815 JR Z,CTRES
0934 FE40 CP 40H
0936 2814 JR Z,CCUATRO
0938 FE50 CP 50H
093A 2813 JR Z,CCINCO
093C FE60 CP 60H
093E 2812 JR Z,CSEIS
0940 1600 CCERO: LD D,00H
0942 C9 RET
0943 1616 CUNO: LD D,16H
0945 C9 RET
0946 1632 CROS: LD D,32H
0948 C9 RET
0949 1648 CTRES: LD D,48H
094B C9 RET
094C 1664 CCUATRO:LD D,64H
094E C9 RET
094F 1680 CCTNCO: LD D,80H
0951 C9 RET
0952 1696 CSEIS: LD D,96H
0954 C9 RET

```



```

09E0  E0C00A      CALL TALADRO  *TALADRA.
09E1  1D          DEC E
09E2  2084          JR NZ,DTREG00R
09E3  B07E00      FINI: LD A,(CY100)  *PARA REGRESAR EL MOTOR 1 A SU
                                *POSICION INICIAL.
09E4  FE00          CP 00H
09E5  2B0B          JR Z,*FINX
09E6  E044          NEG
09E7  01F00A      LD BC,00AE2H
09E8  C0950A      CALL 1Z0
09E9  B07E01      FINX: LD A,(CY101)  *PARA REGRESAR EL MOTOR 2 A SU
                                *POSICION INICIAL.
09EA  F000          CP 00H
09EB  200B          JR Z,*FINY
09EC  E044          NEG
09ED  01F00A      LD BC,00ACFH
09EE  C0950A      CALL 1Z0
09EF  74          FINY: HALT

```

```

*****
*****          Rutina PARA DESPLEGAR.
*****

```

```

09D8  2680      DESP: LD B,80H          *CONTADOR PARA RETARDO.
09D9  F07E00    LD A,(CY100)
09EA  57        LD B,A
09EB  E30F      AND 0FH          *No. MENOS SIGNIF.
09EC  C0160A    CALL CONVTR0    *OBTIENE No. PARA ENCENDER
                                *SEGMENTOS.
09ED  4F        LD C,A
09EE  0604      LD B,04H
09EF  C03A      LOOP11: SRL B
09F0  10FC      DJNZ LOOP11
09F1  7A        LD A,B
09F2  C0160A    CALL CONVTR0
09F3  57        LD B,A
09F4  79        LOOP12: LD A,C          *DESPLIEGA EL MENOS SIGNIF.
09F5  D38B      OUT (80H),A
09F6  3E01      LD A,01H
09F7  D38C      OUT (80H),A
09F8  C10A0A    CALL OUTETO    *NO RETIENE.
09F9  7A        LD A,B          *DESPLIEGA EL MAS SIGNIF.
09FA  D38B      OUT (80H),A
09FB  3E02      LD A,02H
09FC  D38C      OUT (80H),A
09FD  C10A0A    CALL OUTETO    *NO RETIENE.
09FE  25        DEC H
09FF  20C7      JR NZ,LOOP12
0A00  C9        RET

```

```

#SUBROUTINA PARA QUE SE PUEDA OBSERVAR EL No. QUE SE
#DESPLIEGA.

```

```

*****
0A0A  B5        QUIETO: PUSH DE          *GUARDA EL VALOR *DE* A *DE* *.
0A0B  11FF04    LD DE,04FFH

```



```

0A5C DB5400      RCOMP: LD D,(IX+00)  #DATO ANTERIOR.
0A5F DB7E02      LD A,(IX+02)  #DATO ACTUAL.
0A62 FE31        CP 31H        #SI ES MAYOR QUE 45H-30H TERMINA.
0A64 F2BA09      JR F,FINY
0A67 92          SUB A,B
0A6B 7B0B        JR Z,FINRCOMP #SI LA DIF. NO SE MUEVE Y TONO
                                #EL VALOR DE OTRA COORDENADA.

0A6A FA720A      JR H,LABEL1
0A6B CB760A      CALL DEL
0A70 1B03        JR FINRCOMP
0A72 ED950A      LABEL1: CALL IZO
0A75 C9          FINRCOMP:RET

```

```

*****
##### MOVIMIENTO DE LA FLECHA DE LOS MOTORES DE
##### PASOS A LA DERECHA.
*****

```

```

0A76 22B523      DER: LD (23B5H),HL #GUARDA EL INICIO DE LA TABLA DE
                                #DATOS.
0A79 4F          LD C,A        #C*NO. DE UNID. DE DESPLAZA-
                                #MIENTO.
0A7A 3E0F        LD A,0FH      #OF* ES PARA SALIDA DE DATOS.
0A7C B3B2        OUT (02H),A   #CONTROL PARA EL PUERTO *A*.
0A7E 1603        CICLO3: LD B,03H #No. DE VECES QUE SE RECORRE LA
                                #TABLA DE DATOS.
0A80 0604        CICLO2: LD B,04H #No. DE DATOS EN LA TABLA.
0A82 2AB523      LD HL,(23A5H)
0A85 7E          CICLO1: LD A,(HL)
0A86 B3B0        OUT (00H),A   #CONTROL DE DATOS PARA EL PTO. *A*
0A8B CB550A      CALL DELAY    #RETARDO PARA EL FUNCIONAMIENTO DE
                                #LOS MOTORES DE PASOS.
0A8E 23          INC HL        #OTRO DATO DE LA TABLA.
0A90 16F7        DJNZ CICLO1
0A92 15          DEC B
0A94 20EF        JR NZ,CICLO3
0A96 0B          DEC C
0A98 20EA        JR NZ,CICLO3
0A9A C9          RET

```

```

*****
##### MOVIMIENTO DE LA FLECHA DE LOS MOTORES DE
##### PASOS A LA IZQUIERDA.
*****

```

```

0A95 FD43B523    IZO: LD (23B5H),BC #GUARDA EL INICIO DE LA TABLA
                                #DE DATOS.
0A99 4F          LD C,A        #C*NO. DE UNID. DE DESPLAZA-
                                #MIENTO.
0A9A 3E0F        LD A,0FH      #OF* ES PARA SALIDA DE DATOS.
0A9C B3B2        OUT (02H),A   #CONTROL PARA EL PUERTO *A*.
0A9E 1603        CICLO6: LD D,03H #No. DE VECES QUE SE RECORRE LA
                                #TABLA DE DATOS.
0AA0 0604        CICLO5: LD B,04H #No. DE DATOS EN LA TABLA.
0AA2 2AB523      LD HL,(23B5H)
0AA5 7E          CICLO4: LD A,(HL)
0AA6 B3B0        OUT (00H),A   #CONTROL DE DATOS PARA EL PTO. *A*
0AAB CB550A      CALL DELAY    #RETARDO PARA EL FUNCIONAMIENTO DE
                                #LOS MOTORES DE PASOS.

```


OAR6	28	DEC HL	¡OTRO DATO DE LA TABLA,
OAA6	10F7	DJHZ C1CLO4	
OAAE	15	DEC D	
OAAF	20EF	JR NZ,C1CLO5	
OAB1	0C	INC C	
OAB2	20FA	JR NZ,C1CLO6	
OAB4	C9	RET	

¡RETARDO ENTRE CADA SECUENCIA DE PULSOS PARA LOS MOTORES
¡DE PASOS.

OAB5	D9	DELAY: FXX	¡SALVA VALORES EN REGISTROS * * *
OAB6	1620	LD B,20H	
OAB8	CB4F06	LOOP13: CALL D00HS	¡RUTINA DE RETARDO DE 20 MILI SEG.
OABH	15	DEC D	
OAC	20FA	JR NZ,LOOP13	
OAE	D9	EXX	¡REGRESA LOS VALORES SALVADOS.
OAF	C9	RET	

***** HACE QUE EL TALARDO CRECE Y SUBA.

OAC0	3E0F	TALARDO:LD A,0FH	¡"OF" ES PARA SALIDA DE DATOS.
OAC2	D3B3	OUT (03H),A	¡CONTROL PARA EL PUERTO "B".
OAC4	3E01	LD A,01H	¡ENCIENDE EL DRENEO.
OAC6	D3B1	OUT (01H),A	¡CONTROL DE DATOS DEL PUERTO "B".
OAC8	3E03	LD A,03H	¡TAMBIEN ENCIENDE EL MOTOR DE CD.
OACA	D3B1	OUT (01H),A	¡CONTROL DE DATOS DEL PUERTO "B".
OACC	3E07	LD A,07H	¡"B7" CONTROL DE INTERRUPCION.
OACE	D3B3	OUT (03H),A	
OAD0	3E0A	LD A,0AH	¡REGISTRO "I"=0A.
OAD2	ED47	LD I,A	
OAD4	3EE4	LD A,0E4H	¡REGISTRO "VI"=E4.
OAD6	D3B3	OUT (03H),A	
OAD8	EDGE	IM2	¡HABILITAR INTERRUPCION.
OADA	FB	EI	
OAD8	76	HALT	¡ESPERA DE INTERRUPCION.
OADC	C9	RET	

OADD	3E00	RSERV: LD A,00H	¡RUTINA DE SERVICIO QUE APAGA
OADF	D3B1	OUT (01H),A	¡EL DRENEO Y MOTOR DE CD.
OAE1	FB	EI	
OAE2	ED40	RETI	
OAE4	DD		¡DIRECCION DE LA RUTINA
OAE6	0A		¡DE SERVICIO.
OAE8	0B		¡TABLA DE DATOS PARA EL
OAE7	01		¡MOTOR 1.
OAE0	02		
OAE9	04		
OEA	08		
OEA	0B		
OALD	80		¡TABLA DE DATOS PARA EL
OAC	10		¡MOTOR 2.
OAEI	20		
OAEI	40		
OAEI	80		

Errors 0
Range Count 0

CROHEND 780 Macro Assembler Version 03.08

*** FFFOM ***

Symbol	Value	Defn	References
CEERO	0940	0217	0204
CCINCO	094F	0227	0214
CCUATRO	094C	0275	0212
CDOS	0946	0271	0208
CERO	0A3E	0383	0364
CEROY	0979	0257	0257
CEROY	0990	0268	0263
CICLO1	0A85	0441	0446
CICLO2	0A80	0439	0448
CICLO3	0A7E	0437	0450
CICLO4	0A65	0469	0474
CICLO5	0A60	0467	0476
CICLO6	0A9F	0465	0478
CINCO	0A4D	0393	0374
CONV	0B88	0114	0010 0020
CONVDEC	0BF8	0169	0107 0105
CONVTR0	0A16	0363	0371 0329
CSEIS	0952	0229	0216
CTRES	0949	0223	0216
CUATRO	0A4A	0391	0372
CUENTADE	090D	0180	0193
CUNO	0943	0219	0206
D20MS	064F	0239	048D
DELAY	0AB5	0486	0443 0471
DER	0A76	0431	0256 0267 0420
BESP	09DB	0317	0246 0258 0272 0282
BESPADC	0924	0203	0171
BOS	0A44	0387	0368
FCONVDEC	0920	0194	0177
FIN	09BC	0296	0270
FINRCOMP	0A75	0423	0417 0421
FINX	09CB	0303	0277
FINY	09DA	0310	0250 0261 0306 0415
FOR	086C	0070	0083
FSUMA06	091E	0193	0185 0188
IZO	0A95	0459	0302 0309 0422
LABEL I	0A72	0422	0419
LOOP	08B1	0119	0120
LOOP1	08B9	0123	0124
LOOP11	09F9	0326	0327
LOOP12	09F2	0331	0342
LOOP13	0A88	0488	0490
LOOP2	0B19	0018	0022
LOOP3	0B10	0015	0016
LOOP6	0B74	0028	0099
LOOP7	089E	0103	0107
NOCARB	0857	0053	0046
NOCARBY	08E9	0153	0149
NUEVE	0A59	0401	0382
OCHO	0A56	0399	0380
ORDENAR	08C1	0135	0077
OTRACORR	0996	0271	0295
OTRAMEZ	0B34	0040	0034

OTRAVEZY	0802	0143	0154
OTROPYU	082B	0036	0057
OTROPYU	08C9	0140	0158
OTROVAL	087E	0079	0073 0075
OTROVALD	087F	0080	0078
PROPRINC	0955	0240	0033 0108
QUIET	0A0E	0352	0353 0355
QUIETO	0A0A	0350	0335 0340
RCOMP	0A5C	0412	0279 0290
RSEKV	0ADD	0518	
SEIS	0A50	0395	0376
SIETE	0A53	0397	0378
TALADRO	0A00	0499	0268 0293
TRES	0A47	0389	0370
UNO	0A41	0385	0366

B.

BIBLIOGRAFIA.

- 1.- AN INTRODUCTION TO NUMERICAL CONTROL OF MACHINE TOOLS.
D.S. FUCELE y J.R. ARROWSMITH. 2a. Edición.
Ed. W. & J. MacLay, & Co. LTD. Chatham.
Gran Bretaña, 1968.
- 2.- PRINCIPLES OF NUMERICAL CONTROL.
JAMES J. CHILDS, 2a. Edición.
Ed. Industrial Press Inc.
E.U.A., 1967.
- 3.- NUMERICAL CONTROL PART PROGRAMMING.
JAMES J. CHILDS, 2a. Edición.
Ed. Industrial Press Inc.
E.U.A., 1973.
- 4.- CONTROL NUMERICO.
JOSE RAMON ALIQUÉ LUPEZ, 1a. Edición.
Ed. Marcombo.
Reisaren Editores, Barcelona España, 1981.
- 5.- CURSO DE ROBOTICA.
JOSE MA. ANGULO USATEGUI y RAFAEL AVILES GONZALEZ, 1a. Edición.
Ed. Paraninfo.
España, 1984.
- 6.- GUIDE TO SELECTING AND CONTROLLING STEP MOTORS.
Warner Electric's.
- 7.- MICROPROCESADORES Z80 E INTERFACES.
OCTAVIO F. GARCIA NARCIA, 2a. Edición.
Ed. Bioediciones, S.A.
México, 1981.
- 8.- DISPOSITIVOS Y CIRCUITOS ELECTRONICOS.
JACOB NITLHAN Y CRISTOS C. HALFIAS, 8a. Edición.
Ed. Pirámide.
España, 1979.
- 9.- VOLTAGE REGULATOR HANDBOOK.
NATIONAL SEMICONDUCTOR CORPORATION.
- 10.- LINEAR DATA BOOK.
NATIONAL SEMICONDUCTOR CORPORATION.
- 11.- THE TTL DATA BOOK.
TEXAS INSTRUMENTS, 2a. Edición.
E.U.A., 1981.
- 12.- THE OPTOELECTRONICS DATA BOOK.
TEXAS INSTRUMENTS, 5a. Edición.
E.U.A., 1978.