

88/217

3

2ej

# UNIVERSIDAD ANAHUAC

ESCUELA DE INGENIERIA

CON ESTUDIOS INCORPORADOS A LA UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO



## IMPLANTACION DE CONTROL NUMERICO EN UNA MAQUINA HERRAMIENTA

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

**T E S I S**  
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:  
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA  
P R E S E N T A  
**JOSE JAVIER ARRILLAGA TOTORICA**

MEXICO, D. F.

1987



## **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

## CAPITULO I. INTRODUCCION AL CONTROL NUMERICO.

I.1 Aparicion v evolucion del control numerico. . . . .	5
I.2 Aplicaciones del control numerico. . . . .	8
I.3 Ventajas del control numerico. . . . .	19
I.4 Clasificacion de los sistemas de control numerico. . . . .	20
a) Control numerico punto a punto. . . . .	20
b) Control numerico paraxial. . . . .	21
c) Control numerico continuo. . . . .	22
d) Diferencias entre CN. CNC y maquina con lectura digital de cotas. . . . .	23

## CAPITULO II. ARQUITECTURA GENERAL DEL CONTROL NUMERICO. . . . .

II.1 Entrada y salida de datos. . . . .	26
II.2 Unidades de memoria. . . . .	30
II.3 Medida de los desplazamientos. Unidad de medida. . . . .	34
II.4 Unidad de calculo. . . . .	37

## CAPITULO III. PROGRAMACION. . . . .

III.1 Estructura del programa. . . . .	41
III.2 Sistema de coordenadas para los movimientos de la maquina. . . . .	44
III.3 Introduccion de datos. . . . .	48
III.3.1 Construccion del programa. . . . .	51

3.1.1 Programacion de los movimientos de la maquina. ....	54
3.1.2 Programacion de las velocidades. ....	54
3.1.3 Programacion de la herramienta. . .	56
3.1.4 Programacion del modo de funcio- namiento de la maquina herameinta v del control numerico. ....	57
 CAPITULO IV. SISTEMAS DE MEDICION. ....	65
IV.1 Clasificacion de los captadores de posicion. .	65
1.1 Captadores de posicion analogicos y digitales. ....	66
1.2 Captadores de posicion absolutos e incrementales. ....	67
1.2.1 Captadores analogicos absolutos. .	67
1.2.2 Captadores digitales absolutos. .	68
1.3 Captadores de posicion de medida directa o indirecta. ....	70
1.4 Captadores de posicion lineales v rotativos. ....	70
IV.2 Sistemas de medicion utilizados las maquinas herramienta. ....	70
2.1 Captadores de posicion lineales. ....	71
2.1.1 Inductosin. ....	71
2.1.2 Reglas graduadas. ....	72
2.1.3 Reglas codificadas. ....	75
2.2 Captadores de posicion rotativos. ...	77

2.2.1 Resolver V. Sincro. ....	78
2.2.2 Disco graduado. Encoder incremental	79
2.2.3 Disco codificado. Encoder absoluto	81
CAPITULO V. IMPLANTACION DE UN SISTEMA DE MEDICION. ....	83
V.1 Caracteristicas de la maquina herramienta. ...	83
V.2 Sistema de medicion. ....	85
V.3 Preparacion de la maquina. ....	88
V.4 Diseno del sistema. ....	90
4.1 Diseno del contador. ....	93
4.1.1 Pruebas realizadas. ....	101
V.5 Montaje. ....	101
5.1 Lista de partes. ....	102
5.2 Tarjetas. ....	109
5.2.1 Pruebas de calidad. ....	111
5.3 Montaje. ....	114
5.3.1 Gabinete. ....	120
5.3.2 Montaje final. ....	120
V.6 Costo del equipo. ....	125
V.7 Implantacion del sistema. ....	128
V.8 Manual de operacion. ....	133
8.1 Prechequeo. ....	133
8.2 Encendido. ....	133
8.3 Funcionamiento. ....	134
CAPITULO VI. AUTOMATIZACION DE LA MAQUINA HERRAMIENTA. .	136
VI.1 Motores. ....	136

1.1	Motores de potencia. ....	136
1.2	Motores de avance. ....	138
1.2.1	Motores paso a paso. ....	139
1.2.2	Motores de corriente continua. .	141
VI.2	Regulacion. ....	143
2.1	Regulacion de motores paso a paso. ..	143
2.2	Regulacion de motores de corriente continua. ....	145
2.2.1	Reguladores de tiristores. ....	146
2.2.2	Reguladores de transistores (Choppers). ....	147
VI.3	Control numerico. ....	149
VI.4	Sensores y actuadores. ....	151
VI.5	Herramientas. ....	154
VI.6	Automatizacion de la maquina herramienta. ....	155
CONCLUSIONES. ....		159

## OBJETIVO Y JUSTIFICACION.

Con el presente trabajo se tratará, en la medida de lo posible, de incorporar a una máquina herramienta del taller de la Universidad un sistema con Control Numérico. Este sistema será flexible de modo que pueda ser implantado en otras máquinas herramienta. Con ello se logrará tener en el futuro un mejor material escolar, tanto para fines didácticos como para fines laborales.

Como el trabajo del diseño y la instalación de un Control Numérico completo, entiéndase como la automatización completa de la máquina, es un trabajo muy laborioso y probablemente no rentable para trabajarse a pequeña escala, nos limitaremos en este principio a los fundamentos imprescindibles que deberá llevar la máquina herramienta para que más adelante se le pueda aplicar el resto del sistema y obtener así la automatización y el control total de la máquina.

Se puede decir que los elementos básicos necesarios para este principio serán los circuitos de medida. Se buscará hacer un diseño de un sistema de medición de acuerdo a las características de la máquina y que se tenga una lectura de las cotas preferentemente en forma digital.

Eventualmente se trabajará también sobre los actuadores y sensores que estén relacionados con este sistema de medida. La disponibilidad de fondos y tiempo, así como la información disponible y los componentes necesarios podrán dictar mayores restricciones en la práctica, aunque se tratará de adecuar lo disponible en el mercado para que el fin que se persigue sea

logrado.

## CAPITULO I

### INTRODUCCIÓN AL CONTROL NUMÉRICO.

El control numérico es un sistema que, aplicado a las máquinas herramienta, automatiza y controla todas las acciones de la máquina. En general con un control numérico pueden controlarse:

- + Los movimientos del carro o del cabezal de la máquina.
- + El valor y el sentido de las velocidades de avance y de corte.

+ Las condiciones de funcionamiento de la máquina, en cuanto a su forma de trabajar (con o sin refrigerante, sistema de frenos, etc.) o a su estado de funcionamiento (fallos, deficiencias, etc).

El control numérico está formado por varios bloques, cada uno de ellos destinado a una función específica, pero en relación con los demás bloques. En una forma muy general se podría decir que el control es una caja negra a la cual le entran datos de la máquina herramienta (datos mandados por los sensores): a la salida de esta caja tendremos unas señales que irán hacia los actuadores para realizar determinada función.

El tratamiento que se les dará a las señales dentro de la caja negra estará dado por la información que le haya dado el fabricante y el programa que le haya proporcionado el programador u operario.

Dentro del control encontramos cuatro bloques principales:

- + Unidad de alimentación.
- + Unidad de memoria y procesamiento de datos ( CPU ).
- + Circuitos de medida.

+ Unidad de video o de entrada v salida de datos.

Cada una de estas unidades está dividida en subgrupos dependiendo de la complejidad del control. A cada una de estas unidades estarán conectados uno o más periféricos, que serán los que ayuden a la operación de la máquina. Así tenemos que, por ejemplo, a la unidad de memoria, que está dividida en subgrupos tales como memoria de programa, memoria de corrección de herramienta y memoria intermedia, llegan la señales del generador de pulsos, que servirán para los cálculos de trayectorias y memorización de posiciones, así como las señales del teletipo que servirán para la introducción y escritura de programas. En la figura 1.1 se puede apreciar la colocación de los bloques con algunos de sus periféricos principales.

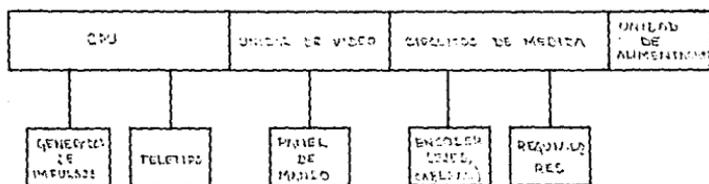


Fig. 1.1 Bloques que conforman el control con sus periféricos principales.

Toda la información necesaria para la ejecución de una pieza está dada en el programa que se le suministra a la máquina: este programa está escrito en un lenguaje especial (código) por medio de caracteres alfanuméricos sobre un soporte físico (cinta). En algunos controles no es necesario el soporte físico, se puede programar directamente sobre la pantalla de la máquina y el

control guardará cada una de las instrucciones formando el programa completo.

### I.1 APARICION Y EVOLUCION DEL CONTROL NUMERICO.

En la mayor parte de las fábricas del mundo los sistemas de producción son similares; las máquinas del mismo tipo son colocadas en una misma zona, siendo cada una de las máquinas operadas independientemente. Al no contar con una sola máquina que pudiera efectuar todas las operaciones necesarias para la fabricación de la pieza, ésta se tiene que dividir en una serie de operaciones independientes, cada una de las cuales se realiza en una máquina idónea para el resultado deseado. Para resolver este problema de la forma más eficiente posible las máquinas necesarias para el conjunto de operaciones a realizar sobre la pieza, se colocan una a continuación de la otra formando cadenas o líneas de producción. De esta forma la pieza va pasando de una máquina a la siguiente para ser trabajada y obtener así, al final de la cadena, la pieza deseada.

Los requerimientos que día a día fueron apareciendo forzaron la utilización de otras técnicas más eficientes y rápidas. Se buscó entonces la forma de realizar todas las operaciones necesarias en una sola máquina y tratar de substituir al operador humano por algún sistema más eficiente. De esta forma se introdujo la automatización de las máquinas herramienta. Los requerimientos que dieron lugar a esta aparición fueron:

- + La necesidad de conseguir productos que por sus

características de calidad y cantidad no podían ser fabricados sin medios automáticos.

+ La complejidad de los nuevos productos, que los hacían muy difíciles para controlar por un operador humano.

+ La necesidad de abatir los precios de los productos.

En principio, contrariamente a lo que se puede pensar, el control numérico para máquinas herramientas no fue ideado para mejorar los procesos de fabricación, sino para dar una solución a los problemas técnicos surgidos a consecuencia del diseño de piezas cada vez más difíciles de mecanizar.

Así, en 1942, la empresa norteamericana "Bendix Corporation" comienza la utilización de lo que podría llamarse un control numérico al tratar de fabricar una leva tridimensional para el regulador de una bomba de inyección para motores de avión. El perfil de la pieza era muy especial y prácticamente imposible de realizar con máquinas manuales. La dificultad estaba en combinar movimientos simultáneos de varios ejes de coordenadas. Por esta razón se utilizó una máquina automática que definiría una gran cantidad de puntos en una trayectoria a seguir para lograr la pieza.

Años más tarde, J. Parson idea un mando automático con entrada de datos numérica para la construcción de hélices para helicópteros. La idea consistía en utilizar tarjetas perforadas (colocando los movimientos de los ejes en los agujeros), en un lector que permitiría la traducción de las señales para los movimientos de los ejes; este sistema se llamó Digitón.

En esa época, la Fuerza Aérea de los Estados Unidos

necesitaba construir estructuras complicadas y con la capacidad de modificarse rápidamente. Gracias a su sistema J. Parsons obtiene el contrato y el apoyo del Instituto Tecnológico de Massachusetts. La primera máquina con control numérico fué una fresadora, de la cual la M.I.T. se encargaría del principio de los servomecanismos, aunque más adelante se hizo cargo de todo el proyecto.

En 1953, después de años de estudios y mejoras, el Instituto Tecnológico de Massachusetts utiliza por primera vez el nombre de "Numerical Control" o Control Numérico. Esta máquina ejecutaba movimientos simultáneos sobre los tres ejes y su programación se basaba en un código binario sobre cinta perforada. La programación de esta máquina necesitaba ser realizada en una computadora.

A mediados de los años cincuenta, la Fuerza Aérea de los Estados Unidos comienza a trabajar a gran escala con máquinas dotadas de controles numéricos. De esta forma destacan tres grandes constructores de controles numéricos en los Estados Unidos

- Cincinnati Milling Machines Company
- Giddi and Lewis
- Kearney and Tracker

Junto con esta evolución, algunos constructores se interesan en desarrollar máquinas más simples con control numérico; así se comienzan a implantar controles numéricos en taladros, punteadoras, etc.

Algunos años después, con el apoyo del control numérico bastante perfeccionado, surge la electroerosión por hilo auxiliada con el control. Por medio de esta máquina pueden cortarse perfiles complicados y precisos. Para ello utiliza un electrodo constituido

por un alambre muy delgado que traza una trayectoria controlada numéricamente.

También con control numérico se crean punzonadoras-cortadora con rayo laser, que cortan láminas combinando el corte con punzón y con laser.

Más tarde, el control numérico pasa a ser control numérico por computadora CNC, integrando una computadora al sistema. Con este auxilio, surge el robot programable sumamente utilizado en los países industrializados substituyendo al hombre en muchos de los procesos.

En general, el incremento en la utilización del control numérico se debe a que un gran número de problemas que se consideraban bien resueltos por métodos clásicos pueden tener una mejor respuesta desde el punto de vista técnico con la utilización de estas máquinas.

## I.2 APLICACIONES DEL CONTROL NUMERICO.

Aunque el control numérico se ha orientado principalmente a las máquinas herramienta que trabajan por arranque de viruta, su uso no ha quedado restringido a estas aplicaciones. Como ejemplo, a continuación se enumeran algunas máquinas que funcionan con control numérico:

Taladros

Fresadoras

Mandrinadoras

Tornos

Centros de mecanizado

Rectificadoras

Máquinas de electroerosión

Máquinas de soldar

Máquinas de oxicorte

Dobladoras

Plegadoras

Máquinas de dibujar

Bobinadoras

Manipuladores

Robots

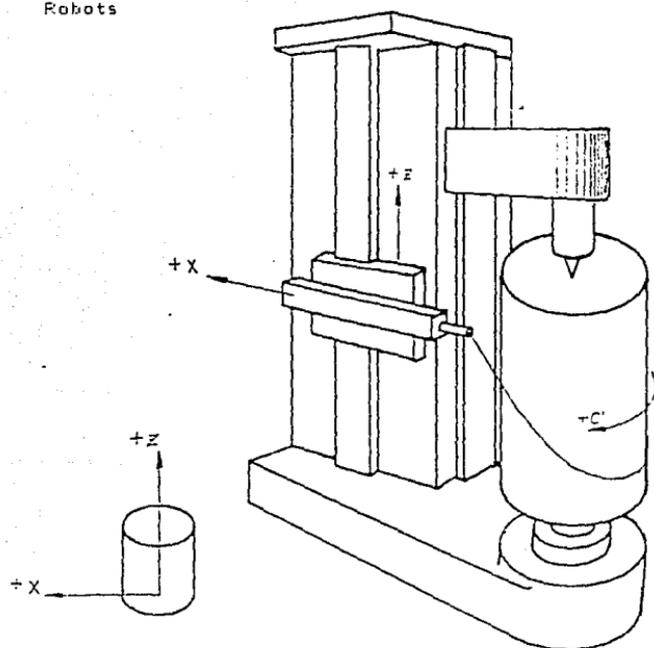


Fig 1-2 Máquina bobinadora controlada por CN.

**TALADRO.** Es una máquina cuya finalidad es hacer agujeros redondos en cualquier tipo de material. Estos agujeros se realizan por medio de una herramienta llamada broca. El taladrado se realiza normalmente haciendo girar la broca a una alta velocidad e introduciéndola en la pieza inmóvil. En algunos casos se tienen que realizar agujeros muy profundos por lo cual se hace que gire la pieza y la broca se mantiene fija.

El control numérico que se utiliza en esta máquina suele ser muy sencillo y por lo tanto económico, llegando en algunos casos a utilizar solamente posicionadores. Para estos casos existen en el mercado controles numéricos con ciertas características en su programación que permiten que en pocos pasos o instrucciones se realicen varias series de perforaciones, siempre y cuando éstas tengan un cierto orden y distribución.

Con el uso del control numérico en estas máquinas se pueden lograr reducciones en los costos hasta de un 50% teniendo además un mejor acabado y una precisión mayor.

El control que se utilice en estas máquinas deberá controlar dos ejes, colocando en uno el movimiento de la broca y en el otro la posición de la mesa sobre la cual estará la pieza. Controlará además la velocidad de rotación de la broca, si ésta no es constante, así como la rotación de la pieza si es necesaria.

**FRESADORAS.** Estas máquinas trabajan bajo el principio de arranque de viruta. Este se realiza por medio de una herramienta de aristas o lados cortantes llamada fresa. Para la realización de este proceso, llamado fresado, se hace girar a gran velocidad la fresa y se le hace avanzar por la pieza a una velocidad lenta.

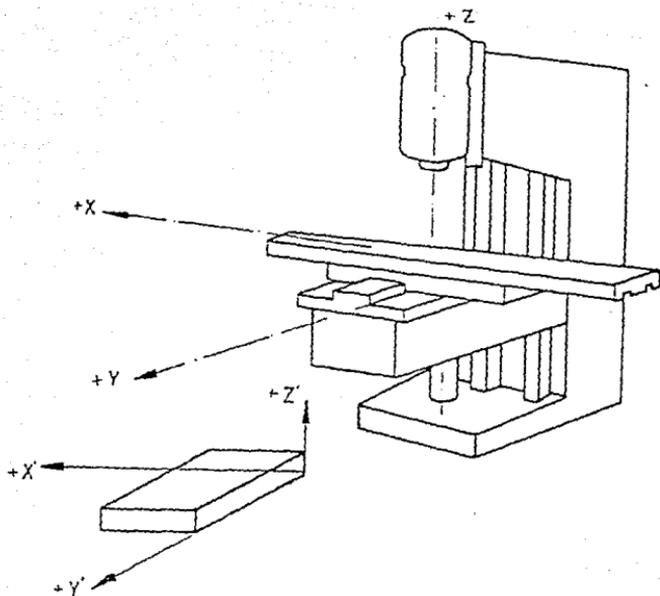


Fig 1.3 Fresadora.

En esta máquina, la herramienta o fresa suele permanecer fija (solo con movimiento de rotación) y es la pieza la que realiza el avance. Las fresadoras son máquinas muy versátiles, capaces de realizar varios trabajos si se le colocan las herramientas adecuadas.

Existen varios tipos de fresadoras, que de acuerdo a su utilización pueden ser más o menos complejas. Así existen fresadoras de dos, tres, cuatro y cinco ejes.

El tipo de control que se utiliza en estas máquinas puede ser desde uno relativamente sencillo en el caso de una fresadora de dos ejes, donde se controlará a esos ejes y a la herramienta o fresa, hasta controles sofisticados donde, debido a la misma complejidad de la máquina, ha sido necesario incorporar funciones

que ayuden al operario a facilitar su trabajo.

**MANDRINADORAS.** Estas máquinas herramienta trabajan también por arranque de viruta.

El mandrinado es una operación mediante la cual se aumenta el diámetro de un agujero ya existente en una pieza. El principal objetivo del mandrinado es mecanizar cualquier agujero o perforación a un diámetro deseado, al mismo tiempo que se le da la precisión y el acabado deseado. Normalmente el mandrinado se realiza después de hacer el agujero en la pieza por un método cualquiera (taladrado, punzonado, etc.).

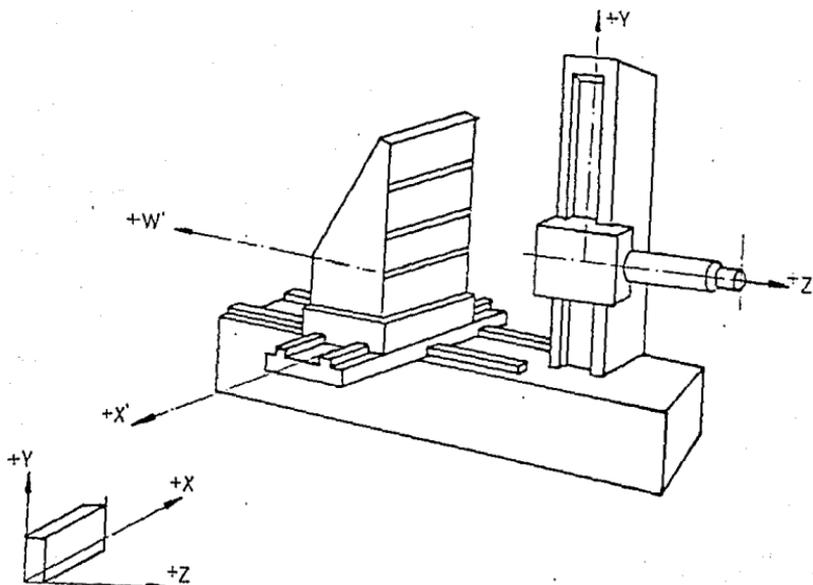


Fig. 1.4 Mandrinadora

Para realizar el mandrinado, la herramienta de corte es la que gira dentro o alrededor de la pieza, aunque en otros casos la pieza es la que gira quedando fija la herramienta.

Para estos casos el control deberá tener el mando sobre el avance, la velocidad de rotación de la herramienta y el movimiento de la herramienta o de la pieza según sea el caso.

TOFNO. El torno es una máquina que permite el arranque de viruta de la pieza haciéndola girar sobre su propio eje.

El torneado es la operación mediante la cual una pieza fija al elemento giratorio de la máquina, llamado plato, es transformada en sus dimensiones hasta llegar a la pieza deseada. El desbaste o arranque de viruta, es realizado por una herramienta de corte que normalmente tiene dos moviminetos, uno sobre el eje X y otro sobre el eje Z.

Con un torno se pueden obtener superficies planas, roscadas, esféricas, cónicas. Para ello existen diferentes tipos de tornos.

El control numérico utilizado en estas máquinas ha tenido un especial estudio, ya que por la versatilidad de la máquina se le han incorporado algunos ciclos o funciones especiales tales como roscados, refrentados, ranurados, que la máquina ejecutará automáticamente por medio de instrucciones previamente establecidas por los fabricantes.

El control de estas máquinas tendrá el mando sobre el movimiento del cabezal, que da el movimiento al plato, y sobre los avances de los ejes. Para las funciones especiales antes citadas el control coordina también: compensación del juego, compensación del paso, velocidad de corte constante, etc.

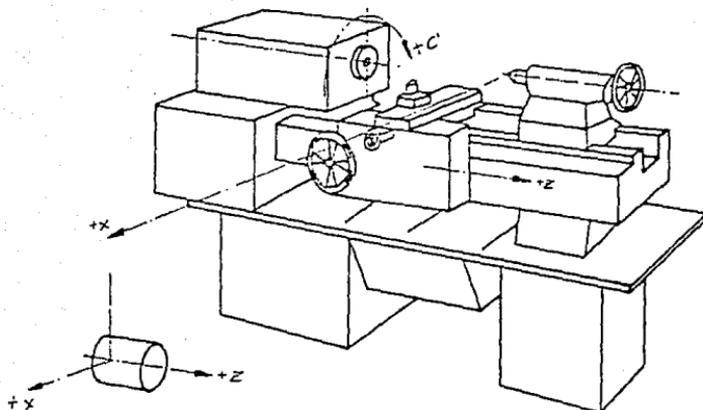


Fig. 1.5 Torno paralelo.

CENTROS DE MECANIZADO. Después de la utilización del control numérico, se trató de mejorar los sistemas de las máquinas ya existentes. Para ello se trató de ahorrar tiempo al mecanizar las piezas incorporando a las máquinas cargadores y descargadores de piezas así como cambiadores de herramienta automáticos.

De esta forma se desarrollaron los centros de mecanizado que son máquinas que incorporan las funciones antes mencionadas. También los controles utilizados en estas máquinas son más sofisticados, ya que presentan funciones nuevas no contempladas en otras máquinas más sencillas.

Este tipo de máquinas se utilizan en industrias como la automotriz donde es necesario trabajar con altos volúmenes de

piezas y en la forma mas automatizada posible.

**RECTIFICADORAS.** Estas máquinas, como su nombre lo dice, rectifican o dan el terminado a una pieza, normalmente una superficie plana, por medio de una acción abrasiva de una herramienta llamada muela.

En estas máquinas el control es relativamente simple, ya que coordinará los movimientos de la mesa, sobre la cual se coloca la pieza, y la velocidad de rotación de la muela. En algunos casos se utiliza para rectificar contornos por lo que el control tendrá que contar con una función de interpolación para realizar la curva necesaria.

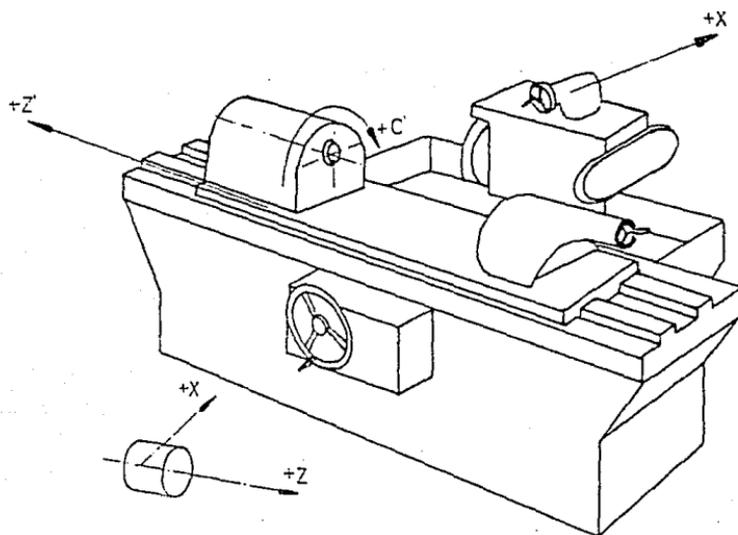


Fig. 1.6 Rectificadora.

**MAQUINAS DE ELECTROEROSION.** Se puede definir el proceso de electroerosión como el arranque de material por medio de una serie sucesiva de descargas eléctricas, separadas unas de otras un cierto tiempo, que saltan entre dos polos (electrodo o herramienta y pieza a mecanizar).

Este proceso se distingue principalmente por dos propiedades:

a) Su facilidad para mecanizar aceros, metales o aleaciones duras, poco aptas para ser mecanizadas por procedimientos convencionales de arranque de viruta como los enunciados anteriormente.

b) La otra propiedad muy importante también es la gran aptitud de la electroerosión para realizar formas o cortes complejos.

Con el procedimiento de electroerosión se pueden realizar operaciones de taladrado de agujeros de forma cualquiera, así como formas o cavidades que no traspasen completamente el material.

Existen dos tipos de electroerosión:

- + Electroerosión por penetración
- + Electroerosión por hilo

Con la electroerosión por penetración se realizan agujeros y formas o cavidades haciendo "penetrar" el electrodo sobre la pieza.

Con la electroerosión por hilo se pueden realizar cortes y agujeros de formas muy complicadas, ya que se le permite al hilo tener movimientos en más de un eje de la máquina.

El mecanizado por electroerosión se efectúa mediante el

salto de chispas eléctricas entre dos electrodos sometidos a una tensión y sumergidos en un líquido aislante.

Cada chispa representa una fuente de calor en el punto donde salta provocando la fusión del material de ambos electrodos.

La temperatura en el punto donde salta la chispa sube varios cientos de grados, lo cual, dada la rapidez con la que se realiza el fenómeno, no permite que el calor se propague por el material. Esto da como resultado la fusión y evaporación del material y la formación de un cráter en la superficie de la pieza. El material de desecho es arrastrado por el líquido aislante.

En estos casos, se utiliza el control numérico principalmente en las máquinas de electroerosión por hilo, aunque los sistemas mas sofisticados de penetración tambien lo utilizan, siendo estos ultimos controles más sencillos ya que solo manejan un eje y algunas funciones auxiliares.

MANIPULADORES Y ROBOTS. El manipulador es un elemento mecánico que realiza tareas repetitivas combinando en cada ciclo una serie de movimientos. Los movimientos que este elemento realice siempre serán iguales, y para variarlos será necesario cambiar sustancialmente el aparato.

El robot, por su parte, tiene el mismo fin pero es mucho más versatil, pues por medio de programas, se puede lograr que realice un número mayor de movimientos o maniobras sin tener que modificar físicamente el aparato.

En el caso de estos elementos se ha ideado su uso para aplicaciones industriales. De esta forma, los manipuladores y los robots, unidos a las máquinas herramienta, incrementan la

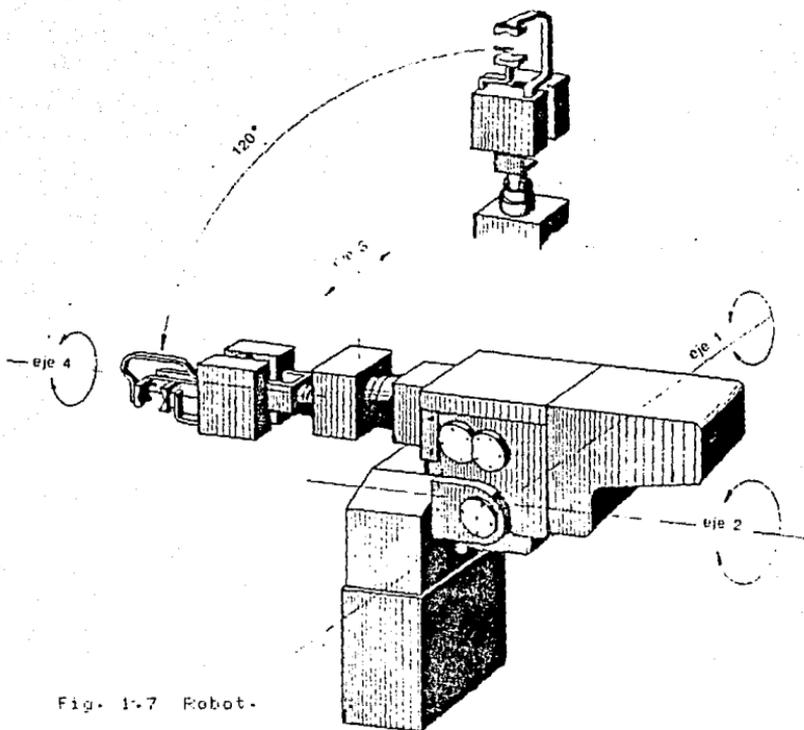


Fig. 1-7 Robot.

produccion y reducen costos. Tambien son utilizados los robots para trabajos tales como soldaduras, cortes con laser, aplicacion de sustancias toxicas tales como adhesivos, etc.

Normalmente, los robots y manipuladores son manejados por el mismo control de la maquina herramienta, aunque en casos de robots complejos estos tienen su propio control y este esta en contacto con el control de la maquina principal.

### 1.3 VENTAJAS DEL CONTROL NUMERICO.

A continuación se enumeran algunas de las ventajas que presentan las máquinas herramienta con control numérico:

+ Posibilidad de fabricar piezas muy complejas. Como se expuso anteriormente las características de las máquinas herramienta con control numérico permiten una mejor resolución en piezas complicadas.

+ Reducción en los tiempos de los ciclos de operación. Esto se logra principalmente por:

a) trayectorias y velocidades más precisas y mayores que en las máquinas convencionales.

b) menos verificación de medidas entre las operaciones de mecanizado.

c) menor revisión de planos y hojas de especificaciones.

+ Ahorro en herramientas y equipo. Al usar un menor número de herramientas y siendo éstas más universales se logrará un considerable ahorro. En cuanto al equipo, se logra un ahorro al utilizar menor número de máquinas y personal humano.

+ Mayor precisión. Al contar con sistemas de medición más precisos las máquinas con control numérico pueden trabajar con una precisión de 0.0001 a 0.001 mm.

+ La velocidad de corte constante permite conseguir superficies de muy alta calidad en las piezas.

+ Reducción de costos. Por las características de trabajo de las máquinas con control numérico, la calidad de las piezas casi elimina cualquier operación humana posterior con el consiguiente ahorro que esto significa.

+ Flexibilidad. Además de ser más universal que una máquina convencional, la máquina herramienta con control numérico permite una mayor cantidad de operaciones. Además, con la facilidad de cambiar únicamente un programa para la fabricación de piezas distintas, se logra una óptima utilización de la máquina.

#### 1.4 CLASIFICACION DE LOS SISTEMAS DE CONTROL NUMERICO.

Dada la variedad de tipos de máquinas herramienta a automatizar, así como las dificultades técnicas en el diseño de los sistemas de control y las necesidades y condicionantes económicas, se han desarrollado varios tipos de control numérico. Estos pueden ser clasificados en tres grupos principales:

- a) Control numérico punto a punto.
- b) Control numérico paraxial.
- c) Control numérico continuo o de contorno.

##### a) CONTROL NUMERICO PUNTO A PUNTO.

Este sistema controla el posicionamiento de la herramienta en el punto o los puntos donde deben efectuarse una o varias operaciones de mecanizado. La trayectoria seguida para ir de un punto a otro no tiene gran importancia, lo que realmente interesa es alcanzar el punto requerido rápida y precisamente. Tomando como ejemplo el que se muestra en la figura 1.8 donde se tiene una placa a la cual hay que perforar en los puntos A, B y C, partiendo del punto O, la herramienta puede seguir varias trayectorias:

- 1) trayectoria siguiendo paralelamente los ejes hasta

alcanzar el punto deseado, esto es, primero de O a X y luego de O' a Y, o a la inversa.

2) trayectoria formada por el desplazamiento simultáneo de los dos ejes, suponiendo que la velocidad de ambos motores fuera la misma, la trayectoria resultante sería una recta a 45°.

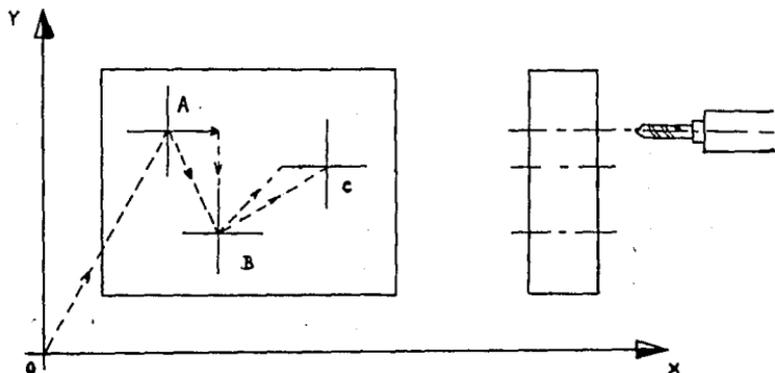


Fig. 1-8 Control numérico punto a punto.

En los sistemas punto a punto, normalmente no se controla ni la velocidad de rotación ni la velocidad de avance en el posicionamiento, esta velocidad será la máxima que soporte la máquina en el motor de avance de los ejes o de rotación).

Como aplicaciones de este sistema tenemos: taladros, punzonadoras y mandrinadoras.

#### b) CONTROL NUMÉRICO PARAXIAL.

Con este sistema es posible controlar, además de la posición del elemento que se desplaza (herramienta o pieza a mecanizar en algunos casos) la trayectoria seguida por el mismo, pero siempre

siguiendo la dirección de los ejes coordenados.

En este sistema se controlan las velocidades de rotación y de avance, ya que dadas las características del material o de la herramienta, no siempre la velocidad máxima será la más adecuada como en el caso anterior.

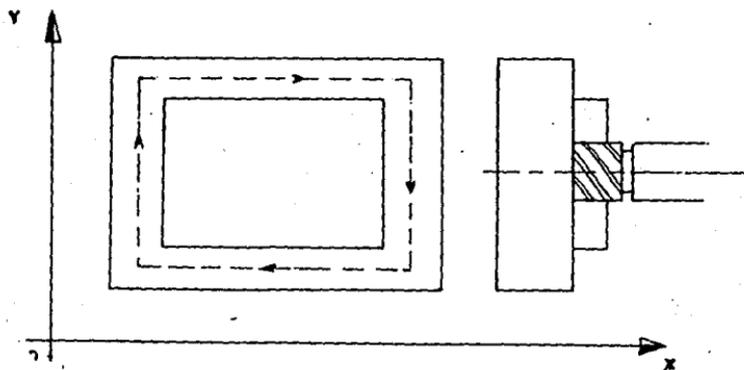


Fig. 1.9 Control numérico paraxial.

Este sistema se ofrece como una posibilidad opcional a un sistema punto a punto.

Una aplicación de este tipo de sistemas se encuentra en las fresadoras.

#### c) CONTROL NUMÉRICO CONTINUO.

En estos sistemas de posicionamiento continuo, los desplazamientos del elemento móvil son controlados en todo momento de manera que estos movimientos deben corresponder a una trayectoria preestablecida o programada.

Este resultado se consigue relacionando entre sí los

movimientos realizados por cada uno de los ejes coordenados.

Como ejemplo de este sistema tenemos: fresadoras, tornos, centros de mecanizado, máquinas de electroerosión, mesas de dibujo, etc.

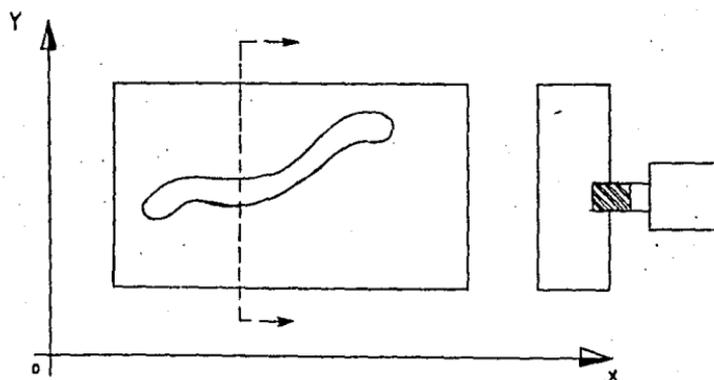


Fig. 1.10 Control numérico continuo.

#### d) DIFERENCIAS ENTRE C.N., C.N.C. Y MÁQUINA CON LECTURA DIGITAL DE COTAS.

Aunque la finalidad de todos estos sistemas es tener un mayor control de la máquina, esto se puede realizar de diferentes formas y a diferentes niveles, de acuerdo al sistema que se utilice. Cabe, por lo tanto, hacer una breve explicación de cada uno de ellos para conocer sus características.

La forma de "control" más sencilla se tiene con las escalas lineales. Con estos equitos únicamente se obtiene la lectura de la posición en la que se encuentra el elemento móvil

de la máquina. Con esto se quiere decir, que el sistema de lectura digital de cotas, no tiene una actuación directa sobre la máquina. Esta es totalmente independiente, y únicamente transmite, por medio del sistema, su posición.

Por su parte, el CN es un sistema mas complejo, en el ya se puede hablar de un "verdadero" control sobre la máquina. El CN controla la máquina, pero únicamente realiza lo que se le haya programado externamente, ya sea por tarjetas perforadas u otro medio. El CN va ejecutando el programa y de acuerdo a el accionara los motores de los ejes y colocara las herramientas en posición, y obtendrá, por medio de un sistema de medición (tales como reglas graduadas, sistemas pinon cremallera, etc.) la posición en la que se encuentra el elemento movil.

Por ultimo, están los equipos de CNC que son los más utilizados en la actualidad. En estos equipos se incorpora una computadora al sistema, logrando con ella un control, que se puede decir absoluto, de la máquina. Con estos sistemas el CNC controla la máquina teniendo en todo momento una retroalimentación de posición, velocidad y estado general del funcionamiento de la máquina. Con estos datos, la computadora es capaz, por medio de un programa, de corregir los errores que surjan logrando así una precisión mucho mayor.

Actualmente, se está trabajando en forma que la computadora, en base a los datos del diseñador, dibuje y realice el programa de la pieza, lo mande al CNC y este lo ejecute. Con estos sistemas ayudados por el robot, se logra la automatización completa de la máquina herramienta.

La utilización de estos sistemas en México aún es mínima.

aunque se empieza a ver que todos estos equipos pueden introducirse en la industria nacional tal y como lo estan empezando a hacer los visualizadores digitales. De acuerdo a las características de los equipos CNC, estos son principalmente utilizados donde es necesaria una diversificación de piezas, que generalmente suelen ser complicadas y no tienen unos lotes muy grandes. De esta forma se logra realizar facilmente, unicamente cambiando un programa, una gran variedad de piezas que por medios convencionales tomarían mucho mas tiempo y no lograrían la precisión adecuada.

## CAPITULO II

### ARQUITECTURA GENERAL DEL CONTROL NUMERICO.

En los equipos de control numérico se pueden encontrar cuatro bloques principales:

- + Unidad de entrada y salida de datos.
- + Unidad de memoria.
- + Unidad de medida.
- + Unidad de cálculo.

Cada uno de estos bloques tiene una función específica pero siempre en relación con las funciones de los demás. En la fig. 2.1 se presenta un diagrama a bloques de un control numérico de dos ejes.

#### II.1 ENTRADA Y SALIDA DE DATOS.

La unidad de entrada y salida de datos se utiliza para dar la información de mecanizado a realizar por el control. Esto se realiza mediante un lenguaje reconocible por la maquina y en forma de programa.

En la actualidad, la forma más común de introducción de datos, tales como programas, datos de maquina, es la cinta perforada. En algunos casos se puede utilizar el lector magnético, que aunque tiene la ventaja de una lectura mas rápida, tiene la desventaja de un precio mucho mayor.

La cinta que se utiliza es previamente perforada de acuerdo al programa por medio de un perforador o un teletipo. El número



máximo de perforaciones que se le pueden hacer a la cinta es de ocho por carácter, de estas, siete se utilizan para decodificación y la última perforación será un bit de paridad (este bit estará dado por el código de perforación que se utilice). Además de estas perforaciones, existe otro orificio central que se utiliza para el arrastre de la cinta.

Una forma común que se utiliza para el arrastre de la cinta es la rueda dentada y un disco rígido que ayuda al movimiento de la cinta.

La función del lector de cinta es detectar la información perforada en la cinta y suministrarla al control.

Anteriormente, el sistema utilizado para leer la cinta constaba de agujas palpadoras que determinaban la existencia o no de agujeros en la cinta. Existían, por lo tanto, ocho agujas que sensaban la cinta y abrían o cerraban contactos en donde existían o no perforaciones. Este sistema de lectura era muy lento ya que para cada carácter era necesario detener un momento la cinta, para que la lectura fuera correcta.

En la actualidad se utilizan lectores de cinta fotoeléctricos que permiten una velocidad de lectura mucho mayor.

Estos lectores usan como elementos sensores componentes sensibles a la luz, tales como: células fotoeléctricas, fotodiodos o fototransistores. En estos casos, se coloca una célula o elemento fotosensible debajo de cada hilera de perforaciones. Una fuente luminosa se coloca encima de la cinta, de manera que cuando exista una perforación se produzca una señal.

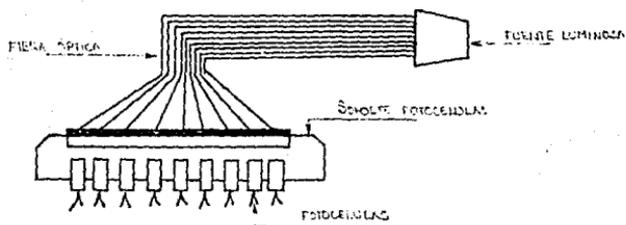


Fig. 2.2 Lector de cinta fotoeléctrico.

Las velocidades de lectura de los lectores de cinta se expresan como el número de caracteres que pueden ser leídos por segundo.

Los lectores mecánicos, son capaces de operar a velocidades de hasta 200 caracteres por segundo, aunque lo normal es que operen a velocidades de 60 caracteres por segundo.

Los lectores fotoeléctricos, por su parte, son capaces de operar a velocidades de hasta 1000 caracteres por segundo, aunque lo normal es que operen a 300 caracteres por segundo.

Como ejemplo de un lector óptico de cinta perforada tenemos el siguiente:

Lector marca :	FANUC
Velocidad de lectura :	a 50 Hz: 250125 carac/sg.
	a 60 Hz: 300150 carac/sg.
Velocidad de transmisión:	máx. 9600 bauds.

Actualmente con el control numérico comoutarizado, se incorporan interfases para la conexión del teletipo. De esta forma

se utiliza el equipo para salida y entrada de datos.

Para visualizar los datos, lo mas comunmente usado es un visualizador compuesto por displays alfanumericos, aunque en equipos mas sofisticados se utiliza la pantalla de rayos catodicos o TFC. Estas pantallas permiten una mayor eficiencia en la lectura de datos y permiten una vision mas general del programa y de los bloques que lo componen.

Una variacion al sistema de cinta perforada se ha presentado con la incorporacion de teclados en el equipo de control. De esta forma, la introduccion de datos, los cambios en el programa, eliminacion e insercion de bloques y otras funciones son realizadas desde el teclado del control.

Existe ademas de las entradas de datos anteriores, un tablero de mando que esta conectado al control: por medio de este, se pueden modificar funciones programadas tales como valores de velocidad de giro y avance y posicionamientos.

## II.2 UNIDADES DE MEMORIA.

En los equipos de control numerico la unidad de memoria tiene una importancia fundamental. En esta memoria interna estan almacenados, ademas del programa para ejecutar la pieza, los datos internos de la maquina y otros datos tales como aceleraciones y desaceleraciones, correcciones de herramienta, puntos de referencia, etc.

Como se vio anteriormente, en los primeros equipos con control numerico se utilizaba como unica entrada de datos la

cinta perforada. Ya que algunos datos se debían mantener durante un ciclo completo de mecanizado se utilizaban memorias buffer.

En los equipos actuales, donde además de la cinta perforada se utilizan los teclados para la introducción de datos y programas al control, la capacidad de la memoria se debe ampliar ya que, como se dijo anteriormente, además de almacenar programas de mecanizado, la memoria deberá almacenar otros datos de la máquina. Una de las ventajas de tener todos los datos almacenados en la memoria está en la facilidad con que en estos equipos se realiza la edición de los programas. Con esto se logra que el control tenga una idea general de la pieza y de los trabajos que realizará sobre ella.

Los equipos utilizan, entonces, memorias que permiten que estos datos no se pierdan, estas memorias pueden ser permanentes o semi-permanentes. De esta forma, si el control se desconecta de la red o se almacena para transporte, las memorias para los datos variables se mantienen por medio de una batería tampón. La batería desde su estado de carga máxima, mantiene su tensión durante aproximadamente seis meses, con esto se asegura que no se borren memorias tales como:

- + valores de corrección de herramienta.
- + datos específicos de la máquina.
- + programas del usuario.

En los equipos que poseen memoria central existe, además del registro principal, un registro intermedio. Con esto se logra que se interpreten varios bloques del programa a la vez, de esta forma, un bloque es interpretado antes de acabar la ejecución del

anterior teniendo así una mayor eficiencia.

Una vez almacenado un programa completo en la memoria, el control inicia su lectura para después ejecutar el programa. Los bloques se van leyendo secuencialmente. En ellos esta dada toda la información necesaria para la ejecución de una operación de mecanizado (velocidad de avance, trayectorias, etc.).

Cuando ya ha sido leído el programa, este se interpreta y se indica a la unidad de cálculo el tipo de operación que se va a realizar y de la forma que debe realizarse. La unidad de cálculo se encargará de diseñar o 'calcular' la trayectoria que deberá seguir la herramienta o la pieza para cumplir la instrucción que se le haya dado por medio del programa.

De acuerdo a las características de las memorias, estas se pueden dividir en:

- + memorias de acceso aleatorio y de acceso secuencial.
- + memorias estáticas y dinámicas.
- + memorias borrables y no borrables o permanentes.
- + memorias volátiles y no volátiles
- + memorias de lectura destructiva y lectura no destructiva.

Las memorias de acceso secuencial son aquellas en las que para llegar a la dirección deseada hay que seguir una secuencia pasando por todas las direcciones previas. Como ejemplo de estas memorias tenemos los cassetes y las entradas y salidas en serie.

En las memorias de acceso aleatorio (conocidas como memorias RAM), por el contrario, se puede acceder directamente a la dirección deseada. Como ejemplo de estas memorias tenemos las memorias de ferrita y las CMOS.

Por su capacidad de retener información, tenemos memorias estáticas en donde la información se almacena en bistables, con lo cual se logra mantener la información por largo tiempo. Las memorias dinámicas, por su parte, utilizan un condensador para almacenar la información, por este motivo, es necesario renovar la información con cierta frecuencia para que esta no se pierda.

Las memorias borrables son aquellas cuya información puede ser fácilmente alterable, por el contrario las no borrables son difíciles de alterar.

Las memorias volátiles son aquellas cuya información desaparece cuando desaparece la alimentación del circuito. Existen también las no volátiles cuya información no desaparece como en las anteriores.

Por último tenemos las memorias de lectura destructiva que son aquellas que solo pueden usarse una vez, ya que después de leídas la información que estaba contenida en ellas desaparece. Un ejemplo de este tipo de memorias es la memoria de ferrita.

Las memorias más utilizadas en los sistemas de control numérico son las memorias de ferrita y las de semiconductores. Las características de cada una de ellas son: las memorias de ferrita son memorias de acceso aleatorio (RAM), estáticas, no volátiles, borrables y de lectura destructiva. Las memorias de semiconductores son memorias RAM, borrables, volátiles y de lectura no destructiva.

Como un ejemplo tenemos la unidad de memoria del control numérico SINUMERIK 3, que consta de:

+ memoria de programa con capacidad de hasta 32 000

caracteres de cinta perforada (aproximadamente 80 mt.)

+ memoria de semiconductores con batería tampón para 8 000 caracteres de cinta perforada.

+ capacidad para almacenar hasta 100 programas principales y subprogramas o subrutinas simultáneamente.

+ memoria de corrección de herramienta con 16 pares de correcciones y compensación de desgaste.

+ memoria del autómatas disponible para el usuario con capacidad máxima de  $22 \times 2^{16}$  palabras (en EPROM) y  $2.9 \times 2^{16}$  palabras (en RAM) para datos.

+ tecnología utilizada en los circuitos integrados: TTL y MOS.

### II.3 MEDIDA DE LOS DESPLAZAMIENTOS. UNIDAD DE MEDIDA.

La medida del desplazamiento o de las posiciones de los elementos móviles es la base de los sistemas de control numérico que trabajan en lazo cerrado a través de un captador de posición.

El control numérico de un elemento móvil tiene por objeto conducirlo automáticamente a una posición determinada, ya sea siguiendo una trayectoria recta o una curva. Cuando se ha dado una señal u orden, es necesario revisar que el elemento móvil haya tomado la posición exacta. Para esto se utilizan dos sistemas de control:

- a) Sistema de lazo abierto.
- b) Sistema de lazo cerrado.

En el sistema de lazo abierto se suprime el retorno de la

información. El desplazamiento se realiza utilizando motores paso a paso a los cuales se les da un número determinado de impulsos eléctricos de acuerdo a la magnitud del desplazamiento a realizar.

Entre el generador de pulsos y el motor se coloca un circuito de apertura y cierre (puerta). El contador, preseleccionado, cierra la puerta cuando ha recibido el número de impulsos correspondientes al desplazamiento que hay que realizar.

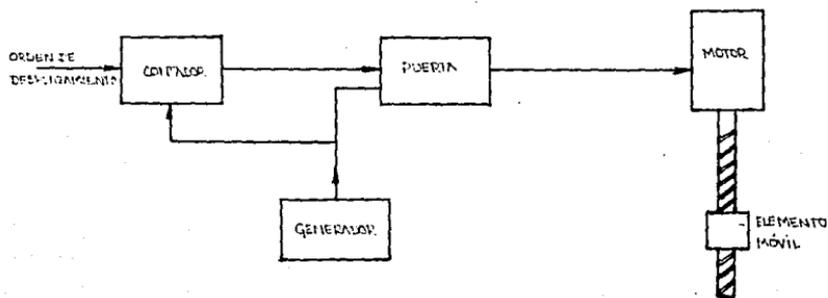


Fig. 2.3 Sistema de lazo abierto.

El sistema de lazo cerrado consiste en comparar, en todo momento, la posición del elemento móvil con la orden dada. La señal que se manda entonces al motor está en función de la relación entre la posición y la orden dada.

Las máquinas que utilizan este sistema normalmente tienen dos lazos de retorno de la información, uno para el control de la velocidad y otro para el control de posición. En este tipo de sistemas se utilizan motores de corriente directa, corriente alterna o hidráulicos.

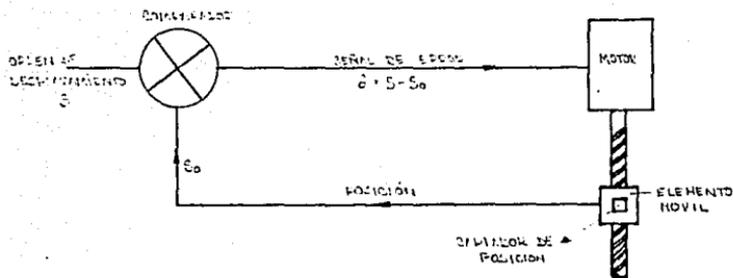


Fig. 2.4 Sistema de lazo cerrado.

En las máquinas herramienta que trabajan en lazo abierto no hay captadores de posición, ya que la función de medida está a cargo de los motores de accionamiento paso a paso como ya se dijo anteriormente.

La función del captador de posición en los sistemas de lazo cerrado, es la de transformar el desplazamiento de una magnitud mecánica a una magnitud eléctrica, para que pueda ser analizada por el control y con esta información realice las operaciones necesarias.

Cualquiera que sea el tipo de control numérico que este conectado a la máquina herramienta, el captador de posición puede ser de un tipo u otro sin que esto afecte el correcto funcionamiento de todo el grupo.

Los captadores de posición se pueden clasificar en los siguientes grupos:

+ por la naturaleza de la información: analógicos o digitales.

+ por la relación entre magnitud mecánica y magnitud eléctrica: incrementales o absolutos.

+ por su localización en la cadena de control: medida directa o medida indirecta.

+ por la forma física del captador: lineal o rotativo.

#### 11.4 UNIDAD DE CALCULO.

Una vez que la información ha sido introducida e interpretada por el control, esta pasa a la unidad de cálculo. Aquí se calculará la trayectoria que deberá de seguir la herramienta para realizar el trabajo que se le ha pedido.

Esta unidad tiene una gran importancia, ya que además de realizar todos los cálculos necesarios tales como trayectorias, correcciones de herramienta, velocidad a la que debe de realizarse el movimiento, etc.; es la que da las instrucciones a los motores para que estas funciones se realicen.

La trayectoria a seguir por la herramienta puede ser muy variada, desde un simple posicionamiento hasta la realización de un perfil complejo. En el caso del posicionamiento el control tratará de buscar la trayectoria mas corta para realizarlo. En el caso del contorno, el control puede optar por dos formas, la primera es realizar una interpolación que ya esté programada en memoria, esto es convertir la trayectoria a realizar en una curva definida matemáticamente y tomar los puntos resultantes para que

los ejes se desplacen sobre ellos. La segunda forma sería conocer los puntos intermedios de la curva a describir y con ellos generar, por medio de pequeñas rectas o arcos de circunferencia, la trayectoria.

Para realizar los cálculos anteriores se emplean, principalmente, dos procedimientos:

1) Hacer que una computadora, externa al sistema, calcule las coordenadas de los puntos necesarios para seguir correctamente la trayectoria - el número de puntos estará dado en función de la precisión requerida - y dar estas coordenadas al control en una forma comprensible para él. Este procedimiento se utiliza en sistemas con programación automática.

2) Incorporar al control una tarjeta que realice el cálculo de las coordenadas y las suministre a la cadena del control. Estas tarjetas reciben el nombre de interpoladores. Estos interpoladores pueden ser de varios tipos, según las curvas que permiten realizar, así tenemos:

- + Interpolador lineal
- + Interpolador circular
- + Interpolador parabólico

INTERPOLADOR LINEAL. Este elemento realizará una trayectoria en línea recta a partir de las coordenadas de los extremos del segmento.

Los controles que cuentan con este tipo de interpolación, tienen una función preparatoria definida por la dirección G01. El equipo de control, al recibir la instrucción en forma de G01 ..., pasa la información a la tarjeta y ordena moverse a los motores X

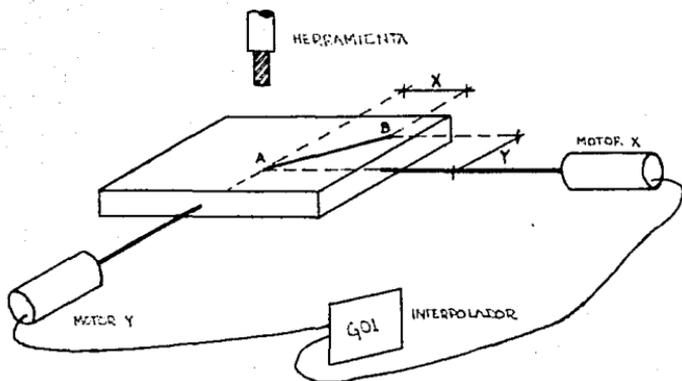


Fig. 2-5 Interpolación lineal.

X y Y de forma sincronizada hasta alcanzar la posición deseada siguiendo una línea recta.

**INTERPOLADOR CIRCULAR.** Descompone un arco de circunferencia conociendo los elementos necesarios para definirlo; normalmente se utilizan el punto inicial, el punto final y el centro de la circunferencia para definir el arco.

En este caso, al recibir la tarjeta la información en forma de G02 ..., esta manda movimientos sincronizados a los motores X y Y tomando en cuenta el punto de coordenadas (I,J) que es el centro del arco de circunferencia.

**INTERPOLADOR PARABOLICO.** En este, se utiliza el mismo principio que en el interpolador circular, pero para trazar una parábola. Este tipo de interpolador es el menos común en las máquinas herramienta.

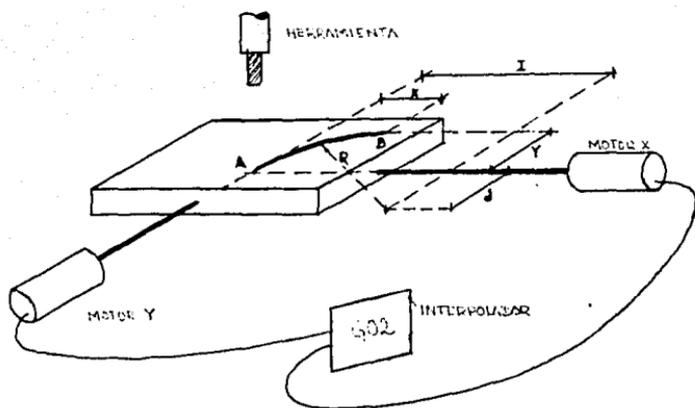


Fig. 2-6 Interpolación circular.

Además de los cálculos de trayectoria, la unidad de cálculo también coordina la compensación de herramienta. De esta forma, cualquier variación en las dimensiones de la herramienta ya sea por desgaste o por cambio de alguna de ellas, será compensada automáticamente en el momento del mecanizado sin tener que variar el programa principal de la pieza.

Para realizar esta compensación, la información de la herramienta se introducirá en una memoria de corrección de herramienta como se verá más adelante.

## CAPITULO III

### PROGRAMACION.

Una máquina con control numérico, es una máquina parcial o totalmente automática, a la que le son comunicadas ordenes por medio de símbolos contenidos, generalmente, en un soporte material que como se ha visto anteriormente puede ser una cinta magnética o una cinta perforada.

Además de la información que hay que dar a la máquina en forma de programa, hay que tener en cuenta que al igual que en el trabajo convencional, existe una preparación previa de la máquina como puede ser el seleccionar el tipo de herramientas que se utilizarán en el mecanizado y la puesta a punto de la máquina.

La comunicación del hombre con la máquina debe de realizarse de manera que sea comprensible por ambos, para ello se ha desarrollado un lenguaje alfanumérico que es accesible al hombre e interpretable por la máquina. Este lenguaje posee una sintaxis propia y se le conoce como lenguaje de programación.

En general, la información necesaria para la mecanización o ejecución de una pieza puede ser de tipo geométrica o de tipo tecnológica.

La información geométrica es la que contiene los datos referentes a las superficies de referencia, origen de los movimientos, etc.

La información tecnológica describe los datos que se refieren a las condiciones de mecanizado, modo de funcionamiento de la máquina, etc. Se puede decir, que la información tecnológica

es aquella que no tiene nada que ver con la geometría de la pieza.

La preparación de toda esta información en una forma ininteligible para el control numérico recibe el nombre de programación.

Información	Geométrica	Dimensiones de la pieza. Acabado de la superficie. Tolerancias. Dimensiones de la herramienta. Longitud de la carrera. etc.
	Tecnológica	Velocidad de avance. Velocidad de rotación. Características de la herramienta (forma). Características del material de la pieza. Refrigerante Modo de operación etc.

Para realizar un programa es necesario conocer:

- + La capacidad y características de la máquina herramienta.
- + La capacidad del control numérico.
- + Las dimensiones de la pieza antes de ser montada en la máquina.
- + El mecanizado a realizar.

+ La localización de los puntos y superficies de referencia en la pieza.

+ El plano de la pieza.

+ Las herramientas disponibles para la máquina, así como sus dimensiones.

Contando con esta información, los pasos a seguir para realizar un programa son:

1. Definir un orden cronológico de las fases de operación u operaciones a realizar. Puede ayudar a este trabajo la realización de un diagrama con la localización de los puntos de trabajo.

Es importante reducir los tiempos de operación por lo que habrá que tener en cuenta el minimizar:

a) número de trayectorias de la herramienta.

b) longitud de estas trayectorias.

c) cambios de herramienta.

d) pasadas de la máquina.

2. Determinar las herramientas y demás enseres para el trabajo a realizar, así como sus condiciones de trabajo.

Se deberá tomar en cuenta la numeración de las herramientas, en el caso de que se utilicen varias, para dar sus características y correcciones en caso de ser necesario. Con estas características tales como longitud, ancho, superficie de corte, se realizarán cálculos dentro del control para que la herramienta realice correctamente la operación deseada.

3. Realizar los cálculos necesarios para la definición de las trayectorias de las herramientas, calculando las coordenadas de los puntos de trabajo, para esto, el programador se podrá

ayudar con el diagrama que realizó anteriormente.

4. Escritura del programa. Una vez recabada la información anterior, se pasa a escribir el programa teniendo en cuenta las características del control numérico y de la máquina, así como el lenguaje de operación.

### III.1 ESTRUCTURA DEL PROGRAMA.

El programa se divide en una serie de pasos llamados bloques, estos contienen la información de una operación básica. La longitud y complejidad de estos bloques estará limitada por la capacidad de procesamiento del control.

En cada bloque se definirán las acciones que la máquina debe realizar. Así, en cada bloque, se encontrará información de:

- + velocidad de avance y/o rotación.
- + desplazamiento de la herramienta.
- + selección de herramientas.
- + condiciones y modo de funcionamiento de la máquina herramienta.

Cada una de las acciones anteriormente citadas, recibe el nombre de función y está identificada por una letra, en algunos casos llamada dirección. Cada letra o dirección es acompañada de una cifra que representa el valor numérico de la función. Este valor puede ser codificado o directo.

Al conjunto de caracteres o signos que forman una función se le denomina palabra *v.*, así, un programa se forma de...bloques o secuencias y un bloque de funciones o palabras. De esta manera

podemos definir:

**SIGNO.** Un signo es la parte mas pequeña de la información.

Esta puede ser:

+ una letra del alfabeto.

+ una cifra individual.

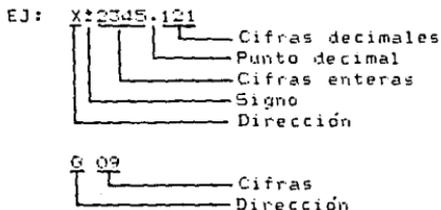
+ un signo de puntuación.

+ un signo mas o menos.

+ un signo especial.

En la cinta perforada, cada hilera transversal contiene ocho pistas, en ellas se codifica cada uno de los signos. El lector de cinta perforada lee un signo cada vez. Un grupo de signos forman una palabra.

**PALABRA.** Una palabra es, generalmente, un grupo de signos que consisten en una letra y una o varias cifras, con o sin signo antepuesto.

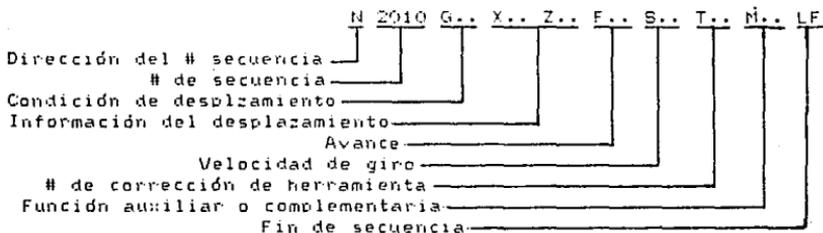


En los ejemplos se representan una orden de recorrido en el eje X (X:2345.121) y una palabra preparatoria (G 09), en este caso esta palabra G 09 significa una desaceleración para un desplazamiento de precisión.

La palabra también puede ser solamente un signo, como por ejemplo el final de bloque.

**BLOQUE O SECUENCIA.** El bloque o secuencia consiste en una palabra o un grupo de palabras y el símbolo de final de secuencia. Una palabra contiene toda la información necesaria para ejecutar una operación. Estas informaciones pueden consistir solamente en una orden de recorrido, una información auxiliar, una función auxiliar o de la combinación de las anteriores.

Como un ejemplo se secuencia tenemos:



Para tener un orden en las secuencias estas deberán de llevar un número de secuencia. Estos números serán dados de acuerdo a las características del control, pero en general se acepta cualquier tipo de saltos en la numeración, siempre y cuando se guarde un orden secuencial.

En muchos de los controles se acepta un texto previo. En ese texto se pueden escribir todos los caracteres o símbolos que se deseen, menos el de principio de programa. Normalmente este texto previo se utiliza para identificar las diferentes cintas perforadas.

Según las normas ISO, los caracteres que se pueden utilizar para la identificación o direccionamiento de una función son:

A - Coordenada angular alrededor del eje X.

- B - Coordenada angular alrededor del eje Y.
- C - Coordenada angular alrededor del eje Z.
- D - Coordenada angular alrededor del eje espacial o tercera velocidad de avance.
- E - Coordenada angular alrededor del eje espacial o segunda velocidad de avance.
- F - Velocidad de avance.
- G - Función preparatoria.
- H - Disponible.
- I - Disponible para utilizar en controles continuos.
- J - Disponible para utilizar en controles continuos.
- K - Disponible para utilizar en controles continuos.
- M - Función auxiliar.
- N - Número de bloque.
- O - No utilizar.
- P - Movimiento terciario paralelo al eje X.
- Q - Movimiento terciario paralelo al eje Y.
- R - Movimiento terciario paralelo al eje Z o desplazamiento rápido.
- S - Función velocidad de rotación.
- T - Función herramienta.
- U - Movimiento secundario paralelo al eje X.
- V - Movimiento secundario paralelo al eje Y.
- W - Movimiento secundario paralelo al eje Z.
- X - Movimiento principal eje X.
- Y - Movimiento principal eje Y.
- Z - Movimiento principal eje Z.

Un programa de pieza describe el desarrollo de un proceso de mecanizado. Un programa se compone del programa propiamente dicho y algunas veces subrutinas y/o ciclos llamados desde dentro del programa principal. Como un ejemplo de programa tenemos:

```
% 123 LF
N1 G91 G01 X50 F100 LF
N10 Z100 LF
N20 X-30 LF
N30 Z-10 LF
N40 M30 LF
```

Las sucesiones de movimientos y secuencias idénticas que tengan que repetirse varias veces, se pueden introducir como subrutinas y llamarse desde el programa principal.

La llamada de una subrutina desde el programa principal se realiza mediante la dirección o signo L.

L 1202  
├── número de pasadas o lecturas (dos cifras).  
├── número de subrutina (dos cifras).  
└── llamada a subrutina.

### III.2 SISTEMA DE COORDENADAS PARA LOS MOVIMIENTOS DE LA MÁQUINA.

Para describir los movimientos que debe realizar la herramienta, es necesario, primero, definir un sistema de referencia de movimiento. Para ello se ideó un sistema de coordenadas ortogonal con los ejes paralelos a las guías principales de la máquina.

El valor de los desplazamientos de las herramientas se puede indicar de dos maneras:

1) Mediante el valor de la coordenada del punto a alcanzar por la herramienta, en este caso se dice que la programación es absoluta.

2) Mediante el incremento del valor de las coordenadas entre los puntos inicial y final de la trayectoria, en este caso la programación es incremental.

Los controles numéricos modernos aceptan tanto la programación absoluta como la incremental, incluso ambas dentro de un mismo programa. En los controles antiguos, cuando disponían de ambas programaciones, estas se seleccionaban al principio del programa y no se variaban.

Para que la colocación de los ejes sea igual en todas partes se ha dado una norma para que esto se cumpla.

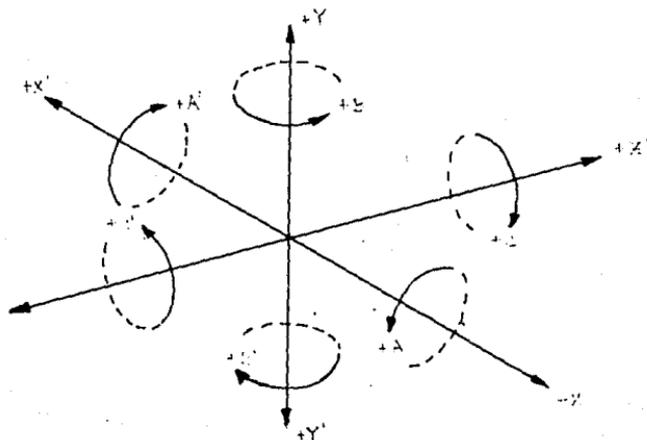


Fig. 3.1 Disposición de los ejes coordenados según la norma.

Como resumen de la norma, se puede decir que se forma un triedro X, Y, Z para los movimientos principales, para ello se deberá tener en cuenta lo siguiente:

El eje X se elige, siempre que sea posible, horizontal y paralelo a la superficie de sujeción de la pieza.

El eje Z es el que corresponde con la dirección del eje del husillo principal, que es el que dá la potencia de corte. Estos dos ejes, el X y el Z, siempre serán perpendiculares entre sí.

El eje Y se elige de manera que sea perpendicular a los otros dos y forme con ellos un triedro.

Los movimientos A, B, C definen movimientos de rotación alrededor de los ejes principales X, Y, Z respectivamente. El sentido positivo o negativo se toma según el giro de un tornillo de rosca derecha.

Si además de los ejes principales X, Y, Z existieran otros secundarios paralelos a los principales, estos se denominarían con las letras U, V, W respectivamente.

El punto de origen de las coordenadas puede ser fijo o móvil. Se dice que es de punto de origen fijo, cuando este punto se encuentra definido y fijo en la misma máquina, esto puede lograrse con una marca de fin de carrera, un microswitch, detectores, etc.

El punto de origen móvil, es aquel que se puede alterar en la programación de la máquina según interese para el trabajo de la pieza.

### III.3 INTRODUCCION DE DATOS.

En el control numérico, el método más comúnmente usado para introducir información a la máquina es la cinta perforada. El material de la cinta puede ser papel, plástico o cinta de papel plastificado; normalmente se utiliza la cinta de papel.

La información está contenida en la cinta en forma de agujeros, estos están colocados en hileras transversales como se ve en la figura a continuación.

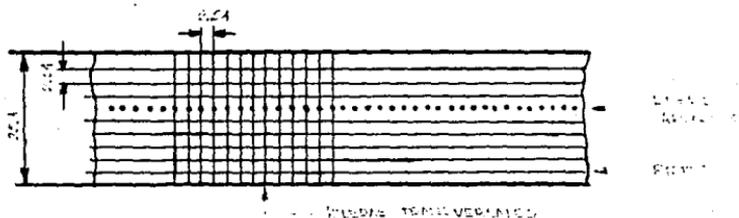


Fig. 3-2 Cinta perforada.

El ancho de la cinta está dividido en nueve áreas o hileras, de ellas ocho se denominan pistas y la novena línea de arrastre. De un lado de la línea de arrastre se localizan cinco pistas, del otro lado las otras tres.

La cinta está dividida en su longitud en áreas transversales. Estos canales reciben el nombre de "hileras transversales". La separación entre estas hileras es de 2.54 mm. Los agujeros se perforan en las líneas centrales de estas hileras.

Los datos de la cinta perforada están codificados de acuerdo a unas normas fijas, de esta forma, cada combinación de perforaciones, corresponde a un símbolo ya definido. Los códigos

8 7 6 5 4 A 3 2 1								8 7 6 5 4 A 3 2 1								
NUL								NUL							NULO	
BS	X			X				RT		X	X		X		RETROCESO UN PASO	
HT			X			X		TAB		X	X	X	X	X	TABULADOR	
LF			X			X		EOB	X						FIN DE BLOQUE	
CR	X			X		X	X	LC		X	X	X	X	X	RETORNO CARRO	
SP	X	X						ZWR				X			ESPACIO	
%	X	X			X	X		EOP				X		X	PRINCIPIO PROGRAMA	
(		X	X					(				X	X	X	PRINCIPIO COMENT.	
)	X	X	X			X		)	X		X		X		FIN COMENTARIO	
+		X	X			X	X	+	X	X	X				SIGNO +	
-		X	X		X	X		-	X						SIGNO -	
/	X	X	X		X	X	X	/		X	X		X		BLOQUE OPCIONAL	
:		X	X	X		X									SIGNO :	
DEL	X	X	X	X		X	X	IRR	X	X	X	X	X	X	BORRADO	
	X					X			X	X				X	A	
	X				X				X	X			X		B	
	X	X			X	X			X	X	X		X	X	C	
	X			X					X	X		X			D	
	X	X		X	X				X	X	X	X	X		E	
	X	X		X	X				X	X	X	X	X		F	
	X			X	X	X			X	X		X	X	X	G	
	X		X						X	X	X				H	
	X	X	X			X			X	X	X	X			I	
	X	X	X		X	X			X	X			X		J	
	X	X	X		X	X			X	X		X	X		K	
	X		X	X					X			X	X		L	
	X		X	X	X	X			X	X		X			M	
	X	X	X		X	X			X			X	X		N	
	X	X	X		X	X			X			X	X		O	
	X	X	X		X	X			X	X		X	X	X	P	
	X	X	X		X				X	X	X				Q	
	X	X	X		X				X		X				R	
	X	X	X		X	X			X	X		X	X		S	
	X	X	X		X	X			X	X		X	X	X	T	
	X	X	X		X	X			X			X	X	X	U	
	X	X	X		X	X			X	X		X	X	X	V	
	X	X	X		X				X	X	X		X	X	W	
	X	X	X		X				X	X	X		X	X	Y	
	X	X	X		X				X	X			X	X	Z	
	X	X	X		X				X						0	
	X	X	X		X								X		1	
	X	X	X		X								X		2	
	X	X	X		X					X			X	X	3	
	X	X	X		X							X	X	X	4	
	X	X	X		X					X		X	X	X	5	
	X	X	X		X					X		X	X	X	6	
	X	X	X		X							X	X	X	7	
	X	X	X		X						X				8	
	X	X	X		X					X	X		X		9	
	X	X	X		X				X	X	X		X	X	SIGNO .	

ISO (DIN) 66024

EIA RS 244-A

Fig. 3.3 Codigos utilizados en control numerico.

utilizados en los controles numéricos están dados por las normas:

DIN 66025 (ISO)

EIA - RS 244 - A

Los controles modernos reconocen automáticamente el código que se les da. Para ello, cada código tiene un símbolo especial que se coloca al principio del programa (% para norma DIN y EOR para norma EIA). Una vez que se ha comenzado a utilizar un código, es necesario conservarlo a lo largo de todo el programa, en caso contrario, se registrarán señales de error por parte del control.

Además de la vigilancia del código en el primer símbolo, el control sigue vigilando a lo largo de toda la lectura del programa el código utilizado. Para ello los símbolos de cada código tienen una característica común:

En el código DIN (ISO) los símbolos siempre están dados por un número par de perforaciones. En cambio en el código EIA los símbolos tienen un número impar de perforaciones.

De esta manera se tiene un control absoluto sobre el código del programa.

### 3.1 CONSTRUCCION DEL PROGRAMA.

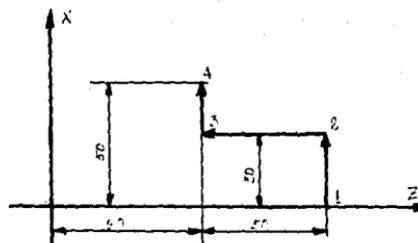
Dentro de cada bloque o instrucción que forma el programa deberán de existir al menos una de las siguientes informaciones:

- + movimientos de los ejes de la máquina.
- + programación de velocidades.
- + cambios de herramienta.
- + modo de funcionamiento de la máquina y del control

numérico.



incremental, para realizar el recorrido 1, 2, 3, 4 mostrado en la figura:



Programación absoluta.

N10 X 3000  
N20 Z 6000  
N30 X 5000

Programación incremental.

N10 X+3000  
N20 Z-5000  
N30 X+2000

Las características de absoluto o incremental vienen dadas por una función G.

### 3.1.2 PROGRAMACION DE LAS VELOCIDADES.

La programación de la velocidad de avance  $v$  de rotación se realiza mediante las letras F y S respectivamente.

La velocidad a la cual deben realizarse los desplazamientos se programan con la letra F seguida de una cifra de hasta cuatro dígitos. Esta velocidad de avance se puede programar en mm/min o en mm/rev. si esta en relación con la velocidad de rotación, como en el caso del roscado. La gama de velocidades que se pueden programar dependerá de las características del motor de la máquina.

Ej: si queremos una velocidad de 200 mm/min. escribiremos  
F200.

si queremos una velocidad de 0.20 mm/rev. escribiremos  
F20.

Al igual que en la programación de los movimientos, se utiliza una función G para que el control pueda distinguir si se trabaja en mm/min. o en mm/rev.

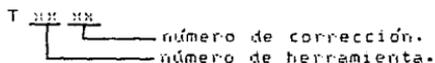
La velocidad con la que debe girar el husillo principal o el

cabezal se programa con la letra S seguida por una cifra de hasta cuatro dígitos. Esta velocidad se puede programar directamente en r.p.m. o en velocidad de corte constante, esto de acuerdo al trabajo que se quiera realizar y por medio de una función G. La gama de velocidades dependerá de las características de la máquina.

### 3.1.3 PROGRAMACION DE LA HERRAMIENTA.

En la programación de la herramienta hay dos datos que deben especificarse: el cambio de herramienta en máquinas con cambio automático y la corrección o ajuste de sus dimensiones.

La programación de la herramienta se realiza con la letra T y una o dos cifras que indican el número de la herramienta a utilizar, y otra u otras dos que indican el número de corrección.

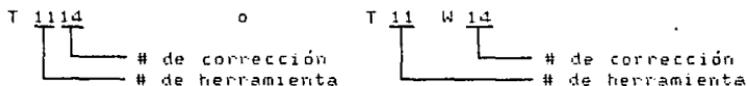


El número de herramienta dará la información de que herramienta deberá utilizarse para el trabajo. Para ello será necesario numerar una a una las herramientas y llevar un orden en su colocación. En el caso del torno, las herramientas se colocan en la torreta porta-herramientas, aquí el número de herramienta indica la posición o cara de la torreta que ocupa la herramienta.

Con el número de corrección se definen las dimensiones de la herramienta. Cuando una herramienta sufre un desgaste por efecto del mecanizado, es necesario introducir una corrección para que las piezas siguientes tengan un acabado uniforme. Para esto, se crean en una memoria unos espacios llamados correctores, que están ordenados numericamente. Ahí se introducen los valores de

corrección, estos valores se introducen en milésimas de milímetro

Algunos controles aceptan el formato de ambas funciones en una sola instrucción, pero hay otros en los que el número de herramienta y el número de corrección de herramienta deberán ir separados. Así tendremos:



### 3.1.4 PROGRAMACION DEL MODO DE FUNCIONAMIENTO DE LA MAQUINA HERRAMIENTA Y DEL CONTROL NUMERICO.

Además de las funciones antes mencionadas es necesario poner en el programa las condiciones en que esas funciones se van a realizar, además de otras funciones complementarias que realizarán la máquina y el control.

Estas funciones son:

- + funciones preparatorias.
- + funciones auxiliares.

Las funciones preparatorias, definidas por la letra G, definen el modo de realizar las trayectorias. Las funciones auxiliares, definidas por la dirección M, indican el modo de funcionamiento de la máquina y del control. Ambas funciones están codificadas y pueden aparecer más de una vez en un bloque o secuencia.

La codificación de estas funciones, para que pueda ser utilizada indistintamente en cualquier máquina o control, ha sido normalizada. A continuación se muestra una lista de funciones preparatorias de acuerdo a la norma ISO (DIN).

- G00 - Posicionado punto a punto con desplazamiento rapido.
- G01 - Interpolación lineal.
- G02 - Interpolación circular en sentido horario.
- G03 - Interpolación circular en sentido antihorario.
- G04 - Parada temporizada.
- G05 - Parada suspensiva.
- G08 - Aceleración.
- G09 - Desaceleración.
- G10 - Interpolación lineal en distancias pequeñas.
- G11 - Interpolación lineal en distancias grandes.
- G12 - Interpolación en tres dimensiones.
- G13 - Elección del eje X.
- G14 - Elección del eje Y.
- G15 - Elección del eje Z.
- G17 - Elección del plano XY.
- G18 - Elección del plano YZ.
- G19 - Elección del plano ZX.
- G20 - Interpolación lineal en sentido horario.
- G21 - Interpolación lineal en sentido horario.
- G30 - Interpolación lineal en sentido antihorario.
- G31 - Interpolación lineal en sentido antihorario.
- G33 - Fileteado de paso constante.
- G34 - Fileteado de paso creciente.
- G35 - Fileteado de paso decreciente.
- G40 - Anulación de corrección de herramienta.
- G41 - Corrección de herramienta a la izquierda.
- G42 - Corrección de herramienta a la derecha.

- G43 - Corrección de herramienta positiva.
- G44 - Corrección de herramienta negativa.
- G45 - Corrección de herramienta +/+.
- G46 - Corrección de herramienta +/-.
- G47 - Corrección de herramienta -/-.
- G48 - Corrección de herramienta -/+.
- G60 - Posicionado con precisión 1.
- G61 - Posicionado con precisión 2.
- G63 - Ciclo preparatorio para taladrar.
- G64 - Cambio de velocidad de avance.
- G80 - Anulación del ciclo fijo.
- G81 - Ciclo fijo 1.
- G82 - Ciclo fijo 2.
- G83 - Ciclo fijo 3.
- G84 - Ciclo fijo 4.
- G85 - Ciclo fijo 5.
- G86 - Ciclo fijo 6.
- G87 - Ciclo fijo 7.
- G88 - Ciclo fijo 8.
- G89 - Ciclo fijo 9.
- G90 - Programación absoluta.
- G91 - Programación incremental.

Existen además de estos, unos ciclos fijos para cada máquina. La función de estos ciclos es la de evitar al programador tener que dar un mayor número de instrucciones para definir algunas operaciones de mecanizado que son típicas de la máquina

en cuestion. Algunos de estos ciclos fijos se muestran  
 continuacion.

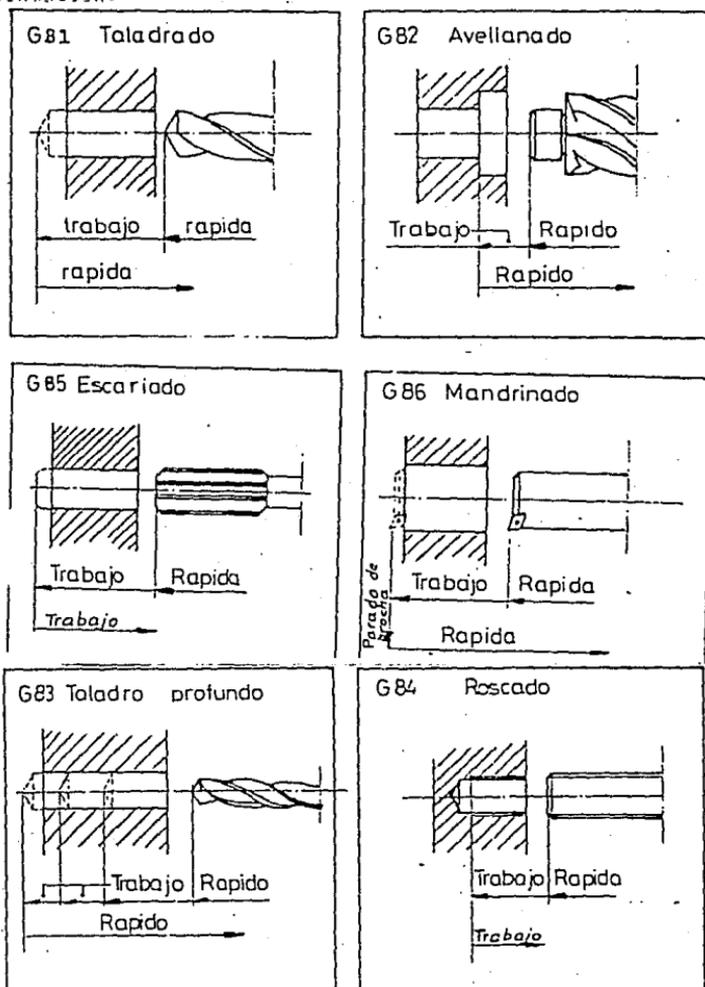


Fig. 3.4 Ciclos fijos para fresadora.

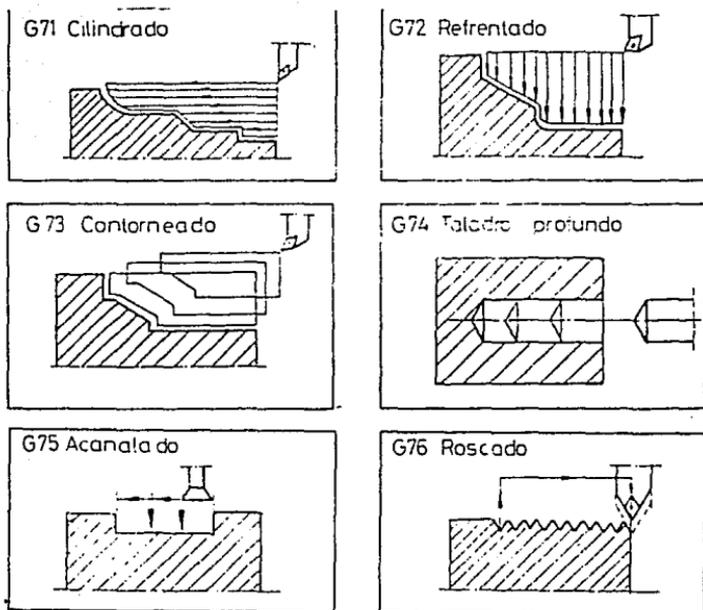


Fig. 3.57 Ciclos fijos para torno.

Las funciones auxiliares previstas en la norma ISO son:

M00 - Parada programada.

M01 - Parada opcional.

M02 - Fin de programa.

M03 - Rotación del husillo en sentido horario.

M04 - Rotación del husillo en sentido antihorario.

M05 - Cambio del husillo.

M06 - Cambio de herramienta.

- M07 - Refrigeración 1 marcha.
- M08 - Refrigeración 2 marcha.
- M09 - Parada refrigerante.
- M13 - Rotación del husillo en sentido horario y refrigerante.
- M14 - Rotación del husillo en sentido antihorario y refrigerante.
- M15 - Desplazamiento en sentido positivo.
- M16 - Desplazamiento en sentido negativo.
- M19 - Parada del husillo con orientación determinada.
- M30 - Fin de cinta.
- M31 - Suspensión de prohibición.
- M32 - Velocidad de corte constante.
- M36 - Gama de velocidad de avance 1.
- M37 - Gama de velocidad de avance 2.
- M38 - Gama de velocidad de rotación 1.
- M39 - Gama de velocidad de rotación 2.
- M40 - Cambio de velocidad.
- M50 - Refrigerante 3 marcha.
- M51 - Refrigerante 4 marcha.
- M55 - Desplazamiento del origen de la herramienta 1.
- M56 - Desplazamiento del origen de la herramienta 2.
- M60 - Cambio de pieza.
- M61 - Desplazamiento del origen de la pieza 1.
- M62 - Desplazamiento del origen de la pieza 2.
- M68 - Sujeción de la pieza.
- M69 - Suelta de pieza.

- M71 - Desplazamiento angular del origen de la pieza 1.
- M72 - Desplazamiento angular del origen de la pieza 2.
- M78 - Enclavamiento de la mesa.
- M79 - Desenclavamiento de la mesa.

Al igual que en las funciones G, todas las funciones auxiliares M antes citadas, no se encuentran presentes en todas las máquinas herramienta. Cada máquina, de acuerdo a sus características, utilizará las funciones que le sean necesarias. De esta manera, un torno tendrá funciones M distintas a las de una fresadora o una máquina de electroerosión, aunque también tendrán unas funciones similares o iguales.

Como ejemplo del uso de las funciones M, se listan a continuación las funciones utilizadas en un torno convencional con control numérico, con una breve explicación de cada una de ellas.

- M00 - Parada programada. Esta instrucción detiene el funcionamiento de la máquina hasta que el operador le de la orden de arranque.
- M01 - Parada opcional. Es similar a la anterior, pero para que se efectúe, el operador deberá indicarlo desde su puesto.
- M02 - Fin de programa. Esta instrucción se coloca al final del programa para indicar que el trabajo ha concluido.
- M03 - Giro del cabezal a la derecha.
- M04 - Giro del cabezal a la izquierda.
- M05 - Parada del cabezal. Esta instrucción anula a las dos anteriores.

M13 - Marcha refrigerante. Esta instrucción activa la bomba para que salga el liquido refrigerante durante el mecanizado.

M14 - Parada del refrigerante.

M30 - Fin de programa. Es igual que la función M02 con la diferencia que con esta instrucción se regresa al principio del programa.

M41 - Gama lenta de velocidad.

M42 - Gama rápida de velocidad.

Es importante destacar que para cada máquina herramienta existe una forma particular de programar las funciones G y M por lo cual se recomienda estudiar cada caso por separado.

## CAPITULO IV

### SISTEMAS DE MEDICION.

Utilizando diferentes sistemas electrónicos es posible hacer mediciones que van desde los cientos o miles de kilómetros hasta fracciones de milímetros; para ello se utilizan diferentes técnicas. El presente capítulo se enfocará a las mediciones y técnicas de medición empleadas en la industria y más específicamente en el control numérico.

Cuando se realizan mediciones pequeñas, como las que se hacen en máquinas herramienta con sistemas de medición especial o con control numérico, se emplean potenciómetros regulados por una serie de engranes, que hacen proporcional su variación al movimiento efectuado sobre la máquina por un elemento móvil.

Para evitar el uso de elementos móviles, que pueden inducir errores en la medición, se utilizan reglas graduadas de lectura óptica.

En algunos casos es necesario hacer mediciones de ángulos o de desplazamientos angulares, para ello se utilizan aparatos tales como: resolver, sincro o discos codificados. Estos aparatos utilizan los mismos principios que los sistemas de medición lineales anteriormente citados.

#### IV.1 CLASIFICACION DE LOS CAPTADORES DE POSICION.

La función del captador de posición es la de transformar el desplazamiento de una magnitud mecánica a una magnitud eléctrica.

para que sea analizada por el control y este pueda realizar las operaciones necesarias.

Cualquiera que sea el tipo de control que esté conectado a la máquina herramienta, el captador de posición podrá ser de un tipo o de otro sin que esto afecte el correcto funcionamiento de todo el grupo.

Los captadores de posición se pueden clasificar en los siguientes grupos:

- + por la naturaleza de la información: analógicos o digitales.

- + por la relación entre la magnitud mecánica y la magnitud eléctrica: absolutos o incrementales.

- + por su localización en la cadena de control: de medida directa o de medida indirecta.

- + por la forma física del captador: lineales o rotativos.

### 1.1 CAPTADORES DE POSICIÓN ANALÓGICOS Y DIGITALES.

Un sistema de medición analógico da una relación entre la posición del elemento móvil de la máquina y un valor físico. La precisión en la medida depende de la precisión propia de captador y de su poder de resolución. Influyen también los factores mecánicos que intervengan en la medición.

Un sistema de medición digital actúa básicamente de la misma manera, aunque solo permite identificar un número finito de posiciones, excluyendo posiciones intermedias.

## 1.2 CAPTADORES DE POSICION ABSOLUTOS E INCREMENTALES.

Los captadores de posición absolutos dan una información exacta de la posición del elemento móvil independientemente de cualquier medida anterior. Se puede decir que hay una relación unívoca, es decir, uno a uno, entre la posición y la información emitida.

Los captadores de posición absolutos pueden subdividirse a su vez en: analógicos y digitales.

### 1.2.1 CAPTADORES ANALOGICOS ABSOLUTOS.

En estos captadores, al desplazarse el elemento móvil va variando un valor físico en forma continua y unívoca. Un ejemplo se ve en la figura 4.1 en la cual, en el recorrido del elemento móvil, se ha colocado una resistencia. al desplazarse el móvil la tensión medida varía a lo largo de la resistencia.

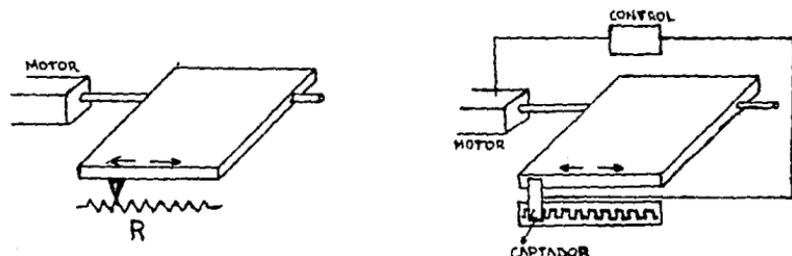


Fig. 4.1 Captador analógico absoluto. a) principio de funcionamiento. b) colocación.

En el captador analógico, la medida se realiza de forma continua, es decir a cada posición le corresponde una señal eléctrica.

En la práctica, se utilizan como valores analógicos la amplitud o la fase de una tensión.

### 1.2.2 CAPTADORES DIGITALES ABSOLUTOS.

En estos captadores, el elemento medidor esta dividido en un número entero de pasos identicos y constantes. En cada uno de estos pasos esta codificado un número. El número que corresponda a la posición en que se encuentra el móvil será captado por células fotoeléctricas, que según se le anteponga una cara opaca o transparente, recibirá un 0 o un 1 lógico.

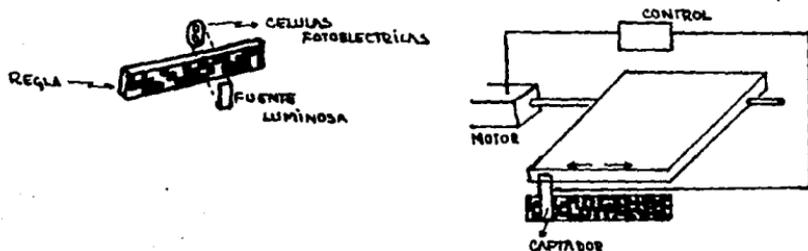


Fig. 4.2 Captador digital absoluto. a) principio de funcionamiento. b) colocación.

Los captadores de posición incrementales, por su parte, tienen el elemento medidor dividido en un número de pasos, también llamados incrementos, de longitud idéntica. Estos captadores solo daran un 0 o un 1 con lo que se incrementará una cuenta que comenzará donde de principio el desplazamiento del elemento móvil.

En este grupo solo existen captadores digitales.

La ventaja del uso de este captador esta en que, por la

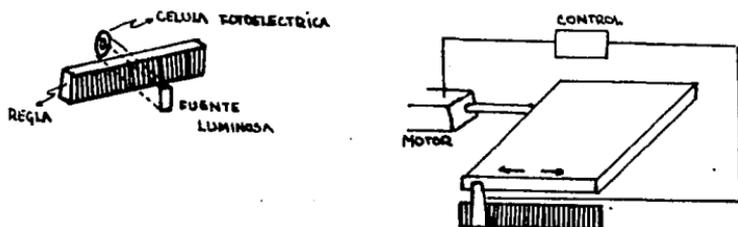


Fig. 4.3 Captador digital incremental. a) principio de funcionamiento. b) colocación.

cantidad de divisiones que tiene la regla, en la práctica existe una división cada centésima de milímetro (1 mt. = 100 000 divisiones), sirve como medida de posición y medida de desplazamiento.

Existe una diferencia fundamental entre el sistema absoluto y el sistema incremental. En el absoluto, el captador da una señal representativa de la posición en la que se encuentra el móvil, si hubiera una perturbación, una falla en la tensión de alimentación por ejemplo, al volver esta el captador dará la misma señal que antes. En cambio, en el sistema incremental, en caso de una falla como la anterior la información se pierde, por lo que, al restablecerse la tensión, sería necesario recomodar la herramienta o la pieza en la posición adecuada y volver a ejecutar la operación.

### 1.3 CAPTADORES DE POSICIÓN DE MEDIDA DIRECTA O INDIRECTA.

Se dice que un captador es de medida directa cuando no existe ningún elemento mecánico entre el elemento móvil y el captador, de forma que el desplazamiento realizado es medido directamente.

Por otra parte, un captador de medida indirecta es aquel que no detecta directamente el movimiento realizado por el elemento móvil. La medida de este desplazamiento se realiza sobre otro elemento que esté en relación con el primero. Después, conociendo la relación mecánica entre el desplazamiento del elemento móvil y el elemento medido se obtiene el valor del movimiento efectuado.

### 1.4 CAPTADORES DE POSICIÓN LINEALES Y ROTATIVOS.

Esta clasificación de los captadores de posición esta basada en el tipo de movimiento que necesita el captador para que funcione. Cuando el captador es de tipo regla su principio de funcionamiento exige un desplazamiento lineal, por este motivo, este tipo de captador recibe el nombre de lineal.

Por el contrario, si el captador es de tipo circular, se dice que es de tipo rotativo, ya que estos necesitan un movimiento rotativo del elemento móvil para poder captar la medida.

## IV.2 SISTEMAS DE MEDICION UTILIZADOS EN LAS MAQUINAS HERRAMIENTA.

En los sistemas de medición que se utilizan en las máquinas herramienta se distinguen principalmente dos grupos: captadores

de posición lineales y captadores de posición rotativos.

## 2.1 CAPTADORES DE POSICION LINEALES.

Como se expuso anteriormente los captadores de posición lineales son de tipo regla y su principio de funcionamiento exige un desplazamiento lineal, de donde se origina su nombre.

En las máquinas herramienta se utilizan principalmente, tres tipos de captadores lineales: el inductosin, la regla graduada y la regla codificada.

En algunos casos se utilizan potenciómetros accionados por un conjunto de biñon y cremallera. La precisión de los potenciómetros en la medida está limitada por las fugas y por su linealidad. Tomando en cuenta esto, la precisión alcanzada puede llegar al 0.1%. El principal inconveniente de los potenciómetros es el desgaste que sufren por el rozamiento.

### 2.1.1 INDUCTOSIN

El inductosin es un medidor lineal de tipo analógico. Está constituido por una bobina montada sobre un circuito impreso, el cual recibe el nombre de escala.

A lo largo de la escala se desliza una cabeza o cursor que esta adosada al elemento móvil de la máquina. Este cursor tiene dos embobinados del mismo paso de la escala, pero defasados el uno del otro un cuarto de paso.

Su principio de funcionamiento es el siguiente. Si al embobinado que se encuentra en la escala se le alimenta con una tensión alterna, se inducirá, sobre el embobinado secundario que se encuentra sobre el cursor, una señal cuya amplitud dependerá de

la fase en la que están los devanados. De esta forma, la amplitud de la señal será máxima cuando ambos devanados estén superpuestos y será de valor cero o nula cuando estén defasados un cuarto de paso. A un medio del paso el valor de la señal será máximo pero de valor negativo.

La función de los dos devanados en la cabeza detectora, es el detectar la dirección en la cual se realiza el desplazamiento.

El paso, que es la distancia que separa a cada una de las espiras tiene, en la práctica, un valor de 2mm.

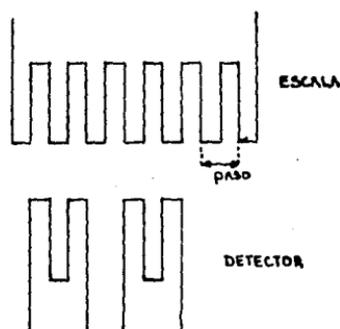


Fig 4.4 Inductosin.

Para mediciones muy precisas (entre  $1\mu\text{m}$  y  $10\mu\text{m}$ ) es necesario interpolar los datos que se obtienen de manera normal.

#### 2.1.2 REGLAS GRADUADAS.

Las reglas graduadas son captadores de posición lineal de tipo digital e incremental.

El sistema de medición está basado en la transformación de las señales generadas por un transductor óptico-electrónico que

tiene una relación proporcional al desplazamiento a medir, estos datos resultantes serán pasados a un visualizador para su lectura.

El sistema se forma fundamentalmente de dos partes:

+ Una regla de vidrio graduada con trazos claros y oscuros de anchos iguales y una marca de referencia. El ancho de los trazos puede ser de  $10\mu$  o  $20\mu$  de acuerdo a la precisión que se busque en la medición.

+ Un cursor que esta formado por una plaquita de vidrio graduada y los elementos fotosensibles. Este cursor se desliza a lo largo de la regla sin que exista contacto entre ellos. Como elementos fotosensibles se utilizan fotodiodos y fototransistores colocados unos frente a otros para lograr la captura y emisión de la información.

Su principio básico de funcionamiento es sencillo, el cursor al desplazarse sobre la regla graduada, va encontrando franjas claras y oscuras alternadas. El elemento fotosensible recibirá, al paso de las franjas, impulsos que transmitirá al contador. Con cada impulso que se genera se incrementa o decrementa la cuenta. Para que el contador sepa si tiene que aumentar o disminuir la cuenta, la regla tiene dos grupos de marcas defasadas entre ellas  $90^\circ$ . De esta manera, la marca que se



Fig. 4.5 Regla de posicionado incremental.

presenta primero indica si el movimiento es en sentido positivo o en sentido negativo de acuerdo al punto de referencia adoptado.

Cuando se desea una mayor definición de puntos, para una mayor exactitud en la medida, se utilizan varias graduaciones en el cursor. Estas graduaciones o franjas normalmente tienen cierto ángulo de inclinación; de esta forma se forma una mayor densidad de líneas que se desplazan de arriba hacia abajo o viceversa dependiendo del sentido del movimiento.

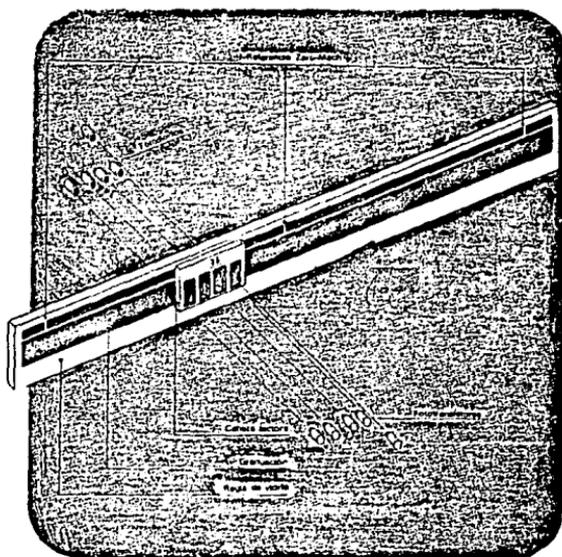


Fig 4.6 Sistema de franjas inclinadas para mayor precisión.

Las ventajas de este tipo de captador es que permite principiar el trabajo en cualquier punto deseado, ya que el operador colocará su punto O o punto de referencia donde el desea.

comenzando la cuenta a partir de ese punto. Además, la digitalización de este sistema permite pasar directamente la información al contador sin tener que interpretarla previamente como en el caso del captador analógico.

Entre las desventajas que presenta, se puede decir que la más importante es la pérdida de información cuando el captador se desconecta o hay una falla en la tensión de la red. Es importante tomar en cuenta también, que si en la colocación del punto de referencia o en alguna medición se comete un error, este se irá acarreado, y en algunos casos incrementando, a lo largo de toda la medición. Lo cual puede representar un problema o defectos en el mecanizado de la pieza.

Es conveniente, en este tipo de captadores, aislar perfectamente tanto los elementos fotosensibles como los cables que transmiten la información al contador, pues en algunos casos, los ruidos generados por la máquina, pueden crear impulsos parásitos que alterarían la correcta lectura del desplazamiento.

### 2.1.3 REGLAS CODIFICADAS.

Las reglas codificadas son captadores de posición de tipo lineal, digital y absoluto.

Este sistema, está formado por una regla de vidrio en la que se han colocado varias pistas. Sobre cada una de estas pistas se coloca, en forma codificada, un bit.

Para cada pista se exige un elemento fotosensible que se encargará de registrar cada uno de los bits que forman el código. Estos elementos fotosensibles, al igual que en las reglas graduadas, se encuentran en el cursor. De esta forma, el cursor se

desplaza sobre la regla y al detenerse en cualquier punto, lee el bit que le corresponde quedando definido cada punto del recorrido con una serie de bits codificados en la regla.

El código que se utiliza en las reglas es importante. Un código binario no siempre es el más recomendado, ya que por el sistema de lectura que se utiliza, normalmente de células fotoeléctricas, se pueden presentar ciertas anomalías en la lectura, sobre todo cuando cambia más de un bit al mismo tiempo. Para corregir ese tipo de errores se utiliza, en algunos casos, el cabezal de doble lectura, que consiste en dos grupos de elementos fotosensibles colocados uno junto al otro, que dan una mayor seguridad de lectura, pero presentan el inconveniente de un costo mayor del equipo.

Para evitar este tipo de problemas, se optó por utilizar otro código. Este código es el Gray, en el cual, solo varía un bit en cada cambio, con lo que se logra evitar los problemas antes citados.



Fig. 4.7 Diferencia entre los códigos a) binario  
b) Gray.

Estas reglas presentan la ventaja de que dan la información correcta del punto donde se localiza el elemento móvil de la máquina a partir de cualquier punto inicial. Aun cuando se pierda

la tensión de red. al volver esta el captador volverá a dar la última lectura antes de la falla. Gracias a esta característica, no hay que volver a posicionar la herramienta como en el caso de la regla graduada.

Como desventajas podemos mencionar que al necesitar una precisión muy alta, es necesario contar con un gran número de pistas, por lo cual en algunos casos no es viable su empleo. Tienen también el inconveniente de tener un costo mucho mayor que el de las reglas graduadas.

## 2.2. CAPTADORES DE POSICIÓN ROTATIVOS.

En algunos casos es necesario efectuar mediciones directamente sobre los ejes de los motores o elementos que realizan movimientos angulares. Para ello existen los captadores de posición rotativos, comúnmente conocidos como encoders.

Sus principios son casi los mismos que los captadores lineales, sin embargo, su principio de funcionamiento los hace diferentes.

En las máquinas herramienta, los captadores de posición rotativos más utilizados son:

- + Sincro y resolver.
- + Disco graduado.
- + Disco codificado.

Al igual que en los captadores lineales, se ha encontrado que el uso de los potenciómetros puede ser una alternativa sencilla y económica para la medición.

Los potenciómetros se han encontrado convenientes en

elementos que dan una señal de salida de CC proporcional al ángulo de rotación. La medición conseguida por este medio se logra con un margen de error de aproximadamente 1%. Su principal desventaja está en el desgaste que sufre por el rozamiento y los ruidos eléctricos que se producen en la máquina e interfieren la medición.

En las máquinas herramienta los encoders son los elementos de medida más usados, aunque también se utilizan, pero en proporciones mucho más pequeñas, los resolver.

#### 2.2.1 RESOLVER Y SYNCRO.

El syncro y el resolver son captadores de posición rotativos de tipo analógico y absoluto.

El syncro es parecido a un pequeño alternador, consta de un rotor con un único devanado y un estator con tres devanados separados 120°.

Al alimentar el rotor con  $\cos$ , una tensión alterna se inducen sobre los devanados del estator unas tensiones que son función del ángulo en que se encuentra el rotor con cada uno de sus devanados.

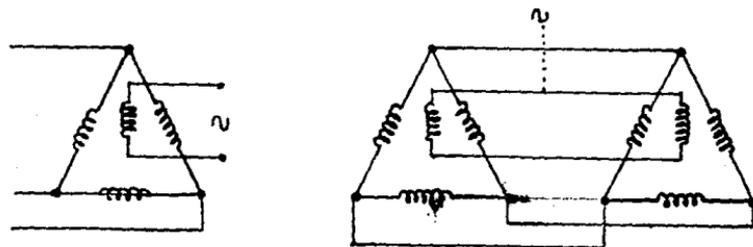


Fig. 4.8 Syncro. a)Esquema eléctrico. b)Conjunto emisor-receptor.

Para la lectura del ángulo formado se utiliza, en la mayoría de las veces, otro sincro que está conectado al primero, esto es, recibe las tensiones que se forman en el estator y posiciona, en función de esas tensiones, el rotor.

La precisión que se puede obtener en un sistema de sincro emisor-receptor como el expuesto anteriormente, depende del error en el posicionamiento de los devanados del estator y en los efectos mecánicos tales como el rozamiento. Reduciendo estos errores al mínimo se puede lograr una precisión del 0.1%.

En el caso del resolver, el principio de funcionamiento es el mismo, pero se diferencia del sincro en que el estator tiene los devanados a  $90^\circ$  en lugar de a  $120^\circ$ .

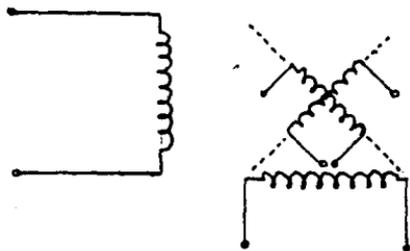


Fig 4.9 Esquema eléctrico de un resolver.

Si se utiliza un conjunto emisor-receptor con sincros o con resolvers, se obtendrá una indicación de la posición angular, pero no se tendrá una señal directamente utilizable de la medida del ángulo que se ha desolazado.

### 2.2.2 DISCO GRADUADO. ENCODER INCREMENTAL.

El encoder o captador con disco graduado es un captador

ESTRUCTURA DE LA BIBLIOTECA  
SALIR DE LA BIBLIOTECA  
ESTRUCTURA DE LA BIBLIOTECA

de tipo rotativo, digital e incremental. Por estas características es conocido mas comunmente como encoder incremental.

El encoder incremental tiene por lo general dos salidas, cada una de las cuales da un número determinado de pulsos, que oscilan entre  $10^2$  v  $10^4$  por revolución. Las fases entre los dos canales de salida están dispuestas de tal manera que indican en que sentido se ha realizado el movimiento de rotación.

Además de los pulsos anteriormente citados, el encoder incremental cuenta con un pulso especial que marca cada vuelta.

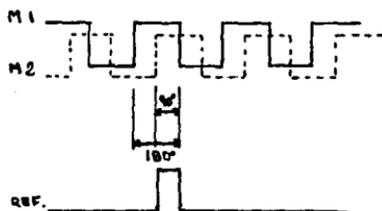


Fig. 4.10 Señales de salida en el encoder incremental.

Normalmente se utiliza el encoder con salida de forma de onda cuadrada, sin embargo en algunos casos muy especiales, se utiliza el de onda senoidal. Este tipo de encoder se utiliza cuando es necesaria una muy alta resolución. Esto se logra interpolando la información que da la onda, logrando con ello dividir la cuenta básica de marcas hasta 100 veces. Otra ventaja de las ondas senoidales es que pueden transmitirse a largas distancias sin los problemas de interferencia que presentan las ondas cuadradas.

En la figura 4.11 se puede apreciar el sistema utilizado

para la lectura de los datos en los encoders. Un haz de luz ilumina al disco, la luz que logra pasar a través del disco es captada por los elementos fotosensibles que están al otro lado.

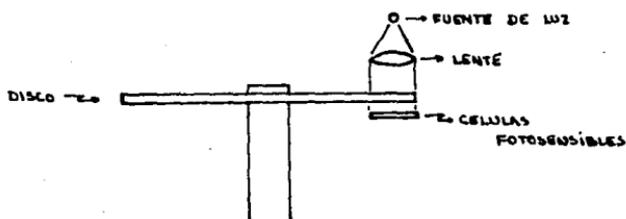


Fig. 4.11 Sistema de lectura utilizado en los encoders.

### 2.2.3 DISCO CODIFICADO. ENCODER ABSOLUTO.

El encoder o captador con disco codificado es un captador de tipo rotativo, digital y absoluto. Por estas características es conocido más comúnmente como encoder absoluto.

El encoder absoluto tiene un principio de funcionamiento parecido al de las reglas absolutas. Cuenta con un disco codificado que permite que al posicionarse el móvil en un punto, se genere una información de salida unívocamente relacionada entre el punto y la información codificada en el disco.

La precisión de los encoders dependerá de la cantidad de bits de información que se codifiquen en el disco. En la actualidad se puede llegar hasta 14 bits de información por posición, con lo que se pueden definir más de 16 000 puntos de posicionamiento alrededor del eje.

Al igual que en las reglas codificadas, en este tipo de encoders se utiliza el código Gray por las ventajas que representa.



Fig. 4.12 Encoders. a) Disco codificado. b) Disco incremental.

En las máquinas actuales con equipos de control numérico se prefiere utilizar los encoders en vez de las reglas graduadas, ya que por sus dimensiones y facilidad de manejo y mantenimiento, son más prácticos que las reglas, aunque en algunos casos especiales se siguen utilizando las reglas.

## CAPITULO V

### IMPLANTACION DE UN SISTEMA DE MEDICION.

Para cumplir el objetivo del presente trabajo que es, sentar las bases para la incorporación de un sistema de control numérico, se comenzará por incorporar a la máquina un sistema de medición básico que más adelante pueda ser compatible con el control numérico.

La máquina que se utilizará será el torno paralelo marca Fraver modelo M-850.

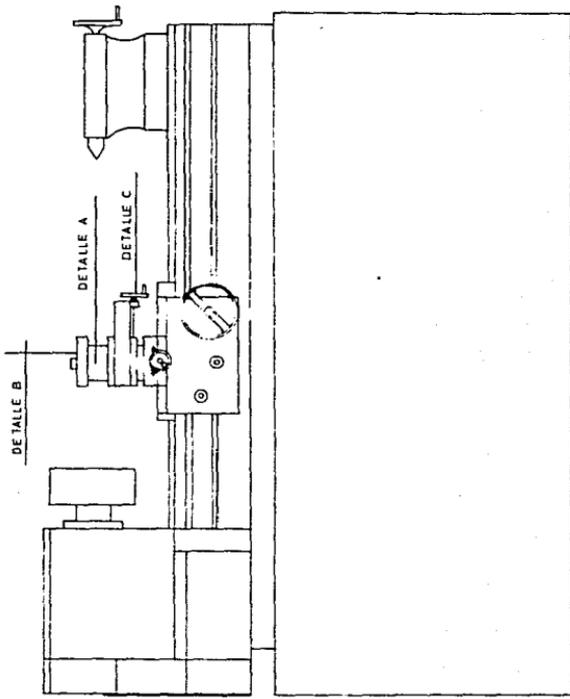
En el presente capítulo se tratará de dar una idea general de la máquina y de las características que tendrá el sistema de medición que se le incorpore.

#### V.1 CARACTERISTICAS DE LA MAQUINA HERRAMIENTA.

Como se dijo anteriormente, la máquina que se utilizará en este trabajo será el torno paralelo marca Fraver M-850.

Las características de este torno son:

- + Distancia entre puntos: 800 mm.
- + Diámetro máximo a mecanizar: 120 mm.
- + Máximo recorrido transversal de la herramienta: 340 mm.
- + Máximo recorrido longitudinal: 900 mm.
- + Gamas de velocidad: 41-215 y 290-1500 rpm.
- + Potencia del motor: 1.5 cv.
- + Desplazamiento del contrapunto: 560 mm.
- + Recorrido del contrapunto: 160 mm.



TORNO PARALELO FRAVER M-850

FIG. 5.1

El movimiento del eje principal se obtiene de un motor de corriente alterna con las siguientes características:

- 3 fases.
- Tensión 220 Δ - 380 Δ (V).
- Corriente 5.2 Δ - 8 Δ (A).
- Velocidad máxima 1440 rpm.

Este motor transmite el giro a un eje intermedio a través de dos poleas y bandas en "V". De este eje se manda el giro al eje principal por medio de engranes, formando así las diferentes gamas de velocidad.

Para la sujeción de las piezas, esta máquina dispone de un plato de tres garras de aproximadamente 200 mm. de diámetro. Con este plato se pueden sujetar piezas hasta de 110 mm. Se puede aumentar el diámetro a mecanizar, conocido como volteo, utilizando otras garras hasta 150 mm.

Dispone también de contrapunto con caña o símula móvil, gobernado manualmente, para utilizarse en los mecanizados que así lo requieran.

## V.2 SISTEMA DE MEDICION.

En las máquinas herramienta los elementos de medición más utilizados son los encoders y las escalas lineales o reglas.

Las máquinas modernas que ya incorporan control numérico, utilizan en su mayoría encoders, ya que por sus características de dimensiones reducidas y facilidad de colocación son más aceptados que las reglas.

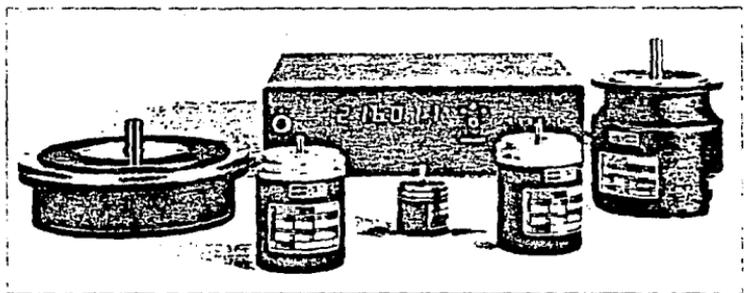


Fig. 5.2 Encoders de la marca Heidenhain utilizados en máquinas herramientas.

En las máquinas herramientas de generaciones anteriores, por su parte, al no contar con la precisión de las modernas, no es tan conveniente el uso de sistemas de medición del tipo de encoders, ya que por las holguras o juegos de estas máquinas, las mediciones no se realizarán con precisión.

En el caso de la máquina herramienta sobre la cual se va a implantar el sistema de medición, por ser una máquina relativamente antigua, se optó por utilizar un sistema de medición por medio de escalas lineales.

Se realizaron medidas para determinar la precisión y las holguras que existen entre sus componentes y se pudo comprobar que existe un juego en la manivela del movimiento transversal de 2.2 mm. Debido a este margen tan amplio de error, que fue el mínimo que se detectó, se reforzó la decisión de utilizar las escalas lineales, ya que estas detectarán el desplazamiento cuando el elemento a medir se comience a mover, sin importar el juego que

pueda existir entre la manivela y el eje encargados de realizar este movimiento.

Si se utilizaran encoders en este movimiento se tendría un error muy considerable en la medida, lo que llevaría a la consecución de piezas incorrectas. Hay que tomar en cuenta que como el encoder va fijado al eje de movimiento, cualquier rotación de este, aunque no se realice el desplazamiento, será contado y eso generará un error. Si por algún motivo fuera necesaria la utilización de encoders, se tendrá que hacer un ajuste en la manivela, el eje que realiza el movimiento o, si fuera necesario, en ambos elementos.

Para evitar estos ajustes o tal vez los cambios de las piezas, que de momento no son posibles de realizar, se utilizarán, definitivamente, las escalas lineales o reglas.

Glass Scale

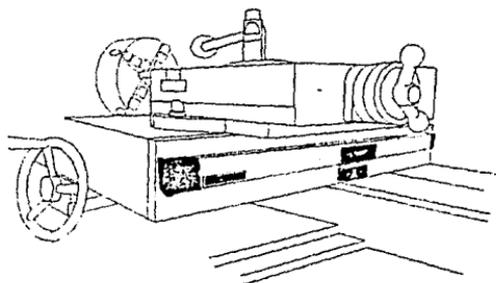


Fig. 5.3 Escalas lineales.

### V.3 PREPARACION DE LA MAQUINA.

Independientemente del sistema que vaya a ser utilizado para la medición de cotas en la máquina, habrá que realizar una preparación previa para evitar accidentes y errores cuando el sistema se instale.

Primariamente será necesario determinar los límites de medida. Para ello será necesario tomar en cuenta los siguientes puntos:

- + Distancia entre puntos.
- + Diámetro máximo de la pieza que se puede mecanizar.

La distancia entre puntos es la longitud entre el plato y el contrapunto estando este último en suposición más alejada. Normalmente no se utiliza toda la amplitud de esta distancia aunque, si es posible, es conveniente tener el sistema de medición a lo largo de toda ella. Esta distancia de acuerdo a las normas será denominada eje Z.

El diámetro máximo a mecanizar o volteo, definirá la longitud del movimiento transversal. Este movimiento de acuerdo a las normas será denominado movimiento sobre el eje X.

Para limitar los movimientos a lo largo de los ejes, se utilizan topes. Estos topes pueden ser de dos tipos: mecánicos o electromecánicos.

Los topes mecánicos son elementos fijados sobre la barra de avance o sobre otra barra que este en relación con el desplazamiento del eje sobre el cual se va a realizar el avance. Físicamente estos elementos son cilindros o cubos de metal que son fijados con un tornillo al eje.

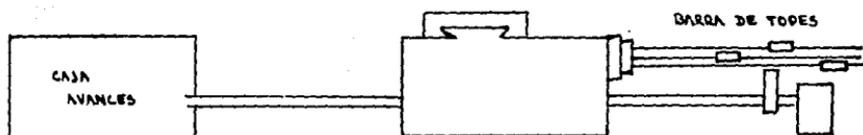


Fig. 5.4 Posicionamiento de los toques mecánicos en una máquina herramienta.

En los sistemas de toques electromecánicos se utiliza una combinación de embrague y freno que estarán controlados por unos toques de tipo eléctrico (fines de carrera o microinterruptores). El sistema de toques electromecánicos más utilizado es el que se muestra a continuación:

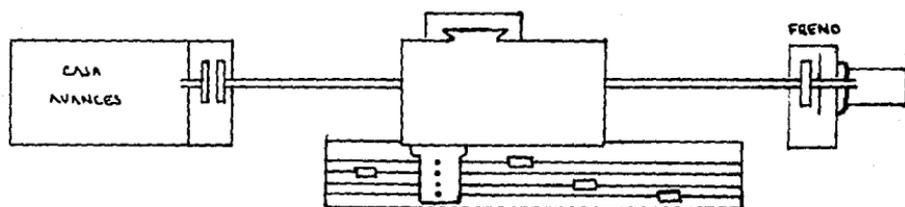


Fig. 5.5 Sistema de toques electromecánicos.

Este sistema de toques se colocan en una placa ranurada y cada uno se controla independientemente.

La diferencia básica entre los dos sistemas es: el toque mecánico solo detiene el movimiento pero no detiene el motor que acciona al eje. Los toques electromecánicos detienen el carro pero

lo hacen o deteniendo el motor o evitando la transmisión del movimiento al eje por medio de un embrague. Además al ser varios los topes de este tipo que se pueden colocar, se tienen mas posibilidades de detener el carro en diferentes puntos o realizar frenados para posicionamientos de precisión.

En la máquina que nos interesa existen ya topes mecánicos colocados en una barra auxiliar paralela al husillo principal, sobre el eje Z. Estos topes deberán colocarse a una distancia promedio de trabajo para esa máquina, o casi al final de la longitud de la regla para evitar dañarlas por accidente.

Sobre el eje X no existe ningún tope, aunque en la situación actual de la máquina (operación manual) no es necesario. Sería recomendable colocar topes de acuerdo a las marcas de seguridad de la regla que se utilice para evitar accidentes cuando se trate de automatizar el movimiento de este eje.

#### V.4 DISEÑO DEL SISTEMA.

Para lograr el objetivo de implantar un sistema de medición se optó, como ya se expuso anteriormente, por las escalas lineales o reglas.

Dado que la construcción de estas reglas, con los medios que cuenta la Universidad, es prácticamente imposible, se optó por conseguir un juego de reglas de acuerdo a las características de la máquina en las que se iban a colocar. Estas reglas se lograron conseguir pero sin la información completa acerca de ellas. Por ello, fué necesario hacer un estudio de estas reglas antes de

comenzar el diseño de un contador.

El primer paso de este estudio fué conocer en que forma entraban y salían las señales de la regla, esto es, que información se tenía en cada una de las patillas del conector. Para conocer esto se utilizó primeramente un multímetro. Midiendo la continuidad o la resistencia que existía entre cada una de las patillas del conector y realizando algunas hipótesis sobre el posible conexionado interno (hay que tomar en cuenta que hay una pequeña tarjeta con componentes electrónicos en la cabeza lectora) se logró la primera aproximación. Ante la incertidumbre que mostraban las diversas hipótesis realizadas acerca de las conexiones fué necesario recurrir a otro sistema de medición ya operando para poder verificar cuales de los datos eran correctos.

Con la ayuda del diagrama de un contador se logró conocer la lógica de funcionamiento de las reglas. Así se supo que estas escalas lineales emiten dos trenes de ondas, una para cada dirección de movimiento, defasadas entre sí 90°.

Con la información anteriormente recabada, se trató de conocer más de las reglas pero ya en una forma práctica. Para ello, se conectaron las salidas de una de las reglas a un osciloscopio y de esta forma se pudo comprobar que efectivamente existían los trenes de ondas cuadradas además de una marca cero o de referencia a cada cierta longitud de la regla. Revisando todo el recorrido de la regla y en especial estas marcas, se pudo definir la longitud del espacio entre cada una de ellas que resultó ser de 5 cm.

Después de obtenida la información anterior, solo restaba

saber, si la regla estaba graduada en milímetros o en fracciones de pulgada. Para ello fue necesario hacer algunos razonamientos, para lograr una primera aproximación, basándonos en la longitud total de la regla, si coincidía en cantidades métricas o en medidas del sistema inglés; en la localización exacta de las marcas cero o de referencia y con que sistema de medida coincidían. Después de esto, se procedió a contar el número de pulsos que existían entre dos marcas de referencia.

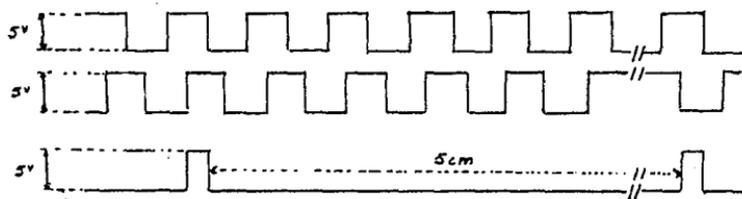


Fig. 5.6 Señales obtenidas de las escalas lineales.

Para la cuenta de los pulsos se utilizó un contador universal marca Hewlett Packard modelo 5315 A. Este contador tiene como una de sus características el poder contar una serie de eventos a partir de otro. Utilizando esta característica se conectó a una de sus entradas el tren de pulsos cuyo número deseábamos conocer y a la otra entrada conectamos los pulsos de marca cero para que nos sirvieran de referencia. Con este montaje logramos principiar la cuenta cuando entraba una marca de cero y concluir la cuenta cuando la siguiente marca cero aparecía. De esta forma sabemos que existen, entre cada marca de referencia, 2500 pulsos. Con todos los datos que se obtuvieron se logró

deducir que la regla estaba graduada en milímetros, por lo cual el contador que se le colocara a estas reglas trabajaria en esas mismas unidades.

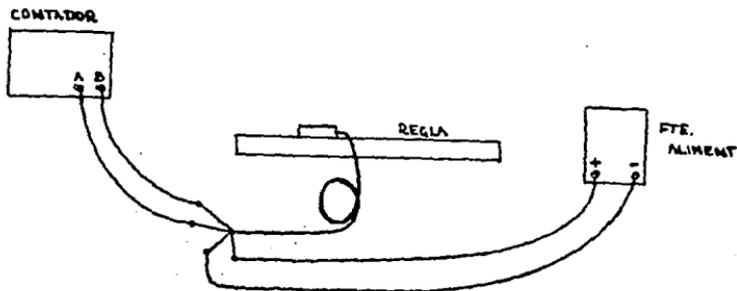


Fig. 5.7 Esquema de conexión para la prueba de las reglas

#### 4.1 DISEÑO DEL CONTADOR.

Ya con la información completa de las reglas, se procedió al diseño de un contador que cumpliera los requerimientos que solicitaban esas reglas.

Una forma sencilla de contar estos pulsos sería seleccionar cada tren de acuerdo al sentido de movimiento y pasar estos pulsos a un contador bidireccional. Este circuito se muestra en la figura 5.8.

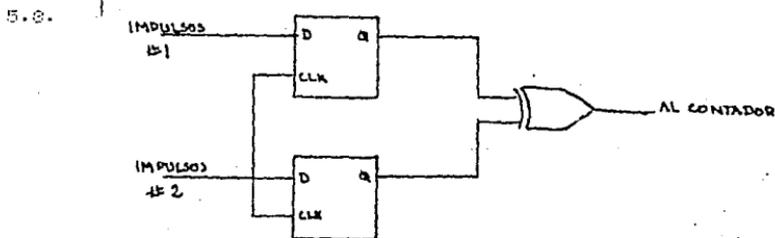


Fig. 5.8 Esquema del circuito de un contador simple.



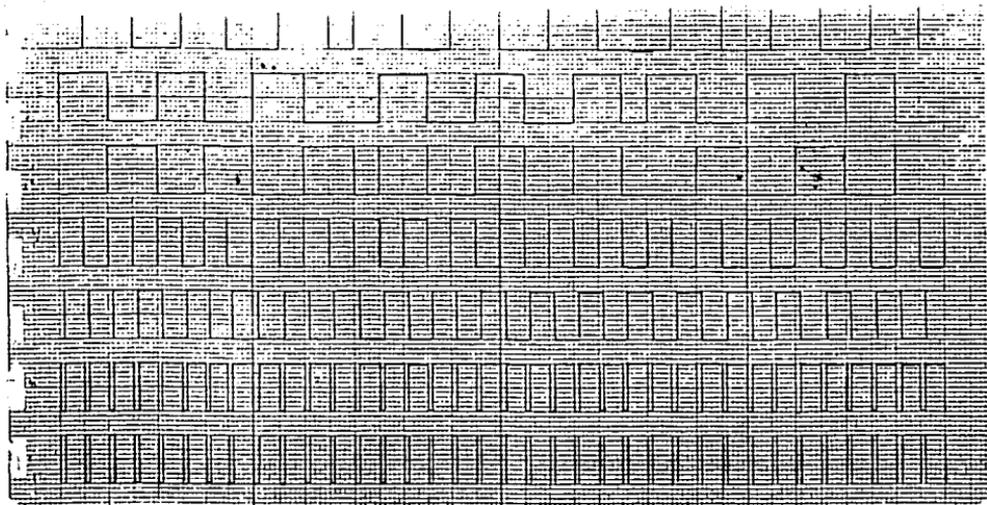
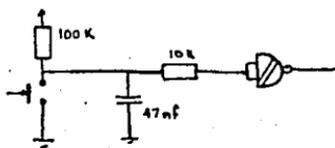


Fig. 5.10 Formas de onda resultantes del circuito mostrado en la figura 5.9

algunos nanosegundos, tiene como propósito dar tiempo al biestable de que cargue la información y la pase correctamente a los contadores, de esta forma, se reconoce si la cuenta se incrementa o se decrementa de acuerdo al movimiento realizado sobre la regla.

Otra característica que debía incorporarse al contador era un reset o puesta a cero en cualquier punto deseado para de ahí comenzar la cuenta o medición. Para ello se utilizó el circuito que se muestra a continuación:



 4093

Fig. 5.11 Circuito de puesta a cero o RESET.

Un paso importante era optimizar el contador de manera que este resulte de las dimensiones más reducidas posibles y lleve los componentes mínimos necesarios. Para conseguir esto cabe recordar las tablas de verdad de las puertas utilizadas en el circuito:

OR EXCLUSIVA:	A	B	S	NAND:	A	B	S
	0	0	0		0	0	1
	0	1	1		0	1	1
	1	0	1		1	0	1
	1	1	0		1	1	0

Basándose en estas tablas y tomando los componentes que se presentan en la figura 5.9 se pueden realizar las siguientes modificaciones aprovechando los circuitos integrados que no han sido completamente utilizados y eliminando los inversores que representarían un integrado más dentro del circuito:

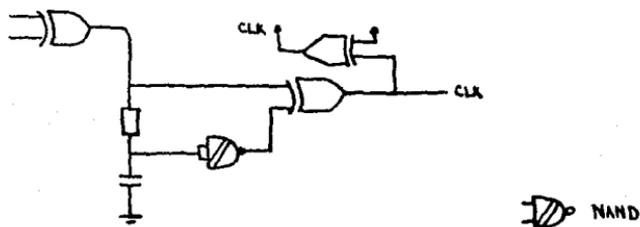


Fig. 5.12 Optimización del circuito de reloj (CLK).

Una vez realizadas las modificaciones pertinentes el circuito final del contador esta representado en la figura 5.13.

La lectura de las cotas se realizará en unos displays de siete segmentos. Dado que la precisión del contador es de  $10 \mu\text{m}$ . fue necesario colocar cinco de estos displays para que no hubiera problemas con la lectura. Con estos displays se logra una lectura

de hasta 99 999 marcas. lo que significa un recorrido de 1 metro, que es, en general, la longitud mayor de trabajo que esta máquina puede realizar.

La disposición de el circuito final con los displays se puede apreciar en la figura 5-14.

Fue necesario también hacer una fuente de alimentación, para dar la tensión y corrientes necesarias tanto a las reglas como al contador. Para ello se diseñó la fuente que se muestra en la figura 5-15. En esta fuente se tiene una alimentación de 5V para las reglas (recuérdese que en la cabeza lectora, existen alguno o algunos integrados de la familia TTL), perfectamente regulada por medio del 7805.

Por otro lado está la alimentación de las tarjetas del contador también perfectamente regulada, tomando en cuenta que el gasto de los displays es mayor que el que se realiza en la tarjeta del contador propiamente dicho, se le da una alimentación aparte.

Para el diseño de esta fuente se tomaron en cuenta tanto las alimentaciones, que deberían cumplir las características antes mencionadas, así como los consumos. De esta manera tenemos:

Consumo 1 regla = 200 mA.

2 reglas = 400 mA.

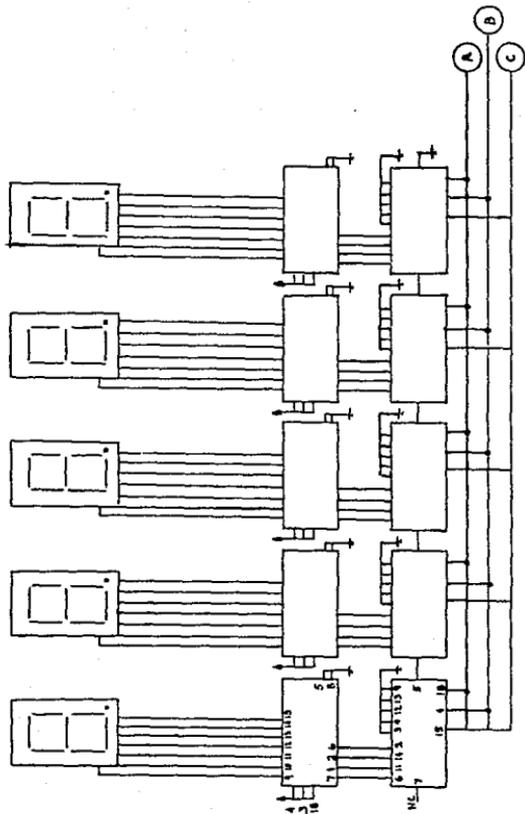
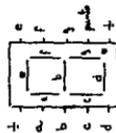
Consumo contador = 200 mA.

1 display = 80 mA.

10 displays = 800 mA.

Total contador = 1000 mA. = 1 Amp.





CIRCUITO DISPLAYS

DISQUE: JAT 31-7-66

FIG. 5-14

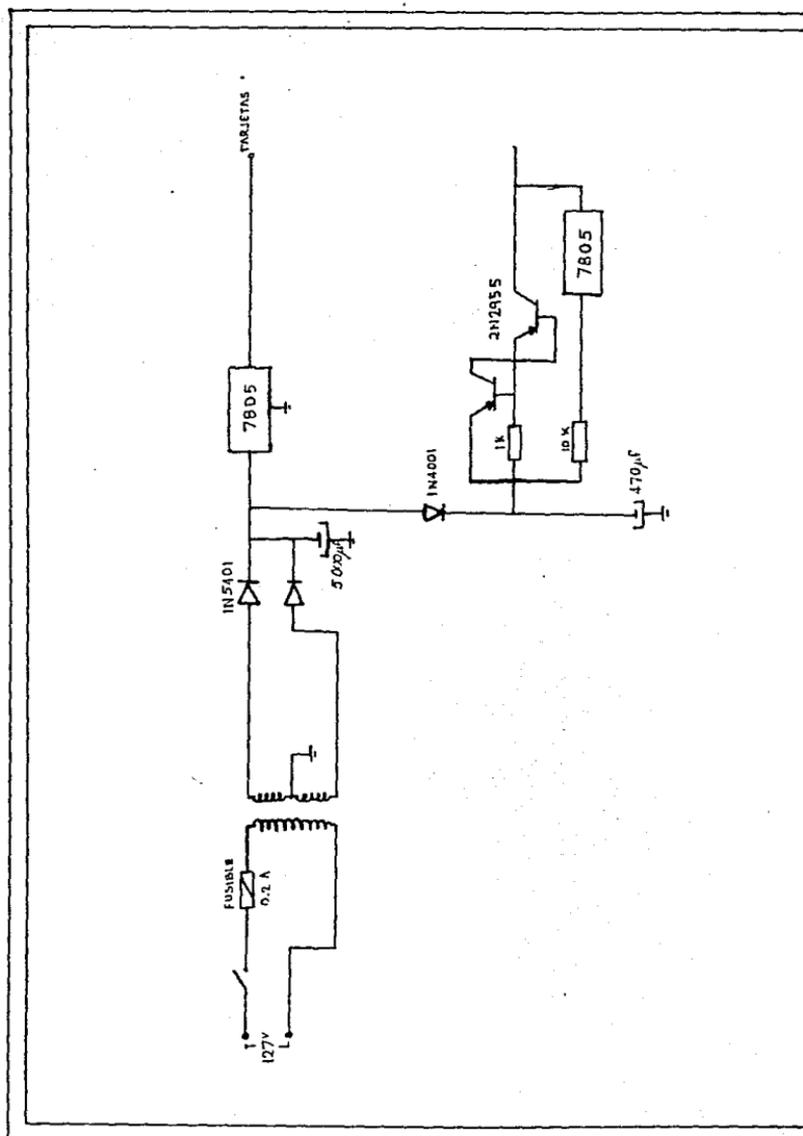


Fig. 5-15  
CIRCUITO ALIMENTACION  
diseño: JKT      31-7-86

Cada uno de los circuitos descritos anteriormente realizarán el trabajo de medición de un solo eje, por lo que será necesario realizarlos por duplicado para el caso de nuestra máquina o por triplicado en caso de futuras u otras necesidades.

#### 4.1.1 PRUEBAS REALIZADAS.

Para comprobar la efectividad del diseño realizado se realizó una prueba ya montado el prototipo. Esta prueba consistió en colocar los elementos como quedaría ya definitivamente instalado al equipo y realizar movimientos sobre la regla, similares a los que realizaría el carro de la máquina, con la cabeza lectora de forma que generara senales para que estas pudieran ser contadas por el prototipo.

Al igual que en pruebas anteriores, se utilizó el contador universal nuevamente controlado por las marcas de referencia o cero. De esta forma se pudo comprobar el correcto funcionamiento del contador, que es sensible a flancos de subida y de bajada con lo que daba una cuenta de 5 000 pulsos por unidad de medida (entre dos marcas de cero o referencia), que era lo que se necesitaba para cumplir con los requisitos de precisión de la regla.

Se realizaron varias mediciones, cambiando la velocidad del desplazamiento, la posición inicial, el sentido del movimiento y en todas ellas se obtuvieron resultados satisfactorios.

#### V.5 MONTAJE.

Para el montaje de los componentes de los circuitos se da a continuación la información necesaria.

## 5.1 LISTA DE PARTES.

### Tarjeta 201085.

Circuitos integrados:	4013	1
	4030	1
	4093	1
	4029	5
Resistencias:	100K	4
	10K	4
	1K	2
Capacitores:	100pf.	3
	47nf.	1
Alambre calibre 20. tramos de 2cm.		22

### Tarjeta 201086.

Circuitos integrados:	4511	5
Displays 7 segmentos TL315P		5
Resistencias:	330	35

### Tarjeta 201087.

Transformador:	127/18 V. toma central	1
Diodos:	1N5401	2
	1N4001	1
Capacitores:	5000 $\mu$ f-20V	2
Reguladores:	7805 metalico	1
	7805 elastico	1
Transistores	2n2955	2
Disipadores		2

Alambre para interconexiones:

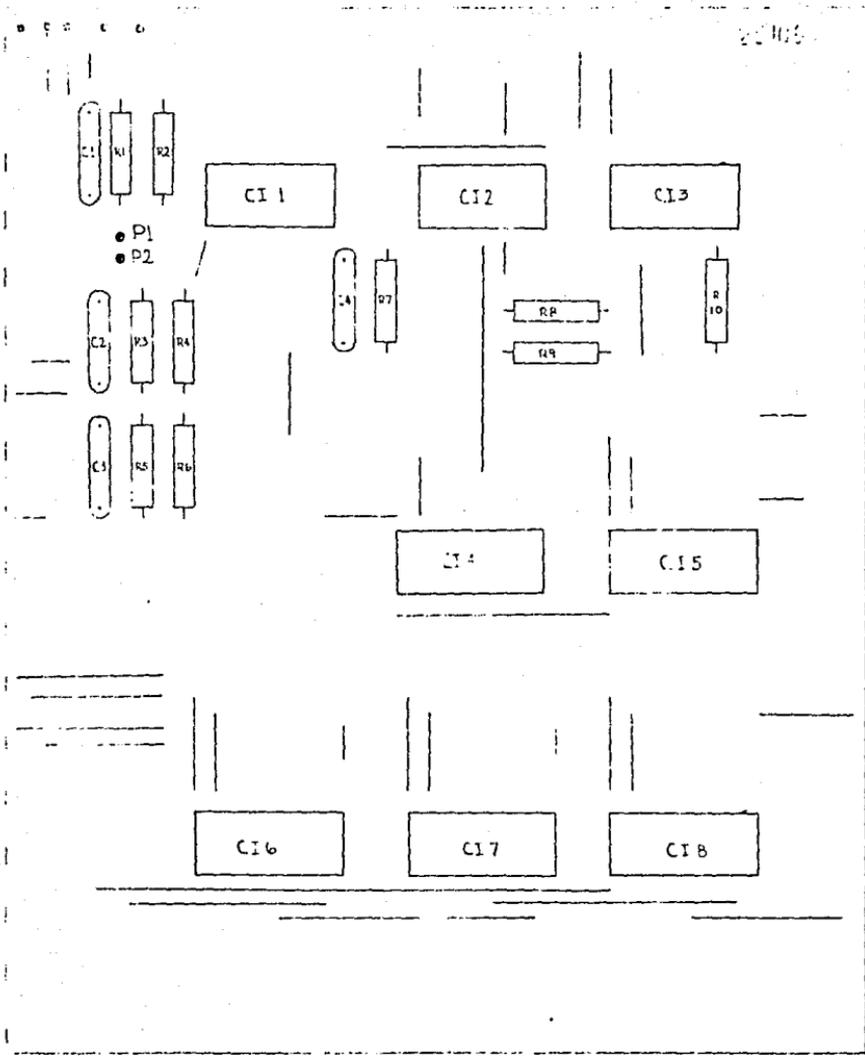


FIG. 516 a)

5 6 7 8

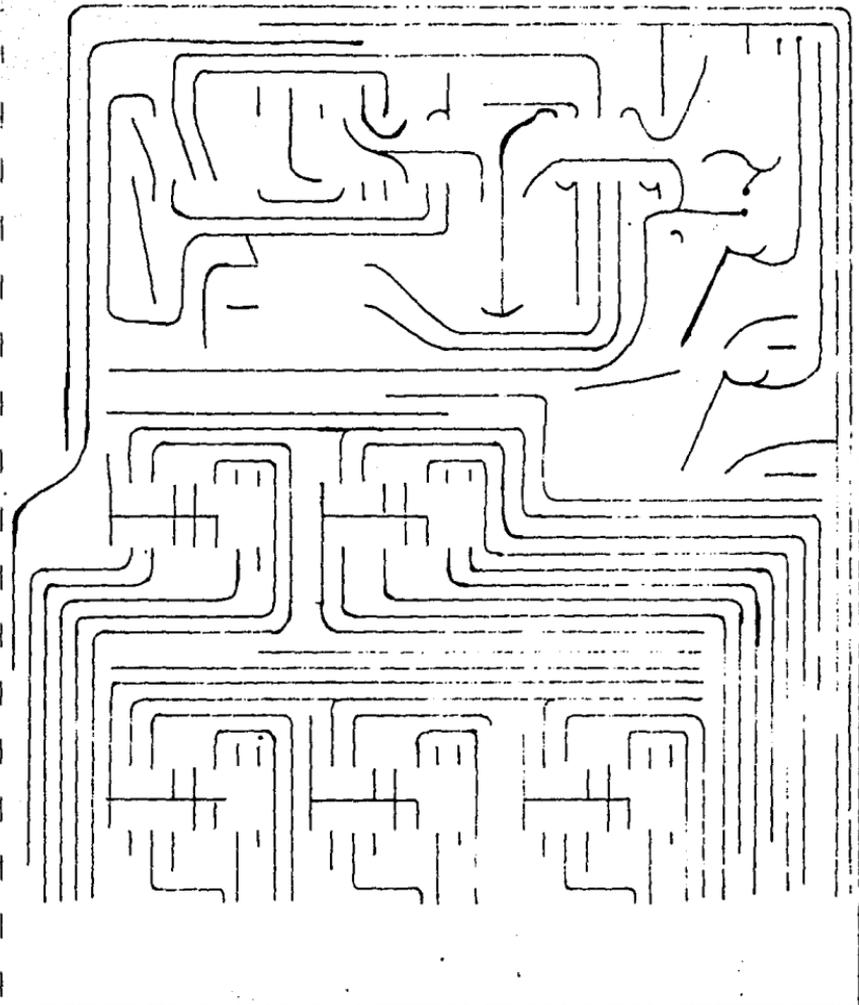


FIG. 3.16. 6)



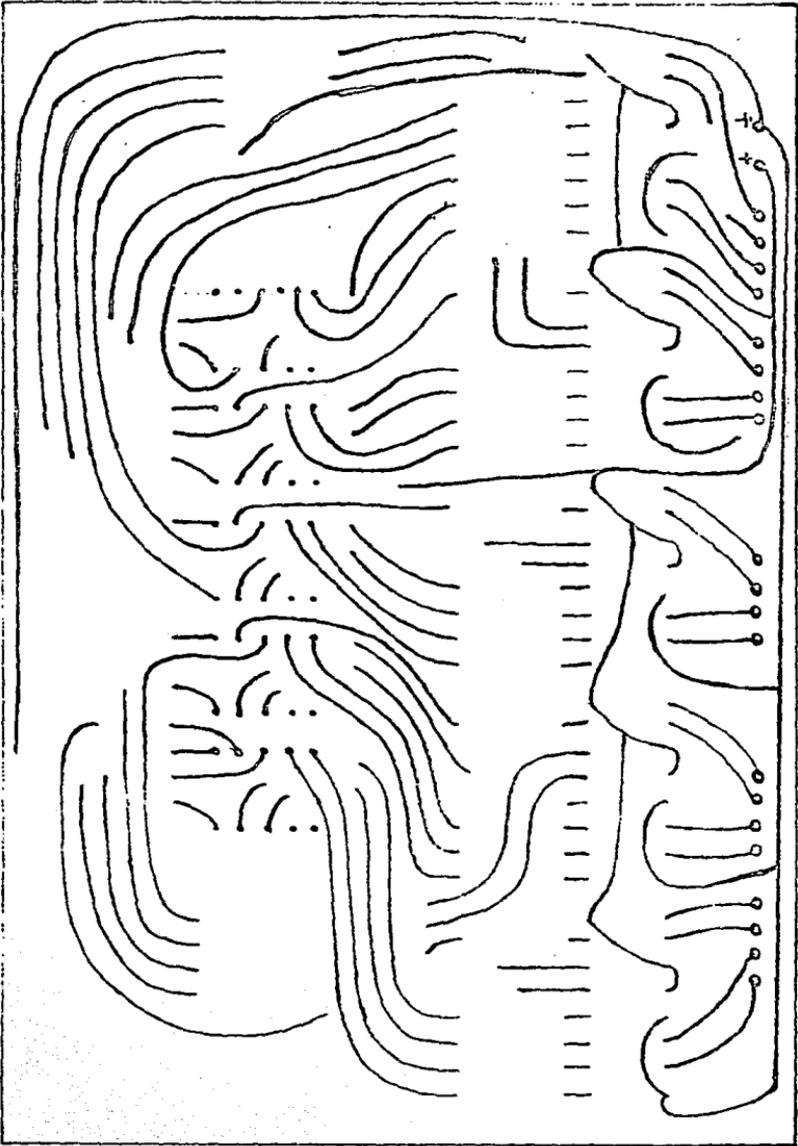


FIG. 5.17 b)

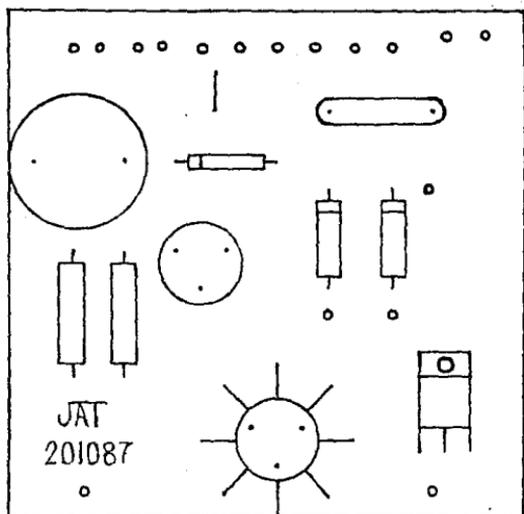


FIG. 5.18 a)



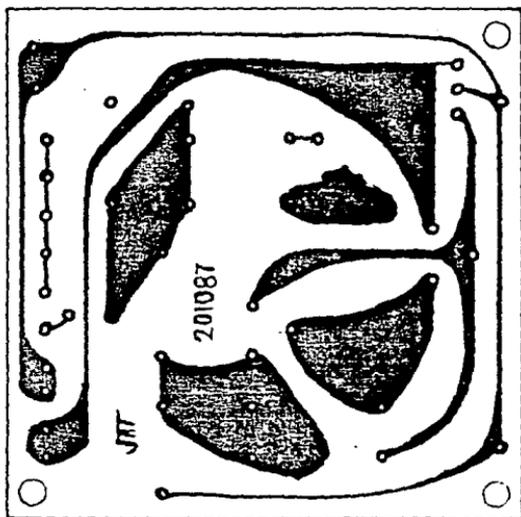


FIG. 5.18 b)

## 5.2 TARJETAS.

Las tarjetas tienen un número de serie que servirá para identificarlas. Cada una de estas tarjetas junto con su plano de componentes se muestra a continuación en los diagramas 5.16 a 5.18.

Para el montaje de estas tarjetas será necesario contar con los siguientes útiles:

- Cautín de estación termostataado con puntas intercambiables. Se recomienda el cautín marca Waller modelo W-TCP.

- Puntas PT6 y PT7 para cautín.

- Pinzas de punta para el manejo de los componentes.

- Pinza de corte.

Para el montaje de los componentes deberán seguirse las siguientes instrucciones:

Primero se procederá a montar la tarjeta 201025 para ello:

- 1 . Colocar las resistencias en sus lugares de acuerdo a la figura 5.16 b y soldarlas. Para soldarlas se utilizará el cautín termostataado con la punta PT7.

- 2 . Colocar los capacitores como se muestra en la misma figura y soldar. La soldadura se realizará con el mismo cautín que se utilizó para las resistencias.

- 3 . Colocar todas las interconexiones marcadas teniendo cuidado de que ninguna toque ningún otro componente o se toquen entre ellas. Colocar también los ángulos de interconexión como se muestra en la figura 5.19. Estos ángulos son pedazos de alambre de calibre 20 que previamente habrán sido cortados a 2cm. y doblados por la mitad formando un ángulo de 90° tal como se

muestra en la figura 5.19.

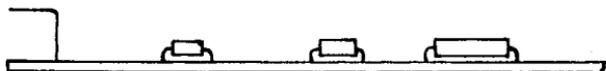
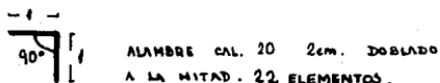


Fig. 5.19 Colocación de los ángulos de conexión.

4 . Colocar los circuitos integrados cuidando el orden de las patillas. Para soldar estos elementos se utilizará el mismo caudín que en los casos anteriores pero se le cambiará la punta por una PT6.

NOTA IMPORTANTE: Es muy importante el orden en que se sueldan las patillas de los circuitos integrados. Se empezará primero por la patilla 14 o la 16, si esta existe, después se pasará a la 7 u 8 y al final se soldarán todas las demás.

Se pasará después a el montaje de componentes de la tarjeta 201086. Para ello serán necesarios los siguientes útiles:

- Caudín de estación termostataado con puntas intercambiables. Se recomienda el uso del caudín marca Weller modelo W-TOP.
- Puntas PT6 y PT7 para caudín.
- Pinzas de punta para manejo de componentes.
- Pinzas de corte.

Para el montaje de los componentes deberán seguirse las siguientes instrucciones:

1. Colocar las resistencias en sus lugares de acuerdo a la

figura 5-17 b y soldarlas. Para soldarlas se utiliza el cautín termostático con la punta PT7.

2. Colocar los displays como se muestra en la misma figura y soldar. Para soldar estos elementos se utilizará el mismo cautín pero con la punta Pfb.

3. Colocar todas las interconexiones marcadas teniendo cuidado de que ninguna toque ningún otro componente o se toquen entre ellas.

4. Colocar los circuitos integrados colocando el lado de las patillas. Para soldar estos elementos se utilizará el mismo cautín que para los displays.

NOTA IMPORTANTE: Es muy importante el orden en el que se sueldan las patillas de los circuitos integrados. Se empezará primero por la patilla 14 o la 16, si esta existe, después se pasará a la 7 u 8 y al final se soldarán todas las demás.

Por último se armará la tarjeta de alimentación 201087. Los componentes de esta, se acomodarán de acuerdo al diagrama 5-33, en el piso y paredes del gabinete.

El utillaje necesario para esta operación consiste en:

- Pinzas de punta para manejo de componentes.
- Desarmador plano tamaño mediano.
- Cautín de estación termostático con punta PT7. Se recomienda el Weller modelo W-TCP.

- Pinzas de corte.

#### 5.2.1 PRUEBAS DE CALIDAD.

Después de montadas las tarjetas se procederá a probarlas.

Para las pruebas será necesario el siguiente equipo:

- Fuente de alimentación regulada a una tensión de 5V.
- Punta de prueba (mostrada en la figura 5.20)
- Circuito de prueba (mostrado en la figura 5.22).
- Generador de ondas triangulares.
- Sonda lógica.

Primero se probará la tarjeta de los displays 201086, esto se realizará de la siguiente manera:

1. Conectar la tarjeta a una fuente de alimentación regulada a 5V. La conexión se realiza en las puntas que para tal efecto se muestran en el diagrama 5.17.

2. Se va probando, con una punta de prueba como la que se muestra en la figura 5.20 cada una de las entradas que se encuentran en la parte inferior de la tarjeta. (ver diagrama).

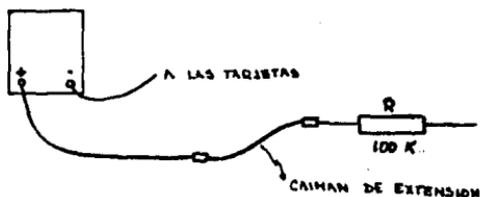


Fig. 5.20 Punta de prueba.

Al poner la punta en cada una de las entradas se irá encendiendo el display que corresponda a la entrada. Tocando la entrada 1 del primer display, se encenderá un 1 en el; en la entrada 2 un 2; en la 3 un 4 y en la 4 un 8. Si esta cuenta no se realiza en esta forma existe un error de conexionado. Probar todos los displays.

Después de realizada la prueba de esta tarjeta se pasará a probar la del contador 201085, para ello se hará:

1. Conectar la tarjeta del contador 201085 a la de displays 201086. Esto se realizará con los angulos de alambre como se ve en la figura 5.21.

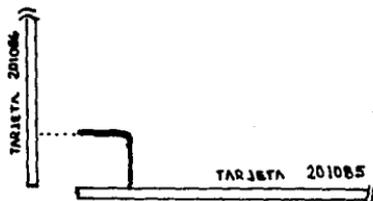


Fig. 5.21 Conexionado entre tarjetas.

2. Conectar la alimentación de las tarjetas. Esta alimentación como en el caso anterior, estará dada por una fuente regulada de tensión a 5V. Esta alimentación va en la terminal de contacto tal como se ve en el diagrama 5.15.

3. Dar una señal de reset, esto se consigue uniendo las puntas P1 y P2 de la tarjeta 201085. Con esto el display marcará 0.

4. Conectar el circuito de prueba que se muestra en la figura 5.22 a las entradas de las tarjetas.

Con este circuito obtendremos una señal igual a la producida por una regla.

Una vez hechas estas conexiones, se tomará la punta de prueba anteriormente utilizada y se aplicará sobre la pata 10 del primer 4029. Con esto se comprobará si se realiza la cuenta ascendente y descendente.

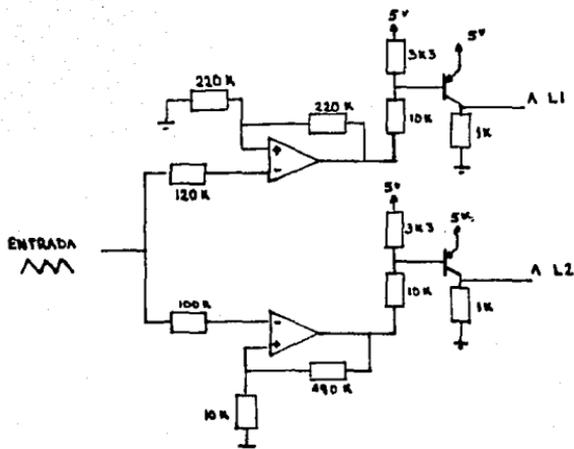


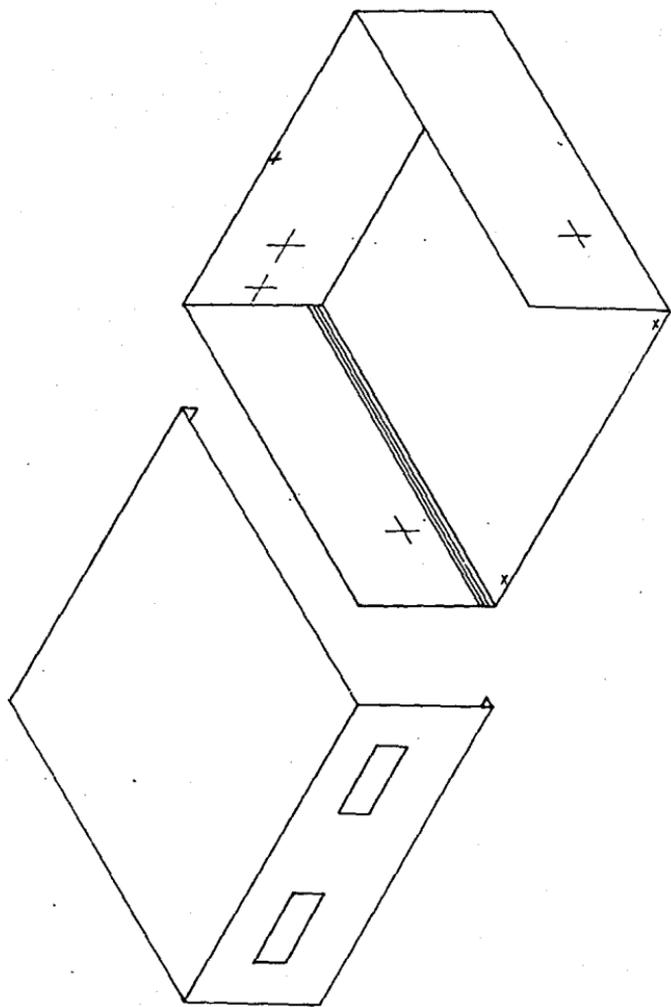
Fig. 5.22 Circuito de prueba con su conexionado.

Seguidamente se realizará el muestreo de la señal de reloj (CLK). Para ello el generador de ondas se colocará en una frecuencia muy baja (1 Hz.) y con una sonda lógica se contarán los pulsos de reloj. (A una frecuencia de 1Hz. se obtendrá un pulso de reloj cada segundo).

Para la comprobación de la tarjeta de alimentación ver el diagrama 5.23. en el se muestran las tensiones que deben existir en cada punto para que su funcionamiento sea correcto.

### 5.3 MONTAJE.

Una vez armadas y probadas las tarjetas se pasará a realizar el montaje final del contador. Para ello se seguirán los siguientes pasos:

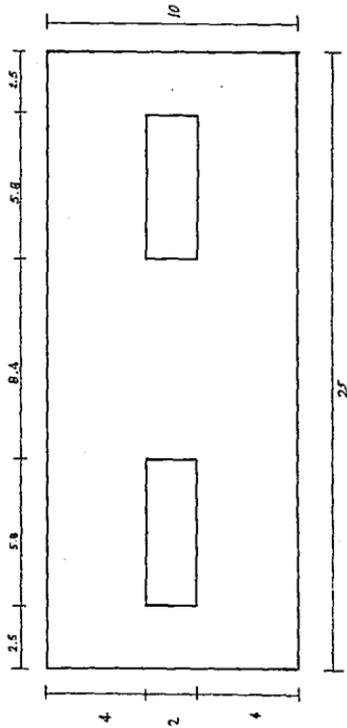


VISTA GENERAL DEL GABINETE

31-7-86

DISEÑO: JRT

FIG. 5-25



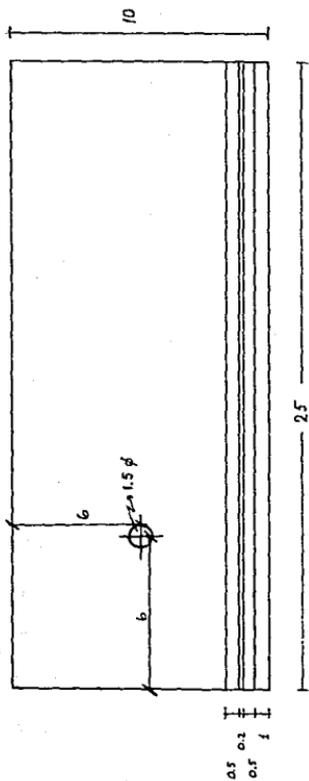
GABINETE - VISTA FRONTAL

COTAS EN cm.

31-7-84

PROJ. JAT

FIG 5-26



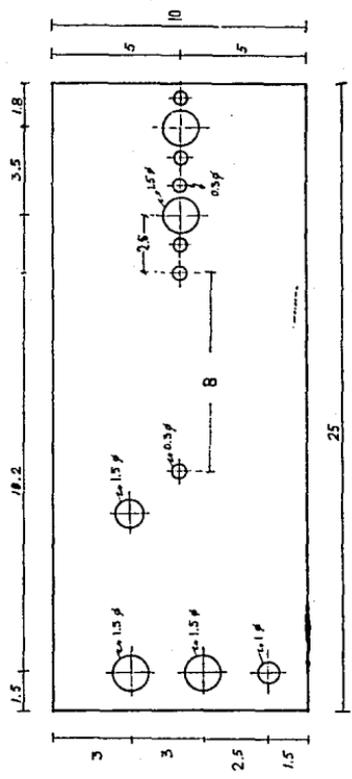
GABINETE - VISTA LATERAL

COTAS EN : cm.

31-7-86

DIBUJO: JAT

FIG. 5-27



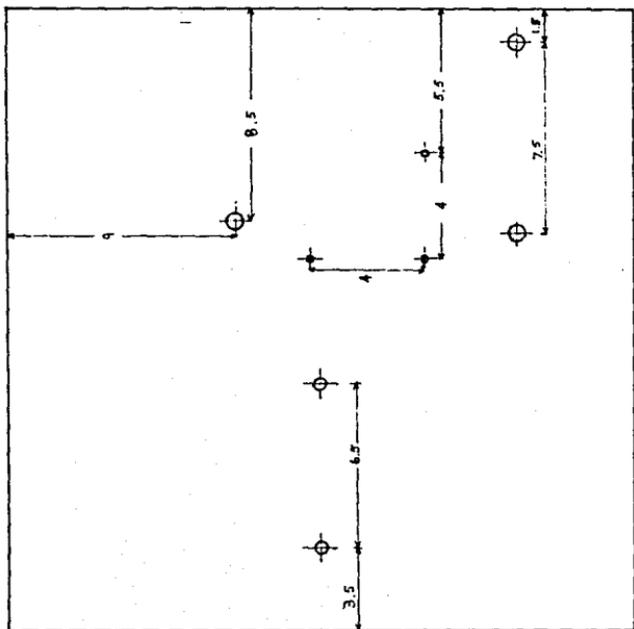
GABINETE - VISTA POSTERIOR

COTAS EN : cm.

31-7-86

DIBUJO: JAT

FIG. 5-28



GABINETE - VISTA INTERIOR

31-7-86

POWERS, JAT

FIG. 5-29

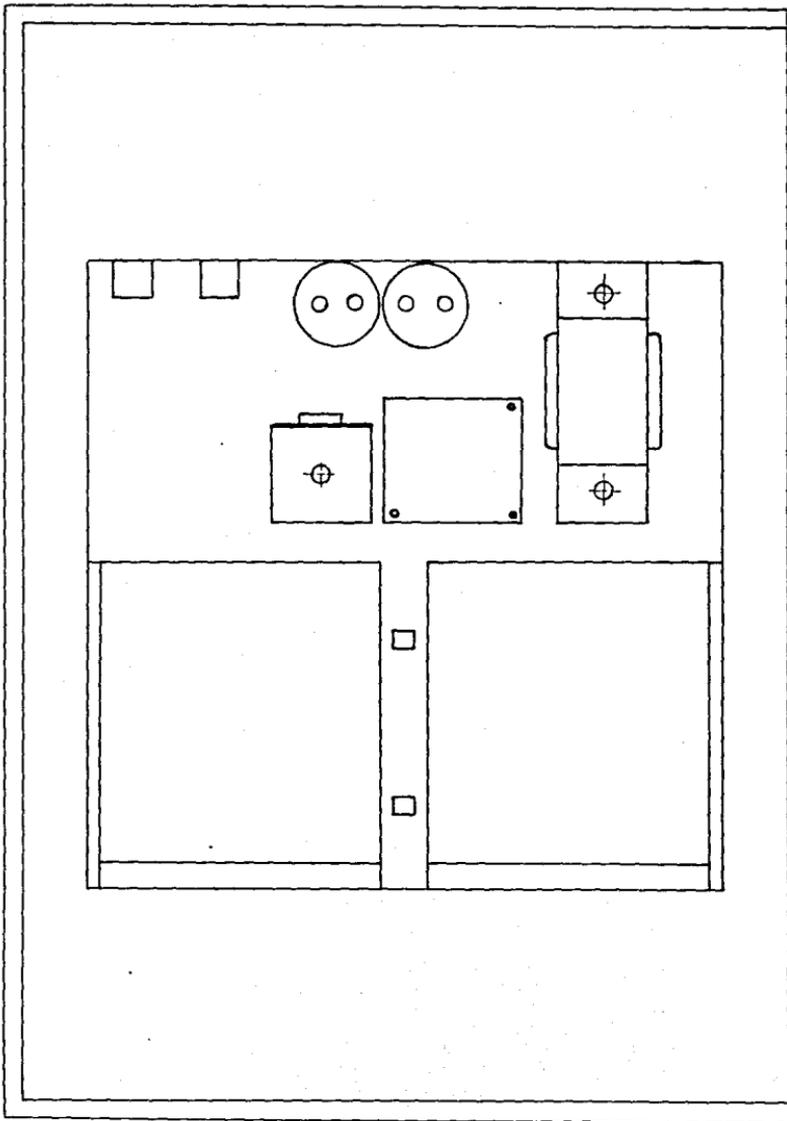
### 5.3.1 GABINETE.

Se realizan las perforaciones de acuerdo a los diagramas 5.25 a 5.29.

Despues de perforado se le fijan las guias de plastico tal como se muestra en el diagrama 5.27.

### 5.3.2 MONTAJE FINAL.

Una vez terminadas todas las partes que conforman el lector se basara al montaje final tal y como se muestra en los diagramas 5.30 a 5.34.



VISTA DE LOCALIZACION DE COMPONENTES

FIG. 5-30

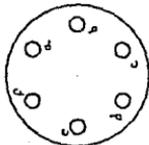
31-7-66

dibujo: JAT

CONECTOR PH010-6-6P MEMORA:

CONEXIONES:

- PATILLA A :  
CABLE CALIBRE 22, COLOR VERDE  
CONECTAR A LA TABLETA 2010B5 ENTRADA L1.
- PATILLA B :  
CABLE CALIBRE 22, COLOR AMARILLO  
CONECTAR A LA TABLETA 2010B5 ENTRADA L2.
- PATILLA C :  
CABLE CALIBRE 22, COLOR NEGRO  
CONECTAR A LA MANA TABLETA 2010B7 (DIAGRAMA)
- PATILLA D :  
CABLE CALIBRE 22, COLOR ROJO  
CONECTAR A LA TABLETA 2010B7
- PATILLA E :  
CABLE CALIBRE 18, COLOR MARQUÓN  
CONECTAR TABLETA 2010B7
- PATILLA F :  
NO CONECTAR.

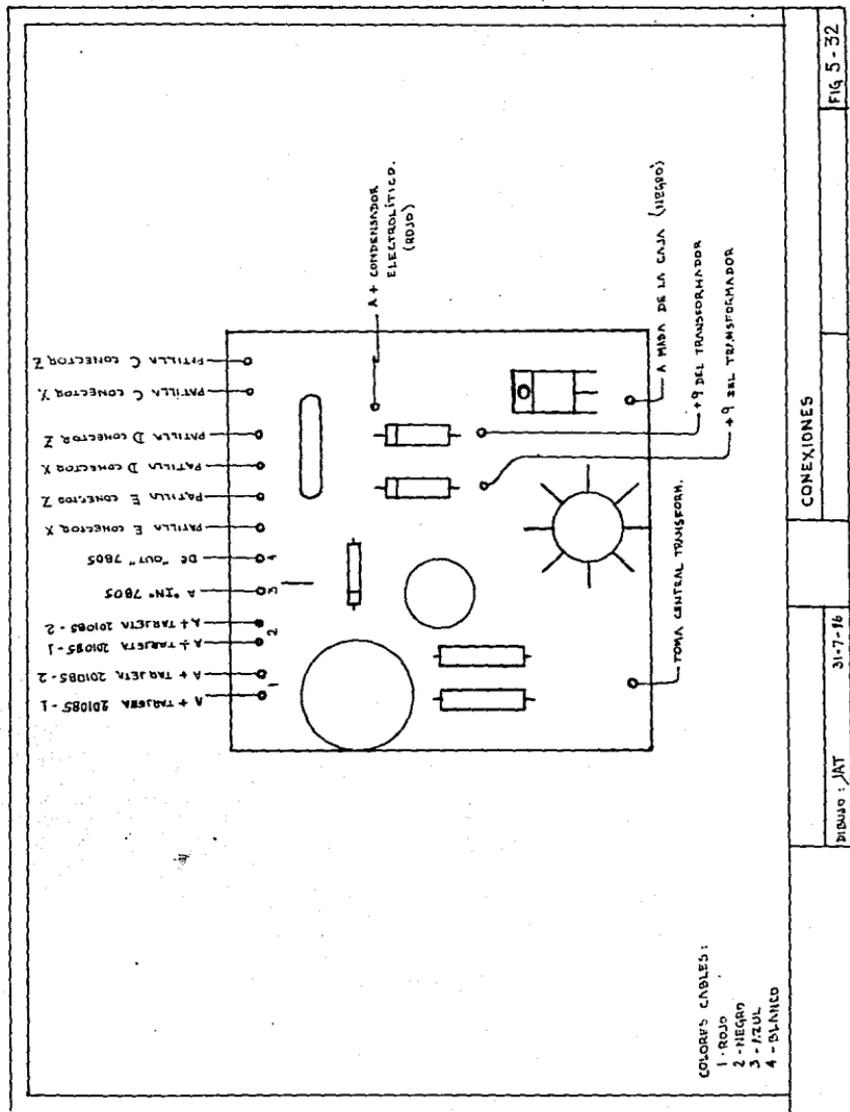


CONEXIONADO

PROYECTO: JAT

31-7-56

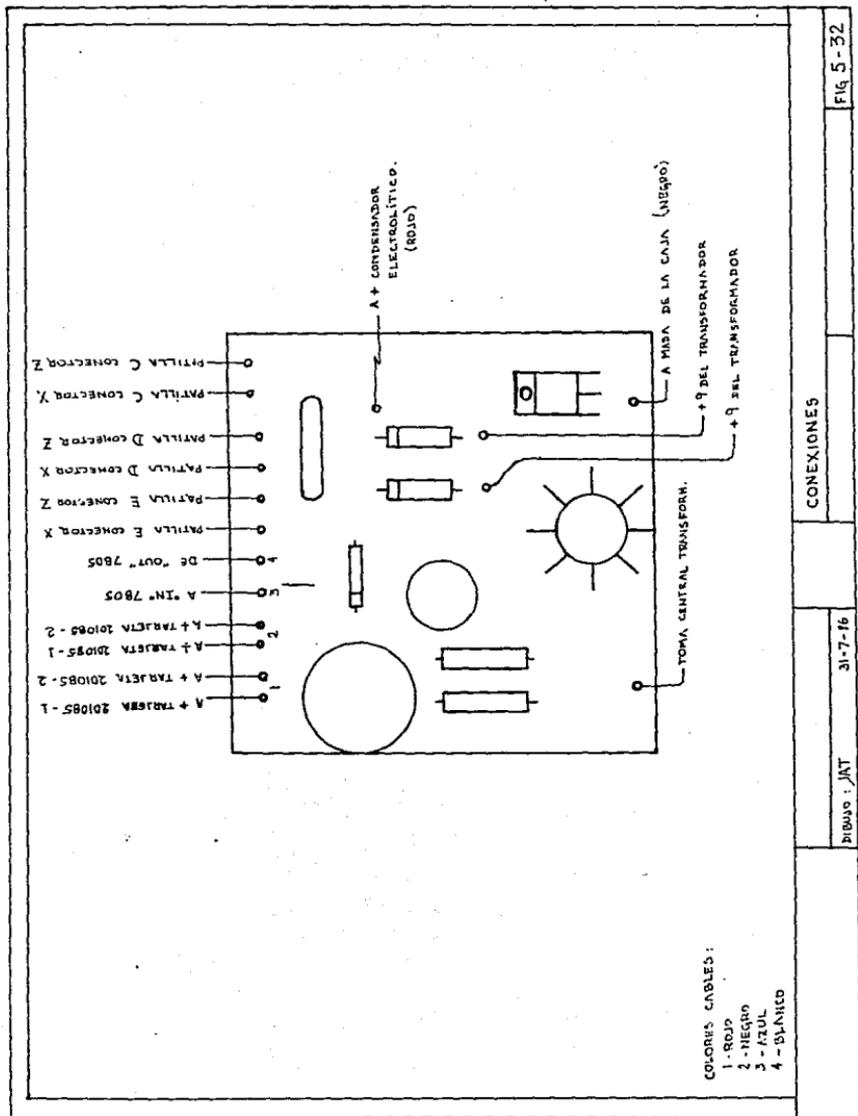
FIG. 3-31



CONEXIONES

DIBUJO: JAT 31-7-16

Fig 5-32

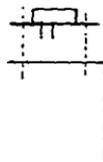


COLORES CABLES:  
 1 - ROJO  
 2 - NEGRO  
 3 - AZUL  
 4 - BLANCO

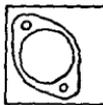
CONEXIONES

BIENOS : JAT 31-7-16

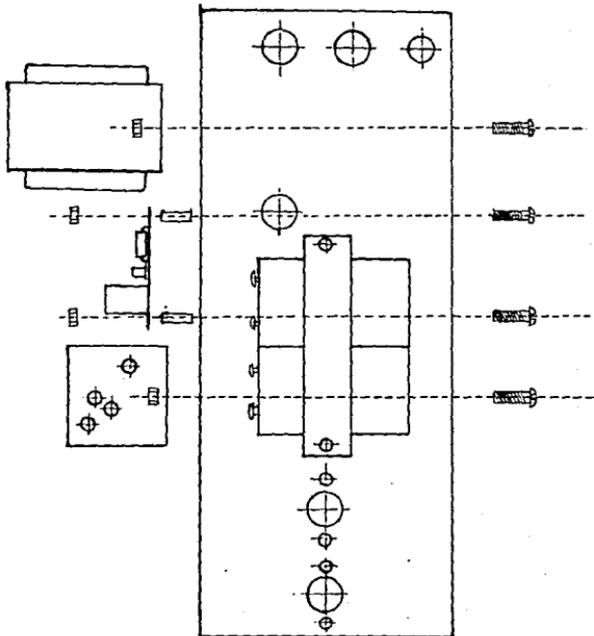
Fig 5-32



MONTAJE DEL 7805 AL DISIPADOR



NOTA :  
 MONTAR LOS CAPACITORES CON  
 LA ABRANTADERA Y CONECTAR  
 UN BORNES + AL '-' DEL  
 OTRO.



TORNILLOS DE ALUMINIO CON TUBERCA.

1,5 cm VAR. 140

0,3 cm  $\phi$

ESPACIACIONES

1 cm. U. REG

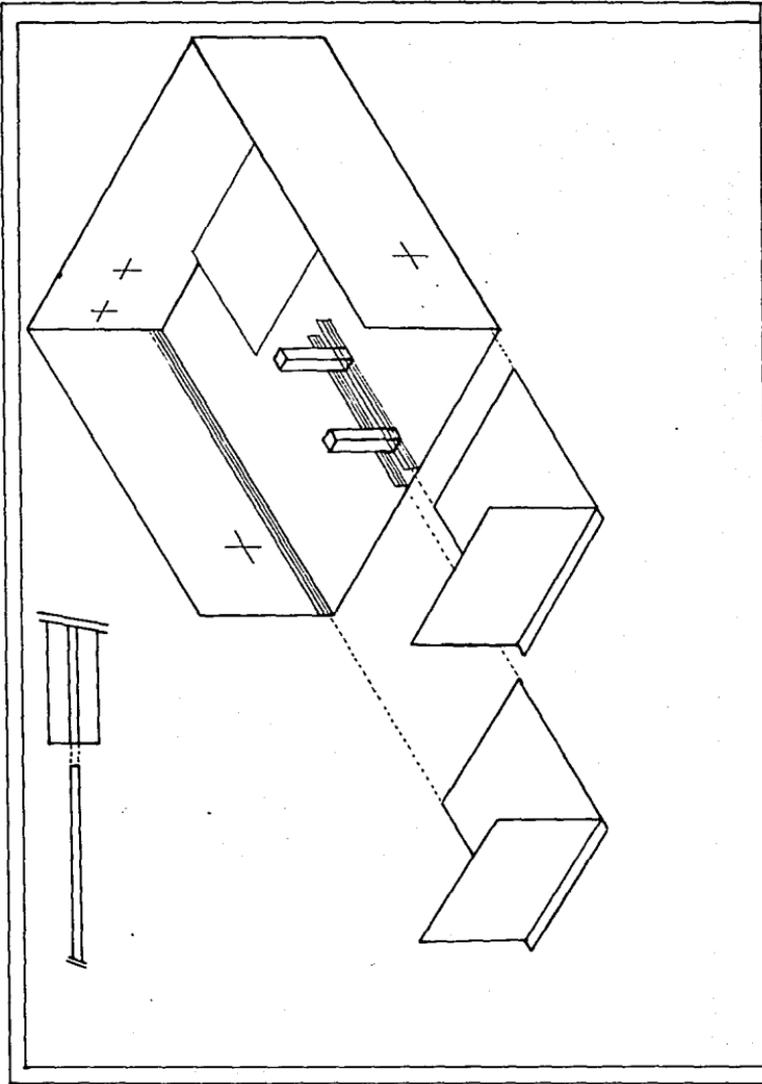
0,5 cm.  $\phi$

DIBUJO: JAT

31-7-86

MONTAJE TARJETA ALIMENTACION

FIG 5-33



MONTAJE TARJETAS CONTADOR

Fig 5-34

31-7-86

diseno: JNT

#### V.6 COSTO DEL EQUIPO.

El costo de todo el equipo sera:

1	Escala lineal 400mm.	238 510
1	Escala lineal 1050mm.	477 020
2	Tarjetas 201085	
2	Tarjetas 201086	
1	Tarjeta 201087	
2	C.I. 4013	1 100
2	C.I. 4030	1 100
2	C.I. 4093	600
10	C.I. 4029	5 500
10	C.I. 4511	5 500
10	Displays 7 segmentos TIL313P	4 000
12	Resistencias 1/2 watt.	120
35	Resistencias 330 , 1/4 watt	350
4	Capacitores ceramicos	40
2	Capacitores electroliticos	400
1	Transformador 127/18V con toma central	380
2	Reguladores 7805	500
2	Transistores 2n2955	180
4	Diodos	40
1	Gabinete	1 200
2	Conectores hembra	4 000
1	Portafusible	120
1	Fusible	100
1.5m	Cable para alimentacion	30
	Alambres para conexiones varias	150

	Varios (tornillos, tuercas, etc.)	300
1	Interruptor apagado	450

TOTAL 742 290

El costo que se ha calculado es para un solo lector. Este costo es variable ya que algunos de los componentes, tales como las reglas, fluctuan en su valor de acuerdo a la fluctuacion del dolar.

No se han tomado en cuenta costos indirectos ya que para el montaje de un solo contador no fue necesario.

## V.7 IMPLANTACION DEL SISTEMA.

Para la implantación de este sistema, es necesario prestar una atención muy especial a la colocación de las reglas, ya que de una correcta colocación de éstas dependerá, en gran parte, la precisión de las medidas.

Es importante que en las reglas exista siempre una separación constante entre la cabeza lectora y el cuerpo de la regla, esto se logra colocando la regla perfectamente paralela a la superficie de movimiento.

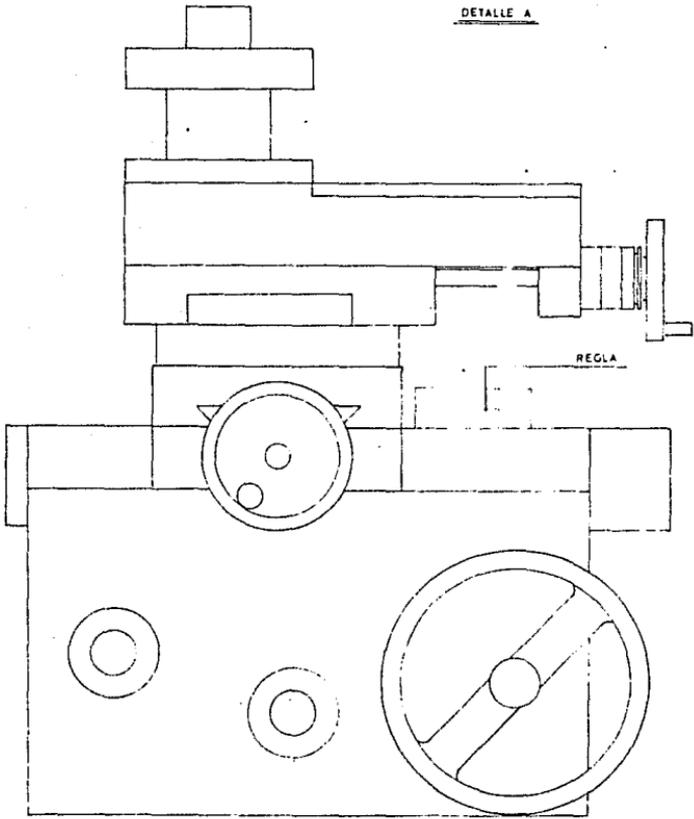
Como se ha dicho anteriormente, y de acuerdo a las normas, en la máquina sobre la cual estamos trabajando existen dos ejes, el eje X o transversal y el eje Z o longitudinal. Esto significa que la regla más corta, la de 400 mm. se colocará sobre el eje X, y la mayor de 1050 mm. se colocara sobre el eje Z. En lo futuro para hacer mención de cada una de estas escalas o reglas únicamente se mencionará el eje sobre el cual se realizará el trabajo.

Los lugares que se han seleccionado para la colocación de estas reglas, han sido escogidos por ser los mas idoneos y menos dificiles de acceder para la colocación de las escalas. En las figuras 5.35 a 5.42 se puede ver perfectamente la colocación y disposición de estas reglas, así como los elementos de sujección que deberán de llevar.

En ambos ejes será necesario colocar unas soleras ya que el cuerpo de la máquina no permite que la fijación sea directa sobre el. La colocación de estas soleras, así como sus dimensiones también están detalladas en las figuras anteriormente citadas.



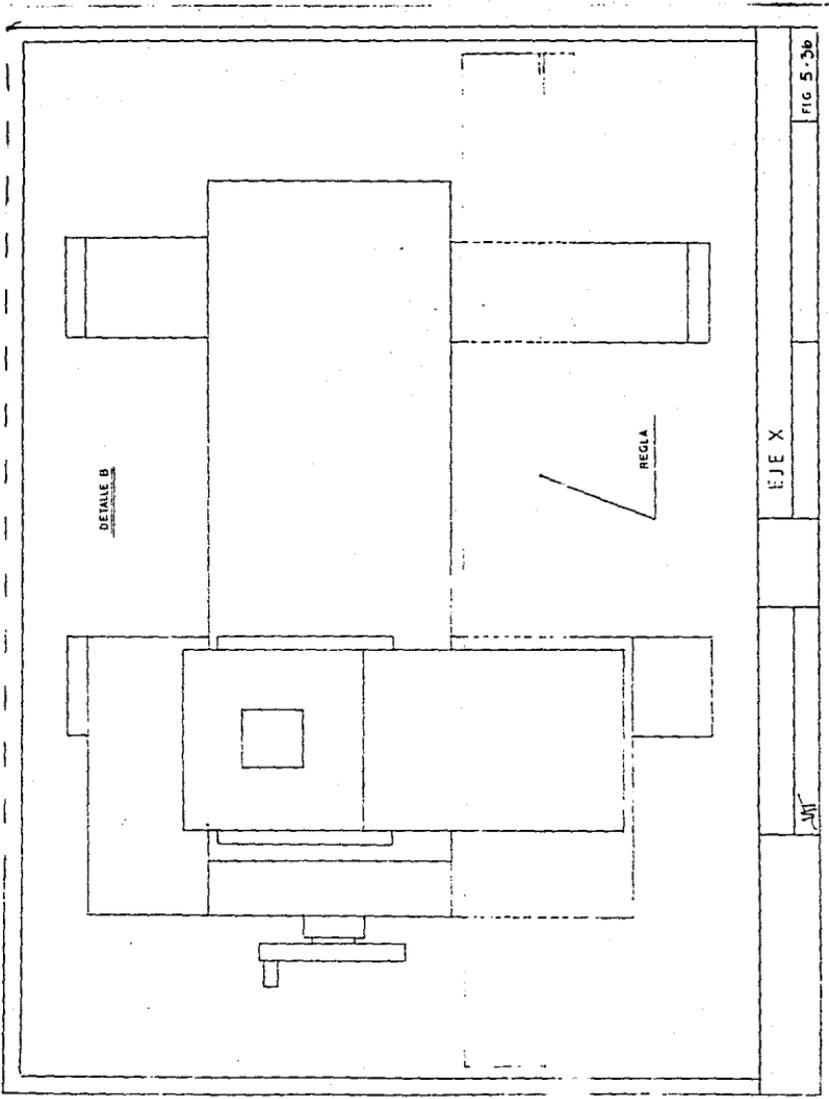
DETALLE A



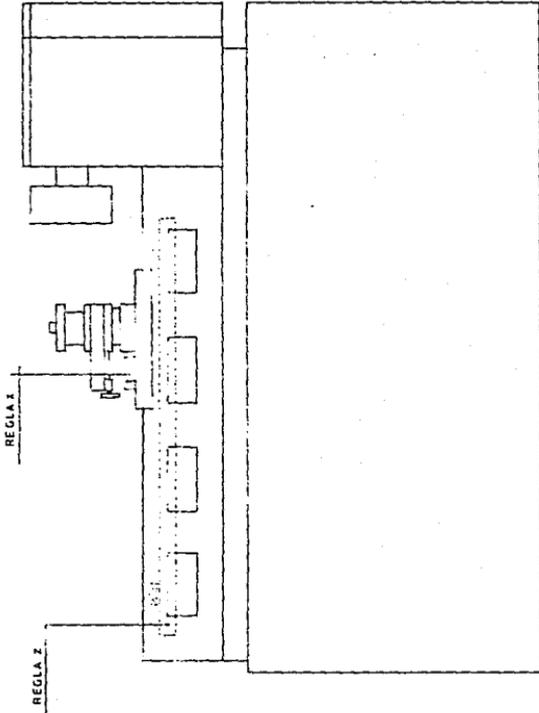
LOCALIZACION REGLA EJE X

AM

FIG 5-35



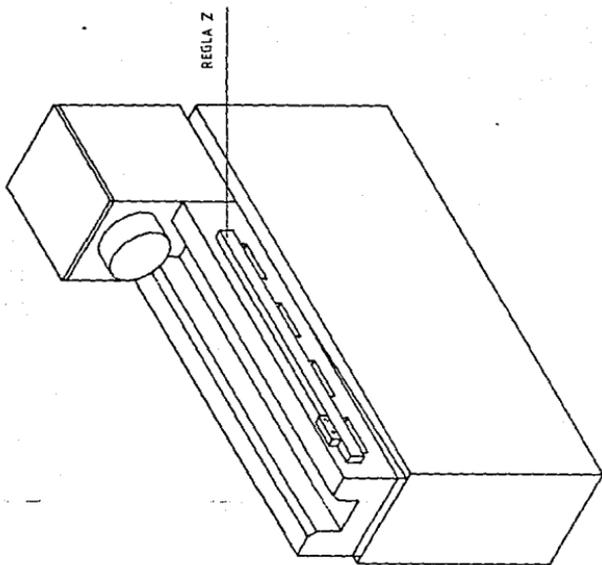
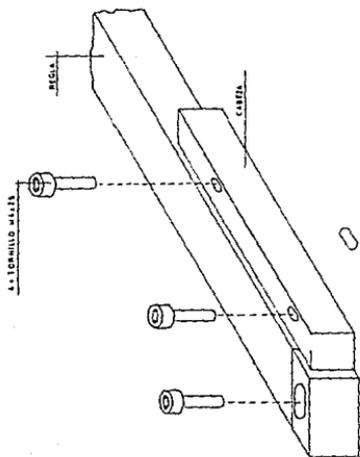




EJE Z

JMT

FIG 538



MONTAJE REGLA EJE Z

115

El contador deberá de tener una alimentación de 120 voltios de corriente alterna. Esta alimentación podrá ser tomada de la máquina, tomando una fase del motor y tierra, o de un contacto externo a la máquina. Se recomienda esta segunda opción para evitar algún accidente si se sobrecarga la máquina.

#### V.8 MANUAL DE OPERACION.

La utilización de este lector digital de cotas es sencilla, pues de una forma directa da las lecturas a partir de una posición preseleccionada por el operario.

Antes de intentar operar el lector, siga las instrucciones y no experimentará ninguna dificultad con el equipo.

#### 8.1 PRECHEQUEO.

Este lector tiene alimentación de corriente alterna. Es recomendable alimentarlo a través de un circuito distinto al de la alimentación de la máquina.

Revise si es correcta la alimentación del aparato a la red. Alimentación de 127V.c.a.

Revise si los cables de las reglas están correctamente conectados al lector. Es importante mantener todos los cables fuera del piso para evitar accidentes.

#### 8.2 ENCENDIDO.

Después de haber realizado el prechequeo, localice el interruptor "encendido-apagado" en la parte posterior del lector.

Encienda la unidad. En los displays aparecerá una lectura xx xxx, presione los reset para que marquen cero.

### 8.3 FUNCIONAMIENTO.

Una vez realizados los pasos anteriores y colocada la pieza a mecanizar, coloque el carro en posición de trabajo.

CASO 1: Se desea mecanizar una pieza como la mostrada en la figura 5.40 a hasta lograr la pieza b.



Fig 5.40 Caso de ejemplo #1.

El desbaste a realizar se puede medir de dos maneras:

1. Coloque la punta de la herramienta en el centro de la pieza. Apriete el reset del eje X.

Regrese el carro hasta el extremo de la pieza donde va a comenzar el maquinado. El display marcará 5.000. Comience a desbastar hasta que el lector de la dimensión requerida, en este caso 3.000.

2. Coloque la punta de la herramienta en el extremo a mecanizar de la pieza. Apriete el reset del eje X.

Comience a desbastar hasta que el lector marque 2.000, que es la diferencia entre la dimensión de la pieza original y la

pieza requerida. Esta segunda opción se recomienda si no se conoce el centro de la pieza.

Para el refrentado se colocará la punta de la herramienta sobre la cara a mecanizar y se aprieta el reset del eje Z.

Comience el refrentado hasta que el lector marque 0.200 que es, como en el caso anterior, la diferencia entre la pieza original y la pieza requerida.

## CAPITULO VI

### AUTOMATIZACION DE LA MAQUINA HERRAMIENTA.

Se puede definir al torno de control numérico como una máquina de arranque de viruta, construida con una características mecánicas tales que, unidas a un sistema de control numérico ofrezca una precisión mucho mayor en el trabajo que se realice.

Aunque la gran mayoría de las máquinas herramienta que cuentan con control numérico han sido diseñadas específicamente para ello, no se descarta la utilización del control numérico en otras máquinas, aunque para ello sea necesario realizar algunos cambios o ajustes.

A continuación se presentarán los puntos principales que deberán ser tomados en cuenta para lograr la automatización completa de la máquina junto con la incorporación de un control numérico adecuado a sus características. La máquina sobre la cual se va a trabajar es el torno Fraver M-850 del cual se dieron sus características en el capítulo anterior.

#### VI.1 MOTORES.

Los motores utilizados en las máquinas herramientas pueden ser clasificados en dos grupos principales:

- Motores de potencia.
- Motores de avance.

##### 1.1 MOTORES DE POTENCIA.

Los motores de potencia son los encargados de accionar el husillo principal de la máquina. En el caso del torno, el motor

de potencia acciona el cabezal.

Entre los motores de potencia mas utilizados estan:

- motores de corriente alterna
- motores de corriente continua
- motores hidráulicos

Hasta hace unos años los motores mas utilizados eran los de corriente alterna, de tipo trifásico asíncrono con rotor en jaula de ardilla.

En la actualidad se utilizan los motores de corriente continua. Estos motores presentan una serie de ventajas sobre los demás. Respecto a los motores de corriente alterna, los de corriente continua tienen la ventaja de una mejor regulación, gran estabilidad y un par de arranque mas alto. Sin embargo, presentan el inconveniente de tener colector y escobillas, lo cual implica mantenimiento preventivo regular.

Un ejemplo de motor de potencia lo tenemos en el motor de corriente continua marca Siemens 2KWS 511 con las siguientes características:

- potencia nominal 19.5 KW
- velocidad nominal 1100 rpm.
- velocidad máxima alcanzable 4500 rpm.
- potencia a 50 rpm. 0.87 KW
- intensidad nominal de inducido 59 A (aprox.)

Una de las mayores ventajas de los motores de corriente continua es su simplicidad en la regulación. Para ello se utilizan reguladores de tiristores, y en los equipos mas modernos de transistores.

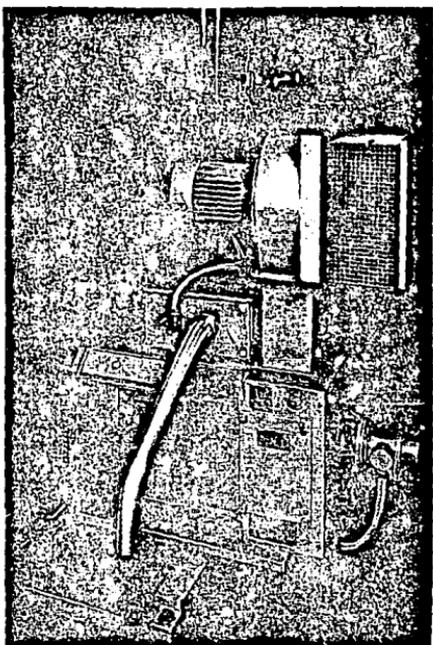


Fig. 6.1 Motor de corriente continua para accionamientos del cabezal.

Para esta regulación se forma un lazo cerrado con el motor, dinamotacométrica, y regulador. De este modo es posible controlar la velocidad del husillo principal sin importar la carga a la que se someta, así como su sentido de giro y la aceleración y desaceleración.

#### 1.2 MOTORES DE AVANCE.

Los motores de avance son los encargados del movimiento de

los ejes de la máquina. Físicamente, tienen dimensiones más reducidas que los motores de potencia, siendo su potencia también menor.

Entre los motores de avance más utilizados están:

- motores paso a paso
- motores de corriente alterna
- motores de corriente continua
- motores hidráulicos

De estos motores los más utilizados en máquinas herramienta con control numérico son los motores paso a paso y los motores de corriente continua.

#### 1.2.1 MOTORES PASO A PASO.

Los motores paso a paso son utilizados en mecanismos de lazo abierto. La unidad de cálculo "calcula" la distancia que hay que recorrer y manda un determinado número de impulsos para que esto se realice. A cada impulso recibido, el motor girará un paso y así hasta que se recorra la distancia.

La mayor ventaja de estos motores es, que debido a su principio de funcionamiento, pueden ser controlados directamente por los impulsos emitidos por la unidad de cálculo. Como se dijo anteriormente, por cada impulso que recibe el motor, este girará un ángulo  $\theta$  fijo. La velocidad se regulará, entonces, con la frecuencia a la que se suministren los pulsos.

Las características más importantes de un motor paso a paso son:

- El paso angular varía entre  $1^\circ$  y  $10^\circ$ .
- Número de pasos por vuelta 360 o 36.

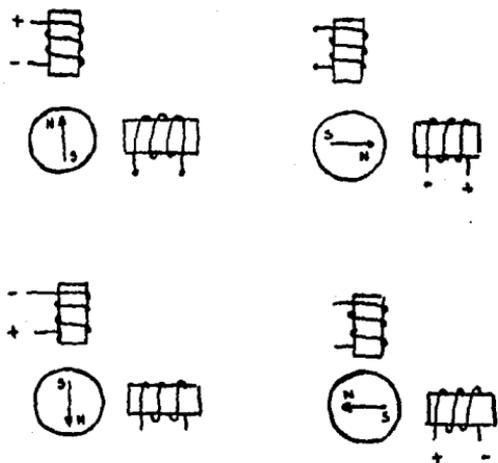


Fig. 6.2 Principio de funcionamiento de un motor paso a paso.

- La velocidad alcanzable es de 10 000 pasos/sg.
- Su precisión es de alrededor de 3% del desplazamiento angular.
- El error que pueda existir en el giro no es acumulativo y no dependerá del número de pasos.

Los motores paso a paso, a pesar de ser muy utilizados por su simplicidad y bajo precio, tienen dos inconvenientes muy importantes. El primero es, que el cambio de un paso al siguiente suele ser muy brusco y esto ocasiona fallos en el acabado de la pieza. El segundo inconveniente es que estos motores tienen un par de arranque bajo en comparación con los demás, lo que reduce la velocidad de arranque y parada así como la precisión en el

posicionado.

Dado los inconvenientes que estos motores tienen, además del desarrollo tecnológico alcanzado por los motores de corriente continua, los motores paso a paso han ido perdiendo terreno. En la actualidad se utilizan solamente en sistemas de control económicos.

### 1.2.2 MOTORES DE CORRIENTE CONTINUA.

Los motores de corriente continua son utilizados en sistemas de lazo cerrado que se forman entre un regulador, sistema de medición y dinamotacométrica. El control envía una señal de movimiento a realizar y su velocidad al regulador, este a su vez manda otra señal a los motores para que la orden del control se realice, la dinamotacométrica y el sistema de medición cerrarán el lazo señalando la velocidad y la posición real del desplazamiento.

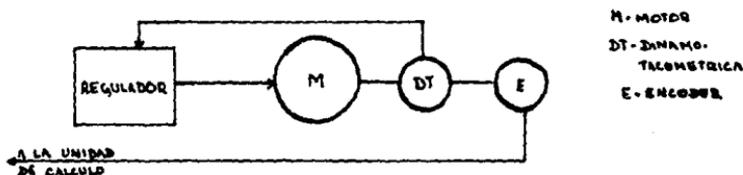


Fig. 6.3 Sistema de lazo cerrado de un motor de corriente continua.

Los progresos logrados en el diseño y la construcción de estos motores ha sido el factor decisivo en la creciente aplicación de estos en las máquinas herramienta.

Los motores de corriente continua más comúnmente utilizados en control numérico son los de imanes permanentes o los de

excitación independiente. Son controlados por armadura. Esto es, variando la tensión aplicada a la armadura se varían las velocidades. Los motores más recientes tienen las características de baja velocidad, alto par y una alta capacidad térmica.

Los motores de corriente continua controlados por armadura permiten mover los carros en ambas direcciones mediante el cambio de polaridad de la tensión de alimentación.

Entre las características importantes de estos motores podemos enumerar:

- el par es proporcional a la corriente y es constante en toda la gama de velocidades.
- pares elevados de arranque.
- amplias gamas de variación de velocidad.
- alto rendimiento.
- bajo momento de inercia que permite una velocidad de respuesta elevada.

Entre los inconvenientes que presentan los motores de corriente continua se encuentran el uso de escobillas y colector, por esto es necesario un mantenimiento preventivo.

Estos motores son muy empleados en accionamientos de avance por su sencilla regulación, un posicionamiento preciso y aceleraciones y desaceleraciones rápidas.

Como ejemplo de un motor de corriente continua tenemos el Siemens 1HU3054-0AC01 que está representado en la figura 6.4 (a):

- Par de giro a rotor parado      2.2 Nm.
- Velocidad de giro máxima      2 000 rpm.
- Intensidad del inducido      3.3 A

- Tensión de inducido 174 V.
- Momento de inercia 0.0012 Kgm.

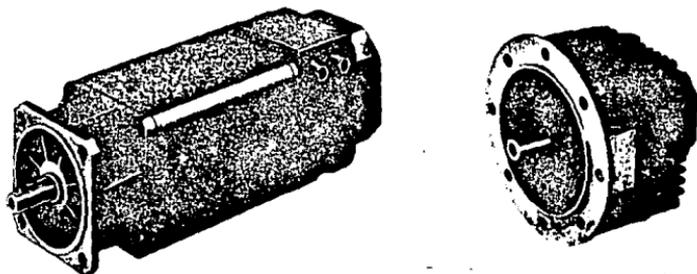


Fig. 6.4 Motores de avance de corriente continua.

## VI.2 REGULACION.

Los dispositivos encargados de regular la velocidad de un motor reciben el nombre de reguladores.

Ya que los motores más utilizados en control numérico son los de paso a paso y los de corriente continua, se procederá a presentar los sistemas de regulación más utilizados en la actualidad para estos motores.

### 2.1 REGULACION DE MOTORES PASO A PASO.

El sistema de regulación de motores paso a paso esta constituido principalmente por tres bloques o etapas:

- + Un generador de pulsos de frecuencia variable.
- + Un conmutador que permite distribuir los impulsos sucesivamente a cada fase del motor.
- + Una etapa de amplificación que dará a los impulsos la

potencia necesaria para mover el motor.

El generador de impulsos puede ser un oscilador o un convertidor tensión-frecuencia. este último sistema es el más utilizado. Al convertidor llegará una tensión mandada por el control, llamada tensión de consigna, que será la que define la velocidad de giro. Esta tensión generará un tren de impulsos de frecuencia proporcional a su magnitud. La tensión de consigna deberá limitarse para que la frecuencia máxima del convertidor correspondiente a la velocidad máxima que el motor pueda alcanzar sin pérdida de paso. Estas características vienen dadas en las curvas de cada motor.

En este bloque existe también un control de aceleración que se encargará de garantizar que todas las maniobras (arranque, parada, cambio de sentido de giro) se realicen dentro de los límites del motor.

El conmutador es el encargado de distribuir los impulsos a las fases del motor de acuerdo a la secuencia que se le pide. Esta formado por tres grupos:

- + circuito conmutador propiamente dicho.
- + circuito de parada.
- + circuito selector del sentido de giro.

El circuito conmutador se encargará de recibir los impulsos y generar las señales que irán al motor. El número de señales será de acuerdo al número de fases del motor. Por ejemplo, en un motor de 4 polos existirán dos señales defasadas  $60^\circ$  grados y otras dos inversas a las anteriores.

El circuito de parada está constituido por un inhibidor de

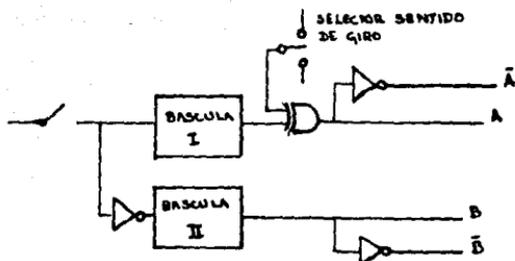


Fig. 6.5 Diagrama de un circuito de conmutación con sus diferentes salidas.

impulsos. Al cortarse la alimentación de impulsos, el motor quedará en la última posición alcanzada manteniendo el var.

El circuito selector del sentido de giro se encargará de seleccionar, por medio de la inversión de la polaridad de la tensión, en que sentido deberá realizarse el giro.

El amplificador sirve para dar a los impulsos la potencia suficiente para poder atacar al motor.

Este circuito recibe los impulsos del conmutador, que previamente han pasado por una etapa preamplificadora, y con ellos atacan las bases de los transistores que conmutan las fases. Estos transistores trabajan en estado de saturación y corte. Estos transistores excitarán y desexcitarán bobinas para que éstas ataquen al motor.

## 2.2 REGULACION DE MOTORES DE CORRIENTE CONTINUA.

Los accionamientos realizados con motores de corriente

continua tienen que ser bidireccionales; para ello, los reguladores de los motores deberán de tener la característica de inversión de polaridad. Los equipos más utilizados en control numérico para la regulación de estos motores son:

- + reguladores de tiristores.
- + reguladores de transistores.

### 2.2.1 REGULADORES DE TIRISTORES.

Un circuito básico, a bloques, se presenta en la figura 6.6.

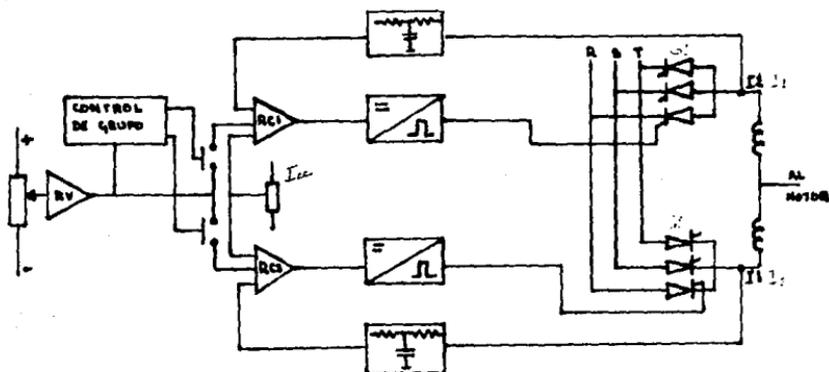


Fig. 6.6 Bloques que conforman un regulador de tiristores.

El sentido de giro del motor está dado por la polaridad de la tensión de mando. Esta tensión se compara en el regulador de velocidad RV con la tensión que manda la dinamo-tacométrica DT para corregir las variaciones de velocidad que se puedan presentar.

La unidad de control, gobernada por una señal de referencia, será la que seleccione cuál de los dos grupos entrará en acción.

Supongamos que la tensión de mando es positiva; la unidad de

control cerrará al grupo G1 y dejará abierta a G2. De esta forma la tensión de consigna se tratará a través de RC1 y el motor girará, por ejemplo, a la derecha.

Cerrado el circuito del grupo 1, el regulador RC1 recibe la señal de referencia de RV y la de la corriente de circulación  $I_{cc}$ , estas son comparadas con la corriente del grupo I1. El regulador RC2 recibe solamente la tensión de  $I_{cc}$  y la compara con I2. En este caso, I2 representa la medida de la corriente de circulación, mientras que I1 representa la suma de las corrientes de circulación y la del motor.

Los reguladores RC1 y RC2 producirán una tensión de consigna que pasará al convertidor tensión-fase de impulso, que producirá los disparos con el ángulo adecuado para cumplir las características requeridas de velocidad.

La limitación de la corriente de circulación  $I_{cc}$  permite controlar la corriente de frenado, con esto se logra que los frenados y las inversiones de sentido de giro se hagan más o menos rápido.

Los reguladores de tiristores son utilizados tanto para accionamientos de avance como para accionamientos de cabezal, aunque actualmente, debido al desarrollo que han alcanzado los reguladores de transistores, han sido ligeramente desplazados en los accionamientos de avance, quedando su utilización en los accionamientos de cabezal.

#### 2.2.2 REGULADORES DE TRANSISTORES. (CHOPPERS).

Los choppers permiten, a partir de una corriente continua, alimentar una carga con una tensión regulable desde una tensión

cero o nula hasta la tensión máxima.

El chopper es un interruptor colocado entre una fuente de corriente continua y el motor de c.c.

El principio de funcionamiento de estos reguladores es la modulación del ancho de pulso. Este ancho, y por lo tanto la conducción de los transistores, se obtiene por medio de un comparador. En el se comparan dos señales: la salida del regulador de velocidad y la salida de un generador de dientes de sierra a una frecuencia fija. Los impulsos obtenidos son repartidos adecuadamente a los transistores. Previamente los impulsos son pasados por una etapa preamplificadora para darles la potencia suficiente para atacar los transistores.

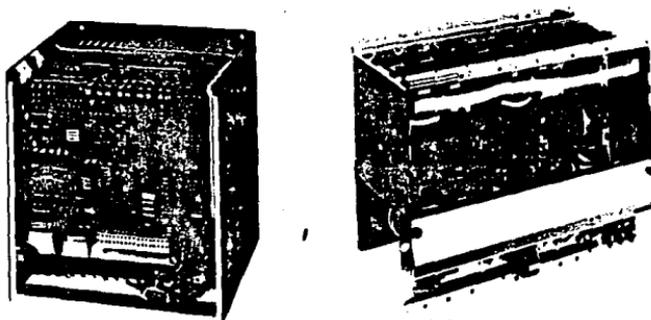


Fig. 6.7 Reguladores a) tiristores. b) transistores.

En la actualidad los equipos de transistores son sumamente empleados en los accionamientos de avance gracias a las siguientes características: frecuencias de funcionamiento muy superiores a las mecánicas de la máquina lo que evita problemas de resonancia, alta ganancia con respuesta rápida, banda pasante muy amplia (del orden de 300 hz. mínimo), bajo nivel de rizado.

#### IV.3 CONTROL NUMÉRICO.

Como se ha visto anteriormente, el control numérico es el cerebro de la máquina. Este será el que, de acuerdo a lo que se le haya programado, tomará las decisiones basándose en los datos que aporten los sensores y captadores de la máquina herramienta.

Entre las características más importantes de los controles numéricos para tornos que actualmente se pueden conseguir en el mercado están:

- Posibilidad de programar interpolaciones lineales y circulares. Esta posibilidad se encuentra en todos los controles.

- Dos ejes controlables simultáneamente (X, Z). Posibilidad presente en todos los controles.

- Programación absoluta e incremental. Todos los controles.

- Mínimo incremento programable 0.01 - 0.001. La mayoría de los tornos con control numérico se programan en 0.001.

- Máxima dimensión programable 9999.999. Todos los controles.

- Corrección del avance programado de 0 - 200%. Esto se logra con un selector en el panel de control que permite seleccionar el porcentaje deseado.

- Códigos de perforación ISO y EIA. (para las características de estos códigos vease el capítulo III).

- Programación del avance en mm/min. o mm/rev.

- Número de herramientas disponibles: 8. El número de herramientas que se pueden encontrar en los tornos comerciales con una torreta porta-herramientas varía entre 8 y 18. Si la máquina cuenta con dos o tres torretas entonces dispondrá de 10 a 24

herramientas.

- Número de correctores de herramienta: 8 pares. Existe un par de corrección por cada herramienta para corregir diámetro y longitud entre 99.999 mm. El número de correctores puede llegar hasta 99 pares en algunos controles.

- Ciclos fijos tales como roscado, cilindrado y refrentado. Algunos otros se pueden incluir bajo demanda.

- Programación de los desplazamientos en mm. o pulgadas.

- Entradas de datos por teclado integrado o cinta perforada.

- Capacidad de memoria para 10 mts. de cinta perforada. Este dato puede variar entre 10 y 100 mts.

- Funcionamiento bloque a bloque y automático.

- Autodiagnóstico. Esta característica solo se presenta en algunos controles.

La mayoría de los controles cuentan con un panel de control, bien sea incorporado al mismo control o independiente de este.

Desde este panel de control se pueden realizar diversas operaciones tales como corrección de la velocidad de avance y rotación del cabezal, desplazamientos rápidos de los ejes, selección del modo de funcionamiento del control (entrada/salida de datos, manual/automático, etc.), parada de emergencia, encendido y apagado del control y en algunos casos funciones especiales como recorridos de prueba, funcionamiento bloque a bloque, selección de bloques preestablecidos. Cuenta además con un generador manual de impulsos que se utiliza para posicionamientos manuales de precisión (cada impulso desplaza el carro en 0.001).

Gracias al desarrollo de estos sistemas, en la actualidad los

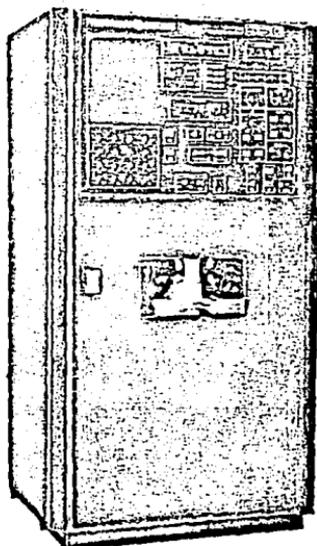


Fig. 6.8 Control numérico General Electric modelo Mark Century 550 TX para tornos.

controles numéricos combinan una amplia gama de prestaciones en un espacio muy reducido, lo que permite una fácil colocación en las máquinas herramienta. La tecnología utilizada en la mayoría de los controles numéricos es la de los circuitos integrados de la familia TTL.

#### VI.4 SENSORES Y ACTUADORES.

Los sensores o captadores son los elementos que mandan la información al control.

Además de los captadores de posición, presentados en los capítulos anteriores, existen otros sensores en la máquina herramienta. Estos sensores controlarán funciones tales como fines

de carrera, apertura y cierre del plato, posición del contrapunto, posicionado de la torreta porta-herramienta.

Los sensores que detectan funciones tales como la apertura o cierre del plato y otras donde interviene el sistema hidráulico o el neumático, son sensores que cambian su estado de acuerdo a la presión.

Los sensores que detectan funciones como la posición de la torreta y su bloqueo, necesitan una seguridad mayor que un simple cambio de presión por el movimiento de un émbolo. Para ello se utilizan sensores de proximidad de tipo magnético. Estos sensores

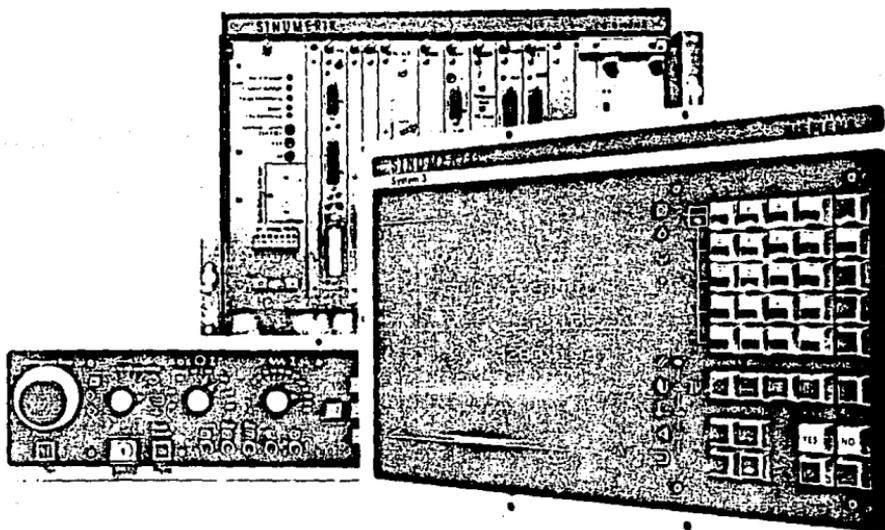


Fig 6.9 Control numérico SINUMERIK 3T para tornos. Equipo formado por control, autómeta y panel de control.

funcionan cerrando un circuito al tener frente a ellos, y a una distancia muy pequeña, un elemento metálico como puede ser un diente de un engrane. De esta manera, por ejemplo, a cada posición de la torreta se le hace coincidir un diente de un engrane y así, por cada señal recibida del sensor sabemos que ha cambiado una herramienta y cuantas se han movido en total conociendo la posición en todo momento de acuerdo a la referencia.

Los actuadores son elementos a los cuales les llegan las señales de control para efectuar un movimiento.

Los relevadores son los elementos actuadores más utilizados, a ellos llega la señal de mando del control y son ellos los que se encargan de darle el nivel adecuado para atacar al elemento motor.

En la actualidad se está utilizando el mando de interconexión programable, conocido más comúnmente como autómata. Con el uso de este mando se permite reducir notablemente el uso de los relevadores.

El mando de interconexión son un grupo de entradas y salidas, que pueden ser variadas de acuerdo a las características de la máquina, a las cuales, por medio de un programa que les da el fabricante, se les hace realizar funciones de uno o una serie de relevadores. El mando de interconexión esta en estrecho contacto con el control numérico, ya que a través de el se realizan las maniobras que anteriormente se realizaban con relevadores.

## VI.5 HERRAMIENTAS.

La herramienta es el elemento que por su forma y características modifica la forma de un cuerpo hasta conseguir la pieza deseada.

La importancia de una buena relación entre máquina y herramienta es fundamental, ya que ambas darán el máximo rendimiento si la elección es adecuada.

Actualmente existen en el mercado una gran cantidad de herramientas estándar. Con una selección adecuada de ellas se puede lograr todo tipo de mecanizados. Las herramientas más utilizadas en máquinas con control numérico son las plaquitas. Estas son fijadas sobre portaplacas y colocadas en la torreta.

En los tornos de control numérico se utiliza la torreta porta-herramientas. Como ya se dijo anteriormente esta torreta tiene capacidad de entre 8 y 18 herramientas dependiendo de las características de cada una y de la máquina en la cual están. En cada una de las posiciones, llamadas estaciones, existen dos alojamientos uno en sentido radial y otro en sentido axial, en ellos se fijan las herramientas para efectuar mecanizados de exteriores o interiores respectivamente.

Existen tornos con la posibilidad de colocar herramientas que requieren movimiento de giro, tales como machos de roscar, brocas, fresas, etc., estas herramientas sirven para complementar los trabajos de mecanizado del torno.

## VI.6 AUTOMATIZACION DE LA MAQUINA HERRAMIENTA.

Después de presentar el equipo que se utiliza en las máquinas herramienta actuales con control numérico, se pasará a dar una idea del equipamiento que deberá tener el torno sobre el cual estamos trabajando para lograr su automatización.

Es importante tener en cuenta que automatizar significa reducir al mínimo la intervención del operario en la mecanización de las piezas. Tomando en cuenta lo anterior y las posibilidades que presenta el torno sobre el que se está trabajando, se presentaran algunas alternativas para conseguir la automatización más completa posible.

En esta primera opción se conservan un accionamiento principal y el sistema de herramientas tal y como se presentan en este momento en la máquina. De esta forma, los cambios de velocidad del cabezal y los cambios de herramienta se seguirán realizando en forma manual.

El accionamiento de los ejes se realizará por medio de motores paso a paso con su respectiva reducción de engranes de acuerdo a lo que actualmente presenta la máquina.

Para poder mecanizar roscas de cualquier paso, se puede colocar un generador de impulsos acoplado directamente al eje del husillo principal. De esta forma se podrá sincronizar la rotación del cabezal con el desplazamiento de los carros movidos por los motores paso a paso.

Los motores paso a paso junto con el control numérico formarán un servosistema de lazo abierto que controlará el mecanizado de la pieza. De esta forma el operario se despreocupa

de los accionamientos, control o verificación manual de los movimientos de las herramientas, ocupándose únicamente de la carga y descarga de las piezas y de los cambios de velocidad que sean necesarios.

El control numérico que llevará esta máquina deberá ser sencillo, de hecho, el mismo sistema de medida que se ha propuesto en el capítulo anterior puede utilizarse como control. Adaptando el contador de acuerdo a las características del motor paso a paso que sea este utilizando, se podrá lograr que, en la diferencia entre los puntos de origen y final de mecanizado, se generen el número de pulsos necesarios para realizar los movimientos de los carros.

Sería interesante incorporar al control funciones de interpolación lineal y circular de acuerdo a las características dadas en los capítulos anteriores.

En el carro de la máquina se podrá colocar un generador manual de impulsos que permitirá desplazar los carros longitudinal y transversalmente a mano de forma controlada y precisa.

Es importante dejar claro que el equipamiento que se ha expuesto es de tipo sencillo y económico y con un sistema de control básico. Si se le quiere incorporar un control numérico más sofisticado habrá que pensar en la incorporación de un microprocesador al sistema de manera que pueda recibir programas y ejecutarlos. Independientemente del equipo de control que se incorpore a la máquina, el equipamiento que se ha propuesto sigue siendo válido para cualquiera de ellos.

Otra opción que se puede utilizar para automatizar la

máquina es el que se presenta a continuación.

En esta opción el torno se automatiza totalmente de modo que el operador únicamente colocará el programa en el control, las herramientas necesarias en la torreta y cuidará la carga y descarga de las piezas.

El accionamiento principal se realizará por medio de un motor de corriente continua controlado por un regulador de velocidad. Por lo expuesto anteriormente en este capítulo, se recomienda el uso de un regulador de transistores para este caso. Colocando una dinamotacométrica acoplada directamente al eje del motor se obtendrá la velocidad real del motor, con este dato se realimentará al regulador, teniendo así un lazo cerrado para el control de velocidad del motor sin importar la carga a la que se le someta. Con el mismo regulador se controlará también el sentido de giro y las aceleraciones y desaceleraciones.

Para el movimiento de los ejes se utilizarán motores de corriente continua de alto par y alta inercia controlados por reguladores de transistores. Al igual que el motor del cabezal, estos motores contarán con una dinamotacométrica para cerrar el lazo. Estos motores estarán directamente acoplados a los ejes que realizan el movimiento, si esto no es posible se recomienda utilizar una transmisión 1:1.

El sistema de herramientas que tiene esta máquina consta de una torreta de cuatro posiciones. Para poder utilizar las cuatro caras será necesario que la torreta sea capaz de girar y detenerse cada  $90^\circ$ , esto se podrá lograr con un control hidráulico. Aunque la posición de la herramienta puede ser corroborada

visualmente será necesario colocar sensores que capten cual de las caras de la torreta esta en posición de trabajo.

El movimiento de la pínula del contrapunto se realizará por medio de electroválvulas.

El control numérico que se utilizará para esta opción deberá tener como características: contorneado en dos ejes, con interpolación lineal y circular; entrada de datos por cinta y manual; códigos de programación ISO y EIA; posibilidad de programación en milímetros y pulgadas; programación de los avances en mm/rev. o mm/min.; posibilidad de efectuar roscados; memoria también; memoria para almacenar correcciones de herramienta.

El sistema de medida colocado en la máquina dará los datos de posición al control para que estos sean utilizados en los calculos que sean necesarios. Tal vez sea necesario el uso de una interfase para la captación de los datos.

El torno se podrá complementar con refrigeración para el mecanizado ( la máquina cuenta actualmente con una bomba para este fin), ventilación para los motores, central hidráulica, etc.

Esta segunda opción es más completa que la anterior y como se dijo anteriormente automatiza completamente la máquina. Como es de suponerse, este sistema es mas caro que el anterior y por las características del equipo, mas complejo.

Existe la posibilidad de hacer combinaciones con ambas opciones, pero en cada caso será necesario hacer un estudio en particular para cada uno.

## CONCLUSIONES.

Ante la actual necesidad de automatizar las máquinas para lograr una mayor y mejor producción, ha sido necesario implantar nuevos sistemas que avuden a este fin. Esto se ha logrado empleando los nuevos implementos que día a día han ido apareciendo en el mercado, hasta llegar, en nuestros días, a la automatización completa de la máquina herramienta y el uso del robot.

Los adelantos tecnológicos han avudado a que la industria haya alcanzado un desarrollo mucho mayor en estos últimos años. Anteriormente, un mecanizado en una máquina herramienta, era un trabajo casi artesanal en el cual, el maquinado de una pieza, se tomaba horas. En la actualidad, gracias al desarrollo logrado en máquinas herramienta, es posible fabricar la misma pieza que años atrás tardaba horas en segundos teniendo, además la misma o una mejor calidad.

Esto se ha logrado con la incorporación de sistemas, como el control numérico, a las máquinas herramienta. En el presente trabajo se ha tratado de presentar al control numérico, las partes que lo componen, su programación, etc, que es el sistema de automatización más moderno que existe.

Se han presentado, tanto las características de los controles existentes en el mercado, como las características de un sistema que puede ser utilizado en una máquina que no fue diseñada para operar con control numérico.

Sería interesante, que se tomaran estos puntos en cuenta y alguna persona interesada en el tema, continuara el trabajo que en

esta tesis se ha comenzado. Para ello, se ha dedicado el último capítulo del presente estudio, sentando las bases para un trabajo futuro.

Se ha expuesto también, el principio de la automatización de ésta máquina. El lector que se le ha colocado, junto con las escalas lineales, han sido diseñadas de forma que puedan ser compatibles con un futuro control numérico que se le pueda incorporar a ésta máquina.

Es de este tipo, en favor de las escalas lineales, lo sustituyen con grandes ventajas a los sistemas tradicionales de medición (escala graduada con nonio, regla óptica, etc.) y suponen una importante mejora en instalaciones nuevas o en renovación de las usadas por un bajo costo. Las características de estos equipos, ofrecen un conjunto de prestaciones que contribuyen notablemente a mejorar la precisión de los trabajos, ahorrando tiempo y mano de obra y minimizando el riesgo de errores humanos que podrían resultar costosos.

Con sistemas de este tipo, se han logrado reducciones de hasta un 50% del tiempo en el mecanizado de piezas. Con el costo que ésta reducción supone, su amortización es casi inmediata. Es de mencionarse también, que su operación no es complicada y por lo tanto, un operador medianamente capacitado es capaz de manejarlo.

Es de mencionarse también, que el presente estudio puede servir, tal vez en un futuro no muy lejano, como un libro de texto para empesar a conocer lo que es y como funciona un control numérico.

**APENDICE**

## CD4013BM/CD4013BC Dual D Flip-Flop

### General Description

The CD4013B dual D flip-flop is a monolithic complementary MOS (CMOS) integrated circuit constructed with N- and P-channel enhancement mode transistors. Each flip-flop has independent data, set, reset, and clock inputs and "Q" and "Q̄" outputs. These devices can be used for shift register applications, and by connecting "Q" output to the data input, for counter and toggle applications. The logic level present at the "D" input is transferred to the Q output during the positive-going transition of the clock pulse. Setting or resetting is independent of the clock and is accomplished by a high level on the set or reset line respectively.

### Features

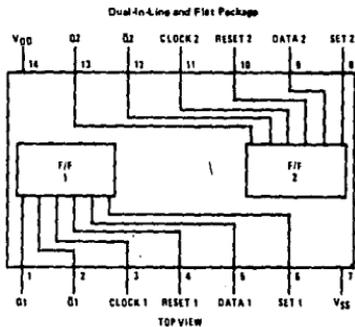
- Wide supply voltage range
- High noise immunity
- Low power TTL compatibility

3.0V to 15V  
0.45V<sub>DD</sub> (typ.)  
fan out of 2 driving 74L  
or 1 driving 74LS

### Applications

- Automotive
- Data terminals
- Instrumentation
- Medical electronics
- Alarm system
- Industrial electronics
- Remote metering
- Computers

### Connection Diagram



### Truth Table

CLT	D	R	S	Q	Q̄
—	0	0	0	0	1
—	1	0	0	1	0
—	x	0	0	0	Q̄
x	x	1	0	0	1
x	x	0	1	1	0
x	x	1	1	1	1

No change  
1 = Level change  
x = Don't care case

## Absolute Maximum Ratings

(Notes 1 and 2)

V <sub>DD</sub> dc Supply Voltage	-0.5 to +18 V <sub>DC</sub>
V <sub>IN</sub> Input Voltage	-0.5 to V <sub>DD</sub> + 0.5 V <sub>DC</sub>
T <sub>S</sub> Storage Temperature Range	-65°C to +180°C
P <sub>D</sub> Package Dissipation	500 mW
T <sub>L</sub> Lead Temperature (Soldering, 10 seconds)	300°C

## Recommended Operating Conditions

(Note 2)

V <sub>DD</sub> dc Supply Voltage	+3 to +15 V <sub>DC</sub>
V <sub>IN</sub> Input Voltage	0 to V <sub>DD</sub> V <sub>DC</sub>
T <sub>A</sub> Operating Temperature Range	-55°C to +125°C
CD4013BM	
CD4013BC	-40°C to +85°C

## DC Electrical Characteristics 4013BM (Note 2)

PARAMETER	CONDITIONS	-55°C		25°C			125°C		UNITS
		MIN	MAX	MIN	TYP	MAX	MIN	MAX	
I <sub>DD</sub> Quiescent Device Current	V <sub>DD</sub> = 5V		1.0			1.0		30	μA
	V <sub>DD</sub> = 10V		2.0			2.0		60	μA
	V <sub>DD</sub> = 15V		4.0			4.0		120	μA
V <sub>OL</sub> Low Level Output Voltage	I <sub>O1</sub> < 1.0μA								
	V <sub>DD</sub> = 5V		0.05			0.05		0.05	V
	V <sub>DD</sub> = 10V		0.05			0.05		0.05	V
	V <sub>DD</sub> = 15V		0.05			0.05		0.05	V
V <sub>OH</sub> High Level Output Voltage	I <sub>O1</sub> < 1.0μA								
	V <sub>DD</sub> = 5V	4.95		4.95			4.95		V
	V <sub>DD</sub> = 10V	9.95		9.95			9.95		V
	V <sub>DD</sub> = 15V	14.95		14.95			14.95		V
V <sub>IL</sub> Low Level Input Voltage	I <sub>I1</sub> < 1.0μA								
	V <sub>DD</sub> = 5V, V <sub>O</sub> = 0.5V or 4.5V		1.5			1.5		1.5	V
	V <sub>DD</sub> = 10V, V <sub>O</sub> = 1.0V or 9.0V		3.0			3.0		3.0	V
	V <sub>DD</sub> = 15V, V <sub>O</sub> = 1.5V or 13.5V		4.0			4.0		4.0	V
V <sub>IH</sub> High Level Input Voltage	I <sub>I1</sub> < 1.0μA								
	V <sub>DD</sub> = 5V, V <sub>O</sub> = 0.5V or 4.5V	3.5		3.5			3.5		V
	V <sub>DD</sub> = 10V, V <sub>O</sub> = 1.0V or 9.0V	7.0		7.0			7.0		V
	V <sub>DD</sub> = 15V, V <sub>O</sub> = 1.5V or 13.5V	11.0		11.0			11.0		V
I <sub>OL</sub> Low Level Output Current	V <sub>DD</sub> = 5V, V <sub>O</sub> = 0.4V	0.64		0.51	0.88		0.36		mA
	V <sub>DD</sub> = 10V, V <sub>O</sub> = 0.5V	1.6		1.3	2.25		0.9		mA
	V <sub>DD</sub> = 15V, V <sub>O</sub> = 1.5V	4.2		3.4	8.8		2.4		mA
	V <sub>DD</sub> = 5V, V <sub>O</sub> = 4.6V	-0.64		-0.51	-0.88		-0.36		mA
I <sub>OH</sub> High Level Output Current	V <sub>DD</sub> = 10V, V <sub>O</sub> = 9.5V	-1.6		-1.3	-2.25		-0.9		mA
	V <sub>DD</sub> = 15V, V <sub>O</sub> = 13.5V	-4.2		-3.4	-8.8		-2.4		mA
	V <sub>DD</sub> = 15V, V <sub>IN</sub> = 0V		-0.1		-10 <sup>-5</sup>		-0.1		μA
	V <sub>DD</sub> = 15V, V <sub>IN</sub> = 15V		0.1		10 <sup>-5</sup>		0.1		μA

## DC Electrical Characteristics 4013BC (Note 2)

PARAMETER	CONDITIONS	-40°C		25°C			85°C		UNITS
		MIN	MAX	MIN	TYP	MAX	MIN	MAX	
I <sub>DD</sub> Quiescent Device Current	V <sub>DD</sub> = 5V		4.0			4.0		30	μA
	V <sub>DD</sub> = 10V		8.0			8.0		60	μA
	V <sub>DD</sub> = 15V		16.0			16.0		120	μA
V <sub>OL</sub> Low Level Output Voltage	I <sub>O1</sub> < 1.0μA								
	V <sub>DD</sub> = 5V		0.05			0.05		0.05	V
	V <sub>DD</sub> = 10V		0.05			0.05		0.05	V
	V <sub>DD</sub> = 15V		0.05			0.05		0.05	V
V <sub>OH</sub> High Level Output Voltage	I <sub>O1</sub> < 1.0μA								
	V <sub>DD</sub> = 5V	4.95		4.95			4.95		V
	V <sub>DD</sub> = 10V	9.95		9.95			9.95		V
	V <sub>DD</sub> = 15V	14.95		14.95			14.95		V
V <sub>IL</sub> Low Level Input Voltage	I <sub>I1</sub> < 1.0μA								
	V <sub>DD</sub> = 5V, V <sub>O</sub> = 0.5V or 4.5V		1.5			1.5		1.5	V
	V <sub>DD</sub> = 10V, V <sub>O</sub> = 1.0V or 9.0V		3.0			3.0		3.0	V
	V <sub>DD</sub> = 15V, V <sub>O</sub> = 1.5V or 13.5V		4.0			4.0		4.0	V

## DC Electrical Characteristics (Cont'd.) CD4013BC (Note 2)

PARAMETER	CONDITIONS	-40°C		25°C			85°C		UNITS
		MIN	MAX	MIN	TYP	MAX	MIN	MAX	
V <sub>IH</sub>	High Level Input Voltage  I <sub>QI</sub>   < 10 μA V <sub>DD</sub> = 5V, V <sub>O</sub> = 0.5V or 4.5V V <sub>DD</sub> = 10V, V <sub>O</sub> = 10V or 9.0V V <sub>DD</sub> = 15V, V <sub>O</sub> = 15V or 13.5V	3.5		3.5			3.5		V
				7.0			7.0		V
		11.0		11.0			11.0		V
I <sub>OL</sub>	Low Level Output Current V <sub>DD</sub> = 5V, V <sub>O</sub> = 0.4V V <sub>DD</sub> = 10V, V <sub>O</sub> = 0.5V V <sub>DD</sub> = 15V, V <sub>O</sub> = 1.5V	0.52		0.44	0.88		0.36		mA
		1.3		1.1	2.25		0.9		mA
		3.6		3.0	8.8		2.4		mA
I <sub>OH</sub>	High Level Output Current V <sub>DD</sub> = 5V, V <sub>O</sub> = 4.6V V <sub>DD</sub> = 10V, V <sub>O</sub> = 9.5V V <sub>DD</sub> = 15V, V <sub>O</sub> = 13.5V	-0.52		-0.44	-0.88		-0.36		mA
		-1.3		-1.1	-2.25		-0.9		mA
		-3.6		-3.0	-8.8		-2.4		mA
I <sub>IN</sub>	Input Current V <sub>DD</sub> = 15V, V <sub>IN</sub> = 0V V <sub>DD</sub> = 15V, V <sub>IN</sub> = 15V	-0.3		-10 <sup>-5</sup>		-0.3		-1.0	μA
		0.3		10 <sup>-5</sup>		0.3		1.0	μA

Note 1: "Absolute Maximum Ratings" are those values beyond which the safety of the device cannot be guaranteed, they are not meant to imply that the devices should be operated at these limits. The table of "Recommended Operating Conditions" and "Electrical Characteristics" provides conditions for actual device operation.

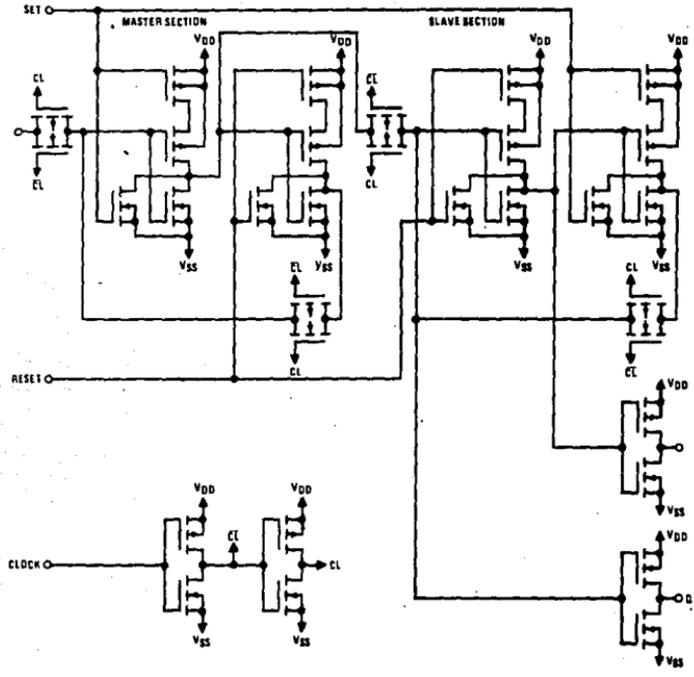
Note 2: V<sub>SS</sub> = 0V unless otherwise specified.

AC Electrical Characteristics T<sub>A</sub> = 25°C, C<sub>L</sub> = 50 pF, R<sub>L</sub> = 200k, unless otherwise noted

PARAMETER	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
<b>CLOCK OPERATION</b>					
t <sub>PHL</sub> or t <sub>PLH</sub>	Propagation Delay Time V <sub>DD</sub> = 5V V <sub>DD</sub> = 10V V <sub>DD</sub> = 15V		200	350	ns
			80	160	ns
			65	120	ns
t <sub>THL</sub> or t <sub>TLH</sub>	Transition Time V <sub>DD</sub> = 5V V <sub>DD</sub> = 10V V <sub>DD</sub> = 15V		100	200	ns
			50	100	ns
			40	80	ns
t <sub>WL</sub> or t <sub>WH</sub>	Minimum Clock Pulse Width V <sub>DD</sub> = 5V V <sub>DD</sub> = 10V V <sub>DD</sub> = 15V		100	200	ns
			40	80	ns
			37	65	ns
t <sub>RCL</sub> , t <sub>FCL</sub>	Maximum Clock Rise and Fall Time V <sub>DD</sub> = 5V V <sub>DD</sub> = 10V V <sub>DD</sub> = 15V			15	μs
				10	μs
				5	μs
t <sub>SU</sub>	Minimum Set-Up Time V <sub>DD</sub> = 5V V <sub>DD</sub> = 10V V <sub>DD</sub> = 15V		20	40	ns
			15	30	ns
			12	25	ns
f <sub>CL</sub>	Maximum Clock Frequency V <sub>DD</sub> = 5V V <sub>DD</sub> = 10V V <sub>DD</sub> = 15V	2.5	5		MHz
		6.2	12.5		MHz
		7.6	15.5		MHz
<b>SET AND RESET OPERATION</b>					
t <sub>PHL(S)</sub> t <sub>PLH(S)</sub>	Propagation Delay Time V <sub>DD</sub> = 5V V <sub>DD</sub> = 10V V <sub>DD</sub> = 15V		150	300	ns
			65	130	ns
			45	90	ns
t <sub>WH(S)</sub> t <sub>WL(S)</sub>	Minimum Set and Reset Pulse Width V <sub>DD</sub> = 5V V <sub>DD</sub> = 10V V <sub>DD</sub> = 15V		90	180	ns
			40	80	ns
			25	50	ns
C <sub>IN</sub>	Average Input Capacitance Any Input		5	7.5	pF

CD4013M/CD4013C

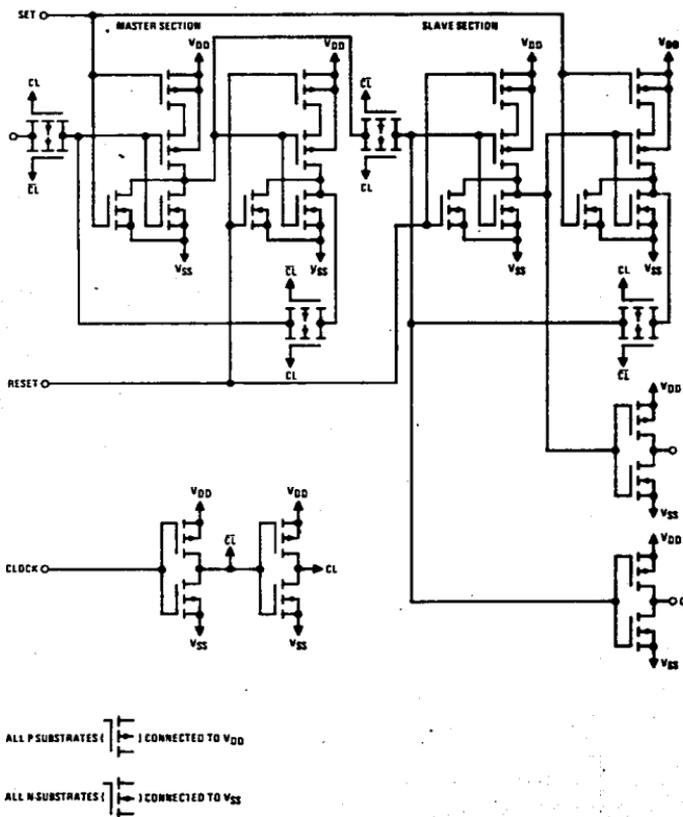
### Schematic Diagram



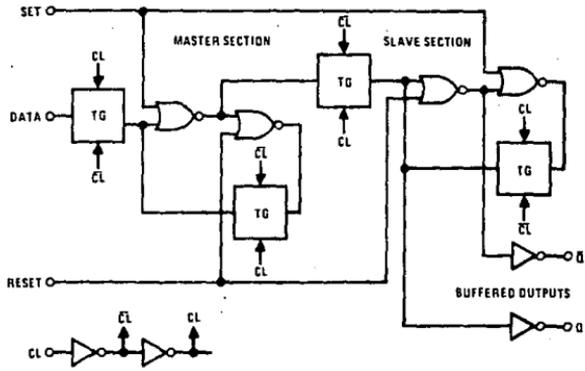
ALL P-SUBSTRATES:  CONNECTED TO V<sub>DD</sub>

ALL N-SUBSTRATES:  CONNECTED TO V<sub>SS</sub>

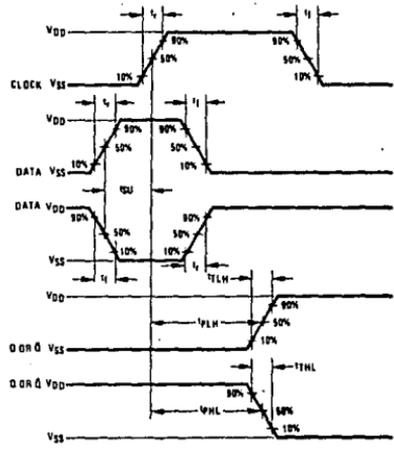
## Schematic Diagram



**Logic Diagram**



**Switching Time Waveforms**





## CD4029BM/CD4029BC Presettable Binary/Decade Up/Down Counter

### General Description

The CD4029BM/CD4029BC is a presettable up/down counter which counts in either binary or decade mode depending on the voltage level applied at binary/decade input. When binary/decade is at logical "1," the counter counts in binary, otherwise it counts in decade. Similarly, the counter counts up when the up/down input is at logical "1" and vice versa.

A logical "1" preset enable signal allows information at the "jam" input to preset the counter to any state asynchronously with the clock. The counter is advanced one count at the positive-going edge of the clock if the carry in and preset enable inputs are at logical "0." Advancement is inhibited when either or both of these two inputs is at logical "1." The carry out signal is normally at logical "1" state and goes to logical "0" state when the counter reaches its maximum count in

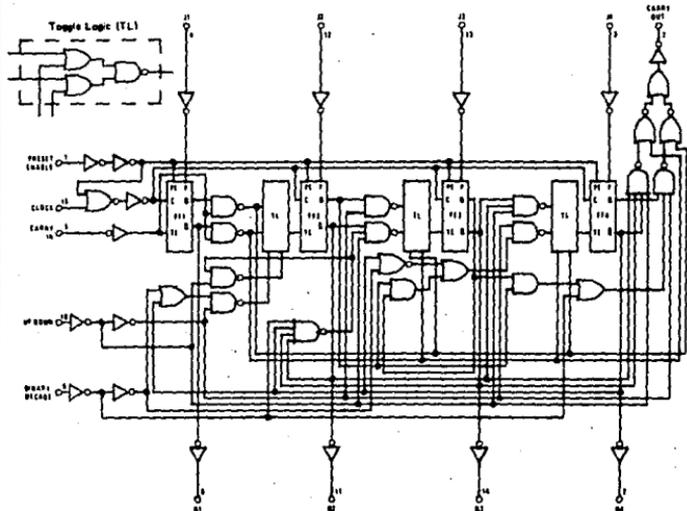
the "up" mode or the minimum count in the "down" mode provided the carry input is at logical "0" state.

All inputs are protected against static discharge by diode clamps to both  $V_{DD}$  and  $V_{SS}$ .

### Features

- Wide supply voltage range 3V to 15V
- High noise immunity 0.45  $V_{DD}$  (typ.)
- Low power TTL compatibility fan out of 2 driving 74L or 1 driving 74LS
- Parallel jam inputs
- Binary or BCD decade up/down counting

### Logic Diagram



## Absolute Maximum Ratings

(Notes 1 and 2)

V <sub>DD</sub> dc Supply Voltage	-0.5 to +18 V <sub>DC</sub>
V <sub>IN</sub> Input Voltage	-0.5 to V <sub>DD</sub> + 0.5 V <sub>DC</sub>
T <sub>S</sub> Storage Temperature Range	-65°C to +150°C
P <sub>D</sub> Package Dissipation	500 mW
T <sub>L</sub> Lead Temperature (Soldering, 10 seconds)	300°C

## Recommended Operating Conditions:

(Note 2)

V <sub>DD</sub> dc Supply Voltage	3 to 15 V <sub>DC</sub>
V <sub>IN</sub> Input Voltage	0 to V <sub>DD</sub> V <sub>DC</sub>
T <sub>A</sub> Operating Temperature Range	-55°C to +125°C
CD4029BM	-40°C to +85°C
CD4029BC	

## DC Electrical Characteristics CD4029BM (Note 2)

PARAMETER	CONDITIONS	-55°C		25°C			125°C		UNITS
		MIN	MAX	MIN	TYP	MAX	MIN	MAX	
I <sub>DD</sub> Quiescent Device Current	V <sub>DD</sub> = 5V		5			5	5	150	μA
	V <sub>DD</sub> = 10V		10			10		300	μA
	V <sub>DD</sub> = 15V		20			20		600	μA
V <sub>OL</sub> Low Level Output Voltage	I <sub>O</sub>   < 1μA								
	V <sub>DD</sub> = 5V		0.05		0	0.05		0.05	V
	V <sub>DD</sub> = 10V		0.05		0	0.05		0.05	V
V <sub>OH</sub> High Level Output Voltage	V <sub>DD</sub> = 15V		0.05		0	0.05		0.05	V
	I <sub>O</sub>   < 1μA								
	V <sub>DD</sub> = 5V	4.95		4.95	5		4.95		V
V <sub>IL</sub> Low Level Input Voltage	V <sub>DD</sub> = 10V	9.95		9.95	10		9.95		V
	V <sub>DD</sub> = 15V	14.95		14.95	15		14.95		V
	V <sub>DD</sub> = 5V, V <sub>O</sub> = 0.5V or 4.5V		1.5			1.5		1.5	V
V <sub>IH</sub> High Level Input Voltage	V <sub>DD</sub> = 10V, V <sub>O</sub> = 1V or 9V		3.0			3.0		3.0	V
	V <sub>DD</sub> = 15V, V <sub>O</sub> = 1.5V or 13.5V		4.0			4.0		4.0	V
	V <sub>DD</sub> = 5V, V <sub>O</sub> = 0.5V or 4.5V	3.5		3.5		3.5			V
I <sub>OL</sub> Low Level Output Current	V <sub>DD</sub> = 10V, V <sub>O</sub> = 1V or 9V	7.0		7.0		7.0			V
	V <sub>DD</sub> = 15V, V <sub>O</sub> = 1.5V or 13.5V	11.0		11.0		11.0			V
	V <sub>DD</sub> = 5V, V <sub>O</sub> = 0.4V	0.64		0.51	0.88		0.36		mA
I <sub>OH</sub> High Level Output Current	V <sub>DD</sub> = 10V, V <sub>O</sub> = 0.5V	1.6		1.3	2.25		0.9		mA
	V <sub>DD</sub> = 15V, V <sub>O</sub> = 1.5V	4.2		3.4	8.8		2.4		mA
	V <sub>DD</sub> = 5V, V <sub>O</sub> = 4.6V	-0.64		-0.51	-0.88		-0.36		mA
I <sub>IN</sub> Input Current	V <sub>DD</sub> = 10V, V <sub>O</sub> = 9.5V	-1.6		-1.3	-2.25		-0.9		mA
	V <sub>DD</sub> = 15V, V <sub>O</sub> = 13.5V	-4.2		-3.4	-8.8		-2.4		mA
	V <sub>DD</sub> = 15V, V <sub>IN</sub> = 0V		-0.1		-10 <sup>-5</sup>		-0.1		μA
	V <sub>DD</sub> = 15V, V <sub>IN</sub> = 15V		0.1		10 <sup>-5</sup>		0.1		μA

## DC Electrical Characteristics CD4029BC (Note 2)

PARAMETER	CONDITIONS	-40°C		25°C			85°C		UNITS
		MIN	MAX	MIN	TYP	MAX	MIN	MAX	
I <sub>DD</sub> Quiescent Device Current	V <sub>DD</sub> = 5V		20			20		150	μA
	V <sub>DD</sub> = 10V		40			40		300	μA
	V <sub>DD</sub> = 15V		80			80		600	μA
V <sub>OL</sub> Low Level Output Voltage	I <sub>O</sub>   < 1μA								
	V <sub>DD</sub> = 5V		0.05		0	0.05		0.05	V
	V <sub>DD</sub> = 10V		0.05		0	0.05		0.05	V
V <sub>OH</sub> High Level Output Voltage	V <sub>DD</sub> = 15V		0.05		0	0.05		0.05	V
	I <sub>O</sub>   < 1μA								
	V <sub>DD</sub> = 5V	4.95		4.95	5		4.95		V
V <sub>IL</sub> Low Level Input Voltage	V <sub>DD</sub> = 10V	9.95		9.95	10		9.95		V
	V <sub>DD</sub> = 15V	14.95		14.95	15		14.95		V
	V <sub>DD</sub> = 5V, V <sub>O</sub> = 0.5V or 4.5V		1.5			1.5		1.5	V
V <sub>IH</sub> High Level Input Voltage	V <sub>DD</sub> = 10V, V <sub>O</sub> = 1V or 9V		3.0			3.0		3.0	V
	V <sub>DD</sub> = 15V, V <sub>O</sub> = 1.5V or 13.5V		4.0			4.0		4.0	V
	V <sub>DD</sub> = 5V, V <sub>O</sub> = 0.5V or 4.5V	3.5		3.5		3.5			V
I <sub>OL</sub> Low Level Output Current	V <sub>DD</sub> = 10V, V <sub>O</sub> = 1V or 9V	7.0		7.0		7.0			V
	V <sub>DD</sub> = 15V, V <sub>O</sub> = 1.5V or 13.5V	11.0		11.0		11.0			V
	V <sub>DD</sub> = 5V, V <sub>O</sub> = 0.4V	0.64		0.51	0.88		0.36		mA
I <sub>OH</sub> High Level Output Current	V <sub>DD</sub> = 10V, V <sub>O</sub> = 0.5V	1.6		1.3	2.25		0.9		mA
	V <sub>DD</sub> = 15V, V <sub>O</sub> = 1.5V	4.2		3.4	8.8		2.4		mA
	V <sub>DD</sub> = 5V, V <sub>O</sub> = 4.6V	-0.64		-0.51	-0.88		-0.36		mA
I <sub>IN</sub> Input Current	V <sub>DD</sub> = 10V, V <sub>O</sub> = 9.5V	-1.6		-1.3	-2.25		-0.9		mA
	V <sub>DD</sub> = 15V, V <sub>O</sub> = 13.5V	-4.2		-3.4	-8.8		-2.4		mA
	V <sub>DD</sub> = 15V, V <sub>IN</sub> = 0V		-0.1		-10 <sup>-5</sup>		-0.1		μA
	V <sub>DD</sub> = 15V, V <sub>IN</sub> = 15V		0.1		10 <sup>-5</sup>		0.1		μA

## DC Electrical Characteristics (Cont'd) CD4029BC (Note 2)

14

PARAMETER	CONDITIONS	-40°C		25°C		85°C		UNITS
		MIN	MAX	MIN	TYP	MAX	MIN	
V <sub>IL</sub>	Low Level Input Voltage V <sub>DD</sub> = 5V, V <sub>O</sub> = 0.5V or 4.5V V <sub>DD</sub> = 10V, V <sub>O</sub> = 1V or 9V V <sub>DD</sub> = 15V, V <sub>O</sub> = 1.5V or 13.5V		1.5			1.5	1.5	V
			3.0			3.0	3.0	V
			4.0			4.0	4.0	V
V <sub>IH</sub>	High Level Input Voltage V <sub>DD</sub> = 5V, V <sub>O</sub> = 0.5V or 4.5V V <sub>DD</sub> = 10V, V <sub>O</sub> = 1V or 9V V <sub>DD</sub> = 15V, V <sub>O</sub> = 1.5V or 13.5V	3.5		3.5		3.5		V
		7.0		7.0		7.0		V
		11.0		11.0		11.0		V
I <sub>OL</sub>	Low Level Output Current V <sub>DD</sub> = 5V, V <sub>O</sub> = 0.4V V <sub>DD</sub> = 10V, V <sub>O</sub> = 0.5V V <sub>DD</sub> = 15V, V <sub>O</sub> = 1.5V	0.52		0.44	0.88		0.26	mA
		1.3		1.1	2.25		0.9	mA
		3.8		3.0	8.8		2.4	mA
I <sub>OH</sub>	High Level Output Current V <sub>DD</sub> = 5V, V <sub>O</sub> = 4.6V V <sub>DD</sub> = 10V, V <sub>O</sub> = 8.5V V <sub>DD</sub> = 15V, V <sub>O</sub> = 13.5V	-0.52		-0.44	-0.88		-0.36	mA
		-1.3		-1.1	-2.25		-0.9	mA
		-3.8		-3.0	-8.8		-2.4	mA
I <sub>IN</sub>	Input Current V <sub>DD</sub> = 15V, V <sub>IH</sub> = 5V V <sub>DD</sub> = 15V, V <sub>IN</sub> = 15V	-0.3		-10 <sup>-6</sup>	-0.3		-1.0	μA
		0.3		10 <sup>-6</sup>	0.3		1.0	μA

AC Electrical Characteristics T<sub>A</sub> = 25°C, C<sub>L</sub> = 50 pF, R<sub>i</sub> = 200 k, Input t<sub>CL</sub> = t<sub>CL</sub> = 20 ns, unless otherwise specified

PARAMETER	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS	
<b>CLOCKED OPERATION</b>						
t <sub>PHL</sub> or t <sub>PLH</sub>	Propagation Delay Time to Q Output	V <sub>DD</sub> = 5V		200	400	ns
		V <sub>DD</sub> = 10V		85	170	ns
		V <sub>DD</sub> = 15V		70	140	ns
t <sub>PHL</sub> or t <sub>PLH</sub>	Propagation Delay Time to Carry Output	V <sub>DD</sub> = 5V		320	640	ns
		V <sub>DD</sub> = 10V		135	270	ns
		V <sub>DD</sub> = 15V		110	220	ns
t <sub>PHL</sub> or t <sub>PLH</sub>	Propagation Delay Time to Carry Output	V <sub>DD</sub> = 5V, C <sub>L</sub> = 15 pF		285	570	ns
		V <sub>DD</sub> = 10V, C <sub>L</sub> = 15 pF		120	240	ns
		V <sub>DD</sub> = 15V, C <sub>L</sub> = 15 pF		95	190	ns
t <sub>NL</sub> or t <sub>TL</sub>	Transition Time/Q or Carry Output	V <sub>DD</sub> = 5V		100	200	ns
		V <sub>DD</sub> = 10V		50	100	ns
		V <sub>DD</sub> = 15V		40	80	ns
t <sub>WH</sub> or t <sub>WL</sub>	Minimum Clock Pulse Width	V <sub>DD</sub> = 5V		160	320	ns
		V <sub>DD</sub> = 10V		70	135	ns
		V <sub>DD</sub> = 15V		55	110	ns
t <sub>CL</sub> or t <sub>FL</sub>	Maximum Clock Rise and Fall Time	V <sub>DD</sub> = 5V	15			μs
		V <sub>DD</sub> = 10V	10			μs
		V <sub>DD</sub> = 15V	5			μs
t <sub>SU</sub>	Minimum Set-Up Time	V <sub>DD</sub> = 5V		180	360	ns
		V <sub>DD</sub> = 10V		70	140	ns
		V <sub>DD</sub> = 15V		65	110	ns
f <sub>CL</sub>	Maximum Clock Frequency	V <sub>DD</sub> = 5V	1.5	3.1		MHz
		V <sub>DD</sub> = 10V	3.7	7.4		MHz
		V <sub>DD</sub> = 15V	4.5	9		MHz
C <sub>IN</sub>	Average Input Capacitance	Any Input		5	7.5	pF
CPD	Power Dissipation Capacitance	Per Package, (Note 3)		85		pF
<b>PRESET ENABLE OPERATION</b>						
t <sub>PHL</sub> or t <sub>PLH</sub>	Propagation Delay Time to Q Output	V <sub>DD</sub> = 5V		285	570	ns
		V <sub>DD</sub> = 10V		115	230	ns
		V <sub>DD</sub> = 15V		95	195	ns

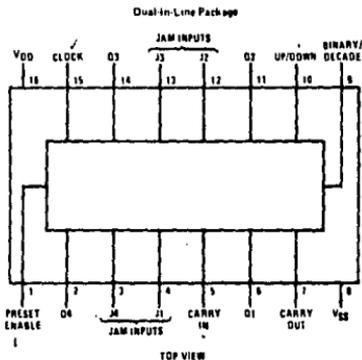
**AC Electrical Characteristics** (Cont'd.)  $T_A = 25^\circ\text{C}$ ,  $C_L = 50\text{ pF}$ ,  $t_{rCL} = t_{fCL} = 20\text{ ns}$ , unless otherwise specified

PARAMETER	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
<b>PRESET ENABLE OPERATION (cont'd)</b>					
1PHL of 1PLH Propagation Delay Time to Carry Output	$V_{DD} = 5\text{V}$		400	800	ns
	$V_{DD} = 10\text{V}$		165	330	ns
	$V_{DD} = 15\text{V}$		135	260	ns
1WH Minimum Preset Enable Pulse Width	$V_{DD} = 5\text{V}$		80	160	ns
	$V_{DD} = 10\text{V}$		30	60	ns
	$V_{DD} = 15\text{V}$		25	50	ns
1REM Minimum Preset Enable Removal Time	$V_{DD} = 5\text{V}$		150	300	ns
	$V_{DD} = 10\text{V}$		60	120	ns
	$V_{DD} = 15\text{V}$		50	100	ns
<b>CARRY INPUT OPERATION</b>					
1PHL of 1PLH Propagation Delay Time to Carry Output	$V_{DD} = 5\text{V}$		265	530	ns
	$V_{DD} = 10\text{V}$		110	220	ns
	$V_{DD} = 15\text{V}$		90	180	ns
1PHL-1PLH Propagation Delay Time to Carry Output	$V_{DD} = 5\text{V}$ , $C_L = 15\text{ pF}$		200	400	ns
	$V_{DD} = 10\text{V}$ , $C_L = 15\text{ pF}$		85	170	ns
	$V_{DD} = 15\text{V}$ , $C_L = 15\text{ pF}$		70	140	ns

Note 1: "Absolute Maximum Ratings" are those values beyond which the safety of the device cannot be guaranteed. Except for "Operating Temperature Range" they are not meant to imply that the devices should be operated at these limits. The table of "Electrical Characteristics" provides conditions for actual device operation.

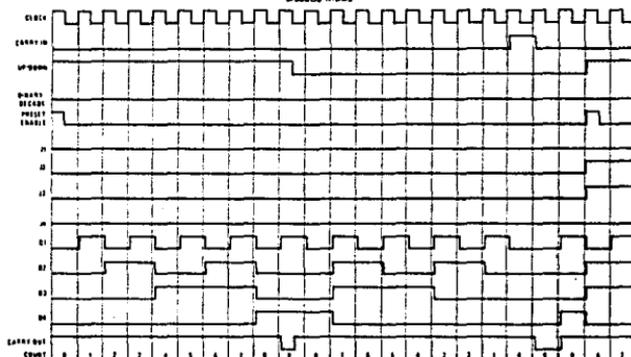
Note 2:  $V_{SS} = 0\text{V}$  unless otherwise specified.

Note 3:  $C_{pp}$  determines the no load ac power consumption of any CMOS device. For complete explanation, see 54C/74C Family Characteristics application note, AN-90.

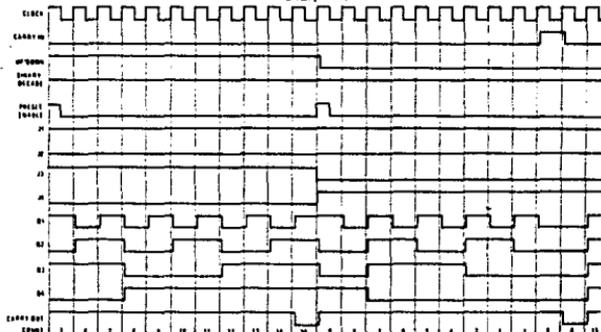
**Connection Diagram**


## Logic Waveforms

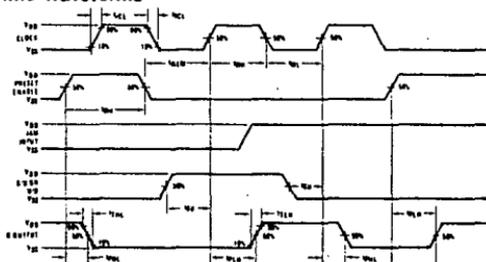
Decade Mode



Binary Mode

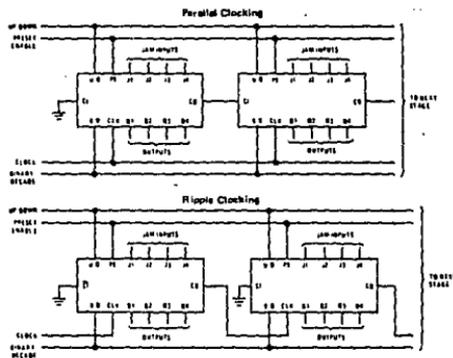


## Switching Time Waveforms



## Cascading Packages

CD4028M/CD4028C



Carry out lines at the 2nd or later stages may have a negative-going spike due to differential internal delays. These spikes do not affect counter operation, but if the carry out is used to trigger external circuitry the carry out should be gated with the clock.



## CD4030M/CD4030C Quad EXCLUSIVE-OR Gate

### General Description

The EXCLUSIVE-OR gates are monolithic complementary MOS (CMOS) integrated circuits constructed with N-and P-channel enhancement mode transistors. All inputs are protected against static discharge with diodes to  $V_{DD}$  and  $V_{SS}$ .

### Features

- Wide supply voltage range
- Low power

3.0V to 15V  
100 nW (typ.)

- Medium speed operation
- High noise immunity

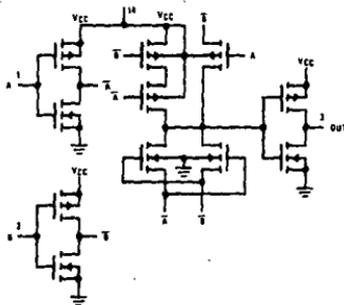
### Applications

- Automotive
- Data terminals
- Instrumentation
- Medical electronics

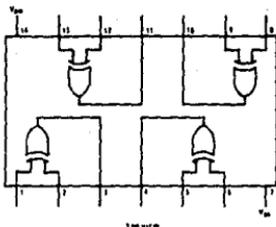
$t_{PHL} = t_{PLH} = 40$  ns (typ.)  
at  $C_L = 15$  pF, 10V supply  
0.45  $V_{CC}$  (typ.)

- Industrial controls
- Remote metering
- Computers

### Schematic Diagram



### Connection Diagram



**Absolute Maximum Ratings**

Voltage at Any Pin (Note 1)

$V_{SS} - 0.3V \text{ to } V_{SS} + 15.5V$

Operating Temperature Range

CD4030M

 $-55^{\circ}\text{C to } +125^{\circ}\text{C}$ 

CD4030C

 $-40^{\circ}\text{C to } +85^{\circ}\text{C}$ 

Storage Temperature Range

 $-65^{\circ}\text{C to } +150^{\circ}\text{C}$ 

Package Dissipation

500 mW

Operating  $V_{DD}$  Range

$V_{SS} + 3.0V \text{ to } V_{SS} + 15V$

Lead Temperature (Soldering, 10 seconds)

300°C

**DC Electrical Characteristics CD4030M**

PARAMETER	CONDITIONS	LIMITS									UNITS
		-55°C			25°C			125°C			
		MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
Quiescent Device Current ( $I_{CC}$ )	$V_{DD} = 5.0V$ $V_{DD} = 10V$			0.5 1.0		0.005 0.01	0.5 1.0			30 60	$\mu\text{A}$ $\mu\text{A}$
Quiescent Device Dissipation Package ( $P_D$ )	$V_{DD} = 5.0V$ $V_{DD} = 10V$			2.5 10		0.025 0.1	2.5 10			150 600	$\mu\text{W}$ $\mu\text{W}$
Output Voltage Low Level ( $V_{OL}$ )	$V_{DD} = 5.0V$ $V_{DD} = 10V$			0.05 0.05		0 0.05				0.05 0.05	V V
Output Voltage High Level ( $V_{OH}$ )	$V_{DD} = 5.0V$ $V_{DD} = 10V$	4.95 9.95			4.95 9.95	5.0 10		4.95 9.95			V V
Noise Immunity (All Inputs) ( $V_{NI}$ )	$V_{DD} = 5.0V$ $V_{DD} = 10V$	1.5 3.0			1.5 3.0	2.25 4.5		1.4 2.9			V V
Noise Immunity (All Inputs) ( $V_{NMI}$ )	$V_{DD} = 5.0V$ $V_{DD} = 10V$	1.4 2.9			1.5 3.0	2.25 4.5		1.5 3.0			V V
Output Drive Current N Channel ( $I_{ON}$ )	$V_{DD} = 5.0V$ $V_{DD} = 10V$			0.75 1.5		0.6 1.2		0.45 0.9			mA mA
Output Drive Current P Channel ( $I_{OP}$ )	$V_{DD} = 5.0V$ $V_{DD} = 10V$			-0.45 -0.95		-0.3 -0.65		-0.45 -0.95			mA mA
Input Current ( $I_i$ )	$V_i = 0V \text{ or } V_i = V_{DD}$					10					$\mu\text{A}$

**DC Electrical Characteristics CD4030C**

PARAMETER	CONDITIONS	LIMITS									UNITS
		-40°C			25°C			85°C			
		MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
Quiescent Device Current ( $I_{CC}$ )	$V_{DD} = 5.0V$ $V_{DD} = 10V$			5.0 10		0.05 0.1	5.0 10			70 140	$\mu\text{A}$ $\mu\text{A}$
Quiescent Device Dissipation Package ( $P_D$ )	$V_{DD} = 5.0V$ $V_{DD} = 10V$			25 100		0.25 1.0	25 100			350 1,400	$\mu\text{W}$ $\mu\text{W}$
Output Voltage Low Level ( $V_{OL}$ )	$V_{DD} = 5.0V$ $V_{DD} = 10V$			0.05 0.05		0 0.05				0.05 0.05	V V
Output Voltage High Level ( $V_{OH}$ )	$V_{DD} = 5.0V$ $V_{DD} = 10V$	4.95 9.95			4.95 9.95	5.0 10		4.95 9.95			V V
Noise Immunity (All Inputs) ( $V_{NI}$ )	$V_{DD} = 5.0V$ $V_{DD} = 10V$	1.5 3.0			1.5 3.0	2.25 4.5		1.4 2.9			V V
Noise Immunity (All Inputs) ( $V_{NMI}$ )	$V_{DD} = 5.0V$ $V_{DD} = 10V$	1.4 2.9			1.5 3.0	2.25 4.5		1.5 3.0			V V
Output Drive Current N Channel ( $I_{ON}$ )	$V_{DD} = 5.0V$ $V_{DD} = 10V$			0.35 0.7		0.3 0.6		0.25 0.5			mA mA
Output Drive Current P Channel ( $I_{OP}$ )	$V_{DD} = 5.0V$ $V_{DD} = 10V$			-0.21 -0.45		-0.15 -0.32		-0.12 -0.25			mA mA
Input Current ( $I_i$ )	$V_i = 0V \text{ or } V_i = V_{DD}$					10					$\mu\text{A}$

Note 1: This device should not be connected to circuits with power on because high transient voltages may cause permanent damage.

## AC Electrical Characteristics CD4030M

PARAMETER	CONDITIONS	LIMITS			UNITS
		MIN	TYP	MAX	
Propagation Delay Time ( $t_{PHL}$ )	$V_{DD} = 5.0V$		100	200	ns
	$V_{DD} = 10V$		40	100	ns
Propagation Delay Time ( $t_{PLH}$ )	$V_{DD} = 5.0V$		100	200	ns
	$V_{DD} = 10V$		40	100	ns
Transition Time High to Low Level ( $t_{THL}$ )	$V_{DD} = 5.0V$		70	150	ns
	$V_{DD} = 10V$		25	75	ns
Transition Time Low to High Level ( $t_{TLH}$ )	$V_{DD} = 5.0V$		80	150	ns
	$V_{DD} = 10V$		30	75	ns
Input Capacitance ( $C_i$ )	$V_i = 0V$ or $V_i = V_{DD}$		5.0		pF

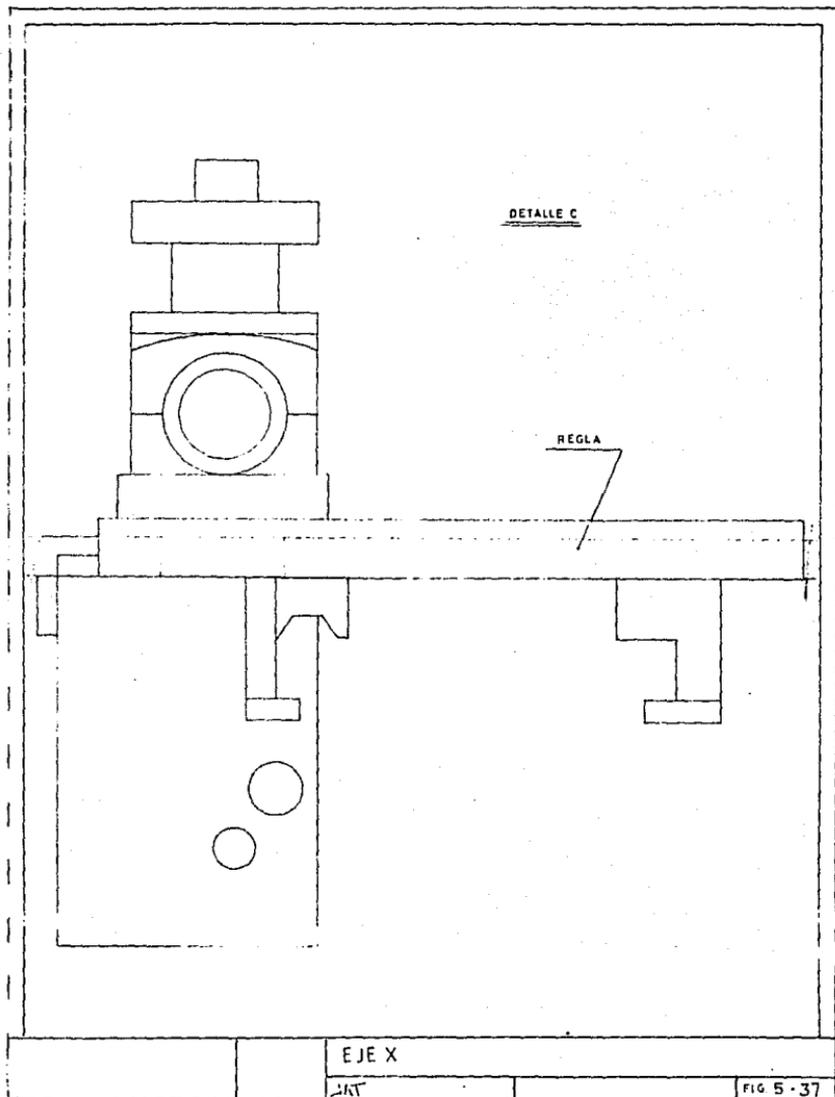
## AC Electrical Characteristics CD4030C

PARAMETER	CONDITIONS	LIMITS			UNITS
		MIN	TYP	MAX	
Propagation Delay Time ( $t_{PHL}$ )	$V_{DD} = 5.0V$		100	300	ns
	$V_{DD} = 10V$		40	150	ns
Propagation Delay Time ( $t_{PLH}$ )	$V_{DD} = 5.0V$		100	300	ns
	$V_{DD} = 10V$		40	150	ns
Transition Time High to Low Level ( $t_{THL}$ )	$V_{DD} = 5.0V$		70	300	ns
	$V_{DD} = 10V$		25	150	ns
Transition Time Low to High Level ( $t_{TLH}$ )	$V_{DD} = 5.0V$		80	300	ns
	$V_{DD} = 10V$		30	150	ns
Input Capacitance ( $C_i$ )	$V_i = 0V$ or $V_i = V_{DD}$		5.0		pF

## Truth Table (For One of Four Identical Gates)

A	B	J
0	0	0
1	0	1
0	1	1
1	1	0

Where: "1" = High Level  
"0" = Low Level





## CD4093BM/CD4093BC Quad 2-Input NAND Schmitt Trigger

### General Description

The CD4093B consists of four Schmitt-trigger circuits. Each circuit functions as a 2-input NAND gate with Schmitt-trigger action on both inputs. The gate switches at different points for positive and negative-going signals. The difference between the positive ( $V_T^+$ ) and the negative voltage ( $V_T^-$ ) is defined as hysteresis voltage ( $V_H$ ).

All outputs have equal source and sink currents and conform to standard B-series output drive (see Static Electrical Characteristics).

- No limit on input rise and fall time

- Standard B-series output drive

- Hysteresis voltage (any input)  $T_A = 25^\circ\text{C}$

Typical  $V_{DD} = 5.0\text{V}$   $V_H = 1.5\text{V}$

$V_{DD} = 10\text{V}$   $V_H = 2.2\text{V}$

$V_{DD} = 15\text{V}$   $V_H = 2.7\text{V}$

Guaranteed

$V_H = 0.1V_{DD}$

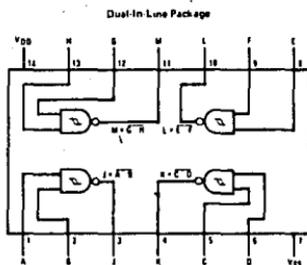
### Features

- Wide supply voltage range 3.0V to 15V
- Schmitt-trigger on each input with no external components
- Noise immunity greater than 50%
- Equal source and sink currents

### Applications

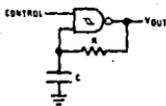
- Wave and pulse shapers
- High-noise-environment systems
- Monostable multivibrators
- Astable multivibrators
- NAND logic

### Connection Diagram



## Typical Applications

### Gated Oscillator



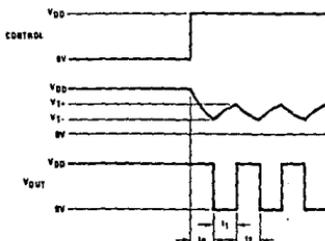
Assume  $t_1 + t_2 \gg t_{PHL} + t_{PLH}$  then:

$$t_0 = RC \ln [V_{DD}/V_{T-}]$$

$$t_1 = RC \ln [(V_{DD} - V_{T-})/(V_{DD} + V_{T+})]$$

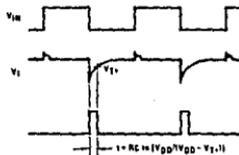
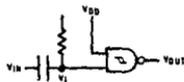
$$t_2 = RC \ln [V_{T+}/V_{T-}]$$

$$f = \frac{1}{t_1 + t_2} = \frac{1}{RC \ln \frac{(V_{T+})(V_{DD} - V_{T-})}{(V_{T-})(V_{DD} + V_{T+})}}$$

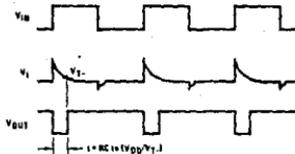
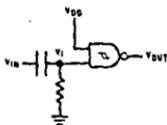


### Gated One-Shot

#### (a) Negative Edge Triggered



#### (b) Positive Edge Triggered



## Absolute Maximum Ratings

(Notes 1 and 2)

DC Supply Voltage ( $V_{DD}$ )	-0.5 to +18 V <sub>DC</sub>
Input Voltage ( $V_{IN}$ )	-0.5 to $V_{DD} + 0.5$ V <sub>DC</sub>
Storage Temperature Range ( $T_S$ )	-65°C to +150°C
Package Dissipation ( $P_D$ )	500 mW
Lead Temperature (Soldering, 10 seconds) ( $T_L$ )	300°C

## Recommended Operating Conditions

(Note 2)

$V_{DD}$ dc Supply Voltage	3 to 15 V <sub>DC</sub>
$V_{IN}$ Input Voltage	0 to $V_{DD}$ V <sub>DC</sub>
$T_A$ Operating Temperature Range	-55°C to +125°C
CD4093BM	
CD4093BC	-40°C to +85°C

## DC Electrical Characteristics CD4093BM (Note 2)

PARAMETER	CONDITIONS	-55°C		25°C			125°C		UNITS
		MIN	MAX	MIN	TYP	MAX	MIN	MAX	
$I_{DD}$ Quiescent Device Current	$V_{DD} = 5V$		0.25			0.25		7.5	$\mu A$
	$V_{DD} = 10V$		0.5			0.5		15.0	$\mu A$
	$V_{DD} = 15V$		1.0			1.0		30.0	$\mu A$
$V_{OL}$ Low Level Output Voltage	$V_{IN} = V_{DD},  I_{O}  < 1\mu A$								
	$V_{DD} = 5V$		0.05		0	0.05		0.05	V
	$V_{DD} = 10V$		0.05		0	0.05		0.05	V
$V_{OH}$ High Level Output Voltage	$V_{IN} = V_{SS},  I_{O}  < 1\mu A$								
	$V_{DD} = 5V$	4.95		4.95	5		4.95		V
	$V_{DD} = 10V$	9.95		9.95	10		9.95		V
$V_{T-}$ Negative Going Threshold Voltage (Any Input)	$V_{DD} = 15V$	14.95		14.85	15		14.85		V
	$I_{O1} = 1\mu A$								
	$V_{DD} = 5V, V_O = 4.5V$	1.3	2.25	1.5	1.8	2.25	1.5	2.3	V
$V_{T+}$ Positive Going Threshold Voltage (Any Input)	$V_{DD} = 10V, V_O = 9V$	2.85	4.5	3.0	4.1	4.5	3.0	4.65	V
	$V_{DD} = 15V, V_O = 13.5V$	4.35	6.75	4.5	6.3	6.75	4.5	6.9	V
	$I_{O1} < 1\mu A$								
$V_H$ Hysteresis ( $V_{T+} - V_{T-}$ ) (Any Input)	$V_{DD} = 5V, V_O = 0.5V$	2.75	3.65	2.75	3.3	3.5	2.65	3.5	V
	$V_{DD} = 10V, V_O = 1V$	5.5	7.15	5.5	6.2	7.0	5.35	7.0	V
	$V_{DD} = 15V, V_O = 1.5V$	8.25	10.65	8.25	9.0	10.5	8.1	10.5	V
$I_{OL}$ Low Level Output Current	$V_{DD} = 5V, V_O = 0.4V$	0.64		0.51	0.88		0.36		mA
	$V_{DD} = 10V, V_O = 0.5V$	1.6		1.3	2.25		0.9		mA
	$V_{DD} = 15V, V_O = 1.5V$	4.2		3.4	8.8		2.4		mA
$I_{OH}$ High Level Output Current	$V_{IN} = V_{SS}$								
	$V_{DD} = 5V, V_O = 4.6V$	-0.64		0.51	-0.88		-0.36		mA
	$V_{DD} = 10V, V_O = 9.5V$	-1.6		-1.3	-2.25		-0.9		mA
$I_{IN}$ Input Current	$V_{DD} = 15V, V_{IN} = 0V$	-4.2		-3.4	-8.8		-2.4		mA
	$V_{DD} = 15V, V_{IN} = 15V$	-0.1		-10 <sup>-5</sup>	-0.1		-1.0		$\mu A$
		0.1		10 <sup>-5</sup>	0.1		1.0		$\mu A$

Note 1: "Absolute Maximum Ratings" are those values beyond which the safety of the device cannot be guaranteed; they are not meant to imply that the device should be operated at these limits. The table of "Recommended Operating Conditions" and "Electrical Characteristics" provides conditions for actual device operation.

Note 2:  $V_{SS} = 0V$  unless otherwise specified.

**DC Electrical Characteristics** CD4093BC (Note 2)

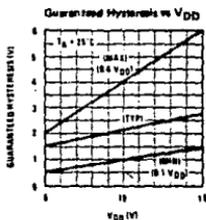
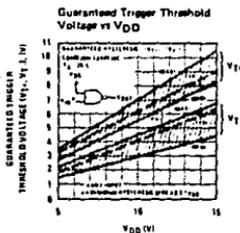
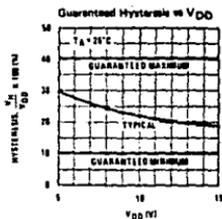
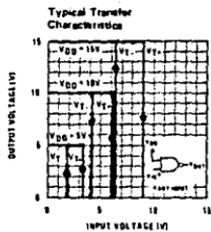
CD4093BM/CD4093BC

PARAMETER	CONDITIONS	-40°C		25°C		+85°C		UNITS		
		MIN	MAX	MIN	TYP	MAX	MIN		MAX	
IDD	Quiescent Device Current VDD = 5V VDD = 10V VDD = 15V		1.0			1.0	7.5	µA		
			2.0			2.0	15.0	µA		
			4.0			4.0	30.0	µA		
VOL	Low Level Output Voltage VIN = VDD,  IOL  < 1µA VDD = 5V VDD = 10V VDD = 15V			0.05	0	0.05	0.05	V		
				0.05	0	0.05	0.05	V		
				0.05	0	0.05	0.05	V		
				0.05	0	0.05	0.05	V		
VOH	High Level Output Voltage VIN = VSS,  IOL  < 1µA VDD = 5V VDD = 10V VDD = 15V		4.95	4.95	5		4.95	V		
			9.95	9.95	10		9.95	V		
			14.95	14.95	15		14.95	V		
									V	
VT-	Negative-Going Threshold Voltage (Any Input)  IOL  < 1µA VDD = 5V, VO = 4.5V VDD = 10V, VO = 9V VDD = 15V, VO = 13.5V		1.3	2.25	1.5	1.8	2.25	1.5	2.30	V
			2.85	4.5	3.0	4.1	4.5	3.0	4.65	V
			4.35	6.75	4.5	6.2	8.75	4.5	6.9	V
										V
VT+	Positive-Going Threshold Voltage (Any Input)  IOL  < 1µA VDD = 5V, VO = 0.5V VDD = 10V, VO = 1V VDD = 15V, VO = 1.5V		2.75	3.6	2.75	3.3	3.5	2.65	3.5	V
			5.5	7.15	5.5	6.2	7.0	5.35	7.0	V
			8.25	10.65	8.25	9.0	10.5	8.1	10.5	V
										V
VH	Hysteresis (VT+ - VT-) (Any Input) VDD = 5V VDD = 10V VDD = 15V		0.5	2.35	0.5	1.5	2.0	0.75	2.0	V
			1.0	4.3	1.0	2.2	4.0	0.70	4.0	V
			1.5	6.3	1.5	2.7	6.0	1.20	6.0	V
IOL	Low Level Output Current VIN = VDD VDD = 5V, VO = 0.4V VDD = 10V, VO = 0.5V VDD = 15V, VO = 1.5V		0.52		0.44	0.88		0.36		mA
			1.3		1.1	2.25		0.9		mA
			3.6		3.0	8.8		2.4		mA
IOH	High Level Output Current VIN = VSS VDD = 5V, VO = 4.6V VDD = 10V, VO = 9.5V VDD = 15V, VO = 13.5V		-0.52		-0.44	-0.88		-0.36		mA
			-1.3		-1.1	-2.25		-0.9		mA
			-3.6		-3.0	-8.8		-2.4		mA
IIN	Input Current VDD = 15V, VIN = 0V VDD = 15V, VIN = 15V		-0.3		-10 <sup>-5</sup>	-0.3		-1.0		µA
			0.3		10 <sup>-5</sup>	0.3		1.0		µA

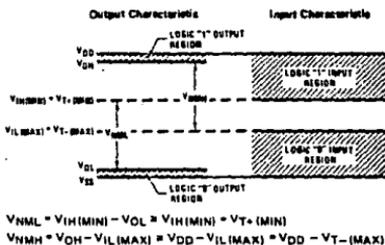
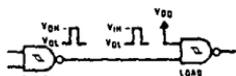
**AC Electrical Characteristics** TA = 25°C, CL = 50pF, RL = 200K, Input 1, t1 = 20ns, unless otherwise specified.

PARAMETER	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
tPHL, tPLH	Propagation Delay Time VDD = 5V VDD = 10V VDD = 15V		300	600	ns
			120	300	ns
			80	240	ns
tRHL, tRLH	Transition Time VDD = 5V VDD = 10V VDD = 15V		90	300	ns
			50	100	ns
			40	80	ns
CIN	Average Input Capacitance		5.0	7.5	pF
CpD	Power Dissipation Capacitance		24		pF

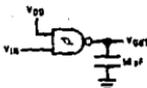
## Typical Performance Characteristics



## Input and Output Characteristics



## AC Test Circuits and Switching Time Waveforms





## CD4511BM/CD4511BC BCD-to-7 Segment Latch/Decoder/Driver

### General Description

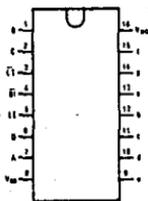
The CD4511BM/CD4511BC BCD-to-seven segment latch/decoder/driver is constructed with complementary MOS (CMOS) enhancement mode devices and NPN bipolar output drivers in a single monolithic structure. The circuit provides the functions of a 4-bit storage latch, an 8421 BCD-to-seven segment decoder, and an output drive capability. Lamp test (LT), blanking (BI), and latch enable (LE) inputs are used to test the display, to turn-off or pulse modulate the brightness of the display, and to store a BCD code, respectively. It can be used with seven-segment light emitting diodes (LED), incandescent, fluorescent, gas discharge, or liquid crystal readouts either directly or indirectly.

Applications include instrument (e.g., counter, DVM, etc.) display driver, computer/calculator display driver, cockpit display driver, and various clock, watch, and timer uses.

### Features

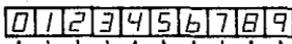
- Low logic circuit power dissipation
- High current sourcing outputs (up to 25mA)
- Latch storage of code
- Blanking Input
- Lamp test provision
- Readout blanking on all illegal input combinations
- Lamp intensity modulation capability
- Time share (multiplexing) facility
- Equivalent to Motorola MC14511

### Connection Diagram



TOP VIEW

Display



Segment Identification



### Truth Table

INPUTS				OUTPUTS							
LE	BI	LT	D C B A	a	b	c	d	e	f	g	DISPLAY
X	X	0	X X X X	1	1	1	1	1	1	1	8
X	0	1	X X X X	0	0	0	0	0	0	0	0
0	1	1	0 0 0 0	1	1	1	1	1	1	0	0
0	1	1	0 0 0 1	0	1	1	0	0	0	0	1
0	1	1	0 0 1 0	1	1	0	1	1	0	0	2
0	1	1	0 0 1 1	1	1	1	0	0	1	0	3
0	1	1	0 1 0 0	0	1	0	0	1	1	1	4
0	1	1	0 1 0 1	1	0	1	1	0	1	1	5
0	1	1	0 1 1 0	0	0	1	1	1	1	1	6
0	1	1	0 1 1 1	1	1	1	0	0	0	0	7
0	1	1	1 0 0 0	1	1	1	1	1	1	1	8
0	1	1	1 0 0 1	1	1	1	0	0	1	1	9
0	1	1	1 0 1 0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	1	1	1 0 1 1	0	0	0	0	0	0	0	0
0	1	1	1 1 0 0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	1	1	1 1 0 1	0	0	0	0	0	0	0	0
0	1	1	1 1 1 0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	1	1	1 1 1 1	0	0	0	0	0	0	0	0
1	1	1	X X X X	*	*	*	*	*	*	*	*

\* = Don't care

\* Outputs occur the BCD code applied during the 0 to 1 transition of LE.

**Absolute Maximum Ratings**

(Notes 1 and 2)

V <sub>DD</sub> dc Supply Voltage	-0.5V to +18V
V <sub>IN</sub> Input Voltage	-0.5V to V <sub>DD</sub> +0.5V
T <sub>S</sub> Storage Temperature Range	-65°C to +160°C
P <sub>D</sub> Power Dissipation	500 mW
T <sub>L</sub> Lead Temperature (Soldering, 10 seconds)	300°C

**Recommended Operating Conditions**

(Note 2)

V <sub>DD</sub> dc Supply Voltage	3V to 18V
V <sub>IN</sub> Input Voltage	0 to V <sub>DD</sub>
T <sub>A</sub> Operating Temperature Range	-55°C to +125°C
CD4510BM, CD4511BM	-40°C to +85°C
CD4510BC, CD4511BC	

**DC Electrical Characteristics CD4511BM**

PARAMETER	CONDITIONS	-55°C			+25°C			+125°C			UNITS
		MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
Output Voltage	V <sub>DD</sub> = 5V			0.01			0	0.01			V
Logical "0"	V <sub>DD</sub> = 10V			0.01			0	0.01			V
Level (V <sub>OUT</sub> )	V <sub>DD</sub> = 15V						0			0.05	V
Output Voltage	V <sub>DD</sub> = 5V	4.1			4.1	4.57			4.1		V
Logical "1"	V <sub>DD</sub> = 10V	9.1			9.1	9.58			9.1		V
Level (V <sub>OUT</sub> )	V <sub>DD</sub> = 15V	14.1			14.1	14.59			14.1		V
Low Level	V <sub>DD</sub> = 5V, V <sub>OUT</sub> = 3.8V or 0.5V			1.5		2		1.5		1.5	V
Input Voltage	V <sub>DD</sub> = 10V, V <sub>OUT</sub> = 8.8V or 1.0V			3.0		4		3.0		3.0	V
(V <sub>IL</sub> )	V <sub>DD</sub> = 15V, V <sub>OUT</sub> = 13.8V or 1.5V			4.0		6		4.0		4.0	V
High Level	V <sub>DD</sub> = 5V, V <sub>OUT</sub> = 0.5V or 3.8V	3.5			3.5	3		3.5			V
Input Voltage	V <sub>DD</sub> = 10V, V <sub>OUT</sub> = 1.0V or 8.8V	7.0			7.0	6		7.0			V
(V <sub>IH</sub> )	V <sub>DD</sub> = 15V, V <sub>OUT</sub> = 1.5V or 13.8V	11.0			11.0	9		11.0			V
Output (Source)	V <sub>DD</sub> = 5V, I <sub>OH</sub> = 0 mA	4.1			4.1	4.57		4.1			V
Drive Voltage	V <sub>DD</sub> = 5V, I <sub>OH</sub> = 5 mA					4.24					V
(V <sub>OH</sub> )	V <sub>DD</sub> = 5V, I <sub>OH</sub> = 10 mA	3.9			3.9	4.12		3.5			V
	V <sub>DD</sub> = 5V, I <sub>OH</sub> = 15 mA					3.94					V
	V <sub>DD</sub> = 5V, I <sub>OH</sub> = 20 mA	3.4			3.4	3.75		3.0			V
	V <sub>DD</sub> = 5V, I <sub>OH</sub> = 25 mA					3.54					V
	V <sub>DD</sub> = 10V, I <sub>OH</sub> = 0 mA	9.1			9.1	9.58		9.1			V
	V <sub>DD</sub> = 10V, I <sub>OH</sub> = 5 mA					9.28					V
	V <sub>DD</sub> = 10V, I <sub>OH</sub> = 10 mA	9.0			9.0	9.17		8.6			V
	V <sub>DD</sub> = 10V, I <sub>OH</sub> = 15 mA					9.04					V
	V <sub>DD</sub> = 10V, I <sub>OH</sub> = 20 mA	8.6			8.6	8.9		8.2			V
	V <sub>DD</sub> = 10V, I <sub>OH</sub> = 25 mA					8.75					V
	V <sub>DD</sub> = 15V, I <sub>OH</sub> = 0 mA	14.1			14.1	14.59		14.1			V
	V <sub>DD</sub> = 15V, I <sub>OH</sub> = 5 mA					14.27					V
	V <sub>DD</sub> = 15V, I <sub>OH</sub> = 10 mA	14.0			14.0	14.18		13.6			V
	V <sub>DD</sub> = 15V, I <sub>OH</sub> = 15 mA					14.07					V
	V <sub>DD</sub> = 15V, I <sub>OH</sub> = 20 mA	13.6			13.6	13.95		13.2			V
	V <sub>DD</sub> = 15V, I <sub>OH</sub> = 25 mA					13.8					V
Low Level	V <sub>DD</sub> = 5V, V <sub>OL</sub> = 0.4V	0.64			0.51	0.68		0.36			mA
Output Current	V <sub>DD</sub> = 10V, V <sub>OL</sub> = 0.5V	1.6			1.3	2.25		0.9			mA
(I <sub>OL</sub> )	V <sub>DD</sub> = 15V, V <sub>OL</sub> = 1.5V	4.2			3.4	6.8		2.4			mA
Input Current	V <sub>DD</sub> = 15V, V <sub>IN</sub> = 0V			-0.10		-10 <sup>-5</sup>		-0.10		-1.0	μA
(I <sub>IN</sub> )	V <sub>DD</sub> = 15V, V <sub>IN</sub> = 15V			0.10		10 <sup>-5</sup>		0.10		1.0	μA

Note 1: Devices should not be connected with power on.

## DC Electrical Characteristics CD4511BC

PARAMETER	CONDITIONS	-40°C			+25°C			+85°C			UNITS
		MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
Output Voltage	VDD = 5V			0.01			0			0.01	V
Logical "0"	VDD = 10V			0.01			0			0.01	V
Level (VOUT)	VDD = 15V						0				V
Output Voltage	VDD = 5V	4.1			4.1	4.57		4.1			V
Logical "1"	VDD = 10V	9.1			9.1	9.58		9.1			V
Level (VOUT)	VDD = 15V	14.1			14.1	14.59		14.1			V
Low Level	VDD = 5V, VOUT = 3.8V or 0.5V			1.5		2		1.5		1.5	V
Input Voltage	VDD = 10V, VOUT = 8.8V or 1.0V			3.0		4		3.0		3.0	V
(VIL)	VDD = 15V, VOUT = 13.8V or 1.5V			4.0		6		4.0		4.0	V
High Level	VDD = 5V, VOUT = 0.5V or 3.8V	3.5			3.5	3		3.5			V
Input Voltage	VDD = 10V, VOUT = 1.0V or 8.8V	7.0			7.0	6		7.0			V
(VIH)	VDD = 15V, VOUT = 1.5V or 13.8V	11.0			11.0	9		11.0			V
Output (Source)	VDD = 5V, IOH = 0mA	4.1			4.1	4.57		4.1			V
Drive Voltage	VDD = 5V, IOH = 5mA					4.24					V
(VOH)	VDD = 5V, IOH = 10mA	3.6			3.6	4.12		3.3			V
	VDD = 5V, IOH = 15mA					3.94					V
	VDD = 5V, IOH = 20mA	2.8			2.8	3.75		2.5			V
	VDD = 5V, IOH = 25mA					3.54					V
	VDD = 10V, IOH = 0mA	9.1			9.1	9.58		9.1			V
	VDD = 10V, IOH = 5mA					9.26					V
	VDD = 10V, IOH = 10mA	8.75			8.75	9.17		8.45			V
	VDD = 10V, IOH = 15mA					9.04					V
	VDD = 10V, IOH = 20mA	8.1			8.1	8.9		7.8			V
	VDD = 10V, IOH = 25mA					8.75					V
	VDD = 15V, IOH = 0mA	14.1			14.1	14.59		14.1			V
	VDD = 15V, IOH = 5mA					14.27					V
	VDD = 15V, IOH = 10mA	13.75			13.75	14.18		13.45			V
	VDD = 15V, IOH = 15mA					14.07					V
	VDD = 15V, IOH = 20mA	13.1			13.1	13.95		12.8			V
	VDD = 15V, IOH = 25mA					13.8					V
Low Level	VDD = 5V, VOL = 0.4V	0.52			0.44	0.88		0.36			mA
Output Current	VDD = 10V, VOL = 0.5V	1.3			1.1	2.25		0.9			mA
(IOL)	VDD = 15V, VOL = 1.5V	3.6			3.0	8.8		2.4			mA
Input Current	VDD = 15V, VIN = 0V			-0.30		-10 <sup>-5</sup>		-0.30		-1.0	µA
(IIN)	VDD = 15V, VIN = 15V			0.30		10 <sup>-5</sup>		0.30		1.0	µA

## AC Electrical Characteristics

$T_A = 25^\circ\text{C}$  and  $C_L = 50\text{ pF}$ , typical temperature coefficient for all values of  $V_{DD} = 0.3\%/^\circ\text{C}$ .

PARAMETER	CONDITIONS	CD4511BX			UNITS
		MIN	TYP	MAX	
Input Capacitance ( $C_{IN}$ )	$V_{IN} = 0$		5.0	7.5	pF
Output Rise Time ( $t_r$ ) (Figure 1a)	$V_{DD} = 5\text{V}$		40	80	ns
	$V_{DD} = 10\text{V}$		30	60	ns
	$V_{DD} = 15\text{V}$		25	50	ns
Output Fall Time ( $t_f$ ) (Figure 1a)	$V_{DD} = 5\text{V}$		125	250	ns
	$V_{DD} = 10\text{V}$		75	150	ns
	$V_{DD} = 15\text{V}$		65	130	ns
Turn-Off Delay Time (Data) ( $t_{pLH}$ ) (Figure 1a)	$V_{DD} = 5\text{V}$		640	1280	ns
	$V_{DD} = 10\text{V}$		250	500	ns
	$V_{DD} = 15\text{V}$		175	350	ns
Turn-On Delay Time (Data) ( $t_{pHL}$ ) (Figure 1a)	$V_{DD} = 5\text{V}$		720	1440	ns
	$V_{DD} = 10\text{V}$		290	580	ns
	$V_{DD} = 15\text{V}$		195	400	ns
Turn-Off Delay Time (Blank) ( $t_{pLH}$ ) (Figure 1a)	$V_{DD} = 5\text{V}$		320	640	ns
	$V_{DD} = 10\text{V}$		130	260	ns
	$V_{DD} = 15\text{V}$		100	200	ns
Turn-On Delay Time (Blank) ( $t_{pHL}$ ) (Figure 1a)	$V_{DD} = 5\text{V}$		485	970	ns
	$V_{DD} = 10\text{V}$		200	400	ns
	$V_{DD} = 15\text{V}$		160	320	ns
Turn-Off Delay Time (Lamp Test) ( $t_{pHL}$ ) (Figure 1a)	$V_{DD} = 5\text{V}$		313	625	ns
	$V_{DD} = 10\text{V}$		125	250	ns
	$V_{DD} = 15\text{V}$		90	180	ns
Turn-On Delay Time (Lamp Test) ( $t_{pHL}$ ) (Figure 1a)	$V_{DD} = 5\text{V}$		313	625	ns
	$V_{DD} = 10\text{V}$		125	250	ns
	$V_{DD} = 15\text{V}$		90	180	ns
Setup Time (SETUP) (Figure 1b)	$V_{DD} = 5\text{V}$	180	90		ns
	$V_{DD} = 10\text{V}$	76	38		ns
	$V_{DD} = 15\text{V}$	40	20		ns
Hold Time (HOLD) (Figure 1b)	$V_{DD} = 5\text{V}$	0	-90		ns
	$V_{DD} = 10\text{V}$	0	-38		ns
	$V_{DD} = 15\text{V}$	0	-20		ns
Minimum Latch Enable Pulse Width ( $PW_{LE}$ ) (Figure 1c)	$V_{DD} = 5\text{V}$	520	260		ns
	$V_{DD} = 10\text{V}$	220	110		ns
	$V_{DD} = 15\text{V}$	130	65		ns

## Switching Time Waveforms

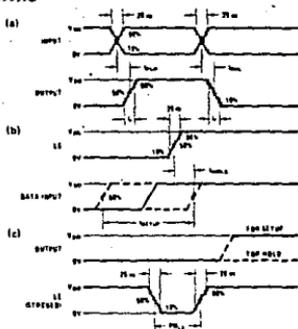
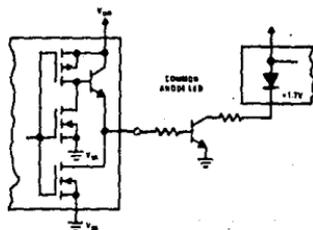
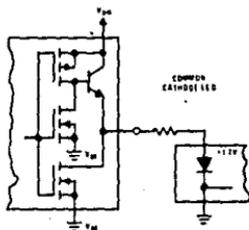


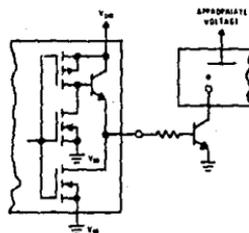
FIGURE 1.

## Typical Applications

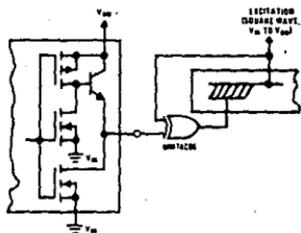
## Light Emitting Diode (LED) Readout



## Gas Discharge Readout



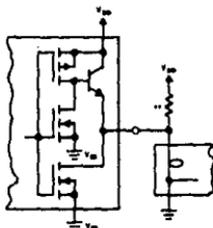
## Liquid Crystal (LC) Readout



Insert the driver of LC's not recommended for 10 of LC numbers

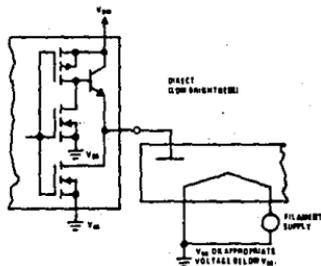
## Typical Applications (Cont'd.)

Incandescent Readout



\*\*A filament pre-warm resistor is recommended to reduce filament current shock and increase the life span and accuracy of the filament.

Fluorescent Readout



## BIBLIOGRAFIA.

- Control numérico.  
J.R. Alique  
Ed. Marcombo
- Control numérico. Introducción  
Ikerlan
- Control numérico. Programación manual  
Ikerlan
- Historia Técnica y económica de la máquina herramienta.  
Carmelo Urdangarin, Fco. Aldabaldetrecu  
Caja de Ahorros popular de Guipuzcoa
- Transductores y medidores electrónicos.  
J. Mompín P.  
Ed. Marcombo
- "Del torno paralelo al torno de control numérico"  
J. de Lasala  
1er. Congreso de investigación, diseño y utilización de máquinas  
herramientas.  
Centro de investigaciones técnicas de Guipúzcoa.
- "Variación de velocidad"  
C. Luri  
1er. Congreso de investigación, diseño y utilización de máquinas  
herramientas.  
Centro de investigaciones técnicas de Guipúzcoa.
- "Diseño de accionamientos de control numérico con motores de  
corriente continua."  
1er. Congreso de investigación, diseño y utilización de máquinas  
herramientas."  
Centro de investigaciones técnicas de Guipúzcoa.
- "Optical shaft encoders. An outline of principles of  
construction and operation."  
B.E. Pitches  
Lecture papers Ferranti
- Tolerancias, ajustes y calibres.  
A. García Mateos  
Ed. Urmo
- Instrucciones de programación. Sinumerik 3T.  
Siemens

- Descripción de la interconexión. Sinumerik 3T.

Siemens

- Catálogo Sinumerik 810T.

Siemens

- Accionamientos de cabezal.

Siemens

- Accionamientos de avance.

Siemens

- Catálogo "Visualizadores digitales de cotas".

Aurki

- Catálogo "Visualisations électroniques de cotes".

Heidenhain

- Catálogo "Digital readouts".

Anilam

- Catálogo "Robots".

Danobat