

124 2ej



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

**EL CONTROL NUMERICO Y LA PROGRAMACION DE  
MAQUINAS - HERRAMIENTAS**

TESIS CON  
CALA DE ORIGEN

**T E S I S**  
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:  
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA  
P R E S E N T A N :  
GABRIEL SALAS MERCADO  
SALVADOR VEGA MALDONADO

DIRECTOR DE TESIS: ING. JESUS ROVIROZA LOPEZ





## **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

	Pag.
<b>CAP. 1 INTRODUCCION</b> .....	1
<b>CAP. 2 MQUINA HISTRICA</b> .....	3
2.1 Evolucion de los mtodos de fabricacin.....	3
2.2 Aparicin del control numrico.....	4
2.3 Evolucin del Control Numrico.....	6
<b>CAP. 3 LA MQUINA HERRAMIENTA CONVENCIONAL Y LA MQUINA CNC</b> ...	7
3.1 Tornos automatizados de levas.....	7
3.2 Principales diferencias entre un torno revolvente convencional y un torno con control numrico....	9
3.3 Mquina CNC.mbito de aplicacin del control numrico.....	11
3.3.1 Series de fabricacin.....	11
<b>CAP. 4 LOS NMEROS BINARIOS Y LA ARITMÉTICA</b> .....	13
4.1 Conversin de un nmero binario a su forma decimal decimal.....	14
4.2 Conversin de un nmero decimal a su forma binaria .....	15
4.3 Reglas para la suma de nmeros binarios.....	15
4.4 Reglas para la resta de nmeros binarios.....	17
4.5 Multiplicacin de un nmero por otro.....	19
4.6 Divisin de un nmero por otro.....	20
4.7 Reglas para la adicin de nmeros BCD.....	21
4.8 Reglas para la sustraccin de nmeros BCD.....	22
4.9 Cngulo Gray .....	22

<b>CAP. 5 CIRCUITOS DIGITALES BASICOS Y CONTADORES BINARIOS.....</b>	<b>35</b>
Compuerta AND y OR con un diodo, circuitos y tablas de verdad.....	35
Compuerta NOR con un transistor, circuitos y tablas de verdad.....	39
Compuerta NAND con un transistor.....	39
La combinación simple en oposición (o flip-flop), un circuito de memoria.....	39
Combinación disparada en oposición.....	41
<b>CONTADORES BINARIOS.....</b>	<b>43</b>
Almacenamiento (almacenamiento intermedio).....	44
Contador binario ascendente.....	48
Contador binario descendente.....	53
Contador binario reversible.....	54
Contador ascendente de BCD.....	54
Contador descendente de BCD.....	54

**CAP. 6 ESTRUCTURA BASICA DE FUNCIONAMIENTO EN UN CONTROL.**

<b>MUNICIPIO.....</b>	<b>50</b>
<b>6.1 El Hardware y el Software.....</b>	<b>59</b>
<b>6.1.1 Estructura del Hardware.....</b>	<b>59</b>
6.1.1.1 Unidad central de proceso (CPU).....	60
6.1.1.2 Unidad de memoria.....	60
6.1.1.3 Unidad de interfase.....	61
6.1.1.4 Unidades de entrada/salida.....	61
6.1.1.5 Fuente de alimentación.....	61
6.1.1.6 Protección mecánica del Hardware.....	62
<b>6.2 El Software.....</b>	<b>62</b>
6.2.1 Clasificación general del Software.....	67
<b>6.3 El lenguaje de programación.....</b>	<b>68</b>
<b>6.4 Diferentes tipos de control.....</b>	<b>69</b>

<b>CAP. 7 UNIDAD DE ENTRADA-SALIDA DE DATOS</b> .....	<b>65</b>
7.1 Programación directa sobre máquina .....	69
7.2 Cargos de visualización de datos .....	70
7.3 Teorías supuestas existentes .....	72
7.3.1 Cassettes .....	73
7.3.2 Discettes .....	76
7.3.3 Cassettes .....	76
<b>CAP. 8 CONCEPTOS DE PROGRAMACION</b> .....	<b>77</b>
8.1 Programación manual .....	77
8.2 Formatos de programación .....	80
8.3 Programación absoluta e incremental .....	84
8.4 Parámetros de operación en el máquina .....	85
<b>CAP. 9 COMO PROGRAMAR UN CONTROL NUMERICO</b> .....	<b>85</b>
9.1 Construcción del programa .....	85
9.1.1 Código de cinta perforada .....	85
9.1.2 Símbolos especiales .....	87
9.1.3 Construcción de palabras .....	88
9.1.4 Construcción de secuencias .....	89
9.1.5 Tapes planes .....	90
9.1.6 Programas de poses .....	91
9.1.7 Subprogramas .....	91
9.1.8 Formato de cinta perforada para el control de programas .....	92
9.2 Información de desplazamiento .....	98
9.2.1 Ordenes para los ejes X, Z .....	95
9.2.2 Inspección automática .....	97
9.3 Condiciones de desplazamiento .....	98
9.3.1 G00-G01 Programación de cosas absolutas e incrementales .....	99
9.3.2 G00 Desplazamiento rápido .....	99
9.3.3 G01 Interpolación lineal .....	100
9.3.4 Interpolación circular .....	100

9.3.6	033 Rosca de paso constante.....	103
9.3.6	Rosca de paso constante en cuerpos cónicos cuya inclinación varia.....	109
9.3.7	Rosca de entradas múltiples.....	105
9.3.8	Posibilidades de penetración.....	105
9.3.9	Rosca cilíndrica de una sola entrada.....	107
9.3.10	Rosca longitudinal de paso constante, de una sola entrada.....	107
9.3.11	Rosca de paso constante, de varias entradas....	109
9.3.12	Rosca cónica de paso constante, de una sola entrada.....	109
9.3.13	Rosca de paso variable.....	111
9.4.1	009 Deceleración.....	111
9.4.2	004 Tiempo de parada.....	112
9.4.3	070-71 Sistemas de entrada.....	112
9.4.4	054-57 Decalajes seleccionables del punto de origen.....	114
9.4.5	Decalaje del punto de origen aditivo, programable.....	115
9.4.6	053 Borrado del decalaje del punto de origen... 115	
9.4.7	001-005-006 Avance F.....	116
9.4.8	006 S.. Velocidad de corte constante 007 Velocidad de giro constante.....	116
9.4.9	008 S.. Limitación de la velocidad de giro del cabezal para 006.....	117
9.4.10	040-41-42 Corrección del radio de corte CIRC.....	118
9.4.11	010-011 Programación de coordenadas polares....	120
9.5	Funciones de seno y coseno y complementarias H, S, T, R.....	121
9.5.1	Palabra S.....	121
9.5.2	Palabra T. Orden de herramienta.....	121
9.5.3	Corrección de herramienta sin espejo de la CNC.....	122
9.5.4	Corrección de herramienta con espejo de la compensación del radio de corte CIRC.....	124

9.5.5	Formata de la cinta perforada para la introducción de correcciones de herramientas....	125
9.6	Funciones complementarias H.....	127
<b>CAP. 10</b>	<b>ALCANCES Y LOGROS EN C.M.</b> .....	<b>130</b>
10.1	Nivel de concepción.....	130
10.1.1	Optimización de las condiciones de corte.....	130
10.1.2	Taller integrado de fabricación.....	136
10.2	Nivel de utilización.....	143
10.2.1	Fuente en operación.....	143
10.2.2	Monitorización de alarmas.....	144
10.2.3	Diagnóstico.....	145
10.2.4	Nuevas técnicas de programación.....	145
10.3	Nivel de realización.....	147
10.3.1	Control numérico con computadora CMNC.....	147
10.3.2	Periféricos de computadora.....	149
10.3.3	Captación de posiciones.....	149
10.3.4	Memoria de programa.....	150
10.4	Futuro del Control Numérico.....	155
10.5	Aplicaciones del Control Numérico.....	155
	<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>156</b>
	<b>BIBLIOGRAFIA</b> .....	<b>157</b>

# CAPITULO 1

## INTRODUCCION

La industria metal-mecánica desde sus inicios ha ido evolucionando constantemente en la búsqueda de mejores métodos de maquinado, nuevas técnicas que lleven a conseguir mayor precisión dimensional, mejores acabados y principalmente reducir el tiempo de maquinado.

Un gran paso se dio con el desarrollo de mejores herramientas con mejores materiales, como lo es en las herramientas de inserto de diamante o en las de titanio, con las cuales se consiguen acabados a espejo, pero se seguía teniendo el problema de que la precisión dependía más que nada de la habilidad de los operarios de la maquinaria.

Se desarrollaron planes de capacitación a fin de conseguir técnicos capaces de dar al maquinado de las piezas la precisión deseada por la industria, pero aun existía el error humano provocado en gran parte por la fatiga, con lo que no se podía garantizar la repetibilidad en el maquinado de varias piezas de producción.

Con el desarrollo de la computadora muchos países de la ciencia encontraron un gran auxiliar para el desarrollo de su trabajo y, la industria METAL-MECANICA no fue la excepción con el desarrollo de maquinaria operada a base de computadora, se crearon lenguajes especiales de programación y surgen así los equipos y maquinaria de CONTROL NUMERICO con los cuales se logra la máxima precisión con una repetibilidad en los maquinados de producción garantizada y, muy importante, una reducción considerable en los tiempos de maquinado.

Con este nuevo equipo se consiguió también algo importante para los intereses de los empresarios; no se requiere personal calificado para su manejo; solo basta una persona para colocar las piezas por maquinar y retire las ya maquinadas, además, un solo operario puede controlar dos o tres máquinas de este tipo.

Los torneros calificados, los frentistas especializados ya no tienen salida en industrias con este tipo de equipo.



Debido al avance tecnológico, con el paso natural del progreso y necesidades de la época, surgen los Controladores Electrónicos Programables que revolucionan las técnicas de procesos de maquinado en el campo industrial, desplazando a los sistemas tradicionales a base de reladores electromagnéticos y los sistemas mecánicos a base de levas.

Los primeros controladores programables (conocidos como CPU) son lanzados al mercado en 1969 con circuitos electrónicos hechos con componentes discretos e integrados a media escala. El uso de microprocesadores aplicados a este propósito aparece hasta 1971.

Inicialmente, estos controladores se aplicaron en la industria automotriz, por la complejidad y magnitud de sus procesos requeriendo de sistemas que permitieran llevar un mejor control y eficiencia en todas las operaciones del proceso. Así surgieron los robots o mecánicos que sustituyen algunas operaciones humanas por medio de un control programable, aplicándose inicialmente en aquellas operaciones que presentaban alto riesgo para el trabajador o aquellas que requerían una frecuencia o repetibilidad constante.

Actualmente el uso de controladores programables se ha extendido a aplicaciones industriales, principalmente en máquinas herramientas para usarse en procesos continuos de fabricación con los que se incrementa en gran medida la eficiencia de los procesos y la precisión de las partes trabajadas. Sin embargo, esta tecnología por su costo, solo se encuentra en industrias grandes y medianas, quedando excluidos los pequeños talleres.

La tecnología de los controladores programables aplicados a máquinas-herramientas está siendo estudiada por países como Japón, Estados Unidos, Alemania o Taiwan entre otros, sin embargo para México esta tecnología es cien por ciento importada y su estudio es prácticamente nulo.

En relación a su operación y programación la mayoría de las empresas que poseen este tipo de equipo carecen de personal calificado, lo que produce una aplicación deficiente. Algunas empresas contratan los servicios de técnicos extranjeros para su programación y control pagando por ello sueldos cotizados en dólares.

## CAPITULO 2

### RESEÑA HISTORICA

La maquina-herramienta ha jugado un papel fundamental en el desarrollo tecnológico del mundo hasta el punto de decir que "La tasa de desarrollo de nuevas herramientas gobierna directamente la tasa del desarrollo industrial".

Gracias a la maquina-herramienta se ha podido realizar de forma práctica, maquinaria de todo tipo que, no podia ser comercializada ya que no existian medios adecuados para su construcción industrial.

Paralelamente se fueron desarrollando las herramientas de corte usadas por dichas maquinas-herramientas. Fue hasta 1930 cuando se introdujo el sistema de tungsteno que una vez perfeccionado, es el mas usado en la actualidad en las naciones industrializadas del mundo.

#### 2.1 EVOLUCION DE LOS METODOS DE FABRICACION

En los sistemas convencionales de producción, usados en la mayor parte de las fábricas del mundo, las maquinas-herramientas del mismo tipo realizan agrupadas tareas cada maquina manejada independientemente. Las operaciones de mecanización necesarias para la fabricación de una pieza se dividen en un número de operaciones independientes cada una de las cuales se puede realizar mas eficientemente en una maquina en particular. De aqui surgió la idea de la utilización de nuevas técnicas que permitieran sustituir al operador humano, de esta forma se introdujo la maquina herramienta automatica en los procesos de fabricación, operación que viene impuesta por las siguientes razones:

a).- Necesidad de fabricar productos que no podían conseguir en cantidad y calidad suficiente sin recurrir a la automatización del proceso de fabricación.

20 - Necesidad de obtener productos de alta calidad, especialmente a la  
mayor dificultad fabricación, por ser realmente económica, debido a la  
diversidad de los aparatos hechos.

21 - Necesidad de fabricar productos a precios suficientemente  
bajos.

Inicialmente, el Factor predominante que condicionó este  
automatismo fue el aumento de la productividad, posteriormente y  
debido sobre todo a la mayor necesidad de la industria, han  
hecho su aparición otros factores que tomados conjunta e  
individualmente han llegado a tener enorme importancia, entre  
otros nuevos factores merecen citarse por su interés: La  
precisión, la rapidez y la flexibilidad.

A partir de entonces, todos los dispositivos automáticos  
diseñados por el hombre tienden a optimizar la función de estas  
variables: PRECISIÓN, RAPIDEZ, FLEXIBILIDAD Y FIDELIDAD.

Gracias a estos dispositivos automáticos se han podido  
diseñar aparatos con perfiles complejos que de otra forma, no  
podrían jamás haber sido fabricados.

## 2.2 APARICION DEL CONTROL NUMÉRICO

Hacia 1942 surgió lo que podemos llamar primer control  
numérico verdadero y que apareció como una necesidad impuesta por  
la industria aeronáutica.

La aparición del control numérico perfecto por primera vez  
optimizar la función mencionada (flexibilidad) lo que esta era  
prácticamente la mejor virtud de este nuevo automatismo.

El primer intento serio para obtener un verdadero control  
numérico partió de la necesidad de fabricar hélices de helicóptero  
de diferentes configuraciones y fue realizado por la empresa  
Parsons, ya que fabricaba diversos equipos para la defensa.

Se enfrentó a varios problemas hasta llegar a la realización  
de un computador que gobernaba una máquina fresadora, moviendo la  
fresa en pequeños pasos incrementales siguiendo la línea  
deseadamente del dibujo.

Cada vez que se va a utilizar una nueva tecnología, la fuerza aérea de Estados Unidos, comienza un camino al desarrollo tecnológico de Investigación y Desarrollo (I&D) sobre el desarrollo.

El Laboratorio de Sistemas Electrónicos del MIT comenzó a funcionar en 1950, un primer principio de desarrollo con control numérico que gobernaba tres ejes.

Posteriormente se desarrollaron numerosas tipos de control numérico para ser utilizados para resolver graves problemas de su operación complejidad y control y muy difícil programación, en especial en los sistemas de control.

La reciente incorporación de la microelectrónica (tecnología de integración a gran escala) en especial las microcomputadoras y sus complementos, han permitido abrir una nueva tecnología por donde están esperando a ser por nuevas generaciones de sistemas de control que las permitan controlar directamente la funcionalidad del control numérico y su modo de aplicación.



Fig. 6.1 Primer Control numérico

Esta máquina programada fue utilizada en 1952 en el Laboratorio de Seres Mecánicos del Instituto Tecnológico de Massachusetts.

## 2.3 EVOLUCION DEL CONTROL NUMERICO

El origen de la evolucion del control numerico hay que buscarlo en los desarrollos acelerados de la electrónica y, en particular, de la microelectrónica.

En la historia del control numerico, se pueden distinguir cuatro generaciones:

- En la primera, la logica de control estaba basada en tubos electrónicos y en relés.
- Mas tarde, y hasta 1965, la logica del control fue elaborada a partir de semiconductores: transistores, diodos y tiristores. Se pudo de esta forma construir equipos de control mas compactos.
- Hacia la tercera generacion, tenemos los circuitos integrados. Esto hizo que los equipos de control fueran todavia mas funcionales, mas compactos y se pudieran asumir las posibilidades de un costo relativamente bajo.
- En la cuarta generacion que está situada hacia los años de 1970-1975, la logica del tratamiento fue confiada a una computadora: en principio, una microcomputadora, por ella, una minicomputadora. Se ha llegado así a la logica por software o logica programada. En efecto, la logica del equipo de control se está realizando por montaje de elementos digitales, sino por programacion de una computadora.

Se trata de esta forma del CNC (Computer Numerical Control) o del control numerico con logica programada.

## CAPÍTULO 3

### LA MAQUINA-HERRAMIENTA CONVENCIONAL Y LA MAQUINA CNC.

Llamamos equipo convencional aquel equipo o máquina herramienta que por su construcción requiere, para mantener trabajando la presencia constante de un operario, el cual además deberá contar con cierto grado de especialización en su manejo. El equipo de Control Numérico en cambio no requiere la presencia constante del operario, sino solamente cuando la máquina ha terminado su ciclo de trabajo y requiere cambio de pieza, inclusive actualmente existen equipos de Control Numérico robotizados capaces de realizar su cambio de piezas automáticamente. Sin embargo para el control y programación de todo el equipo de Control Numérico de una empresa se requiere de al menos un Ingeniero Especialista.

#### 3.1 TORNO AUTOMÁTICO DE LEVAS

Los tornos automáticos de levas para el mecanizado de piezas a partir de barra son máquinas muy extendidas en los talleres y fábricas de construcción mecánica y, aunque actualmente existen tornos automatizados por otros sistemas (Control Numérico), aquellos seguirán siendo todavía durante mucho tiempo insustituibles en la fabricación de muchas piezas, por su relativa simplicidad, por su economía y buen rendimiento.

Todos los tornos en general, ya pueden ser horizontales, verticales, semiautomáticos, automáticos en sus diferentes modelos, se basan en el mismo principio de funcionamiento: la pieza gira y las herramientas fijas en sus respectivos portaherramientas, cortan el material al entrar en contacto con la superficie de la pieza. La pieza solamente gira, no se desplaza, sin embargo, sí que se desplazan las herramientas, que son las que van a buscar a la pieza para quitarle el material que le sobra, o sea, mecanizarla.

En este último aspecto es en el que fundamentalmente se diferencian los tornos automáticos de los otros tipos de tornos.

En los tornos no automáticos, el acercamiento de las herramientas, el avance, la profundidad de corte, la vuelta de la herramienta a su punto de partida, etc., es desde todos sus movimientos son mandados por un operario; aun cuando los tornos dispongan de avances automáticos de los carríos, el operario es el que tiene que actuar sobre las palancas o manivelas para entragar el movimiento automático y determinar el orden en que las herramientas deben actuar para realizar tal o cual operación.

En los tornos automáticos no ocurre así. El torno automático no requiere la intervención de ningún operario, es, por el solo, una vez puesto en marcha, hace que cada una de las herramientas se acerque a la pieza a su debido tiempo y a la velocidad adecuada, según un orden preestablecido, hasta lograr dejar la pieza terminada.

Esta automatización de los tornos, se consigue gracias a una serie de dispositivos y mecanismos eléctricos, mecánicos, neumáticos, hidráulicos o bien varios de estos combinados, figurando como elemento principal la leva.

Como se comprende, al producirse de una forma automática todos los movimientos de las herramientas, se consigue que los tiempos pasivos, es decir, los tiempos durante los cuales no se efectúa ningún corte de material están reducidos al mínimo, por cuya razón se alcanzan rendimientos mucho mayores, por encima de los que se obtienen en los tornos remóvil o cualquier otro tipo de torno.

Por su parte, tienen el inconveniente de que su preparación es complicada, precisando de personal especializado y capacitado con amplios conocimientos sobre los problemas de fabricación y preparación de las herramientas, así como sobre los métodos de trabajo en estas máquinas, en lo que se refiere a preparación y ordenación de las operaciones a efectuar por cada herramienta.

Por otro lado, necesitan de utillajes especiales y bastante caros para la mecanización de cada tipo de pieza. Todo lo cual significa también que el tiempo que se tarda en preparar la máquina para la fabricación una pieza de forma determinada sea considerable, puede ser de tres, cuatro e incluso más horas, aparte el tiempo que se tarda en construir los utillajes.

De así que la utilización de los tornos automáticos solamente

en instalaciones donde se trata de producir Leche de vaca, la leche, el queso y los derivados. Para que los niveles de producción queden asegurados, es necesario facilitar energía eléctrica con relación al trabajo que se tiene que hacer, en la fabricación.

### 3-2 PRINCIPALES DIFERENCIAS ENTRE UN TORNADO CONVENCIONAL Y UN TORNADO CON CONTROL NUMÉRICO.

La tabla 3-1 muestra las principales diferencias que por su concepción se aplican entre el tornado convencional y un tornado con Control Numérico.

En la tabla 3-2 se muestra que los elementos constituidos para el tornado es un equipo convencional con los tornados lineales, en las de las máquinas y las graduaciones en las herramientas o tornados graduados, mientras que en el equipo de Control Numérico no existen, se que se requiere de elementos más precisos que garanticen que en la construcción de componentes no habrá errores que produzcan variaciones y pérdidas de producción.

En los equipos de Control Numérico se facilita control de la herramienta por un fleje a todas las construcciones se hace un elemento prácticamente sin desgaste y sin ninguna alguna entre sus elementos.

El otro elemento que distingue al equipo con Control Numérico es la presencia de herramientas que controlan los movimientos de las ejes lo hacen y controlan la velocidad del fleje, así como su movimiento en el caso de ser requerido. Esta, las herramientas pueden trabajar con control directo o con control alterno dependiente del fabricante pero la función es la misma.

Independiente de las funciones que debe realizar la máquina, el control, a través de detectores de posición puede controlar por ejemplo el movimiento de un brazo que cambia la herramienta en una herramienta, la alimentación de material en tierra por una fuente en el caso de tornos alimentados por tierra, hacer girar la torreta de un torno para seleccionar una herramienta deseada y hasta detectar si el movimiento requerido es demasiado grande que provocaría que la máquina choque o se salga de su límite de movimiento normal en:



Tabla 3.1 EL TIEMPO CONVENCIONAL Y EL TIEMPO DE CONTROL NUMÉRICO

CARACTERÍSTICA A COMPARAR	TIEMPO CONVENCIONAL	TIEMPO CON CONTROL NUMÉRICO
FORMA DE LAS MOVIMIENTOS Y LOS CAMBIO	ARRO PUELOS Y TURNOS DE 20-30°	DEFLECTORES Y RUEDILLAS A BOLAS
FORMA DE CONTROL DE VELOCIDADES DEL RUEDILLO	PALANCA Y ENGRANES INTERCAMBIABLES	DIGITOS Y DEFLECTOR
MEDIANTE DEL RUEDILLO	FLECHA Y BALEROS	RUEDILLO A BOLAS
FORMA DE CONTROL DE LAS DEFLEXIONES AL MARCHAR	GRANAJONES EN LAS MARCHAS	SISTEMA DE OFFSET DE COMPENSACION
FORMA DE TOMAR UNA ROSCA	TORNILLO SUJA Y ENGRANES INTERCAMBIABLES O PALANCA DE CAMBIO	PROGRAMADA Y COMANDADA POR EL CONTROL
FORMA DE CAMBIO DE MARCHA	MANUAL ACCIONADO PALANCA DE CAMBIO	AUTOMÁTICA COMANDADA POR EL CONTROL
EL TIEMPO DE MARCHA	DEPENDIE DE LA HABILIDAD DEL OPERADOR	PRECALCULADO Y CONTROLADO POR EL CONTROL
LA PRECISION DE LOS MARCHAS	DEPENDIE DE LA HABILIDAD DEL OPERADOR	ALTIMA Y CONSTANTE

### 3.3 MAQUINA CNC.

#### AMBITO DE APLICACION DEL CONTROL NUMERICO.

Como mencionamos en el capítulo anterior, las cuatro variables fundamentales que intervienen en un automatismo son: Productividad, Precisión, Rapidez, Flexibilidad. De acuerdo con estas variables, analizaremos los distintos tipos de automatismos, a fin de elegir el más conveniente de acuerdo con el número de piezas a fabricar. Aunque este número no define necesariamente el tipo de automatismo más adecuado, sin embargo, en la gran mayoría de los casos suministra un índice muy importante para dicha selección.

#### 3.3.1 SERIES DE FABRICACION.

##### 3.3.1.1 GRANDES SERIES (mayores de 10,000 piezas)

Para responder al problema de la gran serie, se utilizan automatismos secuenciales mecánicos, neumáticos, hidráulicos o electro-neumáticos. Si la serie es muy grande, el automatismo debe poder permitir el trabajo simultáneo de varias cabezas que a su vez permitan unas velocidades muy grandes y por lo tanto un rendimiento de trabajo muy elevado.

La parte alta de la serie está cubierta hoy día por las máquinas Transferi, realizadas por varios automatismos trabajando simultáneamente en forma más o menos sincronizada.

De esta forma pueden realizar simultáneamente un conjunto de secuencias mecánicas simples que se repiten automáticamente para cada una de las piezas a fabricar.

El principal inconveniente de las máquinas Transferi reside en la elevada duración de los tiempos de preparación y replaje.

Si la serie no es tan grande, se pueden utilizar automatismos secuenciales simples en los que las secuencias mecánicas se desarrollan, la mayoría de las veces, unas después de otras.

Estos automatismos también representan el inconveniente mencionado, es decir, tiempos de preparación y replaje demasiado largos. Ejemplo de estas máquinas son los tornos automáticos.

40 - SERIES MÉRITAS (entre 50 y 10,000 piezas):

Para evaluar el problema de la fabricación de series cortas de estas series se utilizan hoy día otros tipos de automatismo:

- 1 - Copiadoras
- 2 - Control de programas numerados
- 3 - Control de sucesos

La elección de un automatismo u otro dependerá de la precisión, flexibilidad y rapidez exigida.

Desde la precisión y el tiempo de fabricación no son factores prioritarios, las ventajas presentes ventajas de su estructura. Existen transformas mecánicas o electrocónicas con las cuales la queda a fabricar se realiza sin necesariamente del uso de resortes exactamente el comportamiento de un palpador.

Los control de programas numerados, aunque presenta importantes ventajas pero presentan una clara falta de flexibilidad por la limitación del número de sucesos o programas realizables.

El control de sucesos será especialmente interesante cuando las fabricaciones se mantengan en series comprendidas entre 5 y 10,000 piezas, que deberán ser repetidas varias veces al año.

41 - PARA SERIES PEQUEÑAS (series de 5 piezas):

Para estas series, la utilización del control de sucesos no tiene ser viable, a no ser que la pieza fuera muy sencilla y que pueda efectuarse el programado con ayuda de un computador (programación automática). En otro caso los gastos de programación resultan bastante elevados a los costos de mecanización.

## CAPÍTULO 4

### LOS NÚMEROS BINARIOS Y LA ARITMÉTICA

La comunicación de el control numérico y el desempeño que hace de las funciones internas de la toma de decisiones y la memoria, se basa en un sistema de números binarios o de dos dígitos. Es esencial tener un conocimiento profundo del sistema de números binarios, sus variaciones y las reglas matemáticas para efectuar los procesos aritméticos de suma, resta, multiplicación y división.

La fórmula básica que convierte cualquier número de una base (raíz) dada a su equivalente decimal o en base diez, es:

$$N = a_n \times 10^n + a_{n-1} \times 10^{n-1} + a_{n-2} \times 10^{n-2} + a_{n-3} \times 10^{n-3} + a_{n-4} \times 10^{n-4}$$

$N$  =  $N$  = un número o combinación de dígitos que expresa una suma relacionada con la raíz indicada.

$a$  =  $a$  cualquier dígito de la raíz. Por ejemplo, el sistema decimal que usamos diariamente, de base diez, utiliza los dígitos 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, y 9

$R$  =  $R$  = la raíz, base o número de diferentes dígitos disponibles en el sistema numérico.

Si  $R$ , la raíz, es igual a diez, la fórmula básica numérica puede volver a expresarse en la siguiente forma:

$$N_{10} = a_n \times 10^n + a_{n-1} \times 10^{n-1} + a_{n-2} \times 10^{n-2} + a_{n-3} \times 10^{n-3} + a_{n-4} \times 10^{n-4} \\ + a_{n-5} \times 10^{n-5} + a_{n-6} \times 10^{n-6} + a_{n-7} \times 10^{n-7} + a_{n-8} \times 10^{n-8} + a_{n-9} \times 10^{n-9}$$

El número 15502 en base diez, representa la suma de dieciséis mil quinientos dos. De acuerdo con la fórmula:

$$N = 10 \quad a_n = 1 \quad a_{n-1} = 5 \quad a_{n-2} = 5 \quad a_{n-3} = 0 \quad a_{n-4} = 2$$

Si hacemos las substituciones correspondientes en la fórmula tenemos:

$$\begin{aligned}
 N_{10} &= 1 \cdot 10,000 + 5 \cdot 1,000 + 5 \cdot 100 + 0 \cdot 10 + 2 \cdot 1 \\
 &= 10,000 + 5000 + 500 + 2 \\
 &= 15502_{10}
 \end{aligned}$$

El número decimal 10111 representa la suma de diez mil ciento once.

$$\begin{aligned}
 d_5 &= 10 \\
 d_4 &= 1 \\
 d_3 &= 1 \\
 d_2 &= 1 \\
 d_1 &= 1 \\
 d_0 &= 0 \\
 d_{-1} &= 1
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 N_{10} &= 1 \cdot 10,000 + 0 \cdot 1,000 + 1 \cdot 100 + 1 \cdot 10 + 1 \cdot 1 \\
 &= 10,000 + 100 + 10 + 1 \\
 &= 10,111_{10}
 \end{aligned}$$

Observe lo que sucede con la suma que el número representa, cuando la base se cambia a dos, para el mismo número 10111.

$$\begin{aligned}
 N_2 &= d_5 \cdot 2^5 + \dots + d_4 \cdot 2^4 + d_3 \cdot 2^3 + d_2 \cdot 2^2 + d_1 \cdot 2^1 + d_0 \cdot 2^0 \\
 &= d_5 \cdot 2^5 + \dots + d_4 \cdot 16 + d_3 \cdot 8 + d_2 \cdot 4 + d_1 \cdot 2 + d_0 \cdot 1 \\
 N_2 &= 1 \cdot 16 + 0 \cdot 8 + 1 \cdot 4 + 1 \cdot 2 + 1 \cdot 1 \\
 &= 16 + 4 + 2 + 1
 \end{aligned}$$

$$10111_2 = 23_{10}$$

Así pues, el número 10111 en base dos, es igual a 23 en base diez.

La fórmula del número, escrita en función de la base dos, es conveniente para comprobar el valor decimal de cualquier número binario; sin embargo, a continuación se presenta un sistema más sencillo para convertir un número binario a su forma decimal.

#### 4.1 CONVERSIÓN DE UN NÚMERO BINARIO A SU FORMA DECIMAL.

1. Escriba el número binario.
2. Escriba un decimal 1 encima del DMS (dígito más significativo).

3. Examine el segundo DMS. duplique el número decimal del último paso si el dígito es cero, duplique el número decimal del último paso y sume uno si el dígito es uno. Anote este número decimal.

4. Tercer DMS. duplique el número decimal que se obtuvo en el paso anterior si el dígito es cero, duplique el número decimal obtenido en el último paso y agregue uno si el dígito es uno. Anote este número decimal.

5. Siga este mismo procedimiento con cada dígito binario hasta haberlos examinado a todos. El último número decimal completado es el equivalente decimal del número binario.

A continuación se presenta un ejemplo de la conversión del número binario 10011101 a su equivalente decimal.

1	0	0	1	1	1	0	1		DECIMAL
128	64	32	16	8	4	2	1		BINARIO

La siguiente es una regla similar simple para convertir un número decimal a su forma binaria:

#### 4.2 CONVERSIÓN DE NÚMERO DECIMAL A SU FORMA BINARIA

1. Divida el número decimal entre dos y anote la cifra restante.
2. Divida el cociente de último paso entre dos y anote la cifra restante.
3. Continúe este proceso de dividir los cocientes subsiguientes entre dos y anotando la cifra restante, hasta que el cociente sea cero.
4. El restante, tomado a la inversa, es el número binario equivalente (la última cifra restante se convierte en el número binario más significativo).

RESTANTES		
$2 \overline{)408}$	0	
$2 \overline{)200}$	1	0
$2 \overline{)100}$	0	1
$2 \overline{)50}$	0	0
$2 \overline{)25}$	1	0
$2 \overline{)12}$	0	1
$2 \overline{)6}$	0	1
$2 \overline{)3}$	1	0
$2 \overline{)1}$	1	
0		

Comprobar que:

$$\begin{aligned}
 N_{10} &= 1 \cdot 2^8 + 1 \cdot 2^7 + 1 \cdot 2^6 + 1 \cdot 2^5 + 1 \cdot 2^4 \\
 &= 256 + 128 + 64 + 32
 \end{aligned}$$

El equivalente binario del número decimal 408, es 110010010.

Las operaciones aritméticas que se usan en un computador numérico, nunca implican más de dos dígitos a la vez. Si es necesario agregar más de dos números para obtener una suma, el procedimiento que se sigue es sumar dos de los números y agregar el resultado al tercero, sumar este al cuarto, etc.

#### 4.3 REGLAS PARA LA SUMA DE NÚMEROS BINARIOS

Las reglas fundamentales de la suma de números binarios son:

0	0	1	1
+0	+1	+0	+1
0	1	1	10

La suma de dos números binarios que tengan más de un dígito, está basada en acarreo tales como los que se efectuaron cuando se sumó 1 a 1, teniendo como resultado 10. Se puede desarrollar una secuencia de pasos, a partir de las reglas fundamentales, que se añaden al manejo de los acarreo.

El primer dígito de los tres que a continuación se suman, representa un acarreo generado por una suma anterior.

0	0	0	0	1	1	1	1
0	0	1	1	0	0	1	1
<u>00</u>	<u>01</u>	<u>10</u>	<u>11</u>	<u>10</u>	<u>11</u>	<u>10</u>	<u>11</u>
0	1	1	10	1	10	10	11

A continuación, se dan unos ejemplos de la suma de dos números, que tienen más de un dígito:

10	10	10	11	11	11
<u>00</u>	<u>00</u>	<u>11</u>	<u>00</u>	<u>10</u>	<u>11</u>
11	100	101	100	101	110

#### 4.4 REGLAS PARA LA RESTA DE NÚMEROS BINARIOS

Las reglas fundamentales de la resta son:

0	1	1	0
<u>00</u>	<u>00</u>	<u>11</u>	<u>11</u>
0	1	0	-1

Si el minuendo es mayor que el sustraendo, la resta de un 1 a un cero sigue la regla convencional de pedir prestado del lugar más significativo del minuendo. Por ejemplo:

10	100	1000	1010
<u>11</u>	<u>11</u>	<u>11</u>	<u>111</u>
1	11	111	111

La técnica acostumbrada para efectuar una sustracción de números binarios, se basa en el uso de los complementos del dos. Este es el sistema de números binarios, equivalente al uso de los complementos del nueve en el sistema de números decimales. Esta técnica efectúa la resta mediante la suma de un número positivo y otro negativo complementado. El primer paso del método es determinar si el número negativo tiene o no el mismo número de



dígitos que el positivo. Si no es así, deben colocarse los suficientes ceros en el número más significativo, para que tenga el mismo número de dígitos que el positivo. Luego, debe complementarse el negativo, cambiando todos los unos a ceros y todos los ceros a unos y sumando un uno al resultado. Suma el número positivo y el negativo complementado; si la cifra obtenida en la suma tiene más dígitos que cualquiera de los dos números que se sumaron, la cifra de la suma es positiva y el dígito más significativo se suprime de dicha cifra, para obtener la respuesta correcta. Si el número de la suma tiene el mismo número de dígitos que se sumaron, dicho número es negativo; entonces, debe complementarse, por lo que se suma un uno, para obtener la respuesta correcta.

Ejemplo: Resta 7 de 9

$$9_{10} = 1001_2$$

$$-7_{10} = -0111_2$$

El complemento de  $0111_2$  es  $1000 + 1 = 1001$ . Suma el complemento del número negativo al positivo.

$$\begin{array}{r}
 1001 \\
 1001 \\
 \hline
 10010
 \end{array}$$

La suma tiene más dígitos que cualquiera de los dos sumandos, por lo tanto, se suprime el dígito más significativo y el número restante es la respuesta, que es positiva.

$$9_{10} = 1001_2$$

$$-7_{10} = -0111_2$$

$$\begin{array}{r}
 1001 \\
 1001 \\
 \hline
 10010
 \end{array}$$

Ejemplo: Resta 9 de 7

$$7_{10} = 0111_2$$

$$-9_{10} = -1001_2$$

El complemento de  $-1001_2$  es  $0110 + 1 = 0111$ . Suma el complemento del número negativo al positivo.

0111

0111

1110

La suma tiene el mismo número de dígitos que cualquiera de los sumandos; por lo tanto, para obtener el resultado, la suma debe complementarse y la respuesta es negativa. El complemento de 1110 es  $0001 + 1 = 0010$ .

$$7_{10} = 0111_2$$

$$-9_{10} = -1001_2$$

$$\hline -9_{10} = -0010_2$$

#### 4.5 MULTIPLICACIÓN DE UN NÚMERO POR OTRO

El método ordinario de multiplicación de un número por otro se basa en el conocimiento de las tablas de multiplicación que, básicamente, no son más que una tabulación de sumas. Por ejemplo, 4 multiplicado por 7 es 28.

Otro modo de expresarlo es decir que si se usan siete cuatros, el resultado es 28. En el control numérico se lleva a cabo la multiplicación, sumando juntos un número de multiplicandos igual al multiplicador, para obtener un producto.

#### 4.8 DIVISION DE UN NUMERO POR CERO

El método ordinario de la división de un número por cero también está basado en el asociamiento de las tablas de multiplicación. Por ejemplo, veintiocho dividido entre siete es cuatro. Otro método de explicar esto es decir que si se restan cuatro de veintiocho, luego, se restan cuatro del resto de 24; a continuación, se restan cuatro de los 20 que quedan...etc., se descubrirá que puede restarse la cifra 4 de los restos sucesivos siete veces, antes de obtener como resultado cero. El control numérico efectúa la división por medio de este método de restas sucesivas.

En resumen, para realizar los procesos aritméticos de suma y resta, el control numérico necesita dos circuitos: uno de ellos para sumar dos números y el otro para complementar los números negativos. Las multiplicaciones se efectúan por medio de esos dos circuitos, así como que cuenta las adiciones o sustracciones sucesivas que se llevan a cabo.

En muchas aplicaciones, es más simple usar una combinación del sistema binario y el de números decimales. Una de esas combinaciones, conocida como decimal codificado en el sistema binario o BCD, utiliza el número binario de cuatro dígitos, equivalente a cada dígito decimal (ver tabla 4.1)

TABLA 4.1

Decimal	BCD
0	0000
1	0001
2	0010
3	0011
4	0100
5	0101
6	0110
7	0111
8	1000
9	1001

Un número escrito en BCD consiste en grupos de cuatro dígitos binarios.

Número decimal	1	7	5	9	3
Número BCD	0001	0111	0101	1001	0011

No confundir nunca un número escrito en BCD con un binario natural, ya que no existe relación alguna entre ellos.

#### 4.7 REGLAS PARA LA ADICIÓN DE NÚMEROS BCD

Las reglas para la adición de números BCD son una combinación de las reglas para la suma de números binarios y la de los decimales. Esto se debe a que un número BCD no es verdaderamente binario ni decimal. La suma de dos representaciones en BCD de dígitos decimales sigue las reglas para la adición de números binarios. No obstante, el que se hayan generado o no acarreo al siguiente lugar significativo depende de si la suma de los dos representaciones de BCD es igual o mayor que 1010 o 10 decimal. Por ejemplo, sume 5 y 7 utilizando el BCD.

$$\begin{array}{r}
 7_{10} = 0111_2 \\
 5_{10} = 0101_2 \\
 \hline
 12_{10} = 1100_2
 \end{array}$$

La suma es mayor que 1010. Reste 1010 de la suma y acarree uno al siguiente lugar más significativo.

$$\begin{array}{r}
 0111 \\
 +0101 \\
 \hline
 1100 \\
 -1010 \\
 \hline
 0110
 \end{array}$$

RESPUESTA: 0001 0110 en BCD = 12

#### 4.8 REGLAS PARA LA SUSTRACCIÓN DE NÚMEROS BCD

De igual manera, las reglas para la sustracción de números BCD son una combinación de las de la resta de números binarios y decimales. Así pues, si el sustraendo es más pequeño que el minuendo, debe pedirse un uno prestado del siguiente dígito más significativo del minuendo (o se tendrá un número negativo).

Por ejemplo, utilizando BCD, reste 13 de 21

$$\begin{array}{r} 21_{10} = 0010 \quad 0001 \\ -13_{10} = 0001 \quad 0011 \\ \hline \end{array}$$

Puesto que no pueden restarse tres de uno sin pedir un uno prestado, se pide un uno del siguiente dígito más significativo del minuendo y se agregan diez al dígito menos significativo. Expresando esto nuevamente tenemos:

$$\begin{array}{r} 21_{10} = 0001 \quad 1001 \\ -13_{10} = 0001 \quad 0011 \\ \hline 08_{10} = 0000 \quad 1000 \end{array}$$

#### 4.9 CÓDIGO GRAY

Otra variación del sistema de números binarios consiste en los códigos binarios no ambiguos que casi siempre se relacionan con dispositivos rotatorios para codificar, que miden la posición del eje o la posición lineal. El más notable es el código de Gray, que se tabula parcialmente con los equivalentes decimales y binarios que se dan en la tabla 4.2.

TABLA 4.2

DECIMAL	BINARIO	GRAT
0	0000	0000
1	0001	0001
2	0010	0001
3	0011	0000
4	0100	0110
5	0101	0111
6	0110	0100
7	0111	0100
8	1000	1000
9	1001	1001
10	1010	1111
11	1011	1110
12	1100	1010
13	1101	1011
14	1110	1001
15	1111	1000

Una codificadora típica tendría una pista para cada dígito que forma parte del número total. Por ejemplo, en la tabla anterior se usarían cuatro pistas dividiendo el recorrido total de la codificadora en dieciséis partes. Si un bit fuera igual a un dieciséisavo de pulgada. Suponga que cada pista consiste en un patrón de material conductor y no conductor que detecta una escobilla.

Esta última establece un circuito cuando descansa sobre el material conductor y lo rompe cuando lo hace sobre el no conductor. Si todos los patrones de pista y sus escobillas correspondientes no están perfectamente alineados entre sí, existe la posibilidad de una ambigüedad. Veamos, por ejemplo, el cambio de la posición de la codificadora del 7 al 8. En el código binario, tres dígitos van al cero y el otro al uno. Si la alineación no fuera absolutamente perfecta, se podría detectar cualquiera de los números siguientes: 1011, 1101, 1010, 1000, 1011, 1000 y 1000; y sólo este último sería el correcto.

Veamos, ahora, el cambio de cualquiera de los números sucesivos del código Gray. Solo un bit cambia y el error máximo que podría generar una mala alineación de la codificadora, sería de un bit.

El código Gray se genera de números naturales binarios, complementando el dígito que sigue a cada 1 del número binario, principiando con el dígito más significativo y siguiendo, sucesivamente, hasta el menos significativo. El número natural binario, equivalente a un número del código de Gray, puede generarse, leyendo este último, apartir del dígito más significativo hasta el menos significativo, al leer el primer 1, complementa los dígitos sucesivos, hasta llegar al siguiente 1, luego complementa los dígitos siguientes, hasta llegar al siguiente 1, complementa 1, luego deja de hacerlo hasta llegar al siguiente 1 y así sucesivamente.

#### Conversión de binario a Gray

Binario	1000	1111
Gray	1111	1000

#### Conversión de Gray a binario

Gray	1 1 0 0 0	0 1 1 0 1
	1 1 1 1 1	1 1 1 1 1
Binario	1 0 0 0 0	0 1 0 0 1

## CAPITULO 5

### CIRCUITOS DIGITALES BASICOS Y CONTADORES BINARIOS

La sección digital de un control numérico se compone fundamentalmente del mismo circuito básico usado repetidas veces. Sería innecesario y excesivo mostrar el mismo circuito una y otra vez, de manera que el circuito y sus combinaciones se representan mediante símbolos lógicos que, además, indican la función lógica prevista por el diseñador. Los símbolos lógicos que se utilizarán en este capítulo son los más comúnmente empleados por los fabricantes de controles numéricos y computadoras.

Este circuito digital lógico básico es la compuerta, denominada así, porque se abre o se cierra a la transmisión de señales o pulsos lógicos de tensión. Tanto las entradas a la compuerta como las salidas de esta son cualquiera de dos valores de tensión: el primero, asignado a un uno lógico o "1" y el otro, asignado al cero lógico o "0". Las dos funciones lógicas de compuerta son la AND (Y) y OR (O). La salida de una compuerta AND es "1" si la entrada A AND, la entrada B AND, la entrada C AND ... son "1". Por el contrario, si cualquiera o todas las entradas a una compuerta AND son "0", entonces la salida es "0". A y B son las entradas a los circuitos de compuerta de diodo y Q es la salida de los que siguen. El "1" se define como +V y "0" es la tierra. La parte del circuito que queda al interior de las líneas punteadas es el de compuerta (Fig. 5.1).

Cuando los dos interruptores están abiertos, las entradas A y B son "1" y Q es "1". La función de este circuito, expresada de acuerdo con la terminología del álgebra de los interruptores, es  $A \cdot B = Q$ . El punto entre A y B representa la función lógica AND. El símbolo lógico de la compuerta AND aparece ilustrado en la fig. 5.2.

Todas las combinaciones posibles de las entradas y las salidas resultantes de la compuerta de diodo pueden verse objetivamente, utilizando una tabla de verdad (Tabla 5.1) que se lee horizontalmente.



Das ecuaciones algebraicas de constitución pueden derivarse de esta tabla de verdad:

$$\bar{A} \cdot \bar{B} = \bar{A} \cdot \bar{B} + A \cdot \bar{B} = \bar{B}$$

La salida es "0", si la entrada a A AND B es "0", OR si la entrada a A es "0" AND la entrada a B es "1", OR si la entrada a A es "1" AND la entrada a B es "0".

$$A \cdot B = Q$$

La salida es "1", si la entrada a A AND la entrada a B es "1".

La raya que aparece sobre la letra de la ecuación, indica que el valor lógico en el punto considerado (A, B o Q) está en "0", si no tiene esta raya, el punto está en "1". Puesto que la tabla de verdad se lee horizontalmente, todas las entradas se combinan en una función AND. Cuando la tabla se lee verticalmente, cada combinación horizontal AND que tiene el mismo valor lógico de salida, se combina en una función OR. Sólo pueden escribirse dos ecuaciones posibles de cualquier tabla de verdad, una para el valor "1" de salida y la otra para el valor "0" de la salida, el símbolo lógico representa solo una de estas ecuaciones; pero dicho símbolo, y su tabla de verdad correspondiente, son semejantes a los dos lados de una moneda. La tabla de verdad puede desarrollarse a partir del símbolo lógico y viceversa.

La salida de una compuerta OR es "1", si la entrada A OR la entrada B, OR la entrada ... es un "1". Por el contrario, si todas las entradas a una compuerta OR son "0", entonces la salida es "0" (fig. 5-3).

Si tanto A OR B (OR ambas) están en "1" debido al interruptor cerrado, la salida Q estará en "1". La función de este circuito expresada de acuerdo a la terminología del álgebra de constitución, es  $A + B = Q$ . El signo "+", que está entre A y B representa la función lógica OR. El símbolo lógico y la tabla de verdad de la compuerta OR, se ilustran en la fig. 5-4.

Entrada a A	Entrada a B	Salida a Q
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

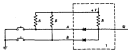


Fig. 5.1



Fig. 5.2



Fig. 5.3

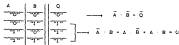


Fig. 5.4

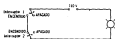


Fig. 5.5

Los circuitos de conmutación se encuentran frecuentemente en la vida diaria, y pueden definirse mediante tablas de verdad, símbolos lógicos y el álgebra de conmutación. Veamos, por ejemplo, un circuito (Fig. 5.5) que requiere interruptores cerrados en serie, para encender una luz.

SW 1	SW 2	Luz
OFF	OFF	OFF
OFF	ON	OFF
ON	OFF	OFF
ON	ON	ON

Es. ON se define como "1", OFF como "0" y la luz como un "1". La tabla de verdad se convertiría en:

Sen. 1	Sen. 2	Luz
"0"	"0"	"0"
"0"	"1"	"0"
"1"	"0"	"0"
"1"	"1"	"1"

La representación esquemática lógica de la compuerta de diodo correspondiente a esta tabla de verdad, sería la que aparece en la fig. 5.6.

Si tanto SW1 como SW2 están en "1", la luz estará en "1" o ON, y  $A \cdot B = Q$ .



Fig. 5.6

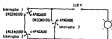


Fig. 5.7

Si se agregara un SW3 a este circuito, sus tablas de verdad se escribirían como se indica en la fig. 5.7.

SW <sub>1</sub>	SW <sub>2</sub>	SW <sub>3</sub>	Luz
OFF	OFF	OFF	OFF
OFF	ON	OFF	OFF
ON	OFF	OFF	OFF
ON	ON	OFF	ON
OFF	OFF	ON	ON
OFF	ON	ON	ON
ON	OFF	ON	ON
ON	ON	ON	ON

SW <sub>1</sub>	SW <sub>2</sub>	SW <sub>3</sub>	Luz
"0"	"0"	"0"	"0"
"0"	"1"	"0"	"0"
"1"	"0"	"0"	"0"
"1"	"1"	"0"	"1"
"0"	"0"	"1"	"1"
"0"	"1"	"1"	"1"
"1"	"0"	"1"	"1"
"1"	"1"	"1"	"1"

De acuerdo con esta tabla de verdad, podemos determinar que siempre que el SW<sub>1</sub> AND SW<sub>2</sub> sean "1", OR SW<sub>3</sub> sea "1", la luz es "1" (Fig. 5.8).

Cuando se conectan juntas muchas muchas compuertas de diodo, la pérdida de tensión entre la entrada y la salida requiere el uso de amplificadores, para restaurar una diferencia adecuada entre los niveles lógicos de "0" y "1". El uso de transistores en lugar de diodos resuelve este problema, debido a la amplificación inherente de una señal que pasa por un transistor.

En la forma en que se aplica en un circuito digital lógico, el transistor funciona básicamente como un relé activado con

un solenoido de un solo contacto. Este se encuentra en el emisor y el colector del transistor.

La apertura y el cierre del contacto se efectúan aplicando y suprimiendo una tensión en la base del transistor. Si la base de un transistor pnp es más positiva que el emisor, el circuito emisor-colector estará abierto. Si la base es más negativa que el emisor, el transistor llega al punto de saturación y el emisor y el colector sacian un corto circuito (Fig. 5.8).

En este circuito básico, cuando la entrada a la base está a un nivel de tierra, la base es más positiva que el emisor conectado a tierra, el transistor no conduce y la salida se fija a +V volts por la acción del diodo conectado al colector. Si la entrada se encuentra a -V volts, la base es más negativa que el emisor, el transistor conduce y la salida se eleva al potencial de tierra del emisor (Tabla 5.2). La función lógica NOR se efectúa, utilizando este circuito, debido a que invierte o complementa el nivel de señal entre la entrada y la salida.

Un circuito de compuerta de entradas múltiples (Fig. 5.10) se puede construir, conectando resistencias múltiples en paralelo a la base del transistor. Si cualquiera de las entradas está a -V volts, el transistor conduce y la salida estará al nivel de tierra.

Si ambas entradas están en cero, el transistor no conduce y la salida se fija a +V volts, mediante el diodo conectado al colector (Tabla 5.3).



Fig. 5.8

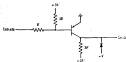


Fig. 5.8

Tabla 5.2 Tabla de verdad de la tensión

Entrada	Salida
+	-
-	+

Tabla 5.3 Tabla de verdad de la tensión

A	B	C
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

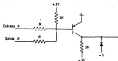


Fig. 5.10  $V =$  volts;  $2V = 2$  por  $V$

Si se asigna "1" a la tensión negativa y "0" a la positiva, la tabla lógica de verdad será:

A	B	Q
"0"	"0"	"0"
"0"	"1"	"0"
"1"	"0"	"0"
"1"	"1"	"1"

$\bar{A} \cdot \bar{B} = Q$   
 $\bar{A} \cdot B + A \cdot \bar{B} + A \cdot B = \bar{Q}$

Este es el circuito NOR, llamado así porque si la entrada A NOR la B son un "1", y la salida es "1". Se aplica también la inversa de que si la salida A o la B o ambas son "1", la salida es "0". Para representar este circuito puede usarse uno de dos símbolos lógicos, uno para la ecuación para  $\bar{Q}$  y otro para Q.



$$\bar{A} \cdot B + A \cdot \bar{B} + A \cdot B = \bar{Q}$$

El símbolo más grande representa el circuito de compuerta, las entradas están en el lado plano y la salida en el redondeo. El pequeño círculo que está en la salida indica que esta es "0" cuando se satisfacen los requisitos indicados de las entradas.



Cuando no aparecen estos pequeños círculos en las entradas, se está indicando que debe ser "1", como lo requiere el signo lógico que está dentro del símbolo de la compuerta que, en este caso, es ". Así pues, si una entrada ON la otra ON ambas son "1", se satisfacen las requisitos de entrada, indicando y la salida es "0".

El símbolo lógico alterno es:



$$\bar{A} \cdot \bar{B} = 0$$

que indica que si las entradas A AND B son "0", como lo indican los dos pequeños círculos que aparecen en las entradas y el punto que está dentro del símbolo de compuerta, la salida es "0".

Cualquiera de los dos símbolos representa al mismo circuito y a la misma tabla de verdad. El símbolo usado depende de la selección de la función lógica que haga el diseñador, para hacer que el circuito en el que se usa la compuerta efectúe la función lógica deseada. Los dos símbolos diferentes le permiten al diseñador comenzar su razonamiento al usuario de la lógica esquemática.



Fig. 5.11

Normalmente, el circuito de una sola entrada que se usa para efectuar una inversión o complementación se ilustra en la forma siguiente:



No importa si su función designada sea complementar a "1" o a "0", o bien, invertir un "0" por un "1". En la práctica, se usan compuertas NOR de entradas múltiples como inversores, utilizando, simplemente, una entrada a la compuerta. Las entradas no usadas se consideran como "0" todo el tiempo, con el fin de leer la representación esquemática lógica. Las funciones lógicas AND y OR, desempeñadas por las compuertas de diodo, pueden obtenerse fácilmente mediante la combinación adecuada de compuertas NOR (Fig. 5.11 y 5.12).

A	B	C	Q
"0"	"0"	"1"	"0"
"0"	"1"	"0"	"1"
"1"	"0"	"0"	"1"
"1"	"1"	"0"	"1"

$\bar{A} \cdot \bar{B} = \bar{Q}$   
 $\bar{A} \cdot B + A \cdot \bar{B} + A \cdot B = Q$

La tabla de verdad indica que esta combinación es una función verdadera OR. Si cualquiera de las entradas A OR B es "1", la salida Q es "1" (Fig. 5.12).



Fig. 5.12



Fig. 5.13

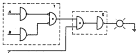


Fig. 5.14

A	B	C	D	Q
"0"	"0"	"1"	"1"	"0"
"0"	"1"	"0"	"0"	"0"
"1"	"0"	"0"	"1"	"0"
"1"	"1"	"0"	"0"	"1"

$\left. \begin{array}{l} \text{---} \bar{A} \cdot \bar{B} \cdot \bar{C} \cdot \bar{D} \\ \text{---} A \cdot B \cdot C \cdot D \end{array} \right\} \rightarrow \bar{A} \cdot \bar{B} + \bar{A} \cdot B + A \cdot \bar{B} + Q$   
 $\text{---} A \cdot B = Q$

En la tabla de verdad, C es el complemento de A, y D lo es de B.

Cuando tanto C como D son "0", Q es "1". La tabla de verdad indica que esta combinación es una AND verdadera. Cuando la entrada A AND B son "1", la salida es "1" (fig. 5.12).

La expresión lógica para el ejemplo del circuito de luz modificado, era  $A \cdot B + C + D = Q$ , y el diagrama lógico, usando compuertas de diodo, es el que se ilustra en la figura 5.13. Si en lugar de las compuertas de diodo se usan los equivalentes NOR de compuerta, el diagrama lógico correspondiente es el que se ilustra en la figura 5.14. El uso de compuertas NOR para este circuito implica más el uso de más compuertas que si se utilizaran compuertas de diodo.

Analicé esta proposición: si A OR B, AND C OR D están en "1", se desea que se encienda una luz. La expresión lógica sería  $(A + B) \cdot (C + D) = Q$ . La representación lógica esquematizada de la compuerta de diodo, correspondiente a esta expresión, se ilustra en la figura 5.15. Si los circuitos equivalentes de compuerta NOR se substituyen, el resultado es el que se indica en la figura 5.16.

Los inversores en serie se anulan, de tal manera que este circuito se reduce al que aparece en la figura 5.17. En este caso, el número de compuertas NOR requerido es igual al de compuertas de diodo necesarias para la misma función lógica. En la práctica, el costo de implantar circuitos lógicos es inferior cuando se usan compuertas de transistores que el que se tendría si se utilizaran compuertas de diodo y los amplificadores necesarios para restaurar el nivel.



Fig. 5.15

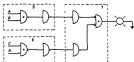


Fig. 5.16

La tabla de verdad lógica de la compuerta NOR será:

A	B	O
"0"	"0"	"1"
"0"	"1"	"0"
"1"	"0"	"0"
"1"	"1"	"0"

Puesto que "0" se definió como la tensión más positiva. Si "1" se hubiere definido como la tensión más positiva, la tabla lógica de verdad habría sido exactamente lo contrario.

A	B	Q
1	1	1
1	0	0
0	1	0
0	0	0

Esta es la tabla de verdad de una lógica NAND, llamada así porque si la entrada A AND la entrada B son "1", la salida es NOT "1". Los dos símbolos lógicos que se usan en la lógica NAND se ilustran en la figura 5.18. Observe que el símbolo de la función lógica del punto y el signo más, que están dentro del semicírculo son la inversa de los símbolos NOR.



Fig. 5.17



Fig. 5.18

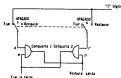


Fig. 5.19

La necesidad que tiene el control numérico de un elemento de consulta capaz de tomar decisiones, se satisface mediante la compuerta NOR. En la figura 9-16 se indica que la necesidad de un elemento de memoria puede satisfacerse también con las compuertas NOR. Las dos compuertas NOR de la figura se conectan, para formar un elemento simple de memoria, llamado dispositivo bistable. El elemento "memoriza" cuando el interruptor articulado está en la posición OFF, si la última posición de dicho interruptor era SET (Figura 9-16) o RESET (continuación).

Cuando el interruptor está en la posición SET, conecta a "1" a A de la compuerta 1. Esto hace que se aplique un "0" a B de la compuerta 2.

Puesto que C de la compuerta 2 no está conectada, esta compuerta actúa como un simple inversor y su salida "1" se aplica a B de la compuerta 1.

Si ahora el interruptor se pasa a la posición OFF, la compuerta 1 seguirá dando un "0", debido a que el "1" en B y la compuerta 2 seguirán dando un "1", en virtud del "0" en A. Si el interruptor articulado se vuelve a la posición RESET, se proporciona un "1" a C de la compuerta 2, produciendo una salida "0" (sea cual fuere el nivel lógico de la entrada D de la compuerta 2). Puesto que A de la compuerta 1 está desconectada, esta compuerta actúa como un simple inversor y su salida es "1" a B. Si ahora se pasa el interruptor a la posición OFF, la compuerta 2 seguirá dando un "0" y la compuerta 1 un "1".

El dispositivo bistable recuerda si lo último que se aplicó a A o C fue un "0". Si la salida de SET es "1", la de RESET debe ser "0" y se sabe que se aplicó un "1" a A. Si la salida de SET es un "0" y la de RESET es un "1", lo último que se aplicó a C es "1".

El interruptor articulado no se incluye en el símbolo lógico de un dispositivo bistable simple (Figura 9-100). Las entradas aparecen a la izquierda, la posición SET corresponde a A y la de RESET a C. Las salidas se indican a la derecha, siendo SET la correspondiente de B y RESET la de D.

El símbolo indica el estado de salida del dispositivo bistable, cuando está en SET, un "1" en la terminal de salida en SET, indicada por la presencia del pequeño círculo y un "0" en la

terminal de salida de RESET, como lo indica el pequeño círculo. Una restricción existente es que "1" no puede aplicarse simultáneamente, tanto a la entrada en SET como a la de RESET, debido a que el estado resultante del dispositivo bistable será indeterminado.



Fig. 5.20



Fig. 5.21

Esta restricción puede eliminarse, conectando debidamente las entradas (Fig. 5.21).

Un dispositivo bistable conectado de esta manera se denomina autodirigido, debido a que, si está fijo, dirige las entradas A y B, de manera que solo puede restaurarse y viceversa. Por ejemplo, cuando está fijo, D es "0", E es "1", E debe estar en "0", sea cual sea el nivel lógico de A. Si E está en "0", no tiene efecto en el dispositivo bistable. Cuando D está en "0", tan pronto como D se hace "0", E se hace "1", lo cual restaurará al dispositivo bistable. Es imposible que las entradas en SET y RESET del dispositivo bistable sean "1", simultáneamente. En realidad, A y B podrían unirse y el dispositivo bistable se autodirigiría correctamente, dependiendo del estado en que se encontrara cuando A y B se hicieran "0".

Sin embargo, si A y B se mantienen en un "0" constante, el dispositivo bistable oscilará entre el estado SET y el RESET, debido a la acción de autoexcitación, hasta que las entradas A y B hagan vuelta a "1". Esta característica de oscilación es útil, ya que cuando el dispositivo bistable se conecta en esta forma, constituye un generador ideal de un tren de pulsos en onda cuadrada. La frecuencia de la salida se ajusta mediante la adición de constantes de tiempo a los circuitos del dispositivo bistable.

La característica de oscilación puede eliminarse, usando una compuerta que proporcione una salida de pulso, cuando ambas entradas a ellas son "0" (Fig. 5.22). El funcionamiento satisfactorio de esta compuerta depende de la entrada X, que se hace "0", después de que la entrada Y está en "0".

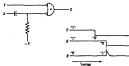


Fig. 5.22

Si esta compuerta se substituye por las de entrada del circuito anterior, el dispositivo bistable cambiará de estado sólo una vez, para las entradas A y B juntas, que han sido cambiadas de "1" a "0". La entrada Y a esta compuerta se denomina, casi siempre, entrada directora y la entrada X se conoce como de disparo (Fig. 5.23).

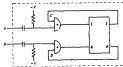


Fig. 5.23



El símbolo lógico que representa la combinación dentro de las líneas precedidas se convierte en:



- SS = dirección en SET = entrada C
- ST = disparo en SET = entrada A
- SP = disparo en RESET = entrada B
- SE = dirección en RESET = entrada D

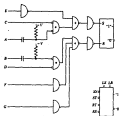


Fig. 5.24

El dispositivo bistable más útil (debido a su versatilidad) es uno que puede fijarse o restaurarse, ya sea con un nivel lógico único mediante una combinación de entradas de dirección y disparo, y que tenga también un control adicional de restauración, que pueda usarse como restaurador común. Cuando se aplica energía a un circuito digital, se desconocen los estados del dispositivo bistable, se usa un circuito común de restauración para establecer condiciones conocidas en todos los circuitos antes de poner en funcionamiento el control (figura 3.24). En esta figura aparecen, primeramente, el diagrama lógico del circuito bistable y, en segundo lugar, el símbolo lógico de dicho circuito que, a veces, se denota "J-K flip-flop".

SE = dirección en SET = entrada C  
 ST = disparo en SET = entrada A  
 RT = disparo en RESET = entrada B  
 RS = dirección en RESET = entrada D  
 LS = ajuste de nivel = entrada E  
 LR = restauración de nivel = entrada F  
 CR = restauración común = entrada G

En la práctica, las funciones lógicas de las siete compuertas y el dispositivo bistable simple, representadas mediante este símbolo lógico, pueden obtenerse por medio de un circuito de dos transistores, además de las resistencias, los diodos y los capacitores necesarios, con la polarización adecuada.

#### COUNTDOWN BINARIOS.

El circuito de almacenamiento no sólo debe retener números, sino que, además, debe tener capacidad para el borrado o la inserción de nuevos números y permitir el acceso a los números almacenados, sin borrado. El sistema flip-flop (bistable) satisface todos esos requisitos. Se trata de un dispositivo bistable y, por lo tanto, la información almacenada puede estar representada por números de base 2 y ser binarios naturales (verdaderos) o números decimales codificados binarios (figura 3.25).

Si se representa el cero binario por el estado reset

(restauración) de un sistema bistable y el uno binario por el estado del mismo sistema. La combinación de cuatro sistemas bistables (flip-flop) de la figura 5.25 puede almacenar cualquier información de la tabla 5.4.

Cualquier número almacenado puede borrar-se, aplicando "0" al circuito reset común. La mayoría de los fabricantes de circuitos digitales lógicos han utilizado un conjunto de cuatro sistemas bistables.

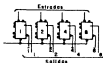


Fig. 5.25

Tabla 5.4

Binario	Equivalente Decimal
0000	0
0001	1
0010	2
0011	3
0100	4
0101	5
0110	6
0111	7
1000	8
1001	9
1010	10
1011	11
1100	12
1101	13
1110	14
1111	15

Se utiliza una línea de conexión para el grupo, como control común de restauración, con el resultado de que se produce una restauración simultánea de los cuatro sistemas bistables, al

activarse (si uno de los sistemas bistables no está fijo, la aplicación de una señal de restitución como no modificará su estado). Se utilizan cuatro entradas binarias equilibradas, conectándose cada una de ellas a una de las conexiones del nivel set de los cuatro sistemas bistables.

Así pues, para almacenar el número binario 0011, sólo se activarán los sistemas bistables marcados 1 y 2, aplicando un "0" a sus entradas respectivas. Para almacenar 0101, sólo se utilizarán los sistemas bistables marcados 1 y 4.

El número almacenado en los sistemas bistables se determina mediante la verificación de los estados de salida de dichos sistemas. La salida de un sistema bistable en set, será precisamente la inversa de otro en reset, pudiendo determinarse, en esa forma, los ceros y unos almacenados del número binario.

Las salidas del dispositivo bistable 1 se marcan como  $\bar{1}$  y 1 (figura 3.20).

Si el dispositivo bistable se fija indicando que se ha almacenado en uno, la conexión marcada como  $\bar{1}$  sería "0" y la marcada como 1 sería "1". Si no se almacenara en uno, las conexiones de salida marcadas como  $\bar{1}$  y 1 tendrían el sentido lógico inverso.

Normalmente se acostumbra incluir compuertas para controlar el preestablecimiento de los dispositivos bistables de almacenamiento. Para fijar uno de éstos, se necesita no sólo que la señal de entrada presente sea del sentido lógico correcto, sino también que el nivel lógico de TRANSFERENCIA (TRANSFER) sea el debido.

Esta configuración se conoce con el nombre de almacenamiento intermedio y su símbolo lógico se ilustra en la figura 3.27. Las cuatro entradas de la parte superior y la de TRANSFER controlan el ajuste de los dispositivos bistables respectivos que aparecen debajo, marcados como 1, 2, 4 y 8. Las ocho salidas (dos de cada dispositivo bistable) se sitúan en la parte inferior. El RESET como se indica hacia la izquierda.

Para almacenar un número decimal de dos dígitos, se requieren dos tableros de almacenamiento intermedio, uno asignado para almacenar unidades y el otro para decenas. En la figura 3.28, los dispositivos bistables fijos aparecen sombreados para indicar como se almacenaría el número 76.

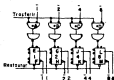


Fig. 5.26



Fig. 5.27



Fig. 5.28

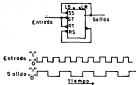


Fig. 5.29

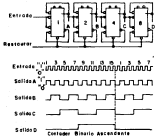


Fig. 5.30 Contador binario ascendente (Binary up counter)

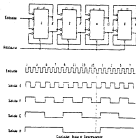


Fig. 5.31 Contador binario descendente (binary down counter)

Otro requisito del control numérico es la capacidad de efectuar sumas y restas. Un término común para sumar consiste en prefijar (cargar) un contador ascendente (up counter) con el sumando y hacer lo mismo con un contador descendente (down counter) y el otro sumando. Luego se cuentan simultáneamente los mismos pulsos de reloj por medio de los dos contadores, hasta que el contenido del contador descendente sea cero. En ese mismo preciso instante, el contenido del contador que se prefijó con el minuendo contiene la resta.

Los contadores que han sido provistos con medios para prefijarlos, restaurarlos y efectuar conteos se pueden construir fácilmente usando dispositivos lógicos. El dispositivo

dispositivo autogrigado en consecuencia, un elemento dividido en dos, es el sentido de que la frecuencia del pulso de salida es la mitad de la frecuencia del pulso de entrada (Figura 5.30).

A esta forma de patrones de pulso se le denomina patrones de secuencia de tiempo. Se puede construir una tabla de verdad en la que se tomen en cuenta todos los aspectos lógicos involucrados entre la entrada y la salida en cada pulso de entrada, pero este método es muy laborioso. Los patrones de pulso de la tabla de tiempo se limitan a ilustrar la relación que existe entre la entrada y la salida, como función del tiempo, pero la salida es el sentido que el ingeniero puede tener sobre las tablas de verdad para los elementos lógicos.

La característica de estar dividido entre dos, del dispositivo estable, persigue la formación de contadores binarios ascendentes (Fig. 5.30) y contadores binarios descendentes (Fig. 5.31), mediante simples interconexiones entre dispositivos estables. El recuento registrado por cualquiera de los contadores, en un instante dado, es la suma de las salidas de los dispositivos estables binarios conectados.

La única diferencia que existe entre estos dos circuitos contadores, son las conexiones que los unen y que abastecen los pulsos de disparo a cada dispositivo estable subsiguiente. Cuando se añaden compuertas, se obtiene un contador reversible (Fig. 5.32), que puede contar ascendente o descendientemente dependiendo del nivel lógico proporcionado al control de sentido.

La información que se da al control mediante la cinta de entrada, está casi siempre en la forma de decimal codificado en binario. Como resultado, los contadores de decimales codificados en binario (BCD) son los que se usan en la mayoría de las aplicaciones en lugar de los contadores binarios naturales, que eliminan la necesidad de convertir a la forma binaria natural y de ésta a la decimal. La diferencia entre el contador ascendente binario natural de cuatro dispositivos estables y el contador ascendente de BCD (Fig. 5.33), es que el primero cuenta de 0000 a 1111 y luego reinicia el recuento. El último debe contar de 0000 a 1001 y luego principia nuevamente en 0000. Al final del segundo pulso, el contador binario contendrá 1000 y el siguiente pulso de entrada hará que cambie a 1001. Para construir un contador BCD,



es necesario que este primer pulso de entrada restablezca el dispositivo resetable de valor cero y no fija el de valor uno.

El fin de un contador ascendente (CD) se fija en el hecho de que el siguiente pulso de entrada al contador no debe fijar nunca el dispositivo resetable de valor cero ni el pulso de entrada anterior fijara el dispositivo resetable de valor uno. La cosa considerada es que, cuando se fijan los dispositivos resetables de valor uno y cero, el siguiente pulso de entrada debe restablecer ambos los dispositivos resetables.

En el contador binario descendente se encuentra en el estado de restablecimiento, el primer pulso de entrada fija a todos los dispositivos resetables. El primer pulso que entra al contador (CD descendente) (Fig. 5-34) hace fijar solo a los dispositivos resetables uno y cero y no al dos y al cuatro. Obviamente, conforme el contador reduce el conteo a cero y principia nuevamente, debe ir de cero a nueve.

Los contadores decimales (10) que dividen de diez en diez (Fig. 5-35), se construyen conectando en serie varios contadores ascendentes de (CD).

Por cada diez pulsos que penetran a las unidades de decenas, provenientes del reloj, un pulso entra en el contador ascendente que manda las decenas.

En la figura 5-36 se muestra un diagrama funcional de este circuito.

La compuerta, el dispositivo resetable, el almacenamiento referencial y los contadores, son las subunidades de detalle que les que se construyen los circuitos de funcionamiento especial que se usan en el control numérico.

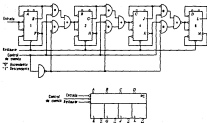


Fig. 5.52 Contador binario reversible

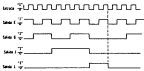
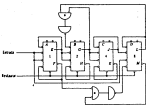


Fig. 3.23

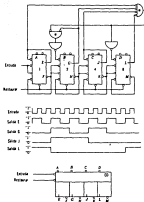


Fig. 5.34 Contador descendente de BCD (BCD down counter)

A esta forma de patrón de pulso se le denomina patrón de secuencia de tiempo. Se puede construir una tabla de verdad en la que se toman en cuenta todos los aspectos lógicos involucrados entre la entrada y la salida en cada pulso de entrada; pero este método es laborioso y complejo. Los patrones de pulso de la secuencia de tiempo se limitan a ilustrar la relación que existe entre la entrada y la salida, como función del tiempo; pero lo básico es el dominio que el usuario pueda tener sobre las tablas de verdad para los elementos lógicos.

La característica de estar dividido entre dos, del dispositivo bivalente, permite la formación de contadores binarios ascendentes (fig. 5.30) y contadores binarios descendentes (fig. 5.31), mediante simples interconexiones entre dispositivos

biestables. El recuento registrado por cualquiera de los contadores, en un instante dado, es la suma de las salidas de los dispositivos biestables binarios cooperados.

La única diferencia que existe entre estos dos circuitos contadores, son las conexiones que los unen y que abastecen los pulsos de disparo a cada dispositivo biestable sucesivo. Cuando se añaden compuertas, se obtiene un contador reversible (Figura 5.32), que puede contar ascendente o descendientemente dependiendo del nivel lógico proporcionado al control de conteo.

La información que se da al control mediante la cinta de entrada, esta casi siempre en la forma decimal codificado en binario. Como resultado, los contadores de decimales codificados en binario (BCD) son los que se usan en la mayoría de las aplicaciones en lugar de los contadores binarios naturales, que eliminan la necesidad de convertir a la forma binaria natural y de esta a la decimal. La diferencia entre el contador ascendente binario natural de cuatro dispositivos biestables y el contador ascendente de BCD (fig. 5.33), es que el primero cuenta de 0000 a 1111 y luego reinicia el recuento. El último debe contar de 0000 a 1000 y luego principia nuevamente en 0000. Al final del novena pulso, el contador binario contendría 1001 y al siguiente pulso de entrada hasta que cambiara a 1010. Para construir un contador BCD, es necesario que este décimo pulso de entrada restaure al dispositivo biestable de valor ocho y no fije el de valor dos.

El recuento de un contador ascendente BCD se basa en el hecho de que el siguiente pulso de entrada al contador no debe fijar nada el dispositivo biestable de valor dos si el pulso de entrada anterior fijara el dispositivo biestable de valor ocho. La otra consideración es que, cuando se fijan los dispositivos biestables de valor uno y ocho, al siguiente pulso de entrada debe restaurar todos los dispositivos biestables.

En el contador binario descendente se encuentra en el estado de restauración, el primer pulso de entrada fija a todos los dispositivos biestables. El primer pulso que entra al contador BCD descendente (Figura 5.34) debe fijar ocho a los dispositivos biestables uno y ocho y no al dos y al cuatro. Inversamente, conforme el contador reduce el conteo a cero y principia nuevamente, debe ir de cero a nueve.

Los contadores decimales (10) que dividen de diez en diez (figura 5.25), se construyen conectando en serie varios contadores ascendentes de BCD.

Por cada dazo pulso que penetra a las unidades de conteo, provenientes del reloj, un pulso entra en el contador ascendente que marca las centenas.

En la fig. 5.26 se ilustra un diagrama funcional de este circuito.

La compuerta, el dispositivo bistable, el almacenamiento intermedio y los contadores, son los caballitos de batalla con los que se construyen los circuitos de funcionamiento especial que se usan en el control numérico.

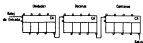


Fig. 5.25

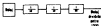


Fig. 5.26

## CAPITULO 6

### ESTRUCTURA BASICA DE FUNCIONAMIENTO EN UN CONTROL NUMERICO

En este capítulo analizaremos el funcionamiento básico de las partes esenciales que forman un equipo con control numérico. Básicamente son el control de servomotores de movimiento para cada eje o mesa, el control de velocidades del husillo y el control de accesorios opcionales como bombas de aceite o de algún brazo para cambio de herramienta. La figura 6.1 muestra un diagrama a bloques del funcionamiento de un servomotor.

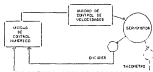


Fig. 6.1 Diagrama a bloques del funcionamiento del servomotor.

Cuando se desea mover uno de los ejes (o una mesa) de la máquina, este movimiento se le deberá indicar a la máquina por medio de Control o Unidad de Control Numérico, la cual enviará una señal a la unidad de control de velocidades la a su vez provocará un giro con cierta velocidad al servomotor. Junto al servomotor se encuentra el Encoder o elemento detector de la cantidad de movimiento que ha producido el servomotor, el cual al detectar el punto al cual se quería llegar envía una señal al control indicándole que se encuentra en posición para que a su vez, el control envíe la orden de detener el movimiento.

Para el caso del servomotor de husillo incluye además un tacómetro que retroalimenta al control la velocidad en rpm del husillo a fin de que el control envíe constantemente señales de corrección para mantener una velocidad siempre constante a pesar de la carga o esfuerzo ejercido durante el maquinado.

La figura 6.2 muestra un diagrama a bloques de una fresadora con Control Automático la cual controla su cambio de herramientas, el encendido y apagado de su sistema de refrigeración de herramientas y su nivel de refrigerante.

En la figura 6.3 se observa que el brazo cambia herramientas está controlado por dos botones de límite de movimiento, el primero detectará cuando el brazo esté en posición en el husillo de la máquina listo para iniciar el cambio y el segundo detectará la posición del brazo en el magazine portaherramientas indicando al control que inicie la búsqueda de la siguiente herramienta seleccionada, la cual será contada y encontrada por el Encoder dispuesto en el magazine para este propósito; una vez encontrada la herramienta, el encoder indicará al control que está listo para iniciar el paso de la herramienta al husillo de la máquina completándose así el ciclo.

Para el control de la bomba del refrigerante, el control mismo mandará la señal al motor de la bomba cuando deba arrancar o parar el bombeo. Y el nivel del refrigerante se detectará por un flotador dispuesto en el depósito del mismo.



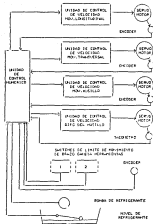


Fig. 6.2 Funciones del control en una frezadora

## 8.1 EL HARDWARE Y EL SOFTWARE.

Un control programable por definición, según la Asociación Nacional de Fabricantes de Aparatos Eléctricos (NEMA) es: "un sistema electrónico de operación digital que usa una memoria programable donde almacena las instrucciones de control que deberán realizar funciones específicas tales como: lógica, secuencia, control y operaciones aritméticas para controlar diversos procesos o máquinas a través de los módulos de entrada/salida analógicas o digitales. Un computador digital que se destina a la ejecución de las mismas funciones de un control programable, se considera dentro de esta categoría. Se excluyen los secuenciadores de tipo tambor o cualquier otro control similar de operación mecánica".

El hardware es una de las partes fundamentales de todo control programable y se pueden definir como "el conjunto de todos los elementos y componentes físicos que configuran su estructura fundamental".

De las características mecánicas y eléctricas del diseño de todas las unidades del sistema depende la eficiencia, la potencia y el buen funcionamiento del control. Por esto los diversos fabricantes de controles programables han hecho diferentes diseños para satisfacer las necesidades del usuario lo más posible.

### 8.1.1 ESTRUCTURA DEL HARDWARE

Las unidades fundamentales que constituyen un hardware de cualquier control programable son:

- a) - Unidad central de proceso
- b) - Unidad de memoria
- c) - Unidad de interfase
- d) - Unidades de entrada/salida
- e) - Fuente de alimentación
- f) - Protección mecánica del hardware

### 6.1.1.1 UNIDAD CENTRAL DE PROCESO (CPU)

Conocido también como procesador lógico, Procesador Central o simplemente Procesador, es la parte vital de los controles programables; esta unidad es el cerebro del control pues es la responsable de coordinar, mandar y desarrollar toda la lógica del programa que efectuará la secuencia de operaciones del sistema.

Para realizar lo anterior, el CPU cuenta con unidades como contadores, temporizadores, operadores lógicos discretos 01 y 00, así como avanzadas funciones de computación como registro de desplazamiento absoluto y relativo para conservación temporal de datos, unidad aritmética y lógica para la realización de operaciones aritméticas y de cálculo, funciones de subrutina para organización de subprogramas, funciones de lógica secuencial y combinatorio para ejecutar tareas de control, donde el acceso a las señales de control emitidas por los iniciadores y la emisión de señales hacia los actuadores se llevan a cabo seriamente o en forma aleatoria.

En un inicio, las CPU se fabricaban de componentes discretos, más, con el desarrollo de los microprocesadores las CPU evolucionaron notablemente aumentando la potencia y la capacidad de los controles programables, así como la complejidad de la tarea realizada por ellos.

### 6.1.1.2 UNIDAD DE MEMORIA

Es el archivo del programa; en ella se almacenan todas las instrucciones para la operación del sistema estableciendo la secuencia y el patrón de funcionamiento de la máquina o el proceso de que se trate y, dependiendo de la unidad de entrada/salida, la CPU accede a la memoria para leer y decodificar cada instrucción y dar las órdenes a los elementos internos o externos de actuar o desactivarse.

Las memorias más usadas son las de tipo semiconductor como memorias volátiles de lectura/escritura RAM y memorias solo de lectura ROM así como sus variantes, PROM, EPROM, EEPROM, EEROM.

### 6.1.1.3 UNIDAD DE INTERFASE

Es el medio de comunicación del sistema con el exterior, ya sea con el equipo de programación, impresora, terminal de computadora, o algún otro equipo periférico.

Esta unidad puede formar parte de la CPU o puede ser una unidad independiente.

### 6.1.1.4 UNIDADES DE ENTRADA/SALIDA

Son las unidades que reciben y transmiten las señales de mando durante el desarrollo del proceso. Los módulos de entrada son los que mandan a la CPU las señales traducidas de control captadas por sensores y a su vez, lee el contenido de la memoria y dicta la orden correspondiente para activar o desactivar el elemento actuador o señalizador (luz indicadora, bobina de electroválvula o de contactor, alarma luminosa o audible, etc.), dicha orden es retransmitida por el canal de salida.

### 6.1.1.5 FUENTE DE ALIMENTACION

Esta unidad es la encargada de suministrar la tensión y corriente necesaria para la operación de las unidades del control programable. La cantidad de corriente suministrada estará en proporción a la potencia del control y cuenta con elementos de protección como son la desconexión en caso de sobrevoltaje o protección electrónica contra corto circuito.

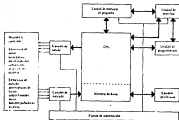


Fig 8.3 El Hardware

### 8.1.1.8 PROTECCION MECANICA DEL HARDWARE

El diseño de la estructura mecánica del Hardware es muy variado para poder satisfacer cualquier necesidad. Así, se pueden encontrar diseños modulares compactos con sus unidades dispuestas en montaje en panel o en rack. Entre las unidades más robustas pueden encontrarse los controles programados en cajas blindadas para trabajar en ambientes desahitados con fuertes vibraciones mecánicas y protegidos contra polvo y chorros de agua.

### 8.2 EL SOFTWARE

El Software es la esencia que da forma y define el propósito de los controles programables y, junto con el Hardware, forman una totalidad coherente y homogénea. Por tanto el Software se puede

considerar como el conjunto de procedimientos tendientes al uso y operación óptima del sistema cuyo objeto es el desarrollo y la ejecución de una tarea de control de tipo productiva.

### 6.2.3 CLASIFICACION GENEALOGICA DEL SOFTWARE

a) - **SOFTWARE DEL SISTEMA OPERATIVO** (memoria de datos). Constituye en el programa escrito en la memoria del sistema, el cual forma parte integral del Hardware, y es suministrado junto con este como un bloque unitario por el fabricante.

b) - **SOFTWARE DEL USUARIO** (programas de aplicación). Estos programas se desarrollan, escriben y cargan en la memoria de trabajo del control para realizar labores específicas y bien definidas para una determinada aplicación y en el campo dado; estos programas pueden ser diseñados por el fabricante o el usuario, dependiendo de la complejidad del problema y del tipo del lenguaje y los recursos técnicos y humanos del usuario.

c) - **DOCUMENTACION**. Es otra parte importante del Software, aunque no forma parte de la programación incluye todo aquello susceptible de ser transferido en papel: el enunciado del problema, diagramas de flujo, simbología, conjunto de instrucciones, procedimientos, descripción del programa y otros.

### 6.3 EL LENGUAJE DE PROGRAMACION

Es el grupo de códigos estructurados y ordenados de tal forma que por medio de ellos se entra en comunicación y se ordena a la máquina la tarea que deberá ejecutar.

Actualmente no existe una normalización bien definida pues los fabricantes de controles programables Americanos y Europeos siguen diferentes criterios, mas el principio de estructuración del programa es muy similar.

#### 2.4 DIFERENTES TIPOS DE CONTROL

Para fines de estudio los controles programables los clasificaremos en dos grandes grupos:

CONTROL  
MANIFIESTO  
PROGRAMABLE

CONTROLES CON PANTALLA  
DE DISPLAY

CONTROLES CON PANTALLA  
DE TMC

Los controles con pantalla de display son aquellos que para su funcionamiento usan dispositivos (elementos de una computadora) para establecer una comunicación entre el usuario y el control. Este tipo de controles es más antiguo, pero por su enorme éxito funcionan en muchas empresas.

Los controles con pantalla de TMC son aquellos que para su funcionamiento utilizan el tubo de rayos catódicos interconectado para establecer la comunicación entre el usuario y el control. Tienen la ventaja de poder desplegar bastante información en cada pantalla incluyendo más rápido la información con el control. Además, son capaces de desplegar gráficas de programación y diagramas de secuencia de operación interna del control. En esta categoría de pantallas encontramos también los controles microcomputacionales, los cuales llevan de la mano al programador para desarrollar cualquier programa por complejo que sea sin necesidad de conocer ningún lenguaje de programación.

## CAPITULO 7

### UNIDAD DE ENTRADA-SALIDA DE DATOS

La unidad de entrada de datos sirve para introducir los programas de mecanizado en el equipo de control numérico, utilizando un lenguaje inteligible para el control.

En los sistemas antiguos, para la introducción de datos se utilizaron sistemas tipo ficha (Data Modul) o preselecciones (Computadores relativos codificados).

Los grandes inconvenientes que presentan estos métodos, en particular cuando el número de bloques no es muy reducido, han provocado su total eliminación, utilizándose en su lugar otros métodos.

Posteriormente, el sistema más utilizado para introducir programas fue la cinta perforada (paper, paper o acuminó). En estos casos, la introducción normal de datos se efectúa por programa completo de mecanización de una pieza. El órgano principal de entrada de datos es en este caso el lector de cinta perforada.

Esta cinta es previamente perforada utilizando un perforador de cinta o un teletipo. El programador perfora un número de agujeros determinado en la cinta. El número de agujeros dados por carácter es de 8 (cinta de 8 canales). De estos 8 canales, 7 se utilizan como bits de información y 1 como bit de paridad (par o impar, según el código EIA o ISO utilizado).

Además de estos 8 agujeros existe otro de menor tamaño situado entre el canal 3 y el canal 4, cuya finalidad es proveer al arrastre de la cinta (Fig. 7.12).

Hay que observar que el código ISO utiliza letras mayúsculas y el código EIA minúsculas.

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

Hasta hace poco tiempo, el lector de cinta más utilizado era de tipo electromecánico. Este lector electromecánico usa agujas palpadoras para determinar la existencia o no de orificios en cada



canal de la cinta. Descubren, por tanto, 8 agujas palpadoras, una para cada canal de información, más otra cuya acción es avanzar y posicionar la cinta para su lectura. La cinta no se mueve continuamente, sino que se mueve a saltos de un carácter. La cinta está parada mientras el código es detectado por las agujas sensoras y salta a continuación, a fin de leer el carácter siguiente.



Fig. 7.1 Perforaciones y atracción de cinta.

El movimiento de las agujas sensoras actúa sobre un detector cuyos contactos se abren o cierran, dependiendo de la existencia o no de un agujero en la cinta.

Existe otro tipo de lector que utiliza una rueda en entredós como elemento detector. El control del movimiento de la cinta lo realiza el propio equipo de control numérico.

Actualmente se están utilizando lectores de cinta fotoeléctricos, que permiten una velocidad de lectura de la cinta muy superior.

Estos lectores fotoeléctricos usan como elementos sensores, componentes sensibles a la luz: células fotoeléctricas, fotodiodos o fototransistores. En este caso, se coloca una célula sensible a la luz, debajo de cada canal de la cinta, incluso del canal de

arrastre. Una fuente luminosa se coloca encima de la cinta, de tal forma, que el elemento sensible situado debajo del agujero en la cinta, producirá una señal indicando la presencia de un agujero.

Estas señales recogidas por el sistema fotoselectivo son, posteriormente, amplificadas y suministradas al equipo de control como datos de entrada. El agujero del canal de arrastre de cinta se utiliza para determinar cuando deben ser exploradas las tallas de los elementos fotoselectivos.

Este tipo de lectores de cinta suele incorporar mecanismos de avance óptico y frenado y, en la mayor parte de los casos, son capaces de parar la cinta en cualquier carácter prefijado.

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

Los lectores de tipo mecánico son capaces de operar a velocidades de 800 caracteres por segundo, aunque lo normal es alrededor de 60 caracteres por segundo.

Hay día, y dada sus indudables ventajas, prácticamente sólo se usan equipos de control numérico con lector de cinta fotoeléctrico.

Los inconvenientes que presentan los procesos de perforación y lectura de cintas, unido a los inconvenientes que la cinta presenta para realizar cambios en el programa inicial, así como la aparición de las técnicas LSI de integración, han dado lugar a que aparecieran variaciones sustanciales en los procesos de entrada-salida de datos a un control numérico.

La primera variación ha venido con la aparición del teclado funcional como órgano básico de entrada de datos. Actualmente la entrada de un primer programa de mecanizado se hace en numerosos equipos directamente a través del teclado funcional (entrada manual de programas plegal). Este teclado permite, asimismo, realizar rápida y cómodamente la edición de programas, directamente sobre la máquina. Funciones tales como eliminar bloques, insertar bloques, leer una dirección de memoria, cambiar caracteres, etc., son realizados en muchos equipos modernos a través del propio teclado del equipo de control.

Incluso hay equipos que por simplicidad (conveniencia) sólo poseen entrada de programas que deberán ser utilizados de nuevo en

el futuro.

La codificación de teclado se realiza actualmente bien por programa cuando el equipo utiliza una computadora, bien mediante periféricos específicos de microcomputadora que suministran los datos fabricantes de microprocesadores.

También puede realizarse una codificación especial mediante contadores y multiplexores. En la figura 7.2 aparece un ejemplo de codificación de un teclado de 16 teclas, para lo cual se utilizan dos contadores binarios (uno funcionando como registro) y un multiplexor de 16 entradas (tipo 74150). Se puede observar que el contador se para cada vez que una tecla es codificada, ignorando por tanto eventuales accionamientos de otras teclas hasta que el primer contacto haya sido liberado.

Actualmente, y debido a la tendencia actual de integración de equipos de control y equipos informáticos, los equipos de control numérico con computadora incorporan interfaces para conexión a teletipo. De esta forma, también un teletipo normal puede ser utilizado como órgano de entrada/salida de datos.

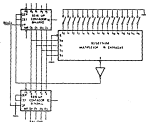


Fig 7.2 Codificación de un teclado

## 7.1 PROGRAMACION DIRECTA SOBRE MAQUINA

Se puede decir que, en general, el trabajo con máquinas de control numérico ha obligado a desplazar la preparación del proceso de maquinado desde el taller a la oficina de preparación del trabajo. El usuario lo ha aceptado bien, equipándose incluso con diversas ayudas a la programación por computadora a algún costo que le permita definir fácilmente la geometría de la pieza para facilitarse su trabajo.

Sin embargo, en algunos casos y sobre todo los talleres pequeños, al no poder disponer de un operario para CN y de un programador a un mismo tiempo, han presentado la experiencia de poder hacer el programa junto a la máquina e introducirlo directamente en el control sin formación especial. Esto ha motivado el desarrollo de los equipos de introducción manual, cuya característica esencial consiste en una rápida y sencilla introducción del programa en la máquina realizada por medio de un lenguaje de programación para introducción manual diferente del empleado en los equipos con cinta perforada, con el fin de reducir al mínimo el tiempo en que la máquina está parada dedicada a esta introducción.

Como estos equipos de CN de introducción manual hacen posible que el operador mismo pueda hacer la programación directa sobre máquina, se elimina la necesidad de un puesto de programación; el operador es al mismo tiempo el programador.

Para facilitar el manejo del operador en la programación, estos equipos están dotados de un sistema de visualización de datos y funcionan en modo conversacional; es decir, presenta en la pantalla las informaciones introducidas e indica también qué información se debe introducir a continuación y, en su caso, señala qué datos se han introducido equivocadamente. De esta manera, se consigue realizar el control de sintaxis del programa al mismo tiempo que se está tecleando, con lo cual, cuando se termina la etapa de programación, el operario tiene la seguridad de que el programa está correctamente introducido y puede ya pasar a ejecutar la primera pieza.

Por otra parte, recientemente han aparecido en el mercado equipos de C.N. de programación directa sobre máquina con la

necesidad de que no es necesario que esta este parada para realizar la introducción del nuevo programa, sino que es capaz de realizar ambas funciones de manera simultánea. Ello permite al operador programar la máquina para que realice su trabajo de maquinado como un control normal y, además, le permite ir introduciendo el programa de la nueva pieza en otro espacio de la memoria, para que cuando acabe la serie que está en producción reanude el trabajo de maquinado con el siguiente lote de piezas. Actualmente, este tipo de control está teniendo una aceptación importante entre los usuarios de CN, ya que la ventaja que presenta de no interrupción del maquinado para realizar la programación es muy importante.

### 7.2 ORGANOS DE VISUALIZACION DE DATOS

Algunos equipos poseen una visualización completa del bloque, mientras que otros (la mayoría) poseen un único visualizador universal que consta de varios dígitos, el punto y el signo unido a diversos pilotos tipo LED que indican, mediante su iluminación, la dirección (Izquierda, Derecha, etc.) que corresponde a la parte numérica que aparece en el visualizador universal. En ambos casos, y dado el gran consumo de corriente exigida por un visualizador de muchos caracteres de gran tamaño, será necesario utilizar en el diseño del visualizador la técnica de multiplexado. Un circuito de multiplexado de un visualizador requiere cinco unidades básicas:

- Un decodificador-excitador (driver) que codifica las entradas BCD en código siete segmentos.
- Un multiplexor de entrada que selecciona el dígito que debe ser enviado al decodificador-excitador.
- Selector de dígito que selecciona, por ánodo o cátodo, el dígito que debe recibir el impulso de corriente.
- Un contador que direcciona sucesionalmente el multiplexor de entrada y el selector de dígito.
- Un reloj que determina la cadencia del multiplexado.

En la figura 7.2 aparece un diagrama simplificado de este circuito multiplexor.

Aunque esta técnica de multiplexado del visualizador presenta

ventajas muy importantes, tales como menor costo y consumo, también presenta algunos inconvenientes, entre los que destacamos:

- A igualdad de brillo, exigen tensiones o corrientes de operación más elevadas.  
Existen gráficas que permiten seleccionar los valores de operación.
- Exigen la existencia de un reloj que marca la frecuencia de exploración del visualizador. Una frecuencia de 1 KHz suele ser una frecuencia apropiada.
- Aunque la fuente de tensión usada es de mucha menor potencia, debe ser diseñada con más cuidado para evitar oscilaciones transitorias.

Otro medio de visualización muy utilizado en los equipos más sofisticados, es la pantalla de rayos catódicos o TRC. Estas pantallas permiten una realización sumamente eficaz del proceso de edición de programas.

La capacidad de estas pantallas varía mucho de unos equipos a otros, pero en cualquier caso, permiten la visualización simultánea de varios bloques completos del programa pieza.

Existen distintos tipos de pantallas, aunque la más corriente es la que usa una técnica análoga a la usada en los osciloscopios.

En este caso, un circuito especial suministra dos números, uno que representa la posición vertical del punto luminoso a visualizar, y el otro la posición horizontal del punto. Estos dos números son convertidos en dos tensiones proporcionales a dichos números por medio de un convertidor digital-analógico. Las tensiones que suministran los dos convertidores D/A son utilizadas para posicionar el haz de electrones del tubo.

Cada la gran velocidad con que se realiza este proceso, se puede generar un gran número de puntos luminosos en un segundo. Este proceso de visualización se repite cíclicamente a fin de mantener los caracteres permanentemente en pantalla.

Los últimos controles numéricos comercializados están empezando a utilizar nuevas técnicas de visualización de datos con circuitos de estado sólido.

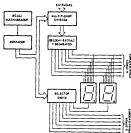


Fig. 7.3 Circuito multiplexador del visualizador

### 7.3 MEMORIAS MAGNÉTICAS EXTERNAS

Además de utilizarse la cinta perforada como almacén permanente externo de programas pieza, existen numerosos equipos que utilizan memorias magnéticas como almacén permanente de programas pieza que deben ser guardados para su posterior utilización.

Un diagrama de bloques general de un sistema de registro magnético para control numérico aparece en la figura 7.4.



Fig. 7.4 Diagrama de bloques de un sistema de registro magnético.

En la figura, el controlador es el encargado de realizar todas las funciones necesarias, tanto para controlar el transporte como de realizar todas las funciones necesarias, tanto para controlar el transporte como de realizar todo el proceso de codificación y decodificación de los datos. También el controlador será el encargado de la generación de los bits de paridad (normalmente utilizando código cíclico), de la generación de los prefijos y sufijos, de la selección de la densidad de grabación, etc.

Las características más importantes de estos sistemas magnéticos de almacenamiento de datos son:

80 - Tipo de soporte magnético empleado. Existen tres clases principales de soportes magnéticos: las cintas, los discos y los tambores.

81 - Forma de acceso a la información. Las cintas poseen un acceso secuencial en lugar de aleatorio, con lo que el tiempo de acceso a un dato se incrementa considerablemente.

82 - Métodos de codificación. Existen distintos métodos de codificación o cifrado de datos para su grabación en un medio magnético.

83 - Densidad de almacenamiento. Se expresa en número de bits almacenados por pulgada de pista de registro (Ctpu).

84 - Capacidad de almacenamiento. Teóricamente es el producto de la densidad de almacenamiento por la longitud total de pista magnética. En la práctica, la capacidad puede quedar muy disminuida según la forma en que se haga el almacenamiento de los datos.

85 - Velocidad de arrastre del soporte magnético. En la cinta se expresa como velocidad de paso de la cinta por las cabezas magnéticas. En los discos y tambores se indicará la velocidad de giro.

86 - Velocidad de transferencia de datos. Expresará el número flujo de bits que se puede obtener durante la grabación o la reproducción. Su valor se deduce de multiplicar la velocidad de arrastre del soporte magnético por la densidad de almacenamiento de los bits de información. Normalmente se expresa en Kbps



(800 bits por segundo).

80.- Tiempo de acceso. Expresa el tiempo que tarda el sistema en localizar la información deseada y comenzar a leerla. En las memorias de acceso secuencial este valor queda enormemente penalizado.

Enseguida se da un panorama sobre el medio magnético más adecuado para su utilización en un sistema de control distribuido, analizando en cada caso las ventajas e inconvenientes de cada medio magnético.

El primer requisito que debe exigirse a un medio magnético de almacenamiento de información digital para su aplicación en control distribuido es que dicho medio debe ser fácilmente almacenado y cargado en su sistema de transporte.

Los medios magnéticos que cumplen esta condición, además de bajo precio, son los cartuchos, cassettes y disquetes.

Antes de analizar las características más interesantes de estos medios económicos de grabación digital se puede ver la posibilidad de utilizar cassettes de audio como almacén permanente de programas en un control distribuido.

No importa el cuidado que se tenga en la elección del sistema de arrastre, el esquema de configuración o el formato de datos, si el medio no es el adecuado el sistema suministrará, eventualmente, salidas erróneas. La primera diferencia radica en el margen de frecuencias. Mientras que una cinta de audio alcanza un ancho de banda que sobrepasa los 80 KHz, una cinta digital, si es de calidad, posee un peso de banda con la anchura precisa para que pase el dato, y una pendiente brusca de caída que haga que se elimine el ruido.

A continuación del ancho de banda, la diferencia entre cintas se refiere a la curva de saturación en función de la corriente de escritura. Mientras una cinta ideal de audio sigue una trayectoria de saturación lineal e indefinida, la cinta digital ideal es aquella en la que corrientes relativamente pequeñas pueden conmutar la saturación entre dos estados saturados sin ninguna parada en el trayecto. En otras palabras, el registro de audio requiere una cinta lineal mientras las cintas digitales deben ser no lineales.

Además, en cintas digitales de alta calidad, la conductividad

eficiencia de control para que no operen sobrecargas estáticas, especialmente a grandes velocidades. Las lecturas de las cintas digitales son transparentes a la luz para detectar el principio y el final de la cinta mediante un sensor fotoeléctrico.

Otro factor importante es la superficie de la cinta. En cintas digitales esta es suficientemente uniforme y resistente como para permitir miles de pasos a velocidades de hasta 3 m/s. Además, muchos sistemas requieren que la cinta sea leída y reescrita durante muchos pases. Las cintas de baja calidad se pueden deformar por cambios rápidos de tracción y calentamiento, exigencias frecuentes en el funcionamiento.

Además, existen numerosas diferencias en la cassette. Por lo general, un cassette de audio no tiene ranura AMSI, lengüetas para desbloquear la grabación, compactor para las cabezas de lectura después de escritura, terminal de prueba de presión y huecos de principio y final de cinta.

De todo lo anterior se deduce que si se usa un cassette, este debe ser digital y usar cintas digitales.

A continuación se describen las principales características de medios basados en grabación digital, son vistas a su utilización como memoria externa en un control numérico.

### 3.3.1 CASSETTES

El cassette almacena gran cantidad de datos (1 a 9 megabits) y, aún actualmente, es un medio barato. Es el más fácil de manejar, guardar y transportar, ya que es resistente y compacto. Se puede utilizar en medios hostiles. Los transportes de cassette, debido a su tamaño pequeño y bajo consumo de potencia, son fácilmente adaptables y no exigen un aumento notable en el volumen del sistema de control. Por lo general, estos transportes de cassette utilizan motores de corriente continua que aceleran rápidamente y demandan consumos bajos de energía, sobre todo en condiciones estacionarias. Sin embargo, para conseguir mayores prestaciones en el control de tracciones y velocidades, son necesarios 3 o 4 motores con sus correspondientes sensores; esto hace que el costo de los cassettes de precisión sea elevado.

En los cassettes pueden almacenarse más de 0.5 Mbytes de

datos en forma serie, son densidades relativamente bajas, que hacen al sistema fiable.

### 7.3.2 DISKETTES

Su característica más importante es su acceso aleatorio, por lo que se puede acceder a cualquier sector en el disco en menos de medio segundo.

El volumen de datos varía entre 0.25 y 1 Mbytes para versiones de doble densidad y doble cara. La velocidad de transferencia de datos varía entre 250 y 500 Kbits/s.

Aunque los diskettes ocupan poco volumen y son fáciles de almacenar y transportar, el reproductor es relativamente grande (de dos a cinco veces el tamaño de los cassettes) y llega a consumir 60 W.

El diskette, en cuanto a su estructura física, requiere ser tratado con más cuidado que el cassette y los cartuchos.

El minidiskette tiene una capacidad de 100 Kbytes con un tiempo medio de acceso de 1 segundo y una velocidad de 125 Kbits/s.

### 7.3.3 CARTUCHOS

Ofrece cuatro veces la capacidad del cassette, ya que tiene cuatro pistas en vez de dos y graba al doble de densidad.

El cartucho es menos vulnerable al medio ambiente que el cassette, ya que tiene sólo un orificio de acceso a la cabeza y éste puede ser accionado por el transporte. Al ser la carcasa transparente, elimina la necesidad de todos los orificios de los cassettes para detección de principio de cinta, punto de carga, punto de preview y final de cinta. Así mismo, elimina los accesos de los motores de los cassettes, cabezales y rodillos.

Es casi la versión reducida del cartucho, el minicartucho, que tiene el tamaño de un cassette normal. Su capacidad es bastante inferior a la del cartucho.

Cuesta el doble que un cassette, pero su costo por bit es considerablemente menor.

## CAPITULO 8

### CONCEPTOS DE PROGRAMACION

Dependiendo del lenguaje de control, los códigos de programación varían de un control a otro aunque en general son muy similares. En el la estructura del programa o secuencia de programación es la misma para todo tipo de control sin incluir el lenguaje de control.

Otra consideración que debe tenerse presente son las opciones del las que cada control ha sido diseñado o adaptado a una máquina en específico, pues un mismo control puede realizar diferentes funciones en una o en otra máquina así como puede o no aceptar códigos específicos de programación.

Para programar todos los receptores necesarios para la realización de un mecanismo fuma piedra, se pueden utilizar dos métodos distintos, según la complejidad de la trama y los cálculos necesarios para la conexión del programa-piedra.

1.- **PROGRAMACION MANUAL O DE LENGUAJE MAQUINA.** En este caso el programa piedra se escribe únicamente por medio de tabuladores y cálculos que realiza un operario.

2.- **PROGRAMACION AUTOMATICA.** En este caso, los cálculos los realiza una computadora de propósito general que suministra en su salida el programa de la piedra en lenguaje máquina. Por esta razón también recibe el nombre de programación asistida por computadora.

La programación en lenguaje máquina requiere que los datos de todos los segmentos, de todos los arcos de sincronización y las coordenadas de los centros hayan sido calculados previamente.

#### 8.1 PROGRAMACION MANUAL.

El lenguaje máquina comprende todo el conjunto de datos que el control necesita para la realización de la piedra. Estos datos de programación deben suministrarse al control numerado en un

Jugar que aquel conocido, es decir, en lenguaje máquina.

El conjunto de informaciones que corresponde a una misma fase del desarrollo de la memoria bloque o secuencia, que se numeran para facilitar su búsqueda. Este conjunto de informaciones son interpretadas por el intérprete de órdenes.

La distribución de informaciones dentro de un bloque de programa está caracterizado por el formato. El formato de programación puede ser fijo o variable.

Un formato fijo es aquel en el cual el número de caracteres y su función, definida por el emplazamiento de un carácter en el interior del bloque, son constantes. El significado de un conjunto de cifras, depende de su situación dentro de un bloque de programa. Hay que recordar que un carácter es el símbolo utilizado para representar una información, ya sea numérica, cifras de 0 a 9, ya sea alfanumérica, letras de la A a la Z.

Este formato fijo es tremendamente rígido y, en la actualidad, está en desuso.

En cada bloque perteneciente a un programa de formato variable, puede haber un número variable de instrucciones. Cada instrucción se compone de una letra llamada dirección, y de una parte numérica, constituida por un cierto número de cifras decimales. La dirección identifica el significado de la parte numérica. Las cifras decimales pueden indicar la amplitud de los desplazamientos, las velocidades de avance, indicaciones auxiliares para el control (refrigeración, cambio de válv., etc.), correcciones de niveladas, etc.

El formato de programación de un equipo de control suministra al programador las reglas del juego, es decir, la forma en que aquel debe realizar la programación en lenguaje máquina. Asimismo, el formato debe ser de alguna forma la potencia de un equipo de control numérico.

El sistema del control numérico ha estado caracterizado por un desarrollo anárquico de los códigos de programación. Cada constructor utilizaba el suyo particular.

Posteriormente, se vio la necesidad de normalizar los códigos de programación como condición indispensable para que un mismo programa pudiera servir para diversas máquinas con tal de que fueran del mismo tipo.

Un primer código normalizado fue propuesto por la Asociación de Industrias Electrónicas (EIA) bajo el nombre de código EIA. Este código EIA utiliza una banda perforada de una pulgada con 8 pistas y una pista de arrastre entre las pistas 3 y 4. Este código utiliza paridad impar, de tal forma que la codificación de cualquier carácter (decimal) se realiza con un número impar de perforaciones en la cinta. (Para este fin, utiliza la pista 8 como bit de paridad impar. Asimismo, la pista número 6 la utiliza para caracterizar el carácter CR (Fin de secuencia. Principio de programa).

Utilizando el código EIA los caracteres alfabéticos utilizados en la programación manual son escritos con minúsculas (direcciones).

Estos códigos utilizan además de todos los caracteres numéricos y alfabéticos, los siguientes símbolos especiales:

BT:	Retraso
TAB:	Tabulador
CR:	Fin bloque. Principio programa.
ER:	Fin de programa
SPR:	Espacio en blanco
r:	Secuencia opcional

Para permitir la conexión de los equipos de control con los equipos de transmisión de datos, en Estados Unidos se estudió un nuevo código, designado con el nombre de código ASCII (American Standard Code for Information Interchange). Este código es el utilizado en USA para el intercambio de información.

Bajo los auspicios de la Comisión Electrónica Internacional, se inició en Europa el estudio de un nuevo tipo de código normalizado destinado a permitir una intercambiabilidad entre máquinas analógicas.

El organismo encargado de realizar dicho estudio fue un comité técnico de ISO (International Organization for Standardization).

El resultado del trabajo de dicho comité fue el código ISO, que utiliza para información 7 dígitos binarios, de tal forma que el número de bits de cada carácter sea par. En este código, el bit

de paridad aparece en la pista 8 de la cinta.

El código ISO consta de 50 caracteres de los cuales 40 se utilizan como caracteres numéricos y alfabéticos, y el resto como caracteres especiales.

Los símbolos especiales del código ISO (CEN 89024) son:

BL:	Sin perforaciones
BS:	Retraso
HT:	Tabulador
LF:	Fin de bloque. Principio programa
CR:	Retraso del carro
SP:	Espacio en blanco
CL:	Comienzo anotación
EL:	Final anotación
FE:	Fin de programa
^:	[Bloque opcional]
DEL:	Borrado

En la figura 8.1 aparece un dibujo con los dos tipos de códigos y sus correspondientes perforaciones en bandas cintas perforadas de 8 pistas.

Hay que observar que la codificación ISO utiliza letras mayúsculas y un número de agujeros par y el código EIA letras minúsculas y un número de perforaciones impar.

En la mayoría de los controles numéricos modernos se pueden utilizar ambos tipos de codificación. Con el primer símbolo LF o CR leído por el control, se realiza automáticamente el reconocimiento del código, utilizado, así como la comprobación del número par o impar de perforaciones. En caso de error de paridad, el control interrumpe el programa y señaliza la correspondiente alarma.

## 8.2 FORMATOS DE PROGRAMACION

La composición típica de un programa pieza es la siguiente:

Texto previo. El texto previo, que es opcional, contiene indicaciones técnicas de la fabricación, como por ejemplo: Número de programa, número de pieza, comentarios del operador, etc.

Si el texto previo se extiende a más de una línea, la segunda y las siguientes líneas se deben escribir entre paréntesis.

**Parámetro de programa.** Utilizando el símbolo  $\Phi$ , en código ISO y CR en código EIA.

**Programa de mecanizado.** El programa de mecanizado contiene todas las indicaciones necesarias para el proceso de mecanizado. Para la escritura de dicho programa tendremos que regirnos por el formato que tenga dicho equipo de control.

**Fin de programa.** La programación del final del programa de mecanizado se realiza con el símbolo  $\$$  para codificación ISO y DE para EIA.

Una secuencia o bloque de programa debe contener todas las funciones geométricas, funciones máquina y funciones tecnológicas del mecanizado. Un bloque de programa consta de varias instrucciones. El formato de una instrucción indica la forma en que esta instrucción debe ser correctamente escrita. Cada instrucción consta de una letra, que puede ser mayúscula o minúscula, según utilicemos código ISO o EIA, siglas y cifras. Cada letra, llamada dirección, va seguida de una o dos cifras decimales. Algunas veces estas cifras decimales están separadas por un punto.

La primera cifra decimal que sigue a la dirección indica el número máximo de cifras a la izquierda de la coma. La segunda, si existe, indica el número máximo de cifras a la derecha de la coma. A veces, una dirección va seguida de un signo  $\pm$ . El signo  $\pm$  indica la posibilidad de emplear los signos positivo y negativo en la programación absoluta.

Así, por ejemplo, un formato X-3.2 indica que en el programa, en lenguaje máquina, la letra X puede poseer un número máximo de cuatro cifras a la izquierda y dos a la derecha de la coma. La coma se expresa directamente en mm.

En la mayoría de los equipos también se puede escribir en pulgadas.

Cuando los zeros a la derecha y a la izquierda pueden ser omitidos, la designación por dos cifras deberá ser cambiada en



designación mediante tres cifras.

En el caso en que los ceros a la izquierda pueden ser omitidos, la primera cifra será un cero. Así, por ejemplo, la instrucción X-04.8 indica la posibilidad de no escribir los ceros a la izquierda. En el caso en que los ceros a la derecha pueden ser omitidos, la última cifra será un cero.

Cuando un carácter correspondiente a una dirección va seguido de una única cifra, dicha cifra indica el número máximo de cifras que pueden utilizarse.

Aunque cada fabricante de equipos de control numérico utiliza sus propias direcciones, vamos a introducir los caracteres más comúnmente usados como direcciones, señalando su significado en cada caso:

N es la dirección correspondiente al número de bloque o secuencia. La dirección N, normalmente, va seguida de un número de uno o cuatro cifras (formato N03 o N043). En el caso de formato N03, el número máximo de bloques que pueden programarse es 1000 (N000 → N999).

El número de bloque es la primera instrucción de cada secuencia de programa.

En un programa pueden existir secuencias opcionales, que son secuencias especiales de programa que están caracterizadas por una barra inclinada (/) delante del número de secuencia. Estas secuencias serán o no ejecutadas, según la posición del interruptor de secuencias opcionales situado en el panel de mandos del control.

X, Y, Z son las direcciones correspondientes a las cotas según los ejes X, Y, Z de la máquina-herramienta.

Actualmente, su formato de programación suele ser X, Y, Z + 04.8. Por tanto, como la cota se expresa directamente en milímetros, utilizando este formato deducimos que la distancia máxima programable es  $10.000.000$  en  $0.10$  metros y la mínima  $\pm 0.001$  en (resolución  $3 \mu$ ).

Recuérdese que las cotas se pueden programar en forma absoluta o relativa.

D es la dirección correspondiente a las funciones preparatorias. Estas funciones preparatorias se utilizan para informar al control de las características de la operación del mecanizado. Dependiendo de las diferentes bases convencionales, las funciones preparatorias se utilizan para programar funciones tales como: forma de la trayectoria, tipo de corrección de herramienta, parada temporizada, ciclos automáticos y programación absoluta o incremental.

Normalmente la dirección D va seguida de un número de dos cifras, que permite programar hasta 100 funciones preparatorias diferentes (formato G2).

M es la dirección correspondiente a las funciones auxiliares o complementarias. Se usan para indicar a la máquina-herramienta que debe realizar operaciones tales como parada programada, rotación del husillo a la derecha o a la izquierda, cambio de G11, etc. Normalmente la dirección M va seguida de un número de dos cifras, lo que permite programar hasta 100 funciones auxiliares diferentes (formato M2).

F es la dirección correspondiente a la velocidad de avance. Normalmente va seguida de un número de cuatro cifras que indica la velocidad de avance en mm/min. A veces se utiliza la instrucción F0000 para programar la velocidad máxima de la máquina (posicionamiento). Su formato es, por tanto, F04.

En muchos equipos la velocidad de avance se puede expresar en mm/min, a través de una función preparatoria. Asimismo también se puede expresar en pulgadas por minuto.

S es la dirección correspondiente a la velocidad de rotación del husillo principal.

Actualmente la velocidad de giro del husillo se programa directamente, en revoluciones por minuto, usando 4 decimales y pudiéndose eliminar los ceros iniciales (formato S04). En algunos equipos, la velocidad de giro se programa codificada en código M21, existiendo una cierta relación entre el código y la velocidad de giro real.

#### 3.4 PARAMETROS DE OPERACION DE EL MAQUINADO

$$\text{Velocidad de corte [Vm]: } V_c \text{ (cm/min)} = \frac{d \text{ (cm)} \times n \times S \text{ (rpm)}}{1000}$$

$V_c$  = Velocidad de corte

$d$  = Diámetro de la pieza a trabajar

$S$  = número de revoluciones de husillo principal

La velocidad máxima de corte admisible esta en función de:

- El material de la pieza a trabajar (cuanto mayor sea su resistencia, tanto menor será la velocidad de corte).
- El material de la cuchilla de corte (las herramientas de metal duro permiten mayores velocidades de corte que las herramientas HSS).
- Magnitud del avance (cuanto mayor sea el avance, tanto menor será la velocidad de corte).
- La profundidad de arranque de viruta (cuanto mayor sea la profundidad de arranque de viruta, tanto menor es la velocidad de corte).

#### Número de revoluciones (velocidad)S

El número de revoluciones (velocidad) del husillo principal se calcula en base a la velocidad de corte y del diámetro de la pieza a trabajar:

$$S \text{ (rpm)} = \frac{V_c \text{ (cm/min)} \times 1000}{d \text{ (cm)} \times \pi}$$

Cálculo de avance: Generalmente el avance se programa en mm/min.

#### Cálculo de la conversión:

$$F \text{ (mm/min)} = S \text{ (rpm)} \times F \text{ (mm/rev)}$$

$$F \text{ (mm/min)} = \text{Avance en mm por minuto}$$

$$S = \text{Velocidad del husillo principal}$$

$$F \text{ (mm/rev)} = \text{Avance en mm por rev.}$$

## CAPÍTULO 9

### COMO PROGRAMAR UN CONTROL NUMÉRICO

#### 9.1 CONSTRUCCION DEL PROGRAMA

##### 9.1.1 CÓDIGO DE CINTA PERFORADA

Los datos contenidos en la cinta perforada están codificados con arreglo a prescripciones fijas, es decir, cada combinación de agujeros corresponde a un símbolo perfectamente definido. Se utilizan dos códigos de cinta perforada.

ISO 6802S (ISO)

EIA-80C 844-B

El control reconoce automáticamente el código perfecto. El reconocimiento del código tiene lugar con el primer símbolo leído, según sea N o BOR.

Cada cinta perforada por separado tiene que escribirse en uno de los códigos permitidos.

Los símbolos de cada código tienen una característica común:

En ISO siempre tienen un número de perforaciones par.

En EIA siempre tiene un número de perforaciones impar.

El criterio de número de perforaciones par o impar se utiliza, a partir del segundo símbolo, para llevar a cabo una vigilancia de paridad de símbolo, que permite reconocer al 100 % los errores simples.

La prueba de paridad de secuencia vigila si el número de símbolos en una secuencia es par. Si el número de símbolos es impar, se completa mediante NT o SP. Esta comprobación se puede suprimir.

Como prueba suplementaria, en caso de introducción de un programa que ya existe en la memoria de programa interna, se lleva a cabo una comparación completa entre programas.

En caso de detección de errores se detiene el proceso de interpolación y se visualiza el error en el panel de mando del control.

### 6.3.2. SÍMBOLOS INTERPRETABLES

El control lee cualquier símbolo que figure en el código de cinta perforada.

Ahora bien, para la formulación de las indicaciones geométricas y tecnológicas en el programa, sólo se permite el uso de determinados símbolos.

#### CÓDIGO ISO

Letras de dirección	A, B, F, G, I, K, L, M, N, R, S, T, X, Z, Y
Números	0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9
Letra	O (circunflexión de la conexión de herramienta TO = TOOL OFFSET)
Símbolos imprimibles	%, @, \$, %, =, /, ., ., *
Símbolos no imprimibles	HT Tabulador SP Espacio (Space) DEL Borrar (Delete) CR Retroceso del carro (Carriage Return) LF Final de línea (Line Feed)

LECTURA	PREPARACION IMPRESORA
LOS SÍMBOLOS SIGUIENTES NO SE TIENEN EN CUENTA NI SE MEMORIZAN	SE OBTIENEN LOS SÍMBOLOS SIGUIENTES
HT SP DEL CR (Carrito de LF indiferente) LF se visualiza en el display sólo *	SP (línea cada palabra) CR se genera dos veces por LF

### 3.1.3 CONSTRUCCIÓN DE PALABRAS

Una palabra está compuesta por una letra de dirección y de varias cifras, con o sin signo antepuesto. (Forma de escritura de direcciones). La construcción de palabras y con ello el formato de introducción está fijado con exactitud, representado según: DHR 6666.

#### ACLARACIONES:

Primera letra	DIRECCIÓN	Paralela al horizontal
Segunda letra	L	- horizontal
Segunda letra	D	- datos de series
Signos	.	- definidos con signo - signo positivo o - negativo.
Primera cifra	0	- los ceros de las decenas no son necesarios
Segunda cifra	decadas	- longitud de palabra variable
Segunda y tercera cifra	decadas	- particiones de la sucesión de cifras
		- particiones de la sucesión de cifras antes y detrás de la coma
		- valores de las coordenadas X, Y, Z, etc. etc.
Signo	.	- final de secuencia

#### Ejemplo de palabra

X + 6666 66

Dirección X  
Signo antepuesto C  
Cifras enteras 6666  
Punto decimal .  
Cifras decimales 66

666

Dirección 0  
Cifras.....66

Palabra

Introducción al punto decimal

1 µm	0.001	a	001
10 µm	0.01	a	01
100 µm	0.1	a	1
1000 µm	1.	a	1
10000 µm	10.		
100000 µm	100.	a	100

#### B.1.4 CONSTRUCCIÓN DE SECUENCIAS

Una secuencia se compone de varias palabras y del símbolo "Final de secuencia".

La longitud de secuencia puede ser de 100 símbolos como máximo pero debería limitarse a 80 símbolos, que se pueden visualizar.

Ejemplo de una secuencia:

00004 Q. X. Z. F. S. T. H. LF

Dirección del sentido de secuencia	R
Número de secuencia	0004
Condición de desplazamiento	S.
Información de desplazamiento	X. Z.
Avance	F.
Velocidad de giro del cabezal	S.
Número de retroalimenta (no. de conexión)	T.
Función complementarse	R.
Fin de secuencia	LF.

En el orden de los números de secuencia se permite cualquier tipo de saltos. Por ejemplo, para caracterizar secuencias modificadas o de nueva introducción se puede introducir otra cifra en la posición de los milares.

Con la colocación del símbolo "/" (barra) delante del número de secuencia puede notarse que la secuencia así señalada sea ignorada por el control.

Con esto existe la posibilidad de no permitir que se ejecuten en cada pieza de la serie, determinados pasos de mecanizado tales como ciclos de serida, pasadas en vacío en el caso de roscas o de sobremedidas no exactamente definidas.

Conviene tener cuidado que las secuencias opcionales constituyan un bucle cerrado (que los puntos de partida y final coincidan).

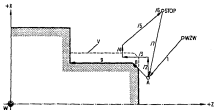


Fig. 4.1

(A = Punto de partida; Y = Cambio de herramienta previo; PWZ = Punto de cambio de herramienta)

### 9.1.5 TEXTO PREVIO

El texto previo se emplea para distinguir entre diferentes cintas perforadas. En el texto previo de la cinta perforada se escriben todos los símbolos, excepto N, si la identificación automática de código se hace por medio de N (código ISO), excepto ECR, si la identificación automática de código se hace por medio de ECR (código EIA).

En el tratamiento del programa, el control cancela el texto



precio. El texto precio no se almacena

### 9.1.6 PROGRAMAS DE PUEBAS

Un programa de prueba describe el desarrollo de un proceso de mecanizado y se compone del programa de prueba propiamente dicho y eventualmente subprogramas y/o ciclos llamados dentro del mismo.

En la memoria de programación pueden almacenarse un máximo de 800 programas.

Contenido del programa en caso de un único programa de pruebas en la memoria de programas.

N	LF				
M0	000	000	050	F100	LF
M10			Z100		LF
M15			Z130		LF
M20			Z110		LF
M25			M00		LF

Contenido del programa en caso de varios programas de prueba en la memoria de programas (caso 4 deudas G. 0000)

N	1007	LF			
M0	000	000	050	F100	LF
					Fijación de la condición de desplazamiento
M10			Z130		LF
					Información de desplazamiento, velocidad
M15			Z110		LF
					Dirección etc.
M20	M30				LF
					M00 a M25 Fin de programa con salto hasta el comienzo del programa.

### 9.1.7 SUBPROGRAMAS

Las secuencias de movimientos y secuencias funcionales idénticas que tengan que repetirse varias veces, se pueden introducir como subprogramas y llamarse a discreción en el programa de prueba o también por introducción manual de la oportuna orden. Los subprogramas que tengan que ser llamados en un lugar

cualquiera (p.e. entallados) deben programarse en estas incrementales. La definición del subprograma se hace mediante el número de subprograma de 2 a 3 cifras y 3 ceros a continuación.

L 40800	LF	= Subprograma 41E
		Siempre sin número de secuencia ni M17
M0 001 001 Z=10. P100	LF	= Fijación de las condiciones de desplazamiento, recorridos, direcciones y velocidades
M5 Z...X10.	LF	
M0 X...	LF	
M5 M17	LF	= Fin de programa con M17 figura en la última secuencia del programa.

La llamada de un subprograma en un programa de pieza a subprograma se hace mediante la dirección L. A partir del programa de pieza el sistema permite una triple concatenación de los subprogramas.

L 412 01

El número de subprograma tiene que ser de 2 ó 3 decadas (001...999) llamada con 2 ó 3 decadas.

El número de pasadas se tiene que introducir con dos cifras. La ausencia de indicación quiere decir pasada única.

La llamada de un subprograma no deberá figurar en una secuencia con M02, M03 ó M17.

#### \* INDICACION DE PROGRAMAS

L 401 LF	- Programa de pieza 401
M1 000 004 F.. S.. T100 M.. LF	
M2 000 002 000 LF	
M3 L200 LF	= Llamada subprograma 02, una pasada (L200)

M00 000 LF

\* INDICACION DE PROGRAMAS DE REPETIR A LA INICIACION DE UNA PISTINA EN OTRAS MACHES.

LE200

R1 000 000 Z=10. LF

R2 000 000 LF

R3 LE200 LF

R4 7 LF

= Subprograma 23

= Llamada subprograma 24, dos  
parámetros (LE200)

= Fin de subprograma

LE200

R1 000 000 Z0. LF

R2 000 X=10. LF

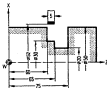
R3 000 X 10. LF

R4 R7 LF

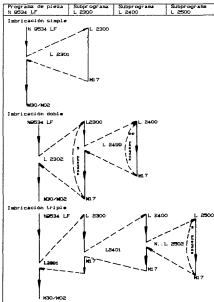
= Subprograma 24

= Fin de subprograma

#### EJECUCIÓN DEL SUBPROGRAMA



LENGUAS DE SUBPROGRAMAS. INDICACION DE SUBPROGRAMAS



## 9.1.8 FORMATO DE COMANDA PERFORADA PARA EL BORRADO DE PROGRAMAS.

Con esta función pueden ser borrados los programas principales y los subprogramas, siguiendo cualquier orden deseado, a través de la interfase universal de entrada y salida.

BORRADO DE PROGRAMA	= Tecla previa
N CL LP	= denominación (CLEAR)
N 1234 LP	= borrar programa 12.334
N 1 N 1800 LP	= borrar programas 10 a 18.000
L10 LP	= borrar subprograma L10
L11 L78 LP	= borrar subprogramas L11 a L78
L80 LP	= borrar subprograma L81
N00 o N02 LP	= indicación de fin N00 o N02

## 9.2 INFORMACIÓN DE DESPLAZAMIENTO

### 9.2.1 ORDENES PARA LOS EJES X, Z

La dirección de la instrucción para el eje X y/o para el Z determina el eje en el cual habrá de efectuarse un desplazamiento con arreglo al valor numérico que le sigue. En caso de introducción de datos absolutos (ABS), los valores en el eje X son valores de diámetro o de radio (parámetro de máquina).

En G02 los valores siempre se tratan en radios.

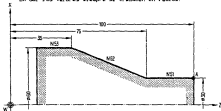


Fig. 9.2 Mecanizado detrás del eje de giro

**Introducción de solas escaladas**

#40 000 000 270 LF  
 #42 100 200 LF      los valores X actúan como diámetro  
 #43 ...                    LF

**Introducción de solas incrementales**

#40 000 000 2-25 LF  
 #42 X10        240 LF      los valores X actúan como radio  
 #43 ...                    LF

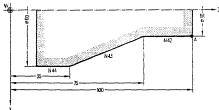


Fig. 0.3 Mecanizado por delante del eje de giro

**Introducción de solas absolutas**

#42 000 000 270 LF  
 #43 100 200 LF      los valores de X actúan como diámetro  
 #44 ...                    LF

**Introducción de solas incrementales**

#42 000 000 2-25 LF  
 #43 X10        240 LF      los valores X actúan como radio  
 #44 ...                    LF

## 9.2.2 IMÁGENES SIMÉTRICAS

Por medio de las señales de entrada "Imágenes simétrica 1" y/o "Imágenes simétrica 2", se consigue que durante la elaboración de la secuencia se inviertan o se inverzambien:

### Fig 1

Inversión de

- Signo antepuesto a la orden de eje programada (valores 25)
- Sentido de giro 002 - 003; 003 - 002
- Corrección del radio de corte 041 - 042 ó 042 - 041
- Corrección de la longitud de la herramienta
- Posición del punto de corte de la herramienta

No hay inversión de

- Decalaje de origen

### Fig 2

Inversión de

- Signo antepuesto a la orden de eje programada (valores 25)
- Corrección del radio de corte 041 - 042; 042 - 041
- Sentido de giro 002 - 003; 003 - 002

No hay inversión de

- Decalajes de origen
- Corrección longitudinal de herramienta
- Posición del punto de corte

En caso de imágenes simétrica en el eje X, siempre se invierte el eje Z.

En caso de imágenes simétrica en el eje Z, siempre se invierte la pista.

El fabricante de la máquina es quien determina con qué función M se realizarán las señales de "Imágenes simétricas".

### 9.3 CONDICIONES DE DESPLAZAMIENTO

Las condiciones de desplazamiento describen la forma de movimiento de los carritos, el tipo de interpolación, el tipo de acotado, influencias temporales y activación de determinados estados funcionales de tornillo.

Las condiciones de desplazamiento están subdivididas en los grupos G0 a G14 (referirse al código de programa). En una misma secuencia de programa no se admite más que una sola condición del programa con un acotado, no podrán figurar en la misma secuencia con ninguna otra condición.

Las posiciones preferenciales son activas después de la conexión del control, tras Reset o tras fin de programa, no necesitan programarse al principio del programa.

Las condiciones automáticas sólo pueden ser borradas por otras condiciones del mismo grupo.

### 9.3.1 G00-EN PROGRAMACION DE COTAS ABSOLUTAS E INCREMENTALES

#### Introducción de cotas absolutas G90

En el caso de la introducción de medidas en absoluto, llamada también introducción de cotas absolutas, todas las cotas introducidas se refieren al punto de origen de pieza que está establecido.

Los valores X son efectivos en diámetro o en radio (espárrago de máquina)?

#### Introducción de cotas incrementales G91

En el caso de la introducción de cotas en incremental, la cota programada corresponde al desplazamiento a realizar. De ahí que se hable también de acotado incremental o introducción de cotas incrementales. El valor numérico de la información de desplazamiento indica la cuarta del desplazamiento a efectuar para que se alcance la posición de destino. Las cotas incrementales se prefieren para subprogramas que haya que llamar en diferentes puntos del área de trabajo de la máquina (cualquier etc.).

Los decimales de origen se representan en el código, tanto en



programación absoluta como en la incremental, incluso en la primera secuencia en el caso de G90.

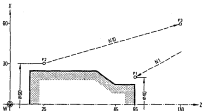


Fig 9.4 Programación en coordenadas absolutas/incrementales

#### Introducción de coordenadas absolutas G90

```

.
.
M 1 G90 G00 X 40. Z50. ... la herramienta se desplaza
M0 ... desde una posición cualquiera
hasta el punto P1
    
```

#### Introducción de coordenadas incrementales G91

```

.
.
M 1 G91
M0 G01 G00 X 30. Z100. ... la herramienta se desplaza
de P1 a P2
    
```

#### G.3.2 G00 (DESPLAZAMIENTO RÁPIDO)

La trayectoria programada con G00 en una secuencia, se recorre con la máxima velocidad, el desplazamiento rápido, en una

línea recta. El control supervisa los ejes, para que ninguno de ellos sobrepase la misma velocidad admisible (parámetro de máquina).

La condición de desplazamiento rápido (0000) implica automáticamente la parada de precisión (0000). Al programar 000, el valor para el avance programado bajo la dirección F permanece en memoria y vuelve a ser activo p. ej. con 001

Ejemplo: aproximación a una posición en desplazamiento rápido (ver 000/000).

N: 1004

M1 000 000 120. 200. LF

M1	Número de secuencia
000	Introducción de cotas absolutas
000	Desplazamiento rápido
120. 200.	Posición objetivo
LF	Fin de secuencia

### 9.3.9 001 INTERPOLACION LINEAL

La herramienta se desplaza, con la velocidad de avance introducida, en una recta, en dirección a la posición de destino señalada.

Pueden llevarse a cabo movimientos paralelos al eje o también movimientos bajo un ángulo cualquiera.

#### Introducción de cotas absolutas

M2 ...

M3 001 000 200. F10. LF

M4 120. 200. LF

#### Introducción de cotas incrementales

M5 ...

M6 001 000 2-00. F10. LF

M8 10. 2-10. LF

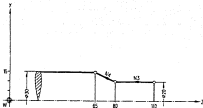


Fig. 9.5 Interpolación lineal

#### 9.1.4 INTERPOLACIONES CIRCULARES

Los parámetros de interpolación, junto con las instrucciones de eje, definen el círculo o, en su caso, arco de círculo. El punto de origen "EA" del círculo o arco de círculo está definido por la secuencia precedente. El punto final "EF" está definido por los valores de eje X y Z.

a) El centro "CM" del círculo está fijado por:  
 ó por los vectores I y K con signo antepuesto en un ángulo de 0 a 360°, I en dirección X, K en dirección Z.  
 El signo se desprende de la dirección de las coordenadas desde el origen "EA", al centro del círculo "CM".

b) ó directamente por el radio R  
 -R ángulo menor o igual a 180°  
 -R ángulo mayor a 180°

Si el ángulo comporta 0° a 360°, no puede ser programado ningún radio. Círculos completos tienen por tanto que ser programados con los parámetros de interpolación I y K.

Cuando el valor de un parámetro de interpolación I o K es 0,

no hace falta programarlo.



Fig. 3-6 Interpolación circular

La coordenada del punto final que no se haya modificado con respecto al origen del círculo no necesita programarse. En caso de círculo completo hay que programar como mínimo un eje C00 ó Z00.

G02-G03 definen la dirección de desplazamiento del círculo definido por X, Z, I, K, ó R.

Sistema de coordenadas de rotación C00 ó Z00

G02 en sentido horario

G03 en sentido antihorario

Campo de trabajo



Detrás del eje de giro



Delante del eje de giro



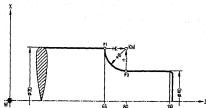


Fig 9.7 Interpolación circular

N5	G03	G90	X40.	Z80.	R15.	I0.	LF	= La herramienta se despla-
								za de P1 a P2.
N10	G02		X70.	Z55.	R15.	I0.	LF	= La herramienta se despla-
								za de P2 a P1.
+								
N5	G03	G90	X40.	Z80.	R-15.	I0.	LF	= La herramienta se despla-
								za de P1 a P2.
N10	G02		X70.	Z55.	R-15.	I0.	LF	= La herramienta se despla-
								za de P2 a P1.

### 9.3.5 G03 ESCALADO CON PASO CONSTANTE

Con G03 se pueden cortar roscas longitudinales, planas, y cónicas de uno o varios filetes, de paso constante.

Por medio de G03 se establece una dependencia entre el número de revoluciones del cabezal principal y el accionamiento del avance.

Un motor de impulsos genera 1024 impulsos por cada vuelta del cabezal, que son a continuación convertidos por el control y conducidos a los accionamientos del avance. Así, la velocidad de avance está directamente ligada al número de revoluciones del

cabecal, por lo que resulta superflua toda programación del avance.

Durante la pasada de roscado están inhabilitados el interruptor de corrección del avance, el pulsador "Parada Avance", el interruptor de corrección del número de revoluciones del cabecal y la modalidad de trabajo "secuencia a secuencia". Permanece en estado el avance bajo F, que volverá a tener efectividad con la programación siguiente de 000, 002 o 003.

Para poder hacer roscas en varias pasadas, el avance no arranca sino tras recibir del sensor una señal de paso por origen. Esto garantiza que la herramienta penetre siempre en la pieza en el mismo punto del perímetro de la misma. Las pasadas deben efectuarse con idéntica velocidad ( número de revoluciones del cabecal ), para evitar los efectos de diferentes errores de seguimiento.

El sentido de giro del husillo y el número de revoluciones del mismo deben programarse en la secuencia anterior a la operación de roscado propiamente dicha, para que el husillo pueda alcanzar su velocidad de giro nominal.

La longitud de rosca se introduce bajo las direcciones de desplazamiento X y/o Z, debiendo tenerse en cuenta tramos de aceleración y deceleración para que la máquina tenga tiempo de acelerar o frenar.

Los valores pueden introducirse en cotas absolutas o incrementales.

El paso de rosca se introduce bajo las direcciones I y K. En caso de rosca longitudinal el paso se introduce bajo K, en caso de rosca transversal bajo I y en caso de rosca cónica bajo I y K. Los valores I y K siempre tienen que introducirse en cotas incrementales de signo antepuesto.

Pasos de rosca: 0,001 mm hasta 400,000 mm

Las roscas derechas e izquierdas se programan indicando el sentido de giro de husillo M03, M04 respectivamente.

### 8.3.6 ROSCAS DE PASO CONSTANTE EN CUIRPORES ROTACIONES CON INCLINACION VARIABLE.

La inclinación del cono en que se efectúa el roscado puede variarse por etapas. Así se consigue, en las roscas longitudinales, una salida suave de la roca, la programación de cada sector de cómo se lleva a cabo según lo descrito en la sección 8.3.

### 8.3.7 ROSCAS DE ENTRADAS MÚLTIPLES

El roscado siempre empieza en el punto de sincronización, con la señal de paso por origen dada por el sensor de impulsos. Hasta que no llegue dicha señal del sensor rotativo digital, no se libera al avance.

La programación permite desplazar la posición del punto de origen para el roscado. Con ello es posible, no sólo tallar la roca con el filo izquierdo o derecho de la herramienta, sino también, con un desplazamiento en el procesamiento, tallar roscas de una, dos o varias entradas.

Las pasadas para una roca de entradas múltiples se programa del mismo modo que para una roca de entrada única.

Una vez terminado el mecanizado completo de la primera entrada, se desplaza el punto de origen en  $h$  y se pasa a mecanizar la entrada siguiente.

$$h = \frac{\text{Paso de roca}}{n^{\circ} \text{ de entradas}}$$

Las distintas entradas tienen que ejecutarse con idéntica velocidad de giro del cabezal, para evitar diferencias en el error de seguimiento.

### 8.3.8 POSIBILIDADES DE PENETRACIÓN

Existe la posibilidad de hacer penetrar la herramienta en ángulo recto con la dirección de roscado o bien roscando al fianco.



Fig. 9.8 Posibilidad de penetración "en ángulo recto con la dirección de roscado"

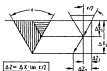


Fig. 9.9 "penetración rotando el flanco"  $Z = X$ ,  $\tan \frac{\alpha}{2}$

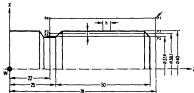


Fig. 9.10 Balsa cilíndrica de una sola entrada



### 6.3.9 BOCRA CILINDRICA DE UNA SOLA ENTRADA.

Paso  $h = 8$  mm, profundidad de roscas  $t = 1.3$  mm.  
Penetración en ángulo recto

#### Introducción de coils espirales

N20	500		2...		LP	
N21	500	X 45.	Z 70.		LP	CP13
N22		X 50.7			LP	CP20
N23	500		Z 55.	K 2.	LP	CP30
N24	500	X 45.			LP	CP40
N25			Z 70.		LP	CP13
N26		X 37.4			LP	CP50
N27	500		Z 55.	K 2.	LP	CP30
N28	500	X 45.			LP	CP70

#### Introducción de coils incrementales

N20	500		2...		LP	
N21	500	1-...	Z-...		LP	CP13
N22		1-3.55			LP	CP20
N23	500		Z-55.	K 2.	LP	CP30
N24	500	1-3.55			LP	CP40
N25			Z 55.		LP	CP13
N26		1-4.3			LP	CP50
N27	500		Z-55. K 2.		LP	CP30
N28	500	1 4 3			LP	CP40

### 6.3.10 BOCRA LONGITUDINAL DE PASO CONSTANTE, DE UNA SOLA ENTRADA

Paso  $h = 8$  mm, profundidad de roscas  $t = 1.3$  mm; ángulo de penetración  $\alpha = 50^\circ$ ; penetración estricto al filar

Punto P8 :

$$\Delta X = (48-38.7)/2 = 5.15$$

$$\Delta Z = 5.15 \cdot \tan 30^\circ$$

$$\Delta X = 3.7 \cdot \tan 30^\circ$$

$$\Delta Z = 3.7 \cdot 0.5774$$

$$\Delta Z = 2.135$$

Punto P5 :

$$\Delta X = 3.7 + (38.7-37.43)/2 = 4.3$$

$$\Delta Z = 4.3 \cdot \tan 30^\circ$$

$$\Delta Z = 4.3 \cdot \tan 30^\circ$$

$$\Delta Z = 4.3 \cdot 0.5774$$

$$\Delta Z = 2.482$$

Introducción de cotas absolutas

K99	000	Z...	LF	
K94	000	X 48.	Z 80.000	LF CP1
K95	X 38.7	Z 78.347	LF	CP2
K96	000	Z 82.	X 8.	LF CP3
K97	000	X 48.	LF	CP4
K98		Z 80.000	LF	CP1
K99	X 37.4	Z 78.	LF	CP5
H40	000	Z 82.	X 8.	LF LP6
H41	000	X 48.	LF	CP4

### 9.3.11 ROSCA DE PASO CONSTANTE, DE VARIAS ENTRADAS

Dirección de penetración radial paso  $h = 5$  mm, profundidad de rosca a dos entradas  $t = 3.8$  mm, en la pieza de la figura 9.12, cada entrada se mecaniza en dos pasadas. Una vez mecanizada completamente la primera entrada, se mecaniza la segunda entrada, con desplazamiento del punto de origen en  $\Delta X$ .

$$\Delta X = \text{Paso de roscamiento de entradas} = 5/2 = 2.5 \text{ mm}$$

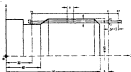


Fig. 9.12 Rosca de paso constante, de varias entradas

### Introducción de cotas absolutas.

M36	000	Ø 16	2 115		LF	CP13
M37		X 55			LF	CP20
M38	000		2 30	X 5	LF	CP30
M39	000	X 55			LF	CP40
M40			2 115		LF	CP13
M41		X 52.2			LF	CP20
M42	000		2 30	X 5	LF	CP30
M43	000	X 55			LF	CP40
M44			2 115		LF	CP13
M45		X 55			LF	CP20
M46	000		2 30	X 5	LF	CP30
M47	000	X 55			LF	CP40
M48			2 115		LF	CP13
M49		X 55.2			LF	CP20
M50	000		2 30	X 5	LF	CP30
M51	000	X 55			LF	CP40

### 9.3.12 Rosca cónica de paso constante, de una sola entrada.

Dirección de penetración radial, paso  $h = 5$  mm, profundidad de rosca  $t = 1.73$  mm,  $\alpha = 15^\circ$ . Hay que escribir ambas coordenadas del punto final. El paso  $h$  se introduce bajo E.

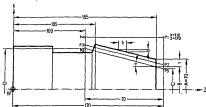


Fig. 9.12 Rosca cónica de paso constante, de una sola entrada

**Cálculo de las coordenadas de los puntos de origen x final de la prueba.**

$$A = 70$$

$$B = A - 1,78 \cdot Z$$

$$B = 70 - 3,45$$

$$B = \underline{66,54 \text{ mm}}$$

$$D = C + (70 \cdot \tan \alpha) \cdot Z$$

$$D = C + (70 \cdot 0,2874) \cdot Z$$

$$D = 63,86 + 20,118$$

$$D = \underline{103,978 \text{ mm}}$$

$$C = B - (B \cdot \tan \alpha) \cdot Z$$

$$C = 66,54 - (66,54 \cdot 0,2874) \cdot Z$$

$$C = \underline{63,86 \text{ mm}}$$

$$h = K + B \cdot \tan \alpha$$

$$h = 5 \cdot \tan \alpha$$

$$h = 5 \cdot 0,2874$$

$$h = \underline{1,437 \text{ mm}}$$

**Introducción de cotas absolutas.**

M01	000	Z ...				LF	
M02	000	X 110.	Z 170.			LF	CP13
M03		X 66,54				LF	CP03
M04	000	X 103,978	Z 100.	I 1,34	K 5.	LF	CP20
M05	000	X 110.				LF	CP43
M06			Z 170.			LF	CP13
M07		X 63,86				LF	CP03
M08	000	X 103,978	Z 100.	I 1,34	K 5.	LF	CP20
M09	000	X 110.				LF	CP43

**Cálculo de los puntos E1 y E2**

$$X(E1) = C + B \text{ mm}$$

$$X(E1) = 63,86 \text{ mm} + B \text{ mm}$$

$$X(E1) = \underline{66,54 \text{ mm}}$$

$$X(E2) = D + B \text{ mm}$$

$$X(E2) = 103,978 \text{ mm} + B \text{ mm}$$

$$X(E2) = \underline{109,428 \text{ mm}}$$

### 5.3.13 ROSCA DE PISO VARIABLE

El paso de una rosca se puede modificar en varias secuencias sucesivas. Dentro de cada secuencia el paso de rosca es constante.

El ámbito de paso constante puede ser inferior a una vuelta, ya que cuando hay secuencias de roscado encadenadas, en las sucesivas secuencias no se espera la señal de paso por origen del sensor de impulsos.

### 5.4.1 G09 DECELERACIÓN

Mediante la función G09 resulta posible la aproximación precisa a una posición-objetivo (dentado del límite de parada de precisión 3).

En este caso se reduce hasta cero la velocidad de avance. Se realisa el error de seguimiento momentáneo.

A la función G09 se puede recurrir cuando hay que mecanizar esquinas agudas, por ejemplo en caso de entallado o inversión de sentido. En las secuencias con G09 no necesita especificarse G08, ya que G09 incluye de por sí G08. G09 actúa por secuencias.



Fig. 5.14 Cambio de sentido con deceleración y sin ella.

#### 9.4.2 004 TIEMPO DE ESPERA

El tiempo de espera se introduce bajo la dirección 8. El margen de tiempos se extiende entre : 0.001 y 99999.999 segundos.

En una secuencia con tiempo de espera no se permite escribir otras funciones, aparte de 004.

Ejemplo:

```
H.. 004 X11.5 LF
      Tiempo de espera 11.5 s
      Siempre sin signo
```

Los tiempos de espera se necesitan para el corte libre, eventualmente en caso de cambio de velocidad de giro y funciones de muestra de la máquina (civeta, contrapunto etc.).

004 actúa por secuencias.

#### 9.4.3 070/71 SISTEMAS DE ENTRADA

070 Sistema de entrada en pulgadas

071 Sistema de entrada métrica

La posición de borrado (posición preferencial) se fija a la hora de la puesta en marcha mediante un parámetro de máquina. Inherentemente, el control trabaja siempre en ese sistema fijado, ya sea el sistema de pulgadas, ya sea el sistema métrico, independientemente de si la introducción se ha hecho en pulgadas (070) o en milímetros (071).

La introducción de un valor en el sistema que no corresponde a la posición de partida requiere la previa programación de la función 8 correspondiente. El control convierte el valor introducido al otro sistema, por lo que al ejecutarse una secuencia así ya se visualiza el valor convertido al sistema de la posición preferencial.

El sistema de introducción que difiere de la posición base puede ser programado en una o varias secuencias o en un programa completo.

En la primera secuencia debe ser escrita la función 8

necesaria y tras la última secuencia la función preferencial (al final de programa M02, M30 viene automáticamente la función preferencial).

De la posición preferencial sistema de instrucciones dependen:

Indicación del valor actual (también la diferencia a valor actual programado). Primero a cuarto decimales origen ajustable y desajuste externo (0000, velocidad de corte 000, 000).  
 Conexión de herramienta.

De las funciones 070 y 071 programadas dependen:

Informaciones de desplazamiento K, Z.  
 Parámetros de interpolación I, E.  
 Chafletes/redondeos B-B.  
 Desplazamiento del origen (000 programable).  
 Parámetros que están subordinados a informaciones de desplazamiento, parámetros de interpolación, chafletes/redondeos.

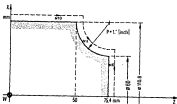


Fig. 0-10 071 posición de herramienta Cónica?

M10 G01 Z60.

M11 G03 070 Z1. X-1. R1. 10. LF

M12 G04 071 1-30. LF

#### 9.4.4 054-055 DECALAJES SELECCIONABLES DEL PUNTO DE ORIGEN

Los valores para el decalaje del punto de origen para cada eje se introducen en el control, manualmente, a través del panel de mandos.

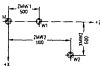
El cálculo se efectúa para el punto final de referencia, en secuencias de cotas absolutas e incrementales, cuando el eje afectado está programado. También en secuencias de cotas incrementales (050) se tienen en cuenta un valor del decalaje del punto de origen.

Ejemplo: Cambio de 054 a 055 en una secuencia de cotas incrementales. Se integra en el cálculo la diferencia entre NY (055) y NY (054).

Pueden seleccionarse 4 decalajes ajustables del punto de origen (054-057) para los distintos ejes.

Un decalaje aditivo externo del punto de origen (compensación adicional externa) a través del mando de interconexión, se añade p. ej. al valor de la memoria NY seleccionado por 054. Lo mismo con un NY que estuviera programado.

El resultado es el decalaje total del punto de origen.



054 : valores introducidos

$$NY_1 = 0$$

$$054_1 = 500$$

055 : valores introducidos

$$NY_2 = 600$$

$$054_2 = 1100$$

Fig. 9.10 Decalajes seleccionables del punto de origen

M150 054 X... Z... LF = Selección del decalaje del punto de origen no. 1

M150 055 X... Z... LF = Selección del decalaje del punto de origen no. 2

\* DECALAJE DE REFERENCIA A LA COMPENSACION DEL PUNTO DE ORIGEN AL QUE SE HAY EN CUENTAS.



#### 9.4.5 DECALAJE DEL PUNTO DE ORIGEN ADITIVO, PROGRAMABLE.

Con 056 se puede programar bajo las direcciones I y II un decalaje adicional del punto de origen. En el momento del cálculo, los valores programados se añaden a los valores del decalaje ajustable del punto de origen.



Fig. 9.17 Decalaje del punto de origen aditivo, programable

Decalaje del punto de origen, seleccionable:

valores introducidos:  $XNW_1 = 0$   
 $XNW_2 = 500$

Decalaje del punto de origen, aditivo, programable:

valores introducidos:  $XNW_1 = 500$   
 $XNW_2 = 500$

Decalaje del punto de origen, total:

$XNW = 500$   
 $YNW = 1000$

#### 9.4.6 053 BORRADO DEL DECALAJE DEL PUNTO DE ORIGEN

Con 053 se consigue un borrado por secuencias del decalaje de coordenadas entre el origen de máquina y el origen de pieza, obtenido por medio de:

- M1 ajustable (054-057)
- M1 programable aditivo (058)
- M1 aditivo externo

La corrección de la herramienta se tiene que suprimir por separado.

En la secuencia siguiente, después de G03, todos los desplazamientos del punto de origen vuelven a tener efecto.

#### **G.4.F G04/G05/G06 AVANCE F**

El avance F puede programarse en mm/min ó en mm/revolución.  
G05 (F en mm/revolución) es siempre posición preferencial.

La velocidad programada se mantiene sobre la trayectoria del punto de corte "P", incluso si se utiliza la corrección del radio de corte (punto de herramienta imaginaria).

Por medio del interruptor de corrección del avance en el panel de mandos, se puede modificar el avance programado del 1% al 100%. La posición de 100% corresponde al valor programado. En las operaciones de frenado, queda suprimida la introducción de avance y el selector de corrección del avance queda sin efecto.

#### **G.4.G G90 G. VELOCIDAD DE CORTE CONSTANTE**

**G97 VELOCIDAD DE CORTE CONSTANTE.**

#### **G90 G... velocidad de corte constante.**

En función de la velocidad de corte programada, el control calcula la velocidad de giro del cabezal apropiada para el diámetro torneado en cada momento preciso.

**G90... G... G... LF**

**G90** Velocidad de corte constante

**G...** en mm/min

**LF**

La interrelación entre diámetro torneado, velocidad de giro del cabezal y el movimiento de avance permite una adaptación óptima del programa a la máquina, al material de la pieza y a la herramienta.

El punto de origen en el eje Z queda **igual** al centro de

giro. Esto se asegura al posicionar el punto de referencia.

En el cálculo de la velocidad de giro del cabezal para la velocidad de corte constante, se tienen en cuenta los siguientes valores :

- valor real
- construcción de la longitud de herramienta
- desajuste de origen en dirección E
  - NV 004, 005, 006, 007 seleccionables
  - NV 008 aditivo
  - compensación adicional externa

### **007 Velocidad de giro constante**

Con la función 007 se elimina la velocidad de corte constante. La velocidad última de giro alcanzada se continúa manteniendo como velocidad de giro constante. Se utiliza 007 para que no se produzca una variación indeseada en la velocidad de giro, entre secuencias de dirección E sin mecanizar. También se puede evitar una variación indeseada de la velocidad de giro, por la respuesta de palabra E dependiente del tiempo de ciclo del PC.

### **Cambio de estado de reducción**

En caso de velocidad de corte constante, se trabaja en una línea característica de un estado de reducción. En cualquier momento, en un lugar apropiado del programa, se puede proceder al cambio de estado de reducción.

### **9.4.9 008 E. LIMITACION DE LA VELOCIDAD DE GIRO DEL CABEZAL PARA 005.**

Puede hacerse imprescindible con velocidad de corte constante 005 impedir que la velocidad de giro del cabezal siga aumentando, o sea, seguir trabajando con velocidades de giro constante a partir de un determinado momento. Con anterioridad a la parte del programa en que está programada esta operación, en una secuencia especial ad hoc, se programa la limitación de velocidad de giro bajo la dirección E, en mm<sup>3</sup>.

N... 000 2000 LF

000

2000 Limitar velocidad de giro del cabezal a 300  $\text{min}^{-1}$ .

LF

Ninguna otra instrucción en la misma secuencia.

Esta limitación no tiene efecto en 004 ni 005. Solo sólo en 000. En caso de selección de velocidad de corte constante 000 S... siempre actúa el mismo valor programado bajo 000... como limitación de la velocidad de giro del cabezal.

La supresión de la limitación asimismo se efectúa por medio de 000 S..., debiendo escribirse bajo S la velocidad de giro máxima del escalón de transmisión seleccionado 000 S 0 causa parada del cabezal.

N.S.10 NUEVAS CONDICIONES DEL SABO DE CORTE (000)

MECANIZADO DETRÁS DEL EJE DE GIRO.	MECANIZADO DELANTE DEL EJE DE GIRO.
040 Borrado de la SPC	Borrado de la SPC
041 Herramienta a la izquierda de la pieza	... derecha...
042 ...derecha...	... izquierda...



Fig 9.18 Mecanizado detrás del eje de giro



Fig. 8.19 Mecanizado delante del eje de giro

En la SRK se programa el contorno de la pieza. El control calcula la trayectoria del punto central del filo de corte (colocación de equidistancias) y los puntos de intersección de estas equidistancias en transiciones discontinuas.

La SRK es utilizable en contornos interiores y exteriores, ángulos obtusos y agudos, transiciones discontinuas y tangenciales. No se crean errores de control.

Las funciones G40/G41/G42 pueden introducirse con o sin instrucciones de desplazamiento.

Después de introducirse G41 ó G42, con el primer desplazamiento (Y y/o Z) la compensación del radio de corte pasa a tener efecto en el plano de mecanizado. Las correcciones longitudinales, sin sin recorrer, también actúan en ambos ejes, en las secuencias que contienen G41, G42.

La selección solo deberá hacerse cuando G00 ó G01 están activados. Dentro del programa puede alternarse (de secuencia a secuencia) entre G41 y G42, ó viceversa. Así, no hay necesidad de suprimir la SRK por medio de G40. Estando seleccionado SRK no debe ser programado ningún G02, G03, G33.

Ayuda: Las funciones G02, G03, G33 deben ser programadas antes de seleccionar SRK ó borrar la SRK = seleccionar G40, G41, G42 y a continuación seleccionar de nuevo SRK. Con corrección SRK seleccionada, incluso en secuencias con G40, no debe de ser cambiado el valor del desajuste de origen activo.

#### 9.4.11 G1/G01 PROGRAMACION DE COORDENADAS POLARES

G00 Interpolación lineal, desplazamiento rápido

G01 Interpolación lineal, avance F

P punto de origen de punto

P<sub>1</sub> punto medio en el sistema de coordenadas polares.

A ángulo

B radio

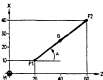


Fig. 9.20 paso de P1 a P2.

N... B... G00 X10. Z50. A40

B... Con avance rápido a dos avances B01.

Z50. X10. Punto central del sistema de coordenadas polares.

B01 Radio.

A40 Ángulo

- El ángulo se refiere siempre al eje primeramente programado en la secuencia en dirección positiva (en este caso desde +Z a +X en dirección más corta). La dirección positiva del eje primeramente programado, corresponde a un ángulo de 0°. La dirección positiva del segundo eje programado corresponde a un ángulo de 90°.

- La indicación del ángulo es siempre absoluta y positiva. Precisión de interpolación 0,0° grados.

- Al programar por primera vez coordenadas polares, deben introducirse ambas coordenadas del centro en cotas absolutas. Se aconseja programar sistemáticamente ambas coordenadas del centro.

- El centro se mantiene por su punto hasta nueva programación. Al final de programa (M02-M30), se borra el control del sistema polar.

- La introducción en cotas incrementales del centro (con G51) se refiere siempre al último centro programado.

## 6.5. FUNCIONES DE MANEJO Y COMPLEMENTARIAS M, S, T, R

Las funciones de manejo y complementarias se ejecutan por separado en aquellas secuencias en que están programadas. En una misma secuencia pueden figurar como máximos una M, una S, una T y una R. La emisión al mundo de información tiene lugar en el orden:

M - S - T - R

Mediante origen de máquina se fija si la función se realiza antes del desplazamiento del eje o durante el mismo. Es el fabricante de la máquina herramienta el que lo indica. En caso de emisión de las funciones durante el desplazamiento del eje tenemos:

Si un valor nuevo tiene que ser efectivo durante el desplazamiento de los ejes, la nueva función tiene que emitirse en la secuencia anterior.

### 6.5.1 PALABRA S

La palabra S puede utilizarse, según se elija, como:

- velocidad de giro del cabezal codificada
- velocidad de giro del cabezal en  $\text{min}^{-1}$  o  $\text{O}:\text{I min}^{-1}$   
(Ajuste a la hora de la puesta en marcha)
- velocidad de corte en  $\text{mm/min}$  o  $\text{O}:\text{I mm/min}$   
(Ajuste a la hora de la puesta en marcha)

No es posible diferenciar la forma de introducción para la velocidad de giro y la velocidad de corte.

### 6.5.2 PALABRA T, UNIÓN DE HERRAMIENTAS

El orden de herramienta determina la herramienta necesaria para la fase de mecanizado (número de herramienta) y los datos de herramienta que van a tener validez (número de corrección de herramienta).

T 12 18

T Dirección de la orden de herramienta  
18 Número de herramienta 00 ... 99  
(1 a 2 decadas)  
18 Número de corrección de herramienta  
Colección: 01 ... 100  
Código: 000

Número de corrección de herramienta.

Bajo los números de corrección de herramienta están depositados los datos de herramienta. En total pueden almacenarse los valores de corrección para 18 herramientas.

Corrección de herramienta:

Cada una de las 18 correcciones de herramienta (T01...T18) está compuesta por:

- X... Corrección longitudinal de la herramienta eje X
- Z... Corrección longitudinal de la herramienta eje Z
- R... Radio de corte
- A... Posición del punto de corte de la herramienta

**6.5.3 CORRECCION DE HERRAMIENTA SIN EMPLEO DE LA G02**

La corrección de herramienta axial, se calcula por la suma de la corrección longitudinal y una eventual corrección longitudinal de herramienta axial externa. La suma corresponde a la medida X00 a Z00.

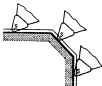




- P punta teórica de la plaquita.
- S centro del radio de corte.
- F punto de referencia del carro.

Fig. 9.21 Corrección de herramienta sin empleo de la SMC.

Lo que se programa es la trayectoria del centro del radio de corte S. La corrección longitudinal se refiere al centro del radio de corte.



Trajectory del centro del radio de corte.

( ————— )

Contorno de la pieza.

( ————— )

Fig. 9.22

#### Cálculo de la corrección.

Al cambiar el número de corrección de herramienta, se forma la diferencia entre el valor de corrección nuevo y el antiguo.

A la hora de la puesta en marcha se determina si la diferencia:

- se traduce en desplazamiento inmediatamente después del cambio; para el desplazamiento de la corrección de herramienta o de una diferencia no hace falta instrucción de eje;
- o bien, no se tiene en cuenta hasta el desplazamiento programado del eje afectado.

#### **8.5.4 CORRECCION DE HERRAMIENTA CON EMPLEO DE LA COMPENSACION DEL RADIO DE CORTE (SRG).**

Con la SRG se puede programar el contorno de la pieza. La corrección longitudinal a introducir, se refiere al punto de corte "P". Adicionalmente hay que indicar el radio de corte y la posición del punto de corte.

El control calcula la trayectoria que entonces habrá que recorrer. No se originan errores de contorno.

La corrección del radio de corte tiene efecto en el punto final de la secuencia en que haya sido llamada (G41, G42), es decir, en la secuencia siguiente se realiza un desplazamiento correcto.

Si como cara de herramienta no se elige HP ni ZP sino XP y ZP, colócala centro del filo de corte/pestaño de referencia del carroc, para cada herramienta hay que explicar la identificación B véase las figuras 8.84 y 8.85.

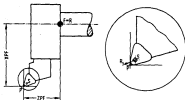


Fig. 8.23 Corrección de herramienta con empleo de la compensación del radio de corte (CR).

Para el cálculo de corrección del radio de corte, el control necesita una identificación de la posición del punto de corte de la herramienta. En total hay nueve identificaciones, con la que se representa la posición de la punta imaginaria "P" del filo de corte de la herramienta con respecto al centro del radio de corte "Q".

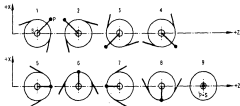


Fig. 8.24 Mirando siempre de Q a P

Si el campo de trabajo está situado delante del centro de giro, las identificaciones tienen vigencia para la posición del punto de corte de la herramienta teniendo en cuenta la nueva dirección +X.

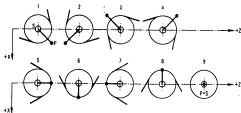


Fig. 4.25 Campo de trabajo situado delante del centro de giro

#### 4.5.5 FORMATO DE LA CINTA PERFORADA PARA LA INTRODUCCIÓN DE CORRECCIONES DE HERRAMIENTA.

Las correcciones de herramienta pueden introducirse no solo por medio del panel de mandos, sino también a través de la interfase de introducción de datos. En este caso no deben programarse números de secuencia.

##### CORRECCIONES DE HERRAMIENTA PARA ETC...

■ TO LP (TOOL OFFSET)

- Rotación
- Cambio de corrección.

002 T0 E. Z. B. A. LP

008 T08 E. Z. B. A. LP

002 T03 E. Z. B. A. LP

H02 ó H00 LP

- T Número de corrección de herramienta
- X Geometría de herramienta en el eje X
- Z Geometría de herramienta en el eje Z
- B Radio de corte
- A Posición del punto de corte

## 3.6 FUNCIONES COMPLEMENTARIAS \*

### M00 Parada programada (no condicionada)

Con M00 se puede interrumpir el programa para llevar a cabo alguna medición o intervención manual. Terminada la medición, el mecanizado puede reanudarse oprimiendo la tecla de arrastre "Cycle". La información introducida queda memorizada. La función complementaria M00 tiene efecto en todas las modalidades de trabajo automáticas. En cuanto a si se detiene también el accionamiento del cabezal, esto se deducirá del manual de programación particular de la máquina de que se trata.

M00 también surte efecto en una secuencia sin información de desplazamiento. Se permite escribir "M0".

### M02 Fin de programa

M02 con reposición del programa al comienzo del mismo, se escribirá en la última secuencia del programa. M02 puede figurar junto con otras funciones o bien aisladamente.

Los procesos de introducción por lectura se detiene con M02. Se permite escribir "M2".

### M17 Fin de subprograma

M17 se escribirá en la última secuencia (bien aisladamente, bien con otras funciones) de un subprograma. M17 no es sino el fin de subprograma. No se permite que en una misma secuencia coincidan una llamada de subprograma, y M17 (en caso de subprogramas anidados).

### M00 Fin de programa

M00 es como M02. No permite el rebobinado automático de la cinta perforada. El rebobinado se hará por los medios de control del lector de cinta perforada.

### M03, M04, M05, M06 Mandos del cabezal principal

M03 solo con emisor de impulsos en el cabezal principal? con velocidad de giro del cabezal analógica están fijadas las siguientes palabras M para el control del cabezal:

- M03 Sentido de giro del cabezal a la derecha
- M04 Sentido de giro del cabezal a la izquierda
- M05 Parada del cabezal
- M06 Parada del cabezal orientada

Con M06 se puede parar el cabezal principal orientado. La programación del ángulo se hace bajo S en grados (distancia de la señal de origen en dirección M03). El ángulo programado bajo la dirección S se automantiene. Al programar M06 sin S, se hace efectivo el valor memorizado del ángulo. M06 no borra M03 o M04.

### Funciones complementarias libres

Sea de libre disposición todas las funciones complementarias con excepción de M03, M05, M06, M04, M05, M07, M08 y M09.

La información exacta acerca de la utilización de las distintas funciones se encuentra en la clave especial de programas de la máquina. Parte de la significación de esta función está fijada en DIN 66025.

## CAPÍTULO 10

### ALCANCES Y LOGROS EN CN

#### INTRODUCCION

La finalidad del control numérico es mejorar las técnicas de producción mecánica, con el correspondiente ahorro en tiempo de fabricación y una mejor y más uniforme calidad de las piezas producidas. Sin embargo, actualmente los equipos de control presentan numerosas limitaciones, tanto en su utilización como en su diseño e implementación.

Por una parte, es necesario diseñar controles numéricos más inteligentes y precisos de forma que se pueda mejorar apreciablemente la productividad de la máquina y reducir la complejidad de los programas de máquina. Este requisito está obligado a la utilización cada vez más generalizada de circuitos electrónicos LSI o VLSI o incluso FPGAs. Esta tendencia ha conducido a la incorporación de la computadora (normalmente varias microcomputadoras en procesamiento distribuido) como elemento imprescindible. La era del CNC (control numérico computarizado) ha llegado definitivamente, dejando casi inutilizables los equipos que aún utilizan lógica cableada.

Los aspectos que están siendo estudiados actualmente con mayor interés y donde se está realizando un mayor esfuerzo con el fin de incrementar la eficiencia de la máquina-herramienta son los siguientes :

#### A nivel de concepción :

- Optimización de las condiciones de corte.
- Taller integrado de fabricación.

#### A nivel de utilización :

- Puesta en operación.
- Monitorización de alarmas.
- Diagnóstico.
- Nuevas técnicas de programación.

## 3. Nivel de realización

- Control numérico por computadora
- Periféricos de computadora
- Captación de posición
- Memoria de programa

Vamos a realizar una breve descripción de las tendencias actuales en cada uno de estos temas.

### 10.1 NIVEL DE CONCEPCIÓN

#### 10.1.1 OPTIMIZACIÓN DE LAS CONDICIONES DE CORTE

El acabado de las superficies y la vida de las herramientas depende, en gran medida, de la velocidad de avance durante el mecanizado, y de la presión ejercida por la herramienta. Una presión excesiva disminuye la vida de una herramienta, mientras que una velocidad excesiva produce un acabado superficial de mala calidad. Por otra parte, velocidades de avance reducidas aumentan, a veces en forma muy considerable, el tiempo de ejecución de una pieza.

En máquinas normales, el operador a base de mirar el color y la forma de la viruta o el sonido de la herramienta de corte, ajusta y ajusta tanto la velocidad de avance como la de rotación.

Sin embargo, esta operación es extraordinariamente difícil de realizar, y así los operarios más expertos son incapaces de ajustar los valores de los parámetros con la rapidez necesaria si las condiciones de corte cambian constantemente.

Estos requerimientos, unidos a la necesidad siempre importante de reducir la longitud del programa pieza, han conducido al concepto de control numérico adaptativo.

#### CONTROL NUMÉRICO ADAPTATIVO

El control adaptativo (CA) tiene por finalidad optimizar en cada instante las condiciones de mecanización, teniendo en cuenta las características reales de la pieza a mecanizar, presencia de puntos duros, por ejemplo, y del grado de desgaste variable de la arista de corte de la herramienta.





Fig. 10.1

(Torneo automático de 5 familias INDOX MS 50. Elevada potencia y precisión para el mecanizado de grandes series. Carros mandobrotos a CMC para obtener la máxima flexibilidad).

Como ya hemos dicho, en los controles numéricos clásicos, los órdenes tales como la velocidad de avance, profundidad de corte o velocidad de rotación del husillo, se programan previamente de acuerdo con la experiencia. Estas velocidades son las que, posteriormente, se utilizan a lo largo de todo el proceso de mecanización, y permanecen en un valor constante. Este proceso presenta la ventaja de la simplicidad, pero no se tienen en cuenta las características propias de la máquina y las características suplementarias inherentes a cada herramienta. Cuando no se tienen en cuenta estas características, los resultados se logran con un margen de seguridad muy grande y, por tanto, durante la mayor parte del tiempo, la máquina trabaja muy por debajo de sus posibilidades reales, con la correspondiente pérdida de eficacia. Además, el operario no puede modificar continuamente y con suficiente rapidez las condiciones de corte de la herramienta.

Con el control numerado adaptativo se pretende mejorar las condiciones generales de trabajo, llevándose al mínimo de lo admisible mediante una adaptación constante de los parámetros del mecanizado.

El primer problema que introduce el control adaptativo es que es necesario conocer con exactitud el proceso de arranque de viruta. El proceso de arranque de viruta se ha estudiado con gran intensidad en los laboratorios, habiéndose obtenido datos que permiten considerar mejor variables tales como: racionalidad de los materiales, clases de herramientas, las velocidades de corte y avance y otras variables que intervienen en el proceso general del mecanizado.

En embargo, estos estudios experimentales han suministrado valores que no se adaptan perfectamente a los valores óptimos reales, debido, fundamentalmente a las siguientes causas:

- Discontinuidad de las propiedades metalúrgicas del material de las piezas.
- Variación de la eficiencia de las herramientas durante el proceso de corte, debido a su desgaste o a su embolsamiento.
- Efectos de las vibraciones sobre el acabado de la superficie.

Estas razones están sugiriendo la utilización del control adaptativo como un medio de seleccionar las variables de entrada del proceso, en función de las condiciones reales del proceso en cada instante.

El objetivo de un control adaptativo es, pues, controlar las variables de entrada del proceso, calculadas a partir de ciertas variables que lo definen y que deben ser autorizadas en cada instante. Estos cálculos se realizan de acuerdo con criterios de rendimiento máximo, precisión máxima, etc.

Aunque la práctica total de los departamentos realidades utilizan como variables a controlar la velocidad de rotación y la velocidad de avance, en la actualidad existen estas investigaciones donde se controlan la profundidad de corte o las trayectorias de la herramienta.

Los criterios exigidos en estas investigaciones han sido: mínimo costo, máxima velocidad de arranque de material, temperatura de corte constante, precisión determinada o fuerza constante contra el borde de la herramienta.

Como variable a medir se han tomado las características propias de la máquina (potencia, par motor, vibración de la máquina, etc.) y las características inherentes a la herramienta (desgaste, temperatura, deformación del filo, etc.).

La utilización del CA toma especial interés en lo siguiente:

- Geometría de corte variable, como ocurre en contorneo.
- Variaciones en la dureza de las piezas debidas a la presencia de puntos duros, o por anisotropía del material.
- Régimen variable de la pieza, debido a su deformación durante el proceso de corte.
- Desgaste sufrido por la herramienta durante el mecanizado.
- Cuando existan recorridos en vacío de la herramienta.

Los beneficios inmediatos que se derivan de la aplicación del CA son:

- Disminución del tiempo total del mecanizado.
- Incremento de la vida de la herramienta.
- Protección de la máquina-herramienta.
- Acortamiento de los tiempos que se pierden por desplazamientos en vacío durante el mecanizado.
- Mejor precisión.

Además el CA permite simplificar considerablemente la programación. Se evitaría, entre otras cosas, tener que programar numerosas instrucciones, que serían automáticas, además de eliminarse la programación de procesos totales como el desbastado, que se programaría mediante su perfil final.

Según el tipo de índice a optimizar, existen el control adaptativo tecnológico y el control adaptativo geométrico.

## CONTROL ADAPTATIVO GEOMÉTRICO

El CA geométrico corresponde a aquellos sistemas que tratan de responder a exigencias de prestaciones geométricas casi siempre relacionadas con la precisión del mecanizado o el mismo costo para una precisión determinada.

Bastan, por tanto, minimizar la influencia de los errores geométricos que aparecen durante el proceso por causas tales como la deformación estática o térmica de la estructura de la máquina-herramienta.

A su vez, cada uno de estos tipos de controles se clasifican en control adaptativo optimizado ACO (Adaptive Control Optimized) y control adaptativo restringido, ACC (Adaptive Control Constrains).

En un ACO, para cada estado del sistema representado por la correspondiente combinación de variables de entrada se tiene definido un valor del índice de prestación de la máquina con variables de entrada que define cada estado del sistema. Se utilizan en un CA tecnológico la velocidad de rotación, la velocidad de avance y la profundidad de corte.

En un CA geométrico el estado del sistema viene representado por la posición y la profundidad de corte.

El índice de prestación de la máquina o criterio de optimización viene representado en el caso del CA tecnológico, por factores tales como: máxima producción, mismo costo, máximo beneficio, etc.

En el caso del CA geométrico, estos factores son: máximo acabado superficial y mismo costo para una tolerancia determinada.

El campo de definición del índice, para una máquina-herramienta determinada, se encuentra limitado para los valores extremos de las variables del proceso.

El campo de evolución para el ACC se encuentra definido de la misma forma que para el ACO, y su actuación se basa en la idea de hacer que el comportamiento del proceso se dirija y permanezca en una zona limitada por las condiciones de funcionamiento impostas al sistema. Generalmente, el punto de trabajo deseado se encuentra en uno de los límites de la zona mencionada anteriormente, y su

localización cambia debido a la variación que las condiciones del mecanizado establecen en dicha zona.



Fig. 10.2

El torno automático INCEC 08 05 de carros múltiples a CNC. Pueden mecanizarse piezas a partir de barra hasta 95 mm de diámetro y piezas acopladas sobre plato hasta 100 mm de diámetro, tanto en series medias como grandes, con la mayor productividad. El motor principal y los accionamientos de los ejes son motores de corriente trifásica regulables, accionados de mantenimiento).

El índice de prestación de la máquina para un CA tecnológico restringido viene representado por factores tales como máxima velocidad de avance, máxima velocidades de rotación, máxima fuerza de corte, máxima profundidad, etc.

En el caso de un CA geométrico restringido, estos factores son: tolerancia constante, máxima deformación, etc.

La primera fase para el desarrollo de un CA en la identificación del proceso.

Con esto se trata de establecer el modelo matemático que relaciona todas las variables que interviene en el mecanizado. Se establece, por tanto, la formulación analítica del índice de optimización.

La dificultad estruena, por una parte, es la gran dificultad de establecimiento del modelo matemático, y, por otra, en la gran complejidad de dichos modelos, que exigen para su ejecución una computadora muy potente.

El cálculo de los valores óptimos de las variables de entrada puede realizarse con relativa sencillez para unas condiciones de seguridad dadas y un criterio de optimización determinado.

En embargo, las predicciones que el desgaste de la herramienta y de las fuerzas de corte permiten realizar, se encuentran muy alejadas de la realidad.

Entre los modelos realizados merece citarse los siguientes:

1.- Control adaptativo para tornos desarrollada para el MITRA, que establece una velocidad de rotación óptima del husillo para condiciones de máxima economía y potencia constante se calcula la potencia teórica mediante una expresión matemática y se compara con la medida directamente en el proceso, de forma que si la diferencia es mayor que cierto valor fijado, se origina un ajuste de la velocidad de rotación óptima y de la de avance.

E - Un segundo modelo ha sido desarrollado para fresadoras por Bardis.

En este modelo se mide el desgaste de la herramienta en función del volumen de viruta arrancada en la unidad de tiempo, la temperatura del filo de la herramienta y la variación del par en función del tiempo.

Otros modelos han sido desarrollados por diferentes casas comerciales y universidades: Universidad de Tokio, Cincinnati, Universidad de Florencia y Pisa, etc.

Uno de los problemas másicos que aparecen con la introducción del control adaptativo es el de los detectores de las variables a medir (temperatura del filo de la herramienta, grado de desgaste de la herramienta, deformación de la herramienta y de la pieza, etc.)

Actualmente se están realizando investigaciones sobre estos tipos de captadores y se espera que éstos existan a nivel industrial cuando el CA este preparado para su comercialización. Los captadores traen un nuevo problema, que será la

interpretación de sus curvas de respuesta.

La mayor complejidad del control numérico adaptativo exige la utilización de una computadora, ya que sería la única forma de realizar todo el cálculo y control necesarios. El esquema general de un CA sería el de la figura (10.3).



Fig. 10.3 Esquema general de un CA.

Uno de los primeros controles numéricos adaptativos fue el diseñado por Elements, que fue presentado en París en junio de 1969 con un control numérico de contorno EL NUMERIK.

Actualmente, los principales usuarios de control adaptativo son las firmas aeroespaciales.

Un sistema de control numérico adaptativo que se está actualmente utilizando en la industria del automóvil, es el sistema NMC 3, fabricado por Masstech Seattle. Esta dirigido fundamentalmente a fresadoras, y utiliza como criterio de optimización que permanezca constante la fuerza contra el borde de la herramienta (presión de la herramienta). Como variable a medir, se ha utilizado la deflexión del boring. Como sensor se usa un anillo de cuatro transductores inductivos servidos a 90°. Este sensor es capaz de detectar desplazamientos del boring de  $5 \times 10^{-6}$  pulgadas, anillo equilibrado electrónicamente, de tal forma que no afecten a las lecturas las variaciones de temperatura.

El sistema suma las fuerzas medidas en cada eje, de tal forma que se pueda obtener una fuerza resultante sobre el boring. Esta fuerza resultante es, entonces, comparada con un valor de referencia, almacenado a la cinta. Se transforma en una tensión analógica por medio de un convertidor D-A. De esta forma se pueden

comparar las tensiones correspondientes al valor de referencia y a la fuerza resultante medida en el sensor. El valor de este error se utiliza para gobernar la velocidad de avance de la máquina.

Al mismo tiempo, el sistema, para impedir sobre cargas, controla los motores de alterna del husillo. Cada motor de alterna usa un transformador de corriente que sirve como sensor de carga del motor. Si se utilizan motores de continua el sistema mide la corriente de paso por un Shunt.

El problema de mecanizado define la dureza del material, el tipo de material de la herramienta, la geometría de la herramienta, incluyendo longitud, diámetro, etc. De acuerdo con esta información, el sistema calcula la máxima velocidad teórica de avance y almacena dicho valor en forma de una velocidad de avance, velocidad de rotación en r.p.m. y código de fuerza usando esta información y la fuerza resultante real medida por los sensores, el sistema MAC I varia la velocidad de avance de acuerdo con los cambios en el stock, a fin de mantener la productividad óptima de la máquina.

El ahorro obtenido, poniendo en juego parámetros tan simples como en el caso anterior, es de 30 % en metales como el aluminio, y de 50 % , o incluso hasta 70 % , en aceros y titanio.

Actualmente existen nuevas versiones del sistema MAC, de tal forma que, a base de usar un microprocesador, se pueden cambiar durante el proceso el código de la fuerza, la velocidad de avance y la de rotación.

Sin embargo, el CA posee hoy numerosos problemas debido a su precio, aún en los casos sencillos. Además, medir exclusivamente parámetros, tales como la deflexión y el par, no es suficiente para controlar en forma óptima el mecanizado.

### 10.1.8 TALLER INTEGRADO DE FABRICACION

Este concepto de taller integrado recibe el nombre de **IMC** (Control numérico directo), y fue introducido por los fabricantes de máquinas-herramientas en 1968.

El control numérico directo (CND) está relacionado con el control jerarquizado, y nació como una extrapolación del control numérico clásico. Originalmente, el concepto IMC estaba



relacionado con la idea de una única computadora de gran tamaño que maneja todas las funciones de control correspondientes a varias máquinas-herramienta. Actualmente, la nueva filosofía DNC conduce a un sistema formado por varios DNC (centros numéricos computacional) dedicados al control de máquinas individuales y que, a su vez, están gobernados por una computadora más grande que realiza, en parte, programación y, en parte, gestión comercial. La computadora central almacena los programas, los edita y los envía a los DNC locales cuando estos lo requieren.

Esta nueva filosofía DNC fue introducida por Sandstrand Machine Tools en 1968. La principal ventaja introducida por el DNC es la eficiencia obtenida en cada máquina-herramienta. Con este sistema, cada máquina se usa al límite de capacidad de trabajo. Cada DNC se encarga de que la pieza se realice con la mayor eficiencia y la computadora central puede dirigir el flujo de material y la asignación de trabajos en forma mucho más eficiente.

Además utilizando la filosofía DNC, se obtienen ventajas tales como eliminación de la cinta perforada, posibilidad de realizar cambios inmediatos en el programa, provisión de información en tiempo real y acceso a computadoras remoto desde la misma máquina.

El concepto de taller integrado dependerá en el futuro de las redes de comunicación que conectan los diversos niveles de control jerarquizado y distribuido.

Estas redes de datos dependerán del desarrollo de protocolos adecuados, tales como los que están esperando a aparecer de las redes Hedicon y Allen-Bradley.

La transmisión fiable de estos datos exige medios especiales de transmisión. Un medio de transmisión que se utiliza profusamente con los sistemas de fibra óptica, ya que estos no son afectados por interferencias electromagnéticas, problema siempre latente en las transmisiones convencionales de datos. La comunicación entre las máquinas-herramienta y la computadora central puede realizarse mediante comunicación serie full-duplex.

Además, se pueden utilizar los discos de la computadora central como almacén más inmediato de programas, y los datos enviados a la máquina pueden tener prácticamente cualquier longitud.



Fig. 10.4

torno automático a CNC INDEX DU 600. Basado en la gama de tornos INDEX de bancada inclinada, de velocidades variables. Equipado con cuatro ejes controlados, es posible el mecanizado interior y exterior simultáneos de la pieza, tanto partiendo de barra hasta 65 mm de diámetro como pieza al plato hasta 200 mm de diámetro. Mecanizado de ejes hasta 600 mm de longitud. La torreta revolver superior puede ser equipada con herramientas giratorias para conseguir una mecanización completa de la pieza.

Actualmente, los sistemas DNC presentan posibilidades que permiten al tiempo del control realizar operaciones lógicas, diagnóstico de alto nivel que produce desperdicios en la máquina y en la herramienta, monitorización y alarmas con señal. Actualmente, para aumentar la fiabilidad del control, se usan dos computadores idénticos. Estos computadores permiten al sistema que administra la base de datos, mantener datos en forma no redundante mientras proveen redundancia en el control, que permite que una computadora asuma el control pleno del conjunto si la otra falla. El tiempo medio entre fallos (MTBF) se multiplica por 50 con respecto al sistema con computadora única.

Utilizando la nueva filosofía DNC, son existen ventajas adicionales sobre los sistemas que utilizan controlados clásicos.

Un sistema DNC sustituye la cinta perforada por un cartucho o disco floppy, permitiendo la modificación y registro de datos de control, así como diagnóstico on y off-line sobre el mismo equipo DNC. Además, los datos máquina y las instrucciones del operador, pueden ser fácilmente visualizadas en un TBC. Toda manipulación manual de datos queda eliminada, el tiempo de respuesta o el tiempo de programación mejorado y los datos máquina pueden ser recogidos y reenviados fácilmente a través de un canal bidireccional (full duplex).

Todas estas razones hacen que hoy día la filosofía DNC con varios CNC sea la que se ha impuesto definitivamente.

Con el nueva filosofía DNC se podrá llegar a la idea del taller automatizado, en el que un DNC controla varios CNC, realice el control de stocks y lleve la contabilidad y la administración de la fábrica.

El principal inconveniente del sistema DNC es debido a que exige un soporte técnico fuerte y una severa disciplina de organización. Estas razones, unidas a su elevado precio actual, han impedido que su penetración en el mercado fuera la esperada, en especial, en los países sin una gran experiencia en grandes sistemas con computadores.

## 10.2 NIVEL DE UTILIZACION

### 10.2.1 PUESTA EN OPERACION

La puesta en operación del sistema presenta un gran interés como medio eficaz para incrementar la eficiencia del conjunto.

En máquinas-herramienta que utilizan muchas herramientas, se pierde un tiempo muy valioso en el proceso de cambio de herramienta. Se debe seleccionar la herramienta correcta para su posterior inserción en el tambor de herramientas. Cuando este proceso lo realice la propia máquina bajo control del equipo electrónico, se dice que el conjunto posee un cambiador automático de herramientas (ABC).

Una operación muy importante a realizar es la determinación precisa de su longitud.

Una primera posibilidad para mejorar el tiempo de preparación es, pues, la calibración automática de las herramientas. Mediante

este procedimiento se puede tener almacenado en la memoria de una computadora central, un número de identificación de herramienta, las dimensiones de cada herramienta, la localización de las herramientas y un factor de uso para indicar el número de minutos que una herramienta puede utilizarse antes de un recambio.

Para la calibración de las herramientas se puede utilizar un calibrador electrónico de herramientas, que contiene un codificador óptico, que mide la herramienta con la precisión requerida. El valor de la medida se transmite a la memoria de la computadora donde es almacenado junto con su localización en el tambor.

Otro factor que afecta el tiempo de preparación de una pieza es la obtención de la cinta perforada definitiva. Normalmente, hasta que el operario no corre un programa de prueba, no sabe si la velocidad es correcta o si la secuencia de operaciones es apropiada para obtener el máximo rendimiento de la máquina.

Una primera solución a este problema es realizar la edición del programa directamente, a través de un teclado, sobre el propio equipo de control (sistema MDD). Esta edición rápida del programa exige que el control posea una memoria interna de elevada capacidad y bajo consumo.

Los sistemas MDD proporcionan numerosas ventajas entre las que destacamos las siguientes: inversión misma en equipo de entrada de datos, simplicidad del equipo, mejor intercomunicación hombre-máquina y edición de programas simplificada. Como principal desventaja podemos citar que mientras dura la introducción por teclado del programa pieza, la máquina está parada, con lo que la eficiencia disminuye. La solución sería que pudiera mecanizarse una pieza, mientras otro programa está siendo introducido en memoria.

Otra técnica que está esperando a utilizarse como medio eficaz para reducir el tiempo de puesta en marcha del sistema es la programación mediante reconocimiento de la voz. Existen hoy día las primeras terminales que permiten a un operador programar el control DICEMBRE: lo que debe hacer (sistema diseñado por Threshold Technology). Estos primeros sistemas Sistema VMC (Voice Musical Control) presentan serias limitaciones, pero tienen la ventaja de que pueden ser utilizados por operarios diferentes a

hace al cruzar a la terminal las RUPVAS características de la voz. La terminal registra las características de la voz mediante un sistema de reconocimiento que realiza una representación media de cada palabra.

Una tercera posibilidad para mejorar el tiempo de preparación es utilizar sistemas gráficos interactivos que permiten al operario crear su diseño en tres dimensiones sobre una pantalla TBC. Casas comerciales que utilizan pantallas TBC con posibilidades tanto gráficas como alfanuméricas son General Numeric y Tera Industrial Controls.

El operario puede definir la trayectoria de cada herramienta y realizar un chequeo a base de observar en la pantalla una representación de la acción de la herramienta. Cuando el mecanizado es el correcto, la información se perfora en una cinta, que es posteriormente usada como entrada en el control.

Finalmente diremos que una forma muy potente de aumentar la eficiencia de una máquina-herramienta es la realización de programación automática. El programa escrito de acuerdo con un cierto lenguaje, se puede transmitir utilizando, por ejemplo, la propia línea telefónica, a una computadora central que suministrará, prácticamente al momento, el programa ya escrito en lenguaje máquina. Esta computadora podrá funcionar en tiempo compartido, pero a efectos del usuario es como si estuviera en su propia fábrica. Este programa en lenguaje máquina se perforaría automáticamente en una cinta perforada y, si hubiera un teletipo o impresora, se obtendría, asimismo, el correspondiente listado.

La selección de un tipo u otro de programación depende de muchas variables: las propias piezas, el propio control numérico y la propia Empresa. Depende de la complejidad de la pieza, del número de piezas a mecanizar y del tipo de la pieza según sea estándar o no. Depende del parque de controles de la Empresa, según existan uno o varios, según sean similares o totalmente distintos. Pero sobre todo depende de la Propia Empresa, según la experiencia y familiaridad con los equipos, la organización general de la empresa y que exista o no ya una computadora. En resumen podemos decir que con los avances posibles en la tecnología, la programación habitual en instalaciones de tipo medio será la programación automática, utilizando terminales sencillos

realizadas en el departamento de programación de la Empresa mediante un tiempo compartido con una computadora central.

### 3.2.2 MONITORIZACION DE ALARMAS

Esta característica tiene una enorme importancia, ya que permite una correcta utilización de la máquina. Permite conocer inmediatamente cualquier falla que se produzca en el sistema de control o máquina-herramienta.

De esta forma, es posible evitar que todo el conjunto funcione en malas condiciones con el consiguiente peligro para la pieza e incluso para la propia máquina-herramienta. Cuando se produce una falla, se debe conocer inmediatamente el origen de la avería (código de alarma), lo que además facilita extraordinariamente su reparación.

Los equipos actuales, en especial los CNC, incorporan numerosas posibilidades para monitorizar e indicar alarmas. Estos equipos poseen rutinas de chequeo que monitorizan continuamente la operación del control.

Cuando se detecta una falla, el control señala una condición de alarma y presenta en un visualizador un código que indica dónde está localizada la falla.

Existen, de acuerdo con la potencia del control, numerosas condiciones de falla de operación.

Estas alarmas pueden estar relacionadas con:

- cinta perforada o lectora de cinta
- programador Control sintáctico
- operación
- sistema de medida
- error del servomecanismo
- acumuladores límite
- temperatura
- estado de la batería de la memoria no volátil
- tensiones de alimentación
- fallos del programa

Dentro de los errores en el captador de posiciones o servomecanismos, podemos citar como más corrientes: fallo del captador, cables cortados, movimientos incontrolados, etc.

Un fallo relativamente corriente se produce cuando la máquina se bloquea, bien totalmente, bien parcialmente, por efectos de la viruta, etc. En este caso, se utiliza el registro que almacena el error de posición o de seguimiento. Cuando este error sobrepasa un límite, se da una primera alarma. A partir de un valor, que depende de cada control, se bloquea automáticamente la máquina.

En los equipos de control actuales existen sensores de temperatura que monitorizan, en todo instante, la temperatura interior del control.

Existen dos niveles de temperatura. En un primer nivel, el control permanece aún operativo, pero se señala mediante una alarma. A este nivel de temperatura puede inhibirse la lectura de bloques desde la memoria.

En un segundo nivel el control se hace no operativo, y se utiliza para desconectar el control y suministrar una señal de alarma a la interfase de control.

Análogamente, cuando la tensión en el control excede a bajo de dos niveles permitidos, se realiza una desconexión del control y se suministra una señal de alarma a la interfase del control.

### 10.2.3 DIAGNOSTICO

Dado el gran valor, tanto del control como de la máquina-herramienta, es absolutamente imprescindible que, tanto uno como otro, estén permanentemente en funcionamiento, es decir, preparados para trabajar o trabajando.

Ha sido precisamente la utilización de la computadora lo que ha propiciado la existencia de un software potente de diagnóstico en los propios equipos de control.

Hasta ahora la función de diagnóstico la realizaba un especialista de la casa fabricante, utilizando aparatos especiales de diagnóstico.

Actualmente todos los equipos de control portables poseen su propio diagnóstico de tal forma que es el propio equipo el que, al principio de operación, se autochequea y continúa habiéndolo

durante aquella. Si detecta algún fallo, puede conocer inmediatamente, además, el circuito que está fallando y por tanto, debe reemplazar.

Para los casos en que la diagnosis es más difícil, actualmente se tiende a la llamada diagnosis remota. Ha sido la casa Kearney and Treacher la primera que ha puesto un sistema de diagnóstico remoto en funcionamiento.

En el centro de Exaproctica se realiza todo el proceso y se indica al usuario donde está localizado el fallo. En numerosas ocasiones, en pocos minutos es el propio usuario el que realiza la reparación.

#### 10.2.4 NUEVAS TÉCNICAS DE PROGRAMACION

Como ya se sabe, para la escritura de un programa utilizando programación manual, el programador debe utilizar el lenguaje máquina. Deberá, por tanto, apoyarse en el formato de programación manual específico de cada equipo de control.

El programador parte del dibujo de la parte mecánica a mecanizar, dibujo en el que están especificadas todas las coordenadas y cotas. Por consiguiente, todas estas coordenadas y cotas las debe calcular previamente.

Una de las ventajas más importantes de la programación automática es que dichos valores de coordenadas y cotas no tienen que ser calculados previamente, ya que el programa utiliza elementos geométricos tales como puntos, rectas, circunferencias, superficies, etc. La computadora es la que se encarga de encontrar todas las coordenadas intermedias por donde va pasando la herramienta.

Sin embargo, en pequeños talleres, la inversión en el control numérico y en el puesto de programación anexo es bastante elevada. Para este tipo de usuario lo ideal es, realizar la programación sobre la misma máquina e introducir directamente el programa en el control sin grandes dificultades.

Para este tipo de usuarios están apareciendo numerosos equipos de control numérico con computadora con introducción manual de programas (Sistemas MEM).



Para resolver el problema mencionado y que, por tanto, la introducción de los programas en la máquina sea rápida y sencilla, ha aparecido recientemente un nuevo tipo de programación por descripción de los elementos del contorno.

Este tipo de programación ha sido posible gracias a la incorporación de la computadora dentro del propio equipo de control, que permite integrar en él gran parte del software preciso. Es en cierta modo como realizar una programación automática simplificada en el propio equipo de control.

Como un ejemplo de esta nueva técnica de programación, vamos a comentar brevemente como se realiza en el SIMBOLIK SPIRIT T.

La programación la realiza directamente a partir del dibujo de la pieza y sin ayuda de funciones trigonométricas. Cada el gran número de operaciones y elementos geométricos necesarios para describir transiciones de círculo a rectas, conos, cuadrantes de círculo, etc., no es posible la asignación de cada función a un pulsador especial. Por ello, los elementos geométricos se introducen en forma codificada.

El número de elementos geométricos fundamentales han sido seleccionados teniendo en cuenta el tipo de piezas a fabricar. Además, el propio usuario puede definir sus propios elementos en forma de subprogramas.

El control ofrece una amplia ayuda para el cálculo de los puntos y elementos de contorno, así como para la descripción de la tecnología del corte.

El programa en sí resulta muy simplificado a base de utilizar macroinstrucciones, cuyas órdenes se introducen en el control por medio de pulsadores. Estas macroinstrucciones las puede crear el usuario de acuerdo con su propio proceso de mecanizado.

## 10.3 NIVEL DE REALIZACIÓN

### 10.3.1 CONTROL MANDADO CON COMPUTADORA (CMC).

La incorporación de la computadora como elemento básico de síntesis ha revolucionado el campo del control numérico, haciendo que los actuales equipos ofrezcan numerosas posibilidades, algunas inesperadas, hace solo unos años.

En un pasado muy próximo, cualquier modificación en un diseño provocaba la modificación completa de los circuitos y sus correspondientes tarjetas impresas. Hoy día, con el CNC, basta añadir más memoria al programa para que el control realice nuevas funciones. Funciones tales como realizar automáticamente un diagnóstico completo del equipo de control antes de iniciarse cualquier operación, comprobar continuamente durante la mecanización las funciones máquina o de control, o realizar la lubricación de la máquina en función de su uso real, son ejemplos de algunas funciones normales para un CNC pero de muy difícil realización mediante lógica cableada.

El principal inconveniente del CNC en su origen provenía del elevado costo de la microcomputadora y sus periféricos, por lo que el uso de un CNC quedaba reservado a los equipos grandes.

Actualmente la microelectrónica incorpora nuevas funciones. La modularidad del diseño permite que un mismo control básico pueda adaptarse a máquinas distintas, tornos, taladradoras, frezas, etc. Desde el punto de vista de la productividad, el hecho más relevante es que los sistemas CNC permiten unos mayores coeficientes de utilización de las máquinas, por simplificación y mejora de los métodos de programación, verificación y puesta a punto; por la eliminación de la causa más frecuente de averías y paros, es decir, la lectura continua de la cinta de papel, así como nuevas funciones para autocorrección de las desviaciones del mecanizado y los sistemas de monitorización, diagnóstico y mantenimiento de la máquina.

En el control numérico asistido, el programador se apoya en la computadora para simplificar básicamente los cálculos geométricos del contorno de la pieza, del recorrido de la herramienta y la codificación bloque a bloque en el lenguaje máquina. Podemos definir tres etapas:

- 1) Obtención del programa pieza
- 2) Procesado.
- 3) Obtención del programa máquina.

### 10.3.2 PERIFÉRICOS DE COMPUTADORA.

La tendencia actual hacia los sistemas CNC trae como consecuencia inmediata la utilización masiva de periféricos de computadora. Periféricos de computadora tales como teletipos, impresoras, terminales de pantalla, mesas transadoras, pantallas interactivas, etc., son ejemplos típicos de periféricos de computadora que ya son familiares, junto a los equipos de control. Sin embargo, estos periféricos no están diseñados para funcionar en medios hostiles.

En una fábrica donde funciona el control numérico, el ambiente es tremendamente hostil: polvo, aceite, grasa en los dedos del operario que maneja el teclado, etc. Los lectores de cinta presentan numerosos problemas. Las terminales TEC, que tanta aplicación tienen actualmente, ven limitada su aplicación en esta área.

Una primera solución han sido la recuperación de estas terminales comerciales en terminales especiales para ambientes adversos.

Hoy día, es normal que los CNC posean interfaces estándar para teletipos y terminales de pantalla.

### 10.3.3 CAPTACION DE POSICION

En la actualidad se tiende a sistemas robóticos, baratos y, sobre todo, que permitan medir desplazamientos muy pequeños con gran precisión.

El rayo láser representa, con toda probabilidad, la solución en un futuro no lejano al problema de la medida de desplazamientos.

Existen diferentes tipos de interferómetros láser: interferómetro lineal, interferómetro sonda o interferómetro de espejo plano.

Con estos sistemas se obtienen resoluciones en la medida desde 0.10 a 0.005 micras, según la máxima velocidad permitida. En estos sistemas se utiliza como entrada a la interfase electrónica no solo la proveniente del transductor láser, sino también la compensación de la temperatura atmosférica y del material.

#### 10.3.4 MEMORIA DE PROGRAMA

La aplicación de la capacidad de memoria permite leer el programa de una sola vez y almacenarlo entero, eliminando la necesidad de la lectura de la cinta de papel en el curso de la mecanización. La cinta de papel se utiliza una sola vez para la carga del programa.

#### 10.4 FUTURO DEL CONTROL NUMÉRICO

El próximo futuro del control numérico estará muy condicionado por el avance de la microelectrónica. Será necesario, por una parte, conocer mucho mejor los parámetros que influyen en el proceso de corte y, por otra, tener disponible mejores y más potentes elementos de síntesis.

Sin embargo, el futuro del control numérico puede depender más de los recursos de las máquinas-herramientas que de los propios constructores. De hecho, actualmente se está realizando una investigación a gran escala a fin de desarrollar nuevos tipos de máquinas-herramientas de concepción totalmente distinta a la actual. Si esta investigación alcanza sus fines, serán necesarios también nuevos tipos de control, quizás basados también en técnicas muy diferentes a las actuales. Además, nuevas máquinas y nuevos controles exigirán nuevas herramientas de corte.

En realidad, el control numérico, ya sea control numérico directo (CND), o control numérico con computadora (CNC), está basado en técnicas de hace muchos años. Estas técnicas antiguas suministran productividades relativamente bajas, debido a las restricciones existentes. La información de control proviene de una única fuente, ya sea una cinta o un dispositivo electromecánico.

Además el gobierno de la máquina se realiza en forma secuencial. Este gobierno de la máquina se realiza mediante un conjunto de órdenes en una secuencia fija, y que no puede ser modificada a menos que se cambie el programa.

Además, el proceso de control es numérico (control numérico), con cada orden de mando reducida a una serie de números que, en sí, no tienen ningún significado. Finalmente, el proceso de control no obtiene datos en tiempo real, sino que los datos están

basados en condiciones que existían en el instante en que la pieza fue programada.

Interesa por tanto, que el proceso de control este caracterizado por sus variables observables en lugar de por un conjunto de ecuaciones teóricas. El problema, por tanto, se transforma en la generación de un modelo de proceso a partir de los datos en lugar de la estimación de cuales serán los datos.

Todas estas ideas conducen a la técnica de control simbólico, que es el control del proceso de mecanizado a partir del uso de múltiples fuentes de datos, ejecutando en forma simbólica procedimientos de mecanizado definidos en tiempo real.

Por tanto, se eliminan las restricciones de una única fuente de información y los datos suministrados a la máquina no tienen por qué ser sucesionales.

De esta forma se puede aumentar la flexibilidad del proceso, que ahora permite a la computadora cambiar en tiempo real el orden de los pasos de mecanización, mientras la pieza está siendo mecanizada.

Además, la información de entrada está basada simbólicamente en la descripción de la pieza y en el procedimiento de mecanizado, y el control operará en tiempo real.

La llegada del control simbólico permitirá la utilización de la curva de aprendizaje en el proceso de mecanización. Las redes de predicción y control pueden aprender a predecir tendencias en el proceso a partir de los datos que el propio proceso está suministrando en cada instante. Pueden identificar qué variables juegan papeles importantes en el comportamiento del proceso y encontrar cómo estas variables interactúan unas con otras. De esta forma podrá predecir lo que el proceso hará en el futuro.

En la mayor parte de los modelos predictivos, los errores son acumulativos, pero con estas redes los errores cometidos no son necesariamente acumulativos cuando aumenta el intervalo de predicción. Pueden adaptarse a características del proceso cambiantes, sin necesidad de actuación del ser humano (Medisette).



Fig. 10.5

(Torno automático a CNC IMDEX GU 1400. Forma y disposición particular de las torretas revólver. Incorporación libre de colisiones de todas las herramientas, incluidas las largas barras de mandrilar. Paso de barra hasta 100 mm, diámetro de plato 315 mm y longitud de torneado hasta 1400 mm).

Una forma de activación de estos roles es realizando predicciones a partir de los datos o informaciones producidas por el proceso. Estas informaciones pueden ser parámetros tales como: sonidos, vibraciones, evaluaciones subjetivas de la calidad de la pieza, o cualquier otro parámetro que, jugando un papel importante en el comportamiento del proceso, sea fácilmente medible. Lo único que es necesario es que las variables naturales identificadas contengan información suficiente para la realización de las inferencias o predicciones.

En la edición nº 42 de Forum Anual, celebrado en junio de 1979, se dedicaron 10 niveles de control de una máquina.

El primer nivel está ocupado por controles numéricos multiteje con entrada clásica de datos.

El segundo nivel tiene como representantes a los actuales CNC sin memoria accesible. Este nivel es el actual.

El tercer nivel es análogo al anterior, pero con gran capacidad de memoria.

Finalmente, el cuarto nivel es el ocupado por un CNC con postprocesador incorporado en el propio sistema.

Este cuarto nivel marca el tope del control numérico. Los niveles siguientes entran ya en el campo de control simbólico.

El quinto nivel es similar al tercero y está representado por controles simbólicos sin capacidad de tomar decisiones.

El sexto nivel es el primero de los verdaderos simbólicos. Es un control simbólico con capacidad de tomar decisiones.

El séptimo nivel es análogo al anterior, pero con memoria programada añadida por el usuario.

Existen, además, otros tres niveles de control simbólico.

El nivel número ocho está representado por un control simbólico que incorpora una triple adaptación: al proceso, geométrica y operacional.

En el nivel noveno se encuentra un control adaptativo con una curva de aprendizaje que permita recordar la optimización desde una pieza a la siguiente, y genere una nueva pieza.

Por fin, en el nivel 10, se sitúa la MÁQUINA INTELIGENTE. Según estas predicciones, en un futuro a largo plazo, se deberá hablar del control simbólico (no numérico) de máquinas-herramienta.

## 10.5 APLICACIONES DEL CONTROL NUMÉRICO

Aunque el CONTROL NUMÉRICO se ha orientado fundamentalmente hacia máquinas-herramienta que trabajan por arranque de virutas, su utilización no queda restringida a estas aplicaciones. A continuación se da una relación completa de diversos tipos de máquinas que ya incorporan CONTROL NUMÉRICO.

- Taladradoras
- Fresadoras
- Mandriladoras
- Tornos
- Centros de maquinado
- Rectificadoras

- Puncionadoras
- Máquinas de electrodosidad
- Máquinas de soldar
- Máquinas de cincante
- Dobladoras
- Plegadoras
- Máquinas de doblar
- Máquinas de trazar
- Bobinadoras
- Máquinas de medir por coordenadas
- Manipuladores
- Robots
- etc.



Fig. 10.8 Mecanizaciones complicadas.



## CONCLUSIONES

En el presente trabajo, se trató de dar un panorama amplio de lo que es el campo del CONTROL NUMÉRICO.

Sabemos que es difícil poder profundizar en todos y cada uno de los capítulos que aquí se desarrollaron, a pesar de ello, se dió mayor énfasis a la parte de programación, sin restar importancia a los demás aspectos.

De todos los factores que hacen que la utilización de las MÁQUINAS DE CONTROL NUMÉRICO sea eficaz y rentable, la programación es una de las más importantes.

Quizás para aquellas personas un tanto ajenas al CONTROL NUMÉRICO, la palabra programación significa en gran medida la palabra computadora, y se ha tenido del programador una idea que no correspondía a la realidad. Así pues la programación no es más que la codificación de un modo operativo y riguroso en sus menores detalles. Hoy en día, las técnicas de programación están en constante evolución, siendo cada vez más fácil la programación, ya que de eso se trata, que la programación no resulte engorrosa para el usuario.

Por otro lado, que es lo que está motivando a que los talleres mecánicos y la industria en general piensen en el CONTROL NUMÉRICO. Pues bien, el cambio se debe en gran medida, a las exigencias en el mercado es decir, con equipo convencional ya no se podrá competir ni en cantidad ni en calidad de producción, por

Otra parte la mano de obra de técnicos especializados resulta cada día más elevada. Sin embargo hay que estar conscientes, que al adquirir equipo con CONTROL NUMÉRICO no resulta fácil, y esto debido al alto costo que aún tienen estas máquinas, se necesitaría conseguir créditos bancarios o algún otro tipo de financiamiento para su adquisición, de cualquier manera resulta difícil y más aún para la Micro-Industria, aunque ya algunas de ellas cuentan con equipo de CONTROL NUMÉRICO.

Algo que es bien cierto, es que el equipo convencional seguirá pendurando en México por algunos años más, hasta que el CONTROL NUMÉRICO resulte más accesible.

## BIBLIOGRAFIA

- Alique López J. Ramón.; "Control Numérico" ; Marcombo. Boixareu Editores.; Barcelona 1980.
- Childs James J.; "Principles of Numerical Control" ; Industrial Press Inc.; New York 1969.
- Childs James J.; "Numerical Control Part Programming" ; Industrial Press Inc.; New York 1973.
- Sant de Miguel Pedro.; "Tornos Automáticos" ; Ediciones Dest.; Barcelona 1970.
- González Hópes Juan.; "El Control Numérico en las Máquinas Herramienta" ; Editorial CEEISA.; México 1980.
- Ferré Masip Rafael.; "Cómo Programar un Control Numérico" ; Marcombo Boixareu Editores.; Barcelona 1980.
- Estell Glenn.; "Control Numérico" ; Editorial LIMOSA.; México 1970.
- Manual de Programación, Euro Compact 5 CNC.
- Manual de Programación SIMUNOIC BT-SPROINT BT.
- Catálogo INICE. "Un Programa Completo de Tornos Automáticos".
- Catálogo DECKEL. "Disting 4".