

24



Universidad Nacional Autónoma de México

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES

"CUAUTITLAN"

CONTROL NUMERICO APLICADO A LA
INDUSTRIA MANUFACTURERA
METALMECANICA

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA

P R E S E N T A

JORGE MARTIÑON RUIZ

DIRECTOR DE TESIS:

ING. EDUARDO SALAS CORDOVA

CUAUTITLAN IZCALLI, EDO. DE MEX.

1986



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.

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

I N D I C E

PAGINA.

CAPITULO I

INTRODUCCION

1.1	Reseña historica del control numérico	3
1.2	¿ Qué es el control numérico?	8

CAPITULO II

GENERALIDADES DEL CONTROL NUMERICO

2.1	Elementos que componen un sistema CN.	9
2.2	Lenguaje numérico	25
2.2.1	Sistema decimal	26
2.2.2	Regla posicional	27
2.2.3	Concepto del cero	29
2.3	Sistema binario	30
2.3.1	Sistema binario utilizando en computación	33
2.3.2	Regla posicional binario	34
2.3.3	Sistema binario en potencia de dos	38
2.3.4	Adición en sistema binario	39

	PAGINA.
2.3.5 Control numérico y números binarios	40
2.4 Medios de entrada	43
2.4.1 Entrada manual	43
2.4.2 Entrada por tarjeta perforada	44
2.4.3 Entrada por cinta magnetica	45
2.4.4 Entrada por cinta perforada	46
2.4.5 Codificación de cinta perforada	49
2.5 Funciones preparatorias y complementarias	54

CAPITULO III

SISTEMA DE COORDENADAS CARTESIANAS

3.1 Dos ejes coordenados	70
3.2 Tres ejes coordenados	72
3.3 Localización de la pieza	74
3.4 Dispositivos de sujeción	77
3.5 Herramientas de corte y accesorios	82

CAPITULO I
I N T R O D U C C I O N

El desarrollo industrial y económico de nuestro país, exige una mayor demanda de productos manufacturados de alta calidad y al menor costo posible. En consecuencia para satisfacer esta demanda y proseguir en el desarrollo, los equipos productivos tendran que ser cada vez más eficientes.

Este trabajo de tesis pretende dar a conocer con claridad, las ventajas y facilidades que ofrece el sistema de control numérico en el mecanizado de piezas que requieran en su proceso un alto grado de dificultad. Se dan a conocer los principios básicos de como programar máquinas-herramientas controladas numericamente, apoyados por la experiencia adquirida en esta rama de la industria metalmeccanica.

De esta forma el trabajo ha sido elaborado recopi---

lando información de diversas fuentes, donde a su vez se respetan los tecnicismos originales de las organizaciones que han desarrollado dicho sistema. La idea principal de este trabajo es de contribuir al entendimiento y aplicación de los sistemas de control numérico.

1.1 RESEÑA HISTORICA DEL CONTROL NUMERICO.

La historia enmarca la evolución y su crecimiento, de la técnica de controlar los movimientos en las máquinas, esta evolución ha necesitado de una serie de etapas, dadas a través de los requerimientos exigidos por el desarrollo económico. En un principio las máquinas fueron gobernadas de una forma manual e impulsadas desde un eje común de transmisión, este eje de transmisión estaba a su vez impulsado por un motor de gran tamaño, que funcionaba continuamente; el accionamiento de cada una de las máquinas, se efectuaba mediante una correa manipulada por el operario.

Es evidente que con este tipo de transmisión de potencia no era posible obtener niveles elevados de producción.

Así que, con la demanda de mayor producción, las máquinas adquirieron un nuevo aspecto, el eje de transmi-

sión de jo de ser utilizado, al introducir un motor eléctrico de tamaño adecuado para cada máquina.

Al acoplar el motor de accionamiento directamente a una sola máquina, hizo posible introducir algunas operaciones automáticas en los equipos de producción, y como resultado una mayor flexibilidad en todas las operaciones de fabricación.

La industria manufacturera a crecido y seguirá creciendo en la automatización de su equipo de producción, a tal grado de que cada vez es mayor el número de máquinas que trabajan de un modo automático. El funcionamiento automático reside en los elementos de control, que gobiernan, tanto al motor como todos los movimientos de una máquina. Estos elementos bien pueden ser mecánicos, eléctricos, neumáticos, hidráulicos, electrónicos ó bien en combinación.

Es sobresaliente la fuerte influencia que ha tenido la electrónica, en los dispositivos de control en todo

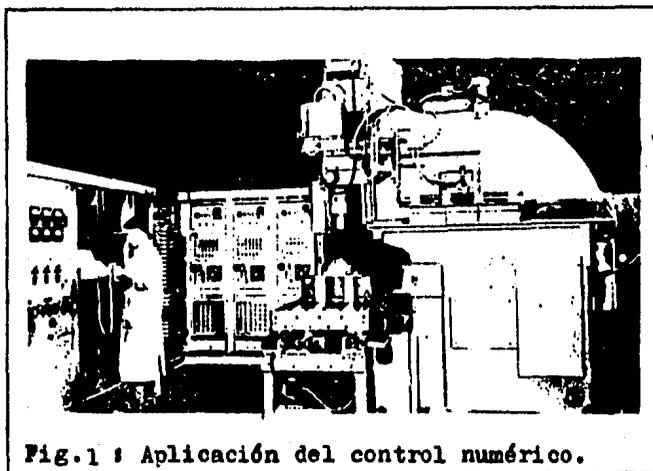
el ámbito industrial, y en particular en la rama metal-mecánica. Con la aplicación directa de la electrónica y de los sistemas numéricos se ha logrado obtener un dominio absoluto de todos y cada uno de los movimientos - que una máquina requiere para su operación automática.

La investigación y desarrollo de los sistemas de - Control Numérico (CN), aplicados a máquinas-herramientas, se inicia a principios del año de 1950, en los laboratorios de servomecanismos del Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT), teniendo como base los sistemas convencionales, tal y como se puede observar en la figura 1. Si bien esta investigación surge como una necesidad de proporcionar a la industria, máquinas que ofrecieran un mecanizado de alta calidad y de gran precisión en los procesos de producción, dando como resultado, sin duda alguna dos aspectos principales.

Primero.- El reemplazo de la intervención humana - por servomecanismos controlados eléctricamente.

Segundo.- La inherente precisión alcanzada en las dimensiones de cualquier pieza maquinada, utilizando este sistema.

Cabe señalar que en las primeras máquinas controladas numéricamente sus controles fueron por lo menos - - tres veces mayor en tamaño que las propias máquinas, esto, en contraste con las máquinas de hoy, que utilizan circuitos integrados para gobernar las funciones de la máquina. En la figura 1, se muestra una fresadora vertical y la aplicación del sistema de control numérico probado en 1952 por MIT.



La aportación del MIT en el surgimiento de esta nueva técnica de control ha sido decisiva, así el control numérico ha dado a la industria de manufactura la capacidad de ejercitar un nuevo y alto grado de libertad en el diseño y manufactura de productos; esta libertad es esta demostrada en la posibilidad de producir partes que requieren un proceso complejo y una alta confiabilidad dimensional, así como de su calidad; es decir, los productos que anteriormente eran impracticables ó imposible - su fabricación, ahora pueden fabricarse con relativa facilidad usando control numérico.

Los avances en diseño de productos y máquinas han surgido en forma paralela; cada avance en máquinas de CN, no solo permite el diseño de productos complejos, sino que además favorece mejoras en las propias máquinas, en consecuencia de esta estrecha relación, los diseños de las máquinas como las de las piezas a manufacturar establecen un ciclo cerrado.

1.2 ¿QUE ES EL CONTROL NUMERICO?.

El control numérico es básicamente un nuevo método de fabricación de piezas, que ha venido a revolucionar la industria de la manufactura. Se define el control numérico como, "Un sistema en el cual las acciones de una máquina son controladas por la introducción directa de un dato numérico sobre determinado punto, el sistema automáticamente interpreta la información con un mínimo de datos, y responde de acuerdo a la orden recibida".

En un sentido más amplio, el control numérico puede considerarse como un sistema extremadamente versátil, dentro del campo de máquinas operadas automáticamente; el efecto que ha producido en casi toda el área de fabricación directa ó indirectamente revela la efectividad que ofrece este sistema, marcando a su vez un rumbo definido en el diseño a empresas que utilizan máquinas controladas numéricamente.

CAPITULO II

GENERALIDADES DEL CONTROL NUMERICO.

2.1. ELEMENTOS QUE COMPONEN UN SISTEMA DE CN.

Los elementos básicos de un sistema de CN., se muestran en forma de bloque, en la siguiente figura 2 .

Los principios básicos aquí, son los mismos para un sistema de posicionado, como también para uno de trayectoria continua, siendo este último un poco más complejo.

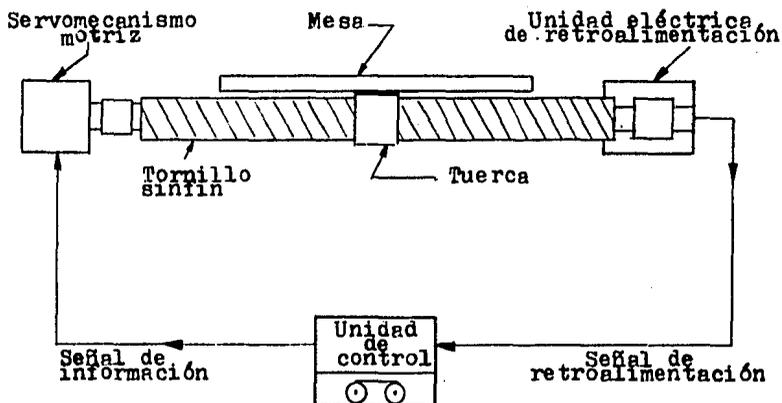


Fig. 2 : Elementos básicos de un sistema CN.

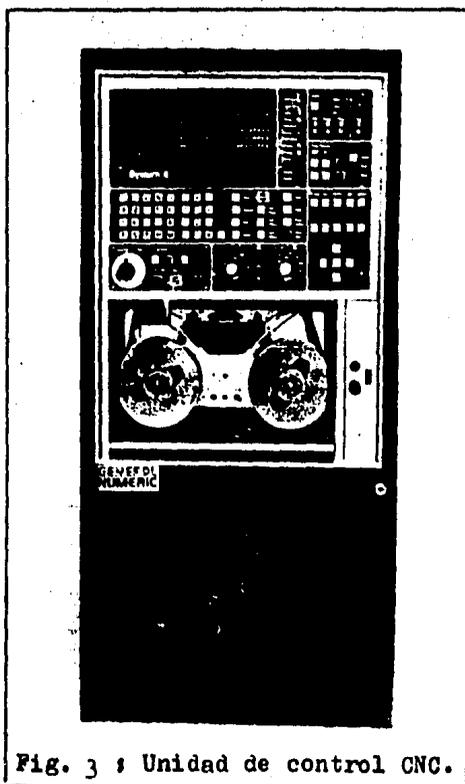
UNIDAD DE CONTROL:

La unidad de control ó director de la máquina, es - el que gobierna todas las funciones del sistema. Podría ser comparado con el conmutador de un sistema telefónico, dado que, es donde se concentra y se distribuye toda la información hacia los demás elementos que componen el sistema.

Las señales que transmite la unidad de control a los servomecanismos, pueden tener forma de pulsos eléctricos que originan movimientos hasta 0.005 mm (0.0002") en los ejes.

La unidad de control (UC) viene siendo el corazón de un sistema de control numérico, constituyendo también una porción significativa sobre el costo de todo el equipo. A través de sus funciones internas, la UC controla los movimientos de una máquina-herramienta, siguiendo automáticamente las instrucciones de un programa.

Así mismo esta provista de los controles necesarios, para operar la máquina manualmente, esto facilita grandemente el posicionamiento y alineamiento de la pieza. - En la figura 3 se muestra una UC que es capaz de contener 256,000 caracteres (equivalentes a una cinta perforada de 636 metros).



Cada unidad de control puede requerir de diferente formato cuando la información sea introducida en la memoria, de tal forma que el arreglo deberá ser compatible con la misma, para que pueda leer y procesar la información contenida en el programa, aun cuando el efecto preparado sea el mismo, si el formato no es el adecuado, simplemente la UC no lo aceptará.

La unidad de control no es por fuerza un computador, pero ahora la mayoría de fabricantes de estos sistemas de trayectoria continua lo integran.

En cuanto al tamaño de la máquina no existe ningún problema puesto que, la UC es capaz de controlar una máquina de gran tamaño o bien una pequeña sin alterar alguna función. En la figura 4, la unidad de control está aplicada a una fresadora vertical y esta misma unidad puede ser incorporado a una máquina de mayor tamaño como lo muestra la figura 5.

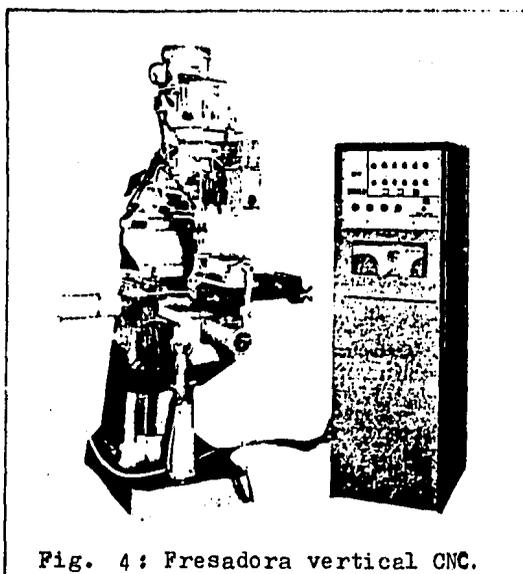


Fig. 4 : Fresadora vertical CNC.

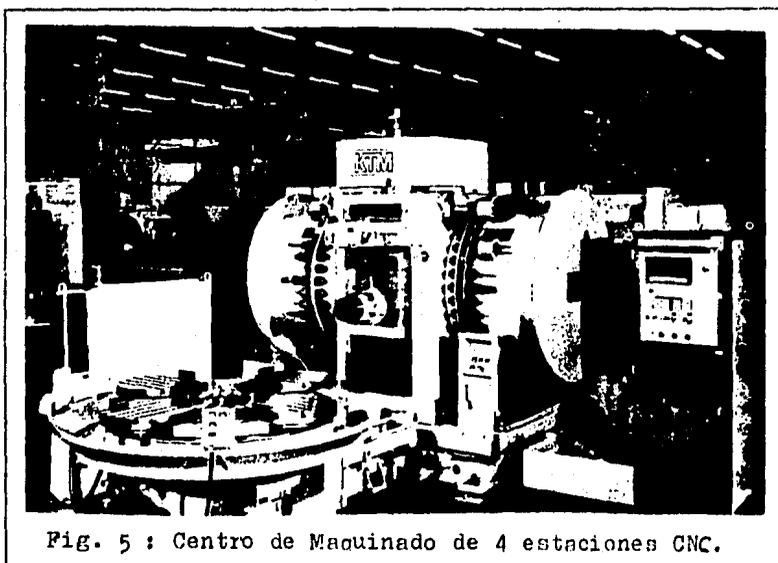


Fig. 5 : Centro de Maquinado de 4 estaciones CNC.

SERVOMECANISMOS.

Las señales llegan a los servomecanismos provenientes de la unidad de control directa ó indirectamente, - para que se efectúen los movimientos necesarios en el husillo, o bien en la mesa de la máquina cada eje tiene acoplado independientemente una unidad motriz, donde todas sus funciones son controladas por la unidad de control.

La función del servomecanismos es de amplificar la señal y proveer la potencia necesaria, para mover una - masa o generar la operación indicada en cualquiera de - los ejes. Los servomecanismos pueden ser eléctricos o hidráulicos. Si es eléctrico el motor deberá ser de co rriente directa, y esta unido a una mesa a través de un tornillo sinfin, si se tratara de un motor hidráulico, se tendría que agregar toda una unidad hidráulica, (tan que de aceite, bomba, válvulas, etc.,) donde el porcentaje de flujo determina la distancia recorrida.

Los motores que activan a los tornillos sinfin, tienen elementos de baja fricción y a veces incorporan - tuercas de balas recirculantes que aminoran el problema del desgaste originado por la fricción entre la tuerca y el sinfin.

UNIDAD DE RETROALIMENTACION.

El movimiento de la mesa y el husillo es suministrado por el servomecanismo, que a su vez es controlado y monitorado por una unidad de retroalimentación, en donde sus elementos bien pueden ser eléctricos, mecánicos, ópticos, ó un accesorio registrador que indique la posición de una mesa, un husillo ú otro movimiento alcanzado, para responder de acuerdo a la información contenida en la unidad de control.

La unidad de retroalimentación transmite señales de posición; tales señales regresan a la unidad de control, donde son continuamente comparadas con la información -

programada. Las correcciones necesarias las efectua au
máticamente la unidad de control.

Los sistemas retroalimentados, como en este caso se conocen con el nombre de sistemas de lazo cerrado, exis
tiendo también los sistemas de lazo abierto, los cuales no incorporan retroalimentador.

EVOLUCION DE LOS SISTEMAS DE CONTROL NUMERICO.

Refiriendose al desarrollo que han tenido los sistemas
de control numérico en la primera, segunda, tercera y cuarta generación:

La primera generación de estos sistemas de control numérico utilizando tubos de gases y válvulas de vacío, para ordenar y amplificar las señales de control.

La segunda generación se refiere a una unidad entera, donde lo más relevante fue la introducción en sus -

componentes de estado sólido, como por ejemplo los transistores.

Con el reemplazo de los tubos de vacío por transistores, se obtiene una reducción de tamaño aproximadamente cinco veces, lo cual hace que el sistema sea más económico.

La tercera generación da a conocer los circuitos integrados que combina una serie de funciones en un circuito relativamente pequeño, la reducción de tamaño y de costo marca la aceptación total de la Industria Manufacturera.

No fue sino hasta el año de 1971, que los sistemas de CN., cambiaron dramáticamente.

La cuarta generación introduce el concepto llamado Control Numérico Computarizado (CNC) ó SOFTWIRED.

En lugar de circuitos alambrados ó de diseños espe-

ciales para el desempeño de funciones específicas en CN, (el manejo de circuitos especiales para CN., se les conoce también como sistema hardwired) se utiliza un computador para satisfacer los requerimientos de una máquina-herramienta en especial; así la máquina pudo ser operada con la información almacenada en un computador. - Este sistema CNC ó softwired ofrece varias ventajas sobre el primer sistema hardwired, entre otras el de extender el número de dígitos almacenados.

Por ejemplo es posible utilizar compensación de radios, compensación de alturas, subrutinas, ciclos de barrenado, compensación de error en el tornillo sinfin, etc. Un sistema CNC es mostrado en la figura 6 como también las piezas típicas que puede procesar.

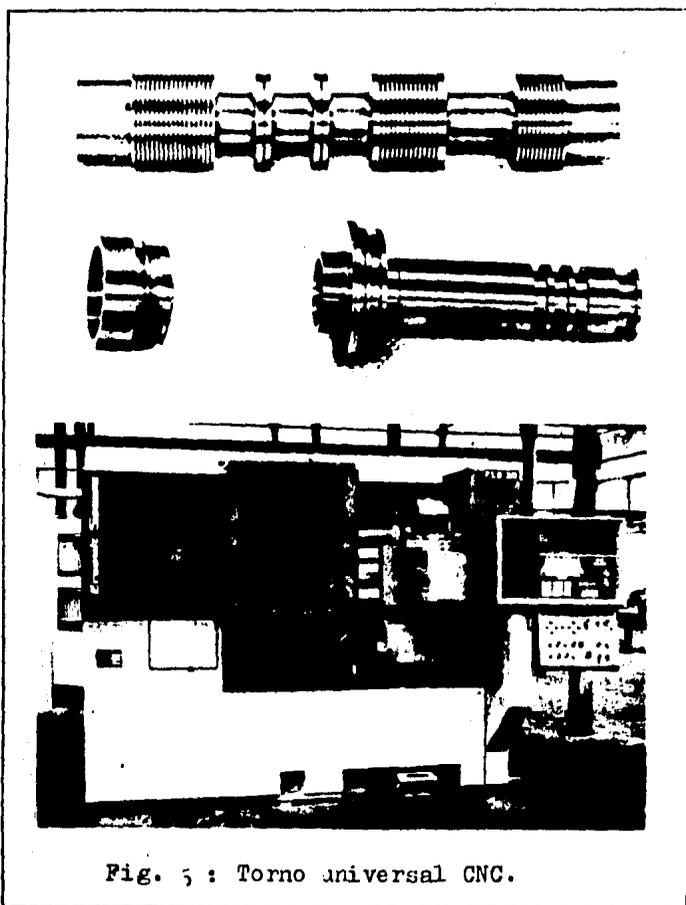


Fig. 5 : Torno universal CNC.

Las instrucciones de maquinado de una pieza, pueden ser codificadas con perforaciones en una cinta y bien - puede ser utilizada para una máquina con un sistema - - - hardwired ó una con un sistema softwired. La diferen-- cia fundamentalmente estriba, en que los sistemas hardwired deberan de leer las instrucciones para cada maqui-- nado que se efectue, mientras que en los sistemas - - - softwired las instrucciones son leídas por el computa-- dor una sola vez, y después se puede disponer tantas ve-- ces como se requiera la información de la memoria del - computador.

LECTORES DE CINTAS

El lector es un eslabonamiento existente entre la información codificada en algún medio de entrada (cinta perforada, cinta magnetica, etc.,) y las señales electrónicas que han de quedar grabadas en el sistema de control. Los sistemas anteriores a CNC, sus lectores de cintas generalmente fueron del tipo electromecánico o fotoeléctrico y ambos detectan la ausencia o presencia de agujeros y transmiten la información. En la figura 7 se muestra un lector de cintas típico de estos sistemas.

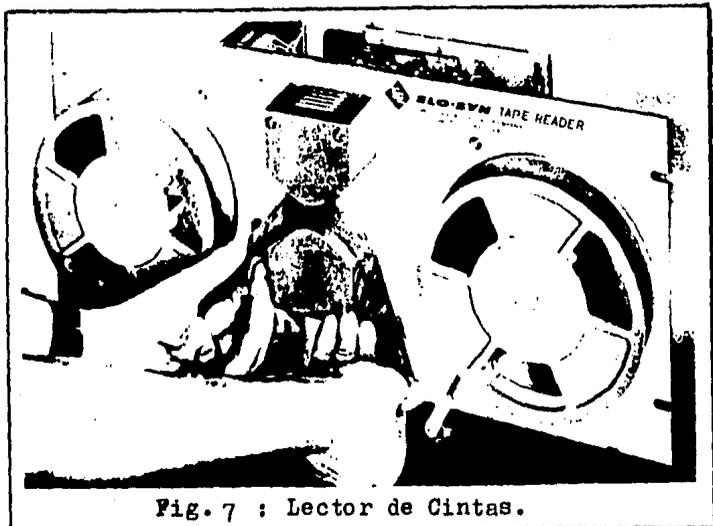


Fig. 7 : Lector de Cintas.

En éste podemos denotar un contacto móvil para cada uno de los ocho canales de la cinta. Todos estos contactos estan operados por medio de un brazo y una rueda tipo estrella que viaja a lo largo de la cinta.

Cuando no se encuentra agujero, la rueda estrella - mantiene el brazo en la posición superior, en contacto a su vez con la conexión superior del decodificador de entrada, como se muestra en la figura 8 . Cuando la -- rueda estrella encuentra un agujero, el brazo de la le- va desciende haciendo contacto con la conexión inferior del codificador mandando la señal correspondiente.

Hay dos tipos de lectores fotoeléctricos: el de luz detectada y el de luz reflejada. En el primer caso - - mientras la cinta corre un rayo de luz atraviesa los -- agujeros de cada canal activando una celda fotoeléctri- ca, en el caso de la luz reflejada, tanto la fuente de luz como la celda se encuentran del mismo lado de la - cinta desplazados un pequeño ángulo. La condición de -

agujero significa ausencia de luz reflejada en la superficie de la cinta y por el contrario la condición de no agujero implica señal luminosa reflejada por la cinta.

Las velocidades de lectura son clasificadas en alta y baja, una velocidad de lectura baja se considera cuando el lector de cintas, es capaz de leer de 20 a 100 caracteres/seg. aproximadamente.

Los sistemas CNC generalmente utilizan velocidades de lectura de 300-500 caracteres/seg. y casi siempre son del tipo fotoeléctrico.

En la figura 7 , se muestra un lector de cintas electromecánico, en el cual la cinta es manipulada a través de carretes, que son de mucha utilidad cuando la longitud de la cinta es muy larga.

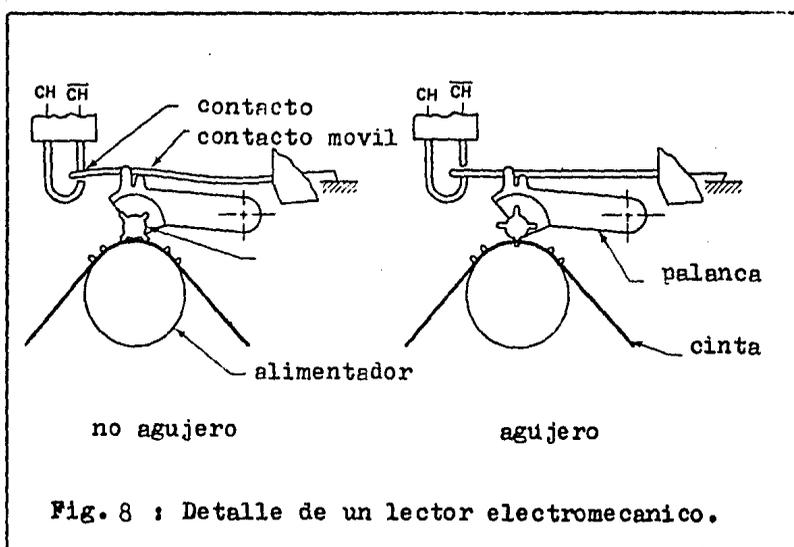


Fig. 8 ; Detalle de un lector electromecanico.

2.2 LENGUAJE NUMERICO.

Desde tiempos antiguos, el ser humano se ha visto - en la necesidad de contar, de tal forma que, en todo momento ha sobresalido la búsqueda de sistemas de conteo, llegando hasta lo que hoy conocemos como sistema numérico aplicados a la computación, mismos que le han permitido contar con rapidez y exactitud. Para lograrlo, hubo de adoptar unidades representativas, así como también agrupaciones y símbolos, que cumplieran ciertas reglas de operación.

En la comunicación con la unidad de control de una máquina CN., se utiliza el lenguaje numérico, que representa números y letras por medio de un patrón discreto codificado. Las instrucciones son reconocidas e interpretadas por la unidad de control a través de un traductor.

Los sistemas de cómputo tienen la particularidad de

utilizar dispositivos eléctricos, electrónicos y electromagnéticos, sujetos a dos condiciones posibles, que en sus circuitos exista o no un flujo de corriente, en otras palabras sus circuitos estaran cerrados o abiertos.

El sistema más adecuado para satisfacer las dos condiciones anteriores es el sistema binario, mismo que compagina perfectamente por tener dos dígitos de cómputo, que bien pueden representar dos condiciones existentes "0" (abierto) "1" (cerrado).

2.2.1 SISTEMA DECIMAL.

El sistema decimal es un ejemplo de un sistema numérico posicional de base 10. Cuando referimos a 10 como base del sistema decimal, usamos el símbolo 10 para representar los distintos símbolos numéricos como son 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, tales que pueden ser usados en sus distintas combinaciones para representar un número mayor en si mismo su valor posicional; la prime-

ra combinación de los números anteriormente descritos - para el sistema decimal es 10 (diez) el cual es una combinación de uno y cero.

Esta combinación indica que un cómputo total de los distintos números enlistados anteriormente ha sido completo.

2.2.2. REGLA POSICIONAL.

En el sistema decimal la columna de la derecha representa unidades (1).

La columna siguiente a la izquierda representa decenas (10).

La columna tercera a la izquierda representa centenas (100).

La columna cuarta a la izquierda representa millares (1000).

Por ejemplo:

$$\begin{aligned}
 28 &= 2(10) + 8(1); 2 \text{ decenas} + 8 \text{ unidades.} \\
 &= 20 + 8 \\
 &= 28
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 561 &= 5(100) + 6(10) + 1(1) \\
 &5 \text{ centenas} + 6 \text{ decenas} + 1 \text{ unidad.} \\
 &= 500 + 60 + 1 \\
 &= 561
 \end{aligned}$$

En la distribución anterior, asumimos que el punto decimal para valores menores que la unidad, se encuentra a la derecha de la columna de unidades y no está indicado en los ejemplos anteriores.

En el cómputo del sistema decimal de todos los números, empezamos con cero hasta diez, lo cual indica que un cómputo de 10 distintos números ha sido usado, si proseguimos el cómputo en este mismo sistema hasta vein

te, indicamos que dos cálculos de 10 distintos números han sido usados y así con 30, 40...100. Este último número quiere decir, que un total de diez cálculos de 10 distintos números han sido completados. Observemos que el valor posicional es muy importante en el sistema decimal.

El valor posicional empieza con la columna de las unidades hacia la izquierda, en la siguiente columna se encuentran las decenas, posteriormente las centenas y así sucesivamente. En cada cambio hacia la columna de la izquierda, se indica un valor de diez veces mayor que el número de la columna próxima a la derecha.

2.2.3. CONCEPTO DEL CERO .

El uso del cero en el sistema decimal indica la ausencia de valor en la posición que se encuentre y es más importante la posición que la diferencia de números, en este sistema decimal.

Considerando la magnitud y confusión que se generaría en nuestro sistema, si nosotros repentinamente privamos el uso del cero, es decir tendríamos que usar un número demasiado grande como base, para efectuar un cómputo y condicionado a un cierto límite; sin embargo con el uso del cero podemos computar indefinidamente. Por lo anterior el concepto del cero es aplicado en varios sistemas numéricos, además del sistema decimal.

2.3. SISTEMA BINARIO.

Antes de describir el sistema binario consideremos tres reglas básicas que rigen todo sistema de cómputo.

Primero: En todo sistema de cómputo la base de conteo es igual al número de cifras discretas disponibles por ejemplo: para sistema binario únicamente se tienen dos caracteres 0 y 1 en cualquier columna por tanto, la base del sistema es 2.

Segundo: Cuando es un cómputo se han agotado todas las cifras discretas que permita la base, el símbolo - 1 (uno) aparece en la segunda columna del lado izquierdo y regresa a 0 (cero) el símbolo de la columna derecha. Este mecanismo se conoce como un acarreo de 1 a - la siguiente columna en significación a la izquierda.

Tercero: La columna de menor significación es la - del extremo derecho y cuenta unidades. Cada conteo en la segunda columna es igual al producto de cada dígito disponible por la base del sistema, por ejemplo:

$$10_2 = 1^2 + 0^2 = 2$$

El cómputo en este sistema numérico de base dos es sistematizado de igual forma que el sistema de base - diez.

El sistema numérico binario también es un sistema - numérico posicional de base dos. Cuando hablamos de -

dos como base, implicamos el uso del símbolo numérico - 2, para representar el número total de las distintas cifras que seran usadas.

La primera combinación de cifras encontradas en el sistema binario es 10, siendo una combinación de 1 y 0, esta combinación indica que un cómputo de dos distintos números han sido agotados. El método de conteo en el sistema binario sigue el mismo principio que usamos en el sistema decimal, la secuencia de cómputo es, agotar todos los dígitos disponibles, tantos como la base lo permita. Cuando un cómputo sobre una columna ha llegado a ser igual que la base, regresa a cero y acarrea 1 a la siguiente columna en significación a la izquierda, representando unidades tantas veces mayor que la anterior, como unidades disponga la base, por tanto sera el valor relativo de un dígito de acuerdo a la posición que guarde.

2.3.1. SISTEMA BINARIO UTILIZADO EN COMPUTACION.

En casi todos los mecanismos eléctricos ó electrónicos de computación utilizan el sistema numérico binario, el computador funciona recopilando a un mismo tiempo - una multitud de decisiones individuales, basadas en señales eléctricas ó electrónicas de un "SI" o un "NO". Estas señales SI ó NO dentro del mecanismo del computador, son representadas por señales eléctricas que denotan presencia ó ausencia en el circuito, siendo en muchos de los casos señales magnéticas.

Comparando estas señales con las dos condiciones posibles de una ordinaria lámpara eléctrica, de estar apagada o encendida, el switch estará en ON ó bien en OFF sin ninguna otra condición existente. Así mismo las decisiones eléctricas son basadas en un "SI" ó un "NO".

De acuerdo a su estructura, el sistema binario provee el mejor camino numérico para representar las seña-

les eléctricas de un SI ó un NO.

2.3.2. REGLA POSICIONAL BINARIO.

En el sistema binario la columna a la derecha representa unidades (uno), la columna próxima a la izquierda representa (dos), la tercera columna a la izquierda representa (cuatro), la cuarta columna a la izquierda representa (ocho), y la columna quinta representa (dieciseis) por ejemplo:

$$\begin{aligned} 10110_2 &= 1(16) + 0(8) + 1(4) + 1(2) + 0(1) \\ &= 16 + 0 + 4 + 2 + 0 \\ &= 22_{10} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 11010_2 &= 1(16) + 1(8) + 0(4) + 1(2) + 0(1) \\ &= 16 + 8 + 0 + 2 + 0 \\ &= 26_{10} \end{aligned}$$

El conteo empieza en la columna de unidades que se encuentra a la derecha, como se muestra en los ejemplos

anteriores, progresivamente hacia la izquierda se incrementa en dos veces el valor de la columna precedente. - Es decir que por cada cambio a la izquierda, indicamos un valor en dos veces mayor que el valor de la columna próxima a la derecha.

El siguiente ejemplo mostrará el mecanismo de con--
teo así como la forma de acarreo originado al sumar una
unidad más.

Suponemos el número binario, 1001_2 ahora sumemos -
una unidad más y expresemos el resultado.

- 1.- Al sumar 1 en la primera columna de la derecha, es-
ta columna retorna 0 se genera un acarreo de 1, a
la siguiente columna del lado izquierdo, indicando
este acarreo por un *

$$\begin{array}{r} 1^* \\ 1000_2 \end{array}$$

La escritura del número binario, resultado de la suma es:

$$1010_2$$

- 2.- A este nuevo número binario sumemos otra unidad 1, en la primera columna de la derecha, en esta suma NO se genera un acarreo, por tanto, el resultado puede expresarse directamente como sigue:

$$1011_2$$

- 3.- Una tercera suma, de la misma forma que las anteriores, en la primera columna se produce un acarreo en la siguiente columna a la izquierda y retorna a cero:

$$\begin{array}{r} 1^* \\ 1010_2 \end{array}$$

Se observa que en la segunda columna se obtiene una adición y se agotan las cifras disponibles por tanto se genera otro acarreo a la tercera columna y esta regresará a cero:

$$\begin{array}{r} 1^* \\ 1000_2 \end{array}$$

Escribiendo el número binario resultante.

$$1100_2$$

Este ejemplo muestra que los principios básicos de conteo del sistema decimal es aplicado al sistema binario.

El proceso de conteo del sistema binario en un equivalente del sistema decimal, lo podemos observar en la siguiente tabulación.

Binario	Decimal	Binario	Decimal
0	0	10000	16
1	1	10001	17
10	2	10010	18
11	3	10011	19
100	4	10100	20
101	5	10101	21
110	6	10110	22
111	7	10111	23
1000	8	11000	24
1001	9	11001	25
1010	10	11010	26
1011	11	11011	27
1100	12	11100	28
1101	13	11101	29
1110	14	11110	30
1111	15	11111	31

Equivalencia entre Binario y Decimal.

2.3.3. SISTEMA BINARIO EN POTENCIA DE DOS.

Otra explicación del sistema numérico posicional de base dos, es por medio de potencia con base dos. El procedimiento es muy similar a la explicación anterior, con la variante de utilizar exponentes. Tomando directamente el ejemplo, que por si solo ilustra este sencillo método.

$$2^0 = 1$$

$$2^1 = 2 \times 1 = 2$$

$$2^2 = 2 \times 2 = 4$$

$$2^3 = 2 \times 2 \times 2 = 8$$

$$2^4 = 2 \times 2 \times 2 \times 2 = 16$$

Se observa como el exponente también marca una posición dentro de lo que es el sistema binario así, su valor relativo sera de acuerdo a la posición que ocupe.

2.3.4. ADICION EN SISTEMA BINARIO.

Los principios básicos de la adición en binario son idénticos a los del sistema decimal ú otros sistemas como octal, hexadecimal, etc. Se ha referido siempre al sistema decimal, debido fundamentalmente a estar más familiarizados con este tipo de sistema.

No obstante, la simplicidad del sistema binario hace parecer las cosas mucho más complejas y difíciles, - cuando realmente no lo son y menos aun si se sigue las reglas que a continuación se describen:

$$\text{Primera: } 0_2 + 0_2 = 0_2$$

$$\text{Segunda: } 1_2 + 0_2 = 1_2$$

$$\text{Tercera: } 1_2 + 1_2 = 10_2$$

Conociendo estas tres reglas básicas de la suma aritmética, se pueden realizar las otras operaciones aritméticas; como la resta, que consiste en sumar pero a la inversa. Para la multiplicación es una suma suce-

para controlar todas las operaciones que una máquina de CN requiera. El medio que se utiliza para transmitirle la información a la unidad de control generalmente es - una cinta perforada, tarjetas perforadas ó en ocasiones una cinta magnética.

El perforado en la cinta o la tarjeta es realmente un mecanismo binario lo mismo que la información contenida a lo largo de la cinta magnética, en una cinta perforada se contiene toda la información codificada a través de la presencia (1) ó la ausencia (0) de agujero.

En el caso de una cinta magnética la información es reunida por la presencia ó ausencia de magnetismo en una pequeña área preseleccionada en la cinta. A la condición existente de presencia (1) ó ausencia en un agujero se le conoce como unidad básica de información bit (dígito binario). El perforado de agujero se realiza - en renglones sobre lo ancho de la cinta; así mismo a - través de sucesivos renglones y a todo lo largo de la -

cinta.

El sistema de condificación que más se utiliza y se conoce como BCD (Binary Code Decimal) el cual ha sido estandarizado. BCD expresa cifras decimales en un valor binario equivalente.

2.4. MEDIOS DE ENTRADA.

En los sistemas de CN. es necesario contar con un medio permanente que permita almacenar los datos y ser utilizado cuantas veces sea necesario. Este medio de almacenamiento deberá ser eficiente y de fácil manejo. Los medios más usuales por los cuales se hace llegar la información a la unidad de control de la máquina son los siguientes:

- 1.- Entrada manual.
- 2.- Entrada por tarjetas perforadas.
- 3.- Entrada por cinta magnética o disco magnético.
- 4.- Entrada por cinta perforada.

2.4.1. ENTRADA MANUAL.

Generalmente este sistema no es muy utilizado en máquinas de CN. excepto como un medio auxiliar. Este sistema requiere que el operario seleccione una serie de -

controles, para que la máquina realice una determinada operación. Cuando esta operación es completada deberá darse otra instrucción, para una siguiente operación y así sucesivamente cuantas operaciones se deseen serán - también las instrucciones que se le otorguen.

Esto toma mucho tiempo y además el operario deberá ser lo suficientemente diestro, para no introducir errores involuntarios. Por otro lado, el costo de fabricación se incrementa en la pieza manufacturada, lo cual - hace que este sistema no sea rentable.

2.4.2. ENTRADA POR TARJETA PERFORADA.

Las tarjetas perforadas se usan fundamentalmente en sistemas de CN, por la disponibilidad de equipo en la - preparación de programas. Los perforistas y el departamento de perforado existentes en muchas empresas para - propósitos de contabilidad, con este mismo equipo y personal entrenado, pueden ser utilizados para la elabora-

ción de programas de CN. Las tarjetas normalmente utilizadas disponen de 80 columnas (dígitos) de capacidad. - Una máquina de CN requiere de 10 dígitos para definir una operación, en consecuencia puede recibir 8 instrucciones por tarjeta.

Si el programa es grande y requiere de cientos de - instrucciones, se puede utilizar un porta tarjetas con - la finalidad de mantener la secuencia propiamente definida, y que la máquina ejecute las instrucciones sin error. La limitación principal para las tarjetas perforadas, es que requieren considerable espacio y además si el porta tarjetas llegará a romperse o se mezclaran las tarjetas, el programa debiera ser rehecho en el propio orden. Para manejar adecuadamente la secuencia de las tarjetas, las primeras columnas de las mismas se usan para solucionar el problema del orden.

2.4.3. ENTRADA POR CINTA MAGNETICA.

Este sistema ha sido empleado en muchas máquinas de

CN. Una cinta de 12.7 mm. (0.5 pulgadas) de ancho es -
la que se usa normalmente, la ventaja que se tiene en -
este tipo de entrada, es el poder de almacenamiento de
carácteres en una pequeña longitud de cinta.

Es posible almacenar en una sola cinta magnética -
12 millones de carácteres de información, esto constituy
ye un inmenso programa y lo que normalmente se hace es
almacenar en una sola cinta, todos los programas que a
través del tiempo se acumulen de una determinada máqui-
na. Sin embargo la desventaja de este sistema es que -
la cinta puede ser borrada parcial o totalmente por -
accidente.

2.4.4. ENTRADA POR CINTA PERFORADA.

En la actualidad la mayoría de máquinas controladas
numericamente reciben información a través de cintas -
perforadas. Por lo general la cinta más comúnmente usa
da es de una pulgada de ancho y de ocho canales. Cuan-

do se usan estas cintas, las instrucciones para una operación dada están contenidas en varios renglones de información constituyendo estos un "Block". La cinta puede ser tan larga como se requiera para contener el programa.

Los agujeros son perforados por una máquina similar a una de escribir. Por medio de agujeros todas las letras del alfabeto así como los números del cero al nueve, pueden ser codificados para formar instrucciones en blocks, y algunos otros símbolos usados para controlar funciones de la máquina.

El rápido crecimiento de máquinas controladas numéricamente requirió la estandarización de códigos que permitieran hablar en un solo lenguaje.

Las diversas organizaciones involucradas en este campo de los sistemas de control numérico aceptaron, que el medio de entrada por cinta perforada, debiera

ser de 25.4 mm. (1 pulgada) de ancho y ocho canales; el espesor y los espaciamentos entre agujeros son mostrados en la figura 9.

La amplia variedad de métodos empleados anteriormente en la comunicación con la unidad de control, generalmente requería que el programador estuviera familiarizado con diversos códigos incompatibles, así, la estandarización ha agilizado el proceso evitando confusiones en la programación.

Las organizaciones representativas de los sistemas de CN. que hasta hoy en día han tenido aportaciones valiosas en el desenvolvimiento y aplicaciones de estándares, han sido: la Electronic Industries Association (EIA) y la Aerospace Industries Association (AIA). El código EIA, para el perforado de cintas es mostrado en la figura 9.

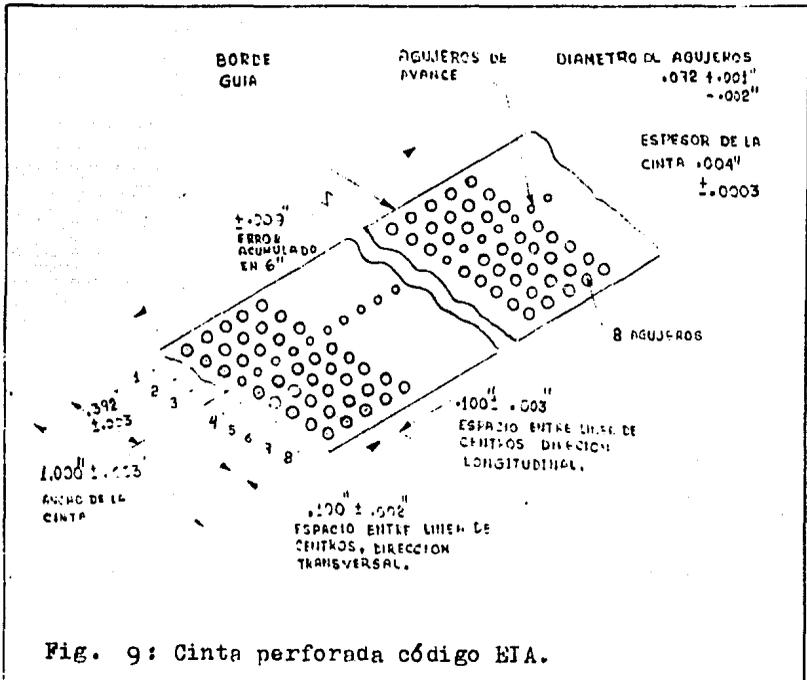


Fig. 9: Cinta perforada código BIA.

2.4.5. CODIFICACION DE CINTA PERFORADA.

La estandarización de las dimensiones físicas en una cinta de 2.5 cm. (1 pulgada), ha sido esencialmente por razones de compatibilidad.

No menos importante es el perforado de agujeros y asignación de ciertos caracteres ó símbolos. La descripción y el significado de los caracteres asignados por EIA en su codificación del perforado de agujeros se muestra en la figura 10, denominado estandar RS-244-B. Es empleado para sistemas de posicionamiento y de trayectoria rectas, siendo ésta codificación en cifras decimales con un valor binario equivalente, y se le conoce como BINARY CODE DECIMAL (BCD).

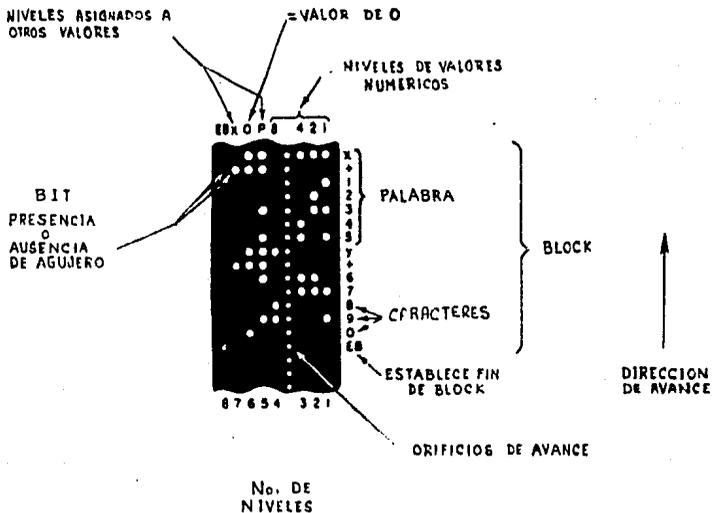
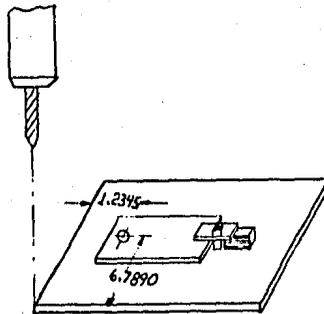


Fig. 10 Estandar RS. 244-B. (BCD)

Un Bit: Es definido como una condición de dos posibles estados; presencia de agujero denota valor asignado, ausencia de agujero denota valor no asignado, (Dígito Binario).

Un caracter: Es un grupo de agujeros posicionados en una misma hilera transversal, respecto al largo de la cinta y representa un número, letra ó símbolo.

Una Palabra: Es una combinación de caracteres en sucesivas hileras, la cual puede ser usado para encausar específicamente la acción de una máquina-herramienta. Así en el ejemplo siguiente, partiendo de un punto (0,0).



$X + 1.2345$, representaría un movimiento relativo al cabezal de la máquina de 1.2345 unidades, en la dirección positiva del eje X; $Y + 6.7890$, representaría la instrucción de un movimiento relativo al cabezal de 6.7890 unidades, en la dirección positiva del eje Y (las dimensiones pueden estar en el sistema Inglés ó Métrico).

En el perforado de la cinta, el punto decimal generalmente es ignorado en los sistemas hardwired y para un sistema CNC puede ser integrado o bien excluido el punto flotante.

Un Block. Es una palabra o grupo de palabras que provee de suficiente información a la unidad de control para un movimiento específico de la máquina y/o los blocks son separados por un caracter denominado fin de block.

Un Nivel ó Canal:

Es una trayectoria paralela a lo largo de la cinta en la cual puede almacenar información por la presencia ó ausencia de agujeros en la misma.

Como se ha podido observar, el código EIA, BCD tiene en suma total de agujeros por cada renglón un número impar, a esto se le conoce como paridad impar; por ejemplo: el número 3 codificado es una combinación de dos niveles, uno y dos, representado por dos agujeros o un número par. Para cambiar a una paridad impar se perfora un siguiente agujero, en el nivel cinco, sin que pa-

ra ello se afecte en su valor al caracter.

Uno de los recientes estandares de códigos, es conocido como ASCII (AMERICAN STANDARD CODE FOR INFORMATION INTERCHANGE). En la figura 11 se hace la comparación de codificación de la EIA y ASCII. Notese que los códigos son muy similares en la sección numérica. El código ASCII generalmente contiene más agujeros por cada renglón y utiliza paridad par, utilizando el nivel ocho para este propósito.

En consecuencia la paridad es una señal de protección que recibe la unidad de control, parando automáticamente la máquina al detectar un caracter de diferente codificación.

2.5. FUNCIONES PREPARATORIAS Y COMPLEMENTARIAS.

La letra del alfabeto G, es usada como símbolo que dirige la preparación de una determinada función a tra-

8, 7, 6, 5, 4, 3, 2, 1						8, 7, 6, 5, 4, 3, 2, 1					
BCD					CARACTER	ASCII					
					0						
					1						
					2						
					3						
					4						
					5						
					6						
					7						
					8						
					9						
					a						
					b						
					c						
					d						
					e						
					f						
					g						
					h						
					i						
					j						
					k						
					l						
					m						
					n						
					o						
					p						
					q						
					r						
					s						
					t						
					u						
					v						
					w						
					x						
					y						
					z						
					.						
					/						
					+						
					-						
					ESPAICIO						
					BORRADO						
					FIN DE BLOQUE						
					ESPACIO DE RETRASO						
					TAB						
					FIN DE MEMORIA						
					GUIA						
					CUBIERTA SUP.						
					CUBIERTA INF.						

Fig. 11 : Comparación de codificaciones de caracteres entre ASCII y BCD.

vés de la cual se describe el tipo de ciclo de maquinado, por ejemplo:

Una función G81 determina un ciclo de barrenado ó punzonado; G80 cancela el ciclo. G03 hace girar al husillo en sentido de las manecillas del reloj y G05 para el husillo etc. Una descripción de las funciones ha sido preparada en la tabla (3).

Las funciones preparatorias G preceden a las dimensiones de las palabras, preparando al sistema de control para la información de los siguientes blocks. Disponen también de la facultad de cambiar el significado de los siguientes blocks, por ejemplo: G70 dimansiona a los blocks siguientes en el sistema Inglés ó bien G71 - lo dimensiona en el sistema Métrico. De acuerdo a los estandares de EIA existen funciones que preparan al sistema de control denotadas con letras del alfabeto como son:

Velocidades de avances (F).

Selección de Herramientas (T).

Número de secuencia (N).

Velocidades del husillo (S).

Funciones suplementarias (M).

La descripción de coordenadas es asignada a las tres últimas letras del alfabeto X, Y, Z:

X describe la posición sobre el eje horizontal (eje X) dimensionado con el número que sigue:

Y describe la posición sobre el eje transversal (eje Y) dimensionado con el número siguiente, de igual forma Z dimensiona el eje perpendicular al plano formado por XY.

A continuación se muestra una tabla de funciones de acuerdo a la codificación de estándares de la EIA.

TABLA DE FUNCIONES (G) CODIGO EIA.

- G00 Usado para denotar un movimiento rápido, sistema de posicionamiento Punto- Punto.
- G01 Describe interpolación lineal.
- G02 Movimiento de giro en el sentido de las agujas del reloj.
- G03 Movimiento de giro en sentido contrario a las - agujas del reloj.
- G04 Tiempo de retraso, calculado durante el cual la máquina no efectuará ningún movimiento.
- G05 } Sin asignación por parte de la EIA, pueden ser
G07 } usado en la descripción de la máquina.
- G06 Interpolación parabólica.

G08 Acelera el avance programado asumiendo que el sistema de control de la máquina tiene esta facultad.

G09 Desacelera el avance programado.

G10 }
G11 } Asignado generalmente a sistemas CNC.
G12 }

G13 }
G14 } Usado para dirigir el sistema de control en el
G15 } posicionamiento de ejes, en máquinas de dos ca
G16 } bezales.

G17 }
G18 } Selecciona un plano coordenado para funciones
G19 } como interpolación circular o compensación del
cortador G17 define el plano X-Y. G18 define
el plano Z-X y G19 el plano Y-Z.

- G20 } Sin asignación por la EIA.
a
G32 }
- G33 } Seleccionado para máquinas equipadas para -
G34 } cortar con hilo y tornos, G33 usado cuando -
G35 } se tiene un corte constante, G34 incrementa
constantemente y G35 funciona inversamente a
G34.
- G36 } Sin asignar.
a
G39 }
- G40 Sin corrección de contorno por el radio de -
la arista de corte.
- G41 Corrección de contorno por la arista de cor-
te, lado izquierdo.
- G42 Corrección de contorno por la arista de cor-
te, lado derecho.

G43 } Usado para compensación de radio, es el des-
G44 } plazamiento de la trayectoria del cortador -
que ajusta la diferencia entre el que se es-
ta utilizando y el programado G43 referido -
al interior de una esquina y G44 referido a
la salida de una esquina.

G45 }
a } Sin asignar
G49 }

G50 } Reservado para controles adaptados (por ejem-
a } plo un sensor de avance y velocidad).
G59 }

G60 }
a } Sin asignar
G69 }

G70 } Programación en sistema Inglés.

G71 } Programación en sistema Métrico.

- G72 Interpolación circular en tres dimensiones en el sentido de las manecillas del reloj.
- G73 Interpolación circular en tres dimensiones - en el sentido contrario a las manecillas del reloj.
- G74 Cancela el ciclo de interpolación circular - en cualquier cuadrante.
- G75 Interpolación circular en cualquier cuadrante.
- G76 }
a } Sin asignar.
G79 }
- G80 Cancela el ciclo.
- G81 Fija el ciclo de barrenado ó perforado.
- G82 Fija el ciclo de barrenado con un tiempo de

retraso.

- G83 Asigna un ciclo de barrenado intermitente
- G84 Ciclo de machueleado.
- G85 } Ciclos de mandrilado.
a }
G89 }
- G90 Entrada absoluta, los datos de entrada estaran en dimensiones absolutas.
- G91 Entrada incremental, todos los datos estaran da dos por incrementos.
- G92 Predefine un valor deseado. (Registro de posición).
- G93 Invierte el tiempo de avance y regresa rápidamente a su posición de inicio.

- G94 Avance en pulgadas ó milímetros por minuto.
- G95 Avance en pulgadas ó milímetros por revolución.
- G96 Velocidad de corte constante, la velocidad del husillo es automáticamente controlado y mantiene el valor programado; es usado principalmente en tornos.
- G97 Velocidad del husillo en revoluciones por minuto.
- G98 }
G99 } Sin asignar.

TABLA 3 DE FUNCIONES COMPLEMENTARIAS (M) CODIGO EIA.

- M00 Paro automático de la máquina, con la salvedad de que el operario deberá pulsar un botón para continuar (paro de programa).

- M01 Paro de programa a elección y arranque, cuando el operario tiene a disposición un botón que permita introducir una señal, que al detectar en el proceso la función.
M01 la máquina se detendrá automáticamente.
- M02 Marca el fin del programa.
- M03 Comienza a girar el husillo en sentido de las manecillas del reloj.
- M04 Comienza a girar el husillo en sentido contrario a las manecillas del reloj.
- M05 Para la rotación del husillo.
- M06 Función que ejecuta el cambio de herramienta manualmente ó automáticamente.
- M07 Permite un flujo mayor de refrigerante.

- M08 Salida automática de refrigerante.
- M09 Cierre automático del flujo de refrigerante.
- M10 } M10 fija automáticamente el husillo, pieza,
M11 } correderas, etc. M11 quita automáticamente
la fijación.
- M12 Usado para sincronizar ejes cuando se tienen
dos cabezales.
- M13 Combina la rotación del husillo en sentido -
de las manecillas del reloj y el refrigeran-
te simultáneamente.
- M14 Combina la rotación del husillo en sentido -
contrario a las manecillas del reloj y el re-
frigerante simultáneamente.
- M15 }
y } Sin asignar.
M16 }

M17 }
y }
M18 }

Movimientos rápidos (+17), (-18).

M19 Orientación de husillo en un determinado ángulo.

M20 Sin asignar por EIA, el cual puede usarse para
a
M29 otras operaciones, de acuerdo al fabricante.

M31 Conocido como interlock by pass., conecta dispositivo de cierre.

M32 }
a }
M39 }

Sin asignar.

M40 }
a }
M46 }

Usado para cambio de engranes si lo requiere la máquina. Por ejemplo escalonamiento de la caja de velocidades.

M47 Ejecuta la continuación del programa desde -
el principio salvo que lo evite una señal in
terlock.

M48 Cancela a M49.

M49 Función que desactiva el porcentaje de avan-
ce y retorna al valor programado.

M50 }
a } Sin asignar.
M57 }

M58 Cancela a M59.

M59 Comando que retiene las rpm en su valor cu
do M59 es iniciado.

M60 }
a } Sin asignar.
M99 }

NOTA: Se conocen otros caracteres que de acuerdo a -
los requerimientos de la máquina serán asigna-
dos.

CAPITULO III

SISTEMAS DE COORDENADAS CARTESIANAS

3.1 DOS EJES COORDENADAS.

El sistema de coordenadas Cartesianas, básicamente es el sistema de dimensionamiento utilizado en todas las máquinas controladas numéricamente. Los ejes - coordenados son representados por las letras del alfabeto X, Y, y Z. Generalmente X-Y, son referidos al posicionamiento de la mesa de la máquina, mientras que la - coordenada Z se refiere al movimiento del husillo.

Un plano rectangular en un sistema de coordenadas - X-Y, es ilustrado en la figura 12A y gráficamente en - la figura 12B

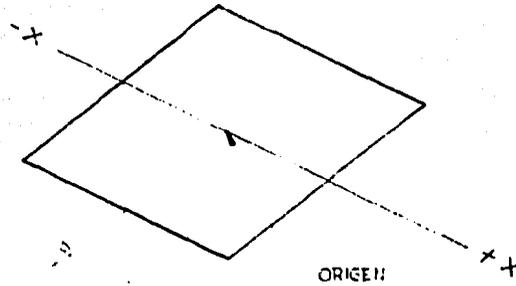


Fig. 12A : Coordenadas Cartesianas X-Y ilustrado.

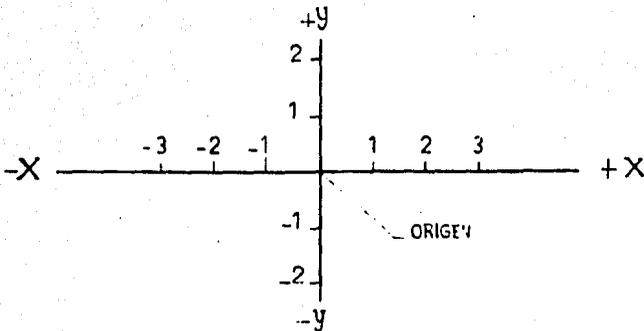


Fig. 12B : Coordenadas Cartesianas X-Y graficado.

La mayoría de máquinas CN. mueven sus mesas relativamente a la posición del husillo. La distancia y dirección responde a números discretos proporcionados a la unidad de control, con esta información la unidad de control dirige y localiza en la mesa el punto deseado. La mesa se considera un plano X-Y, sobre la cual se pueden graficar las coordenadas de un punto a partir de las referencias seleccionadas.

La diversidad de tipos de mesa es amplia, cada fabricante tiene una característica propia en cuanto a tamaños y distribución de ranuras, pero el principio de localización es el mismo para todas las máquinas.

3.2 TRES EJES COORDENADOS.

Introduciendo un tercer eje perpendicular al plano X-Y, simbolizado con la letra Z del alfabeto, en consecuencia tenemos un sistema de coordenadas Cartesianas en tres dimensiones, tal y como se muestra en la figura

13. Las coordenadas X-Y, son referidas a la mesa de la máquina de acuerdo al capítulo 3.1, por tanto, la coordenada Z es referida al movimiento del husillo.

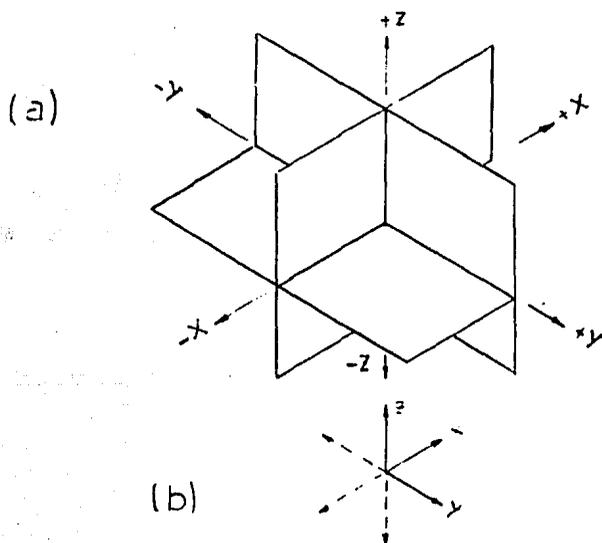


Fig. 13: Tres ejes coordenados

a).- Fig. Pictórica b).- Representación gráfica.

En la práctica los fabricantes de máquinas CN. consideran el origen para el eje Z, cuando el husillo esta totalmente retraído, no siendo así gráficamente como se

puede observar en la figura 13.

Una explicación más amplia sobre las funciones del husillo dentro del proceso de maquinado se dará en el capítulo 5.4.

3.3 LOCALIZACION DE LA PIEZA.

La pieza que será maquinada se posiciona sobre la mesa de la máquina de control numérico de igual forma que en una máquina convencional. Para efectuar el alineamiento en la pieza se hace uso de las referencias de la misma, las cuales quedarán paralelas a los ejes X-Y, de la mesa.

Cuando se tiene perfectamente alineada la pieza, es conveniente fijar un punto de partida, el cual se ha de finido como punto (0,0).

Conociendo las distancias de los puntos que se han de tocar en la trayectoria de maquinado, se puede describir numéricamente los sentidos de los desplazamien-

tos, en términos de X y Y.

Una mesa típica en máquinas de CN. es mostrada en - la figura 14. Observese el punto cero como origen, siendo predeterminado por el programador. En la figura se muestra colocada la pieza sobre los bloques y - sujeta con clamps. El posicionamiento de la mesa puede darse en el sistema absoluto o incremental sobre los - ejes X-Y para cada punto.

En cuanto a la colocación de la pieza, es relativamente sencillo, si se cuenta con dispositivos como parte del herramental requerido en el maquinado. En esta misma figura, se aprecia que el dispositivo se encuentra alineado en los ejes X-Y, lo cual permite localizar fácilmente la pieza, e iniciar al instante el proceso - de maquinado, puesto que la pieza queda automáticamente alineada a los ejes.

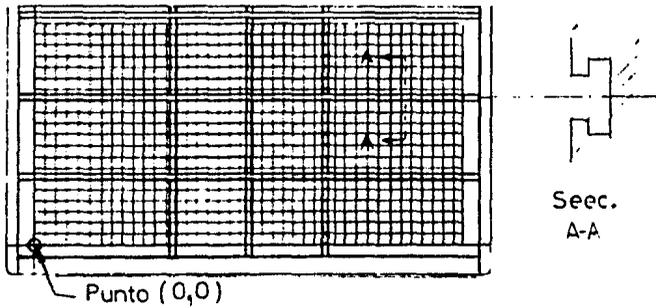


Fig. 14: Mesa típica de una máquina-herramienta.

En la figura 15, se muestra una pieza sujeta a los soportes de alineación colocados en la mesa, así también las coordenadas de algunos puntos, tomando como referencia al punto (0,0) de la mesa. Las dimensiones están acotadas en el primer cuadrante y se utiliza el sistema incremental.

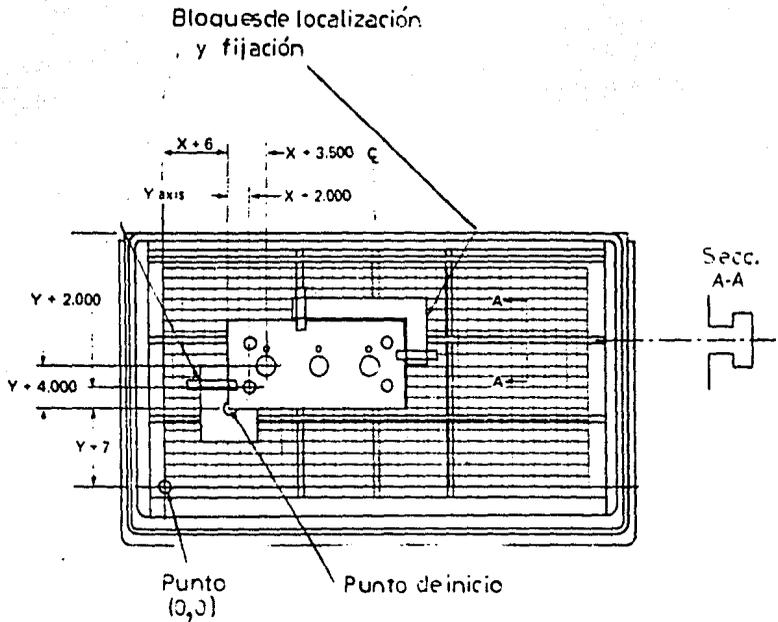


Fig. 15. Localización de puntos en términos de X-Y desde un punto (0,0)

3.4 DISPOSITIVOS DE SUJESION.

La amplia variedad de piezas fabricadas por la industria de la manufactura, requiere utilizar dispositi-

vos de sujeción y de ciertos mecanismos que agilicen - los procesos de fabricación. De acuerdo a las necesidades de cada empresa, se diseñan dispositivos que sujetan y localizan fácilmente a la pieza. Es importante - diseñar un buen dispositivo que cumpla con los objetivos, tales como, un montaje rápido, rigidez al sujetar la pieza y una repetibilidad confiable.

Un sencillo dispositivo puede ser, una placa pararela entre caras, con barrenos rimados y perfectamente dimensionados, donde se colocan pernos guías que localizan a la pieza en una posición específica. Si se prefiere utilizar placas insertadas que sujeten a la pieza, su localización se realiza a través de pernos guías sobre la base de una placa fija; para ambos casos la fijación de las placas se efectúa con grapas. Cuando se ha terminado de maquinar la pieza, se desprende la placa - con esta terminada ó se retira la pieza. El proceso es el mismo en la colocación de otra de características similares a la anterior, cuando se utiliza un dispositivo

de localización.

En la figura 16 se muestran dos dispositivos montados directamente sobre la mesa de la máquina.

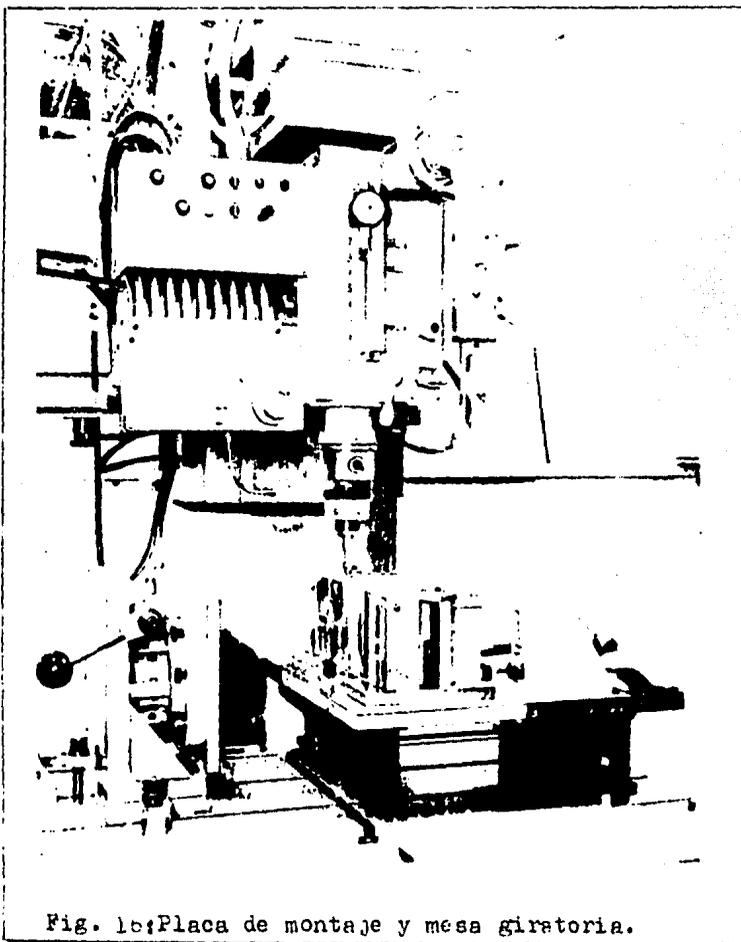


Fig. 16: Placa de montaje y mesa giratoria.

El dispositivo de la izquierda es un plato divisor operado manualmente, que permite colocar la pieza en forma radial desde un ángulo de 0° hasta 360° . El dispositivo de la derecha es una placa rectificadora debidamente encuadrada, que en su superficie, en forma alterada tiene barrenos rimados y roscados. Los rimados localizan la pieza con respecto a las dos referencias y los restantes son para sujetar a esta a través de tornillos y bridas.

Al utilizar dispositivos se reducen los tiempos de maquinado, así como también se permite sujetar a la pieza con firmeza evitando tiempos muertos, por alineación y verificación de la misma para cada montaje.

Otro tipo de montaje más simple que el anterior y utilizando la misma mesa de la máquina referida anteriormente, se muestra en la figura 17, sin utilizar un dispositivo como se puede apreciar.

La pieza es sujeta directamente sobre la cubierta de la mesa, con tornillos "T" y un juego de bridas planas. Este sencillo montaje satisface los requerimientos de sujeción para esta pieza en particular.



Fig. 17: Pieza montada directamente sobre la mesa de la máquina.

3.5 HERRAMIENTAS DE CORTE Y ACCESORIOS.

La diversidad de herramientas de corte que utiliza una máquina-herramienta, operada por control numérico - en los procesos de maquinado, son prácticamente iguales a las utilizadas por una máquina convencional. Por ejemplo se puede observar en la figura 18, parte del instrumental para este tipo de máquinas, incluyendo los adaptadores. Tales herramientas comprenden brocas, fre-sas de corte frontal, escariadores, buriles, etc., no obstante otros tipos de herramientas son fácilmente adaptadas a máquinas de control numérico.

Dependiendo de las características de sujeción en el husillo y la potencia de la máquina, se seleccionan los tipos de adaptadores que ha de utilizar la máquina. Los adaptadores permiten mayor versatilidad en cuanto al manejo de las herramientas, así mismo por su diseño sujetan firmemente la herramienta.

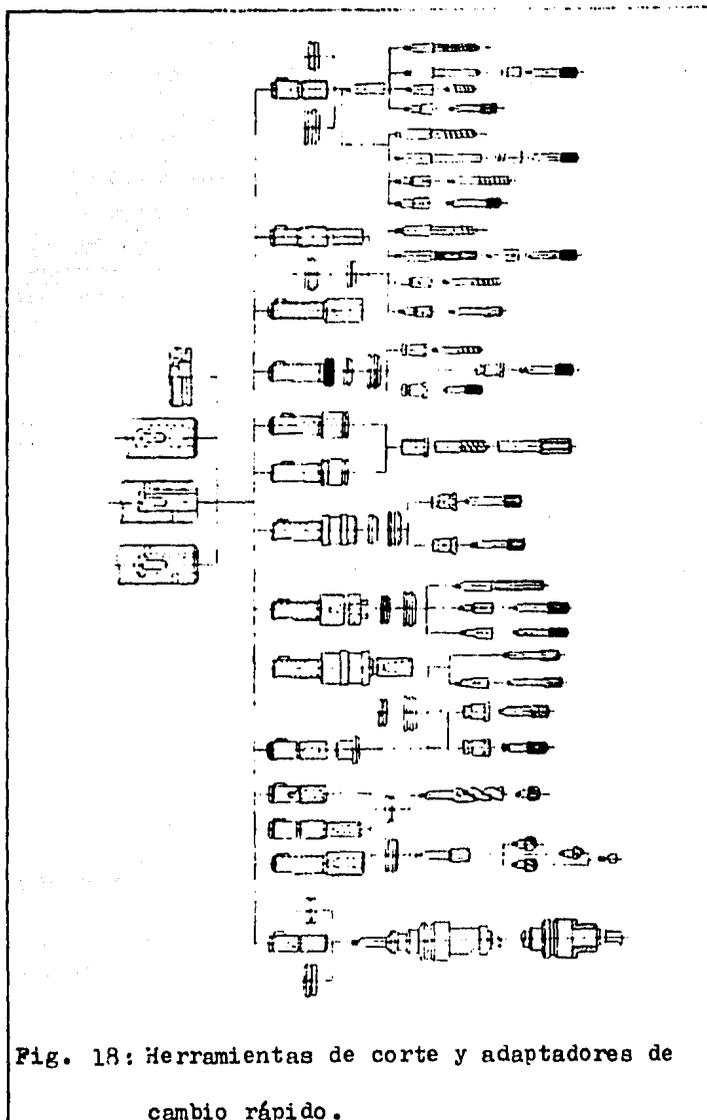
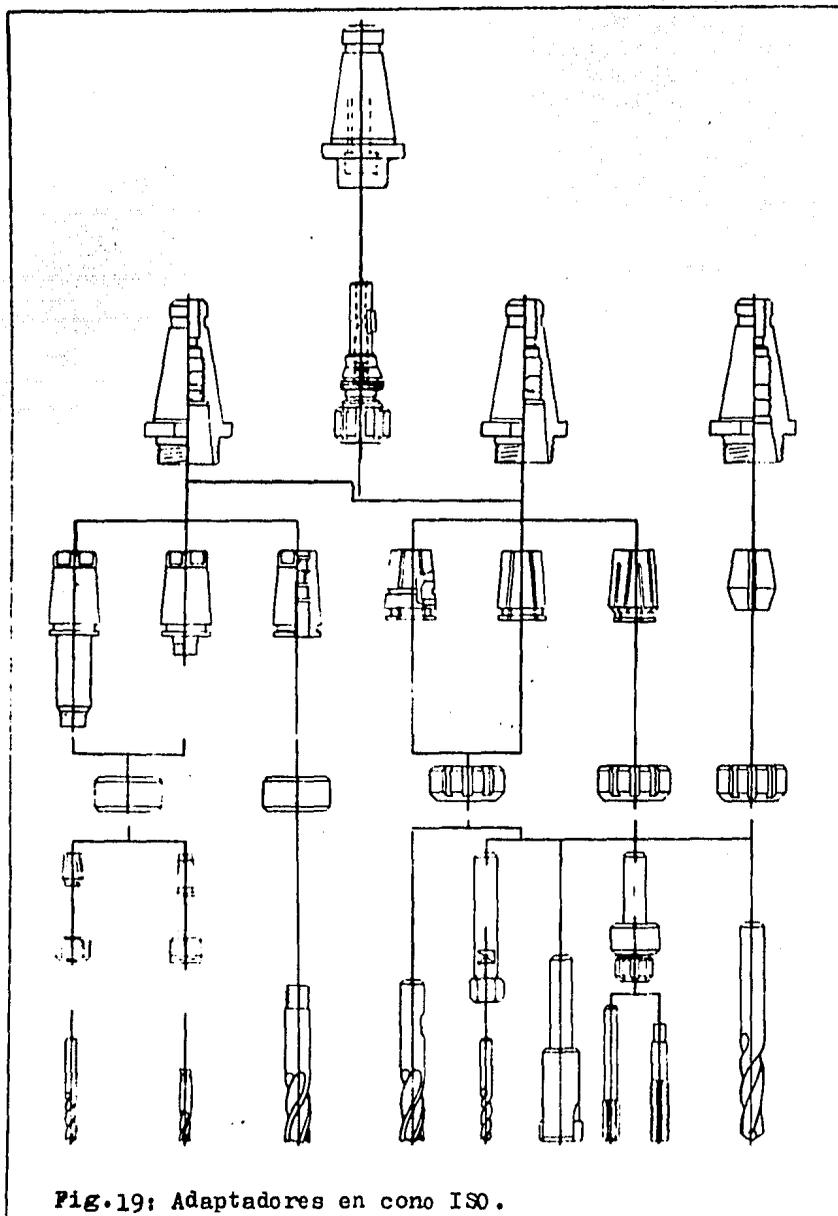


Fig. 18: Herramientas de corte y adaptadores de cambio rápido.

Por ejemplo un centro de maquinado con cono ISO en el husillo, puede utilizar los adaptadores mostrados en la figura 19 . Este tipo de adaptador cuenta con tornillo elevador que sirve para ajustar la altura de la herramienta. En complemento se cuenta con una serie de - boquillas intercambiables de fácil colocación y en diferentes diámetros.



CAPITULO IV

MAQUINAS DE CONTROL NUMERICO.

El control numérico puede ser aplicado virtualmente a cualquier tipo de máquina-herramienta, y a un número infinito de máquinas usadas en otras operaciones que no sean de remoción de material. En general estas máquinas están agrupadas en dos clases:

- 1.- Máquinas de posicionamiento.
- 2.- Máquinas de trayectoria continua.

4.1 MAQUINAS DE POSICIONAMIENTO (CN)

Dentro de este tipo pueden distinguirse dos clases de punto a punto y de avance directo.

- a).- Punto a Punto. Estas máquinas llamadas también máquinas de posicionamiento, son aquellas que mueven sus guías hasta un punto específico de la

pieza donde la operación de maquinado debe empezar.

En algunas máquinas las guías mueven a la pieza (como se hizo mención anteriormente) y en otras la pieza permanece fija y la herramienta es localizada en relación a la pieza en el punto deseado. Existen otras que pueden mover simultáneamente la pieza y la herramienta.

- b).- De avance directo. Estas máquinas operan de la forma descrita anteriormente, pero con la particularidad de que pueden ser utilizadas únicamente para operaciones tales como, barrenado, perforado, machueleado o en mandrilados de agujeros, en diferentes posiciones dentro de la misma pieza. La limitación de estos sistemas es que no pueden ser utilizados para fresado, dado que el posicionamiento se efectúa a velocidades muy altas.

En otras palabras, la máquina de posicionamiento es ta provista de un sistema de control numérico, para dar posicionamiento solo en las guías. Las velocidades de rotación del husillo, por ejemplo son seleccionadas manualmente.

En la actualidad muchas máquinas de posicionamiento de control numérico gobernadas por cinta, tienen control de avance de velocidades, control de líquidos de enfriamiento, rotación de torreta, etc. El método de manejo de estas funciones varía de un fabricante a otro, y no puede ser generalizado lo suficiente para explicar lo en este trabajo.

4.1.1 MOVIMIENTOS BASICOS DE UN SISTEMA DE CN.

El número de ejes o movimientos que pueden ser aplicados a una máquina con CN. varía de dos a cinco y en algunos casos especiales puede ser mayor.

Los dos ejes representativos de un sistema de posicionamiento o de punto a punto, son las trayectorias en línea recta de las guías longitudinal y transversal. - Estos dos movimientos se efectúan a 90 grados, uno con respecto al otro y son respectivamente los ejes X y Y. Sus movimientos responden a las coordenadas rectangulares. Un tercer eje puede ser aplicado al control de movimiento del husillo hacia arriba y hacia abajo eje Z. Estas designaciones pueden observarse en la figura 20.

Estas designaciones pueden observarse en la siguiente figura

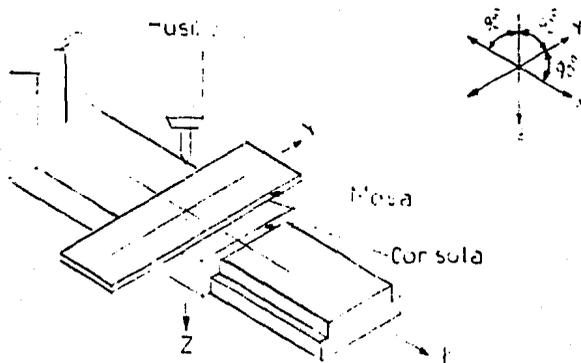


FIG. 20; Movimientos transversal, longitudinal y vertical.

4.2 MÁQUINAS DE TRAYECTORIA CONTINUA CNC.

Las máquinas de trayectoria pueden desarrollar más funciones que la máquinas de posicionamiento. En estos sistemas la diferencia fundamental con los anteriores, radica en la posibilidad de escoger diferentes trayectorias para unir dos puntos en el plano.

El alma de este sistema es el interpolador, que puede ser considerado como un pequeño computador con programas predeterminado; este recibe la información de los movimientos que deberán de efectuar los ejes, así como la velocidad en la que se desarrollara el movimiento, cuando ya se tiene toda la información, puede entonces procederse a calcular los datos correspondientes a cada eje, posteriormente con esta información la máquina mandará la señal para que se efectuen los movimientos.

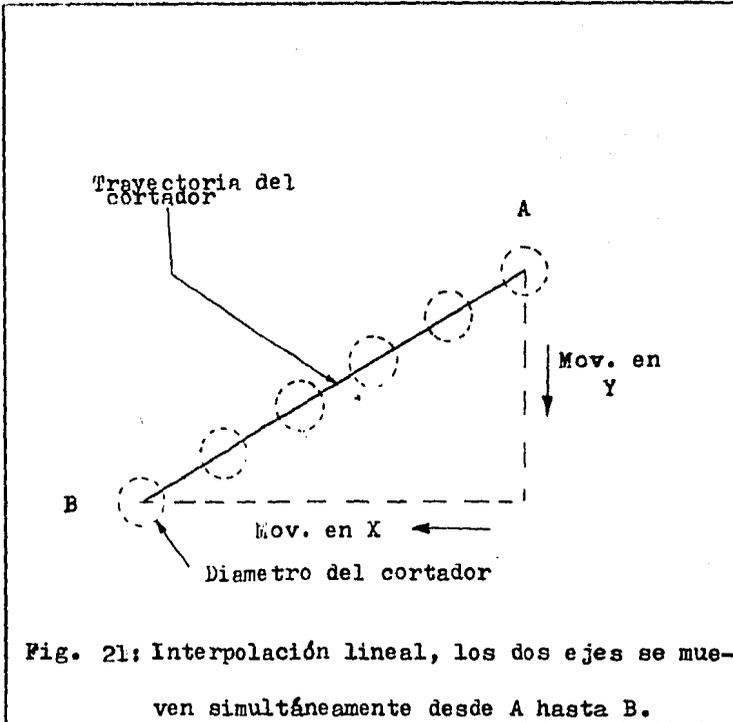
En otras palabras puede expresarse la acción del in

terpolador como el análisis de la variación de un eje - con respecto a otro para alcanzar un punto definido.

La interpolación puede realizarse siguiendo cual- - quier tipo de trayectoria en el espacio, pudiendo ser - las más comunes la interpolación lineal, circular, para**g** bólica, elíptica.

Las interpolaciones lineal y circular son las que - se utilizan con más frecuencia en la definición de tra- yectorias, y dependiendo del tipo de unidad de control, la máquina podrá realizar interpolaciones en dos o tres dimensiones.

Interpolación lineal: significa la posibilidad de - unir dos puntos en el espacio por medio de una trayecto- ria rectilínea, así mismo, esta línea recta es la dis- tancia más corta existente entre dos puntos; por ejem- plo en la figura 21, se muestra una interpolación li- - neal.



En la figura anterior se han considerado dos movimientos en el plano X-Y. Los movimientos a lo largo de los ejes X-Y se realizan simultáneamente formando una trayectoria de 30° con la horizontal; desde el punto A

hasta el punto B, en un mismo período de tiempo; por lo tanto, el movimiento en X se realiza más rápido para poder alcanzar el punto B en el mismo período de tiempo - empleado por el eje Y en su movimiento.

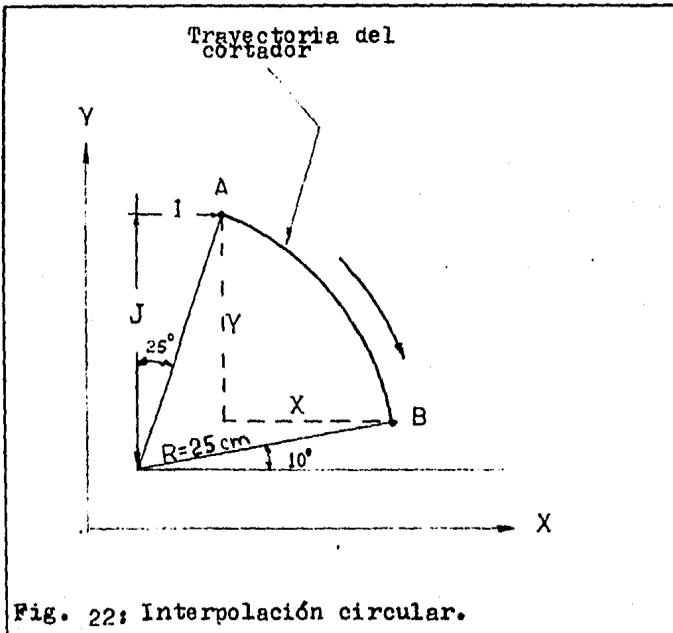
La unidad de control necesita las distancias y dirección de los ejes X-Y, sobre los cuales se moverá hasta alcanzar el punto B, así mismo la velocidad a la que a de moverse.

Se observa en la figura 21, que los dos movimientos son en el tercer cuadrante.

Interpolación circular: la interpolación circular - permite unir dos puntos por medio de una curva que pudiera ser un segmento de círculo ó un círculo completo. Por ejemplo: en la figura 22, se desea unir el punto A con el punto B a través de un segmento de círculo partiendo del punto A.

La información que necesita la unidad de control de la máquina para que realice la trayectoria mostrada es la siguiente:

- a).- Las coordenadas del punto de inicio referido al - centro del círculo.
- b).- Las distancias y direcciones que ha de moverse en los ejes X-Y.



Las coordenadas del punto A son I, J.

$$\text{Donde } I = 25(\text{Sen } 25^{\circ}) = 10.56 \text{ cm.}$$

$$J = 25(\text{Cos } 25^{\circ}) = 22.65 \text{ cm.}$$

El movimiento y dirección en X es:

$$X = 25(\text{Cos } 10^{\circ}) - I$$

$$X = 24.62 - 10.56 = 14.06$$

El movimiento y dirección en Y es:

$$Y = 25(\text{Sen } 10^{\circ}) - J$$

$$Y = 4.34 - 22.65 = -18.30$$

Con la información anterior y un formato que pueda ser comprendido por la unidad de control, la máquina realiza automáticamente la trayectoria mostrada en la figura.

CAPITULO V

PROGRAMACION DE TRAYECTORIAS CN Y CNC.

Antes de abordar el tema sobre programación de máquinas controladas numéricamente, es necesario comprender totalmente los aspectos similares existentes entre una máquina convencional y una máquina CN.

5.1 ASPECTOS SIMILARES DE OPERACION.

Un maquinado se define como un proceso en el cual la forma física de un material es conformado, al remover mecánicamente parte de este material, que generalmente se consigue a través del contacto directo de la herramienta de corte y la pieza de trabajo.

Por ejemplo, una máquina fresadora remueve el material con una herramienta rotatoria, mientras que la pieza permanece fija a la mesa, y se obliga a moverse en dirección de la herramienta de corte, en consecuencia -

el corte se efectúa cuando la herramienta y pieza se encuentran en contacto.

En otras máquinas, la herramienta permanece fija y la pieza gira en torno a la herramienta, el efecto es el mismo al caso anterior, únicamente lo que cambia es la forma de remover el material.

La forma de maquinar los metales básicamente es igual, ya sea efectuado con una máquina convencional ó bien de control numérico.

Al hablar de un maquinado, de antemano se esta involucrando otras características comunes como; velocidad de corte, avance, RPM, profundidad de corte, maquinabilidad del material, etc., estas características son imprescindibles en un maquinado para cualquier tipo de máquina.

5.1.1 VELOCIDAD DE CORTE:

La velocidad de corte o velocidad periférica (V_c)

es la distancia a que se desplaza un filo cortante de la herramienta en un minuto, en relación a la pieza de trabajo. Se puede considerar como la distancia que recorre un punto exterior en un cilindro, si se le hiciera rodar sobre una superficie plana durante un minuto.

Generalmente la distancia es expresada en metros ó pies por minuto, por lo tanto de lo anterior.

$$V_c = \pi \cdot D \cdot N \left[\frac{m}{\text{min}} \right]$$

Donde: V_c = Velocidad de corte (m/min).

D = Diámetro (m).

N = Número de revoluciones por minuto (rpm).

Los fabricantes de herramientas de corte, han elaborado tablas, obtenidas a través de la experiencia y de

ensayos realizados con diversos materiales (acero rápido, carburo de tungsteno, etc.), donde recomiendan un rango de velocidades, en el cual es posible lograr el mayor rendimiento de la herramienta antes de ser reafilada, así como también un mejor aprovechamiento de la máquina.

Naturalmente estos valores representan única y exclusivamente una guía, en la selección de la velocidad de corte. Así la decisión estará en manos del operario de la máquina o bien del programador de la misma.

Es lógico pensar que las características y condiciones de los maquinados no sean iguales, por lo que la velocidad de corte estará sujeta principalmente a los siguientes factores:

- a).- Dureza del material a maquinar.
- b).- Clase del material en la herramienta de corte.
- c).- Forma de la herramienta.

- d).- Avance y profundidad de corte.
- e).- Potencia disponible en la máquina y condiciones en que se encuentra.
- f).- Calidad deseada en el acabado.
- g).- Rigidez en cuanto a la sujeción de la pieza.
- h).- Si se usará ó no liquido refrigerante.

La experiencia nos ha demostrado, que los materiales endurecidos presentan un grado de dificultad mayor al maquinarse en comparación con los materiales dúctiles; por tanto la penetración de la herramienta se dificultará a medida que aumente la dureza en el material. Por lo que será necesario disponer de mayor potencia en la máquina, para remover el mismo volumen de material.

5.1.2 AVANCE.

Si ya se ha hablado acerca de la velocidad de corte, por ningun motivo podemos dejar pasar por alto el avance, puesto que determina el volumen de producción y es

también un factor decisivo en la vida de la herramienta. Se puede observar en las tablas proporcionadas al final de este trabajo, como la velocidad de corte y el avance están íntimamente ligadas, por lo que es necesario seleccionarlos lo mejor que se pueda para cada trabajo en particular, independientemente de la máquina-herramienta que se este trabajando.

Avance es el movimiento relativo de una herramienta cortante a través ó dentro de una pieza a maquinar, expresado en milímetros por revolución (mm/rev) ó milímetros por minuto (mm/min).

$$F = fNn \quad \left[\frac{\text{mm}}{\text{min}} \right]$$

$$f' = \frac{F}{N} \quad \left[\frac{\text{mm}}{\text{rev}} \right]$$

Donde:

- F = Avance en milímetro por minuto.
- f' = Avance en milímetro por revolución.
- f = Avance por diente.
- N = Número de revoluciones por minuto.
- n = Número de filos del cortador.

Factores que influyen en el avance:

- a).- Características del material de la pieza.
- b).- Forma de la herramienta y característica del material (Acero rápido, Carburo de tungsteno, otros).
- c).- Potencia disponible en la máquina.
- d).- Rigidez de la sujeción de la pieza.

5.1.3 MAQUINABILIDAD:

Se define como el grado de dificultad o facilidad con que puede ser maquinado un metal. Por ejemplo los metales no ferrosos tienen un alto grado de maquinabilidad.

dad, no obstante así, los aceros tienen un bajo grado - de maquinabilidad.

5.1.4 REVOLUCIONES POR MINUTO.

Es el número de vueltas a la que gira el husillo de una máquina-herramienta, tratase de un taladro, una fresadora, un torno, etc.

Se ha citado los parámetros comunes más importantes a considerar en los maquinados ya sean efectuados en - una máquina convencional o bien de control numérico; teniendo como base a la velocidad de corte, que a su vez permite conocer los parámetros restantes si se conoce - este valor. En cuanto a la profundidad y ancho de corte queda en función de la potencia de la máquina y geo-metría de la herramienta.

5.2 FORMATOS.

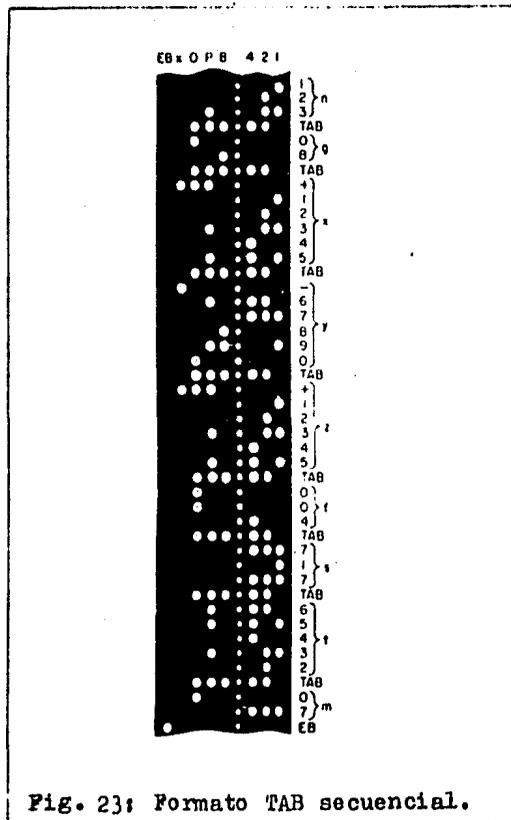
El concepto de control en máquinas de punto-punto - básicamente es igual, sin embargo, la unidad de control de la máquina no acepta la información suministrada si no es presentado en un formato, para el cual la unidad de control fue diseñada.

La interpretación de la palabra "formato", se refiere al arreglo de las perforaciones en la cinta; por esta razón, la unidad de control aceptará únicamente un tipo de formato. Los formatos más populares es el TAB secuencial y el de identificación por palabras.

TAB SECUENCIAL.

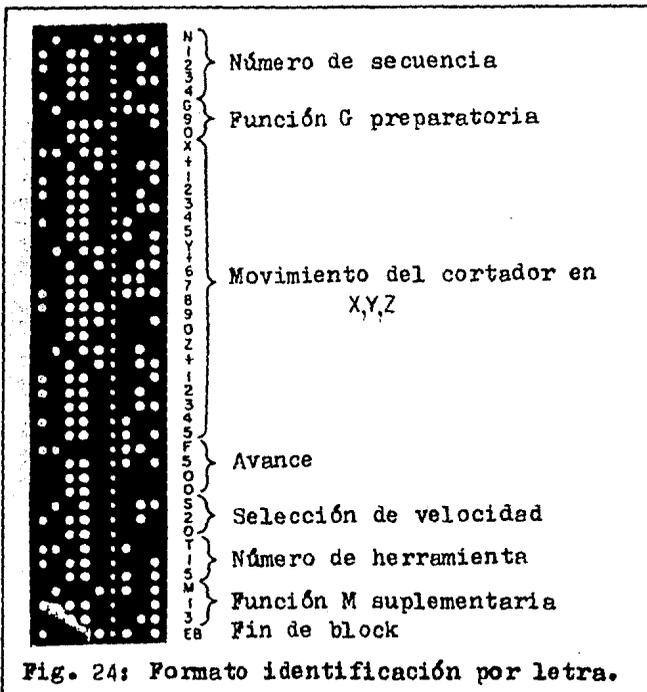
El formato TAB secuencial requiere, que la información sea presentada siguiendo un orden para cada block, el primer caracter de cada palabra deberá ser un caracter TAB; en segundo la dirección y posteriormente la di

mención. Las letras que representan a los ejes pueden ser omitidas. Este formato es mostrado en la figura 23



IDENTIFICACION POR LETRAS.

Este formato de Identificación por letras requiere que se incluya en la información antes de cada palabra uno o más caracteres que identifiquen la palabra. Estos caracteres usualmente son letras del alfabeto la ilustración de este tipo de formato se tiene en la figura 24.



5.3 PROGRAMACION PUNTO - PUNTO .

Se recomienda que en la preparación de los programas para máquinas de CN., el programador estudie con detalle el dibujo de la pieza que se ha de fabricar, antes de que efectue un cálculo o se realice una operación en la máquina; esto es para cualquier tipo de sistema de control que se maneje. Después de haber estudiado el dibujo se presentaran dudas sobre dimensiones y forma de la pieza, el programador debe consultar al diseñador y en conjunto disipar por completo dichas dudas.

Cuando se ha recabado la información necesaria, el programador procede al cálculo de los puntos que a detocar cada una de las herramientas para cada trayectoria. Como también selecciona el herramental que utilizará en su proceso de maquinado , la localización y fijación de la pieza sobre la mesa de la máquina.

En el manuscrito se detallan dimensiones, secuencia de operación de la máquina, las revoluciones por minuto a las que debe girar el husillo para cada herramientas sin son varias, el avance, las alturas de las herramientas, tipo de refrigerante y todo lo que se considere necesario anotar. Si en el transcurso del tiempo se llegará a requerir nuevamente el programa, estas anotaciones permiten recordar fácilmente la secuencia de programación y los pasos que se siguieron en la fabricación de una pieza en particular.

Otro aspecto que no puede ser pasado por alto, es la capacidad y condiciones en que se encuentra la máquina, así como de sus limitaciones. La importancia de conocer con certeza lo que puede ofrecer la máquina, radica en poder utilizarla debidamente y nunca forzarla más allá de su rango de operación, de esta forma es posible prolongar la vida útil de la máquina.

En cuanto a la forma de programar, el usuario debe

decir como programar la máquina, si lo haremos manual ó -- bien si utilizara una minicomputadora en la preparación de cintas. Cuando se tiene seleccionado el método de -- como programar la máquina, es recomendable establecer -- normas de programación. Esto permite que, tanto progra mador como operario se familiaricen con la secuencia de maquinado; por ejemplo la secuencia de programación debe ser similar en cada programa preparado. En la utili zación de las herramientas se tendrá presente mantener un mismo orden salvo requerimientos especiales. El orden puede ser cambiado informando claramente los cam- - bios efectuados.

No obstante es necesario observar que la máquina -- de CN, no piensa ni decide por si misma, menos aún, muestra algún signo de inteligencia sobre cualquier cosa, lo cual quiere decir, que el programador al comunicarse con la máquina a través de un lenguaje especial, deberá definir todos y cada uno de los aspectos que considere necesarios en un proceso de maquinado. Para obtener -

buenos resultados es importante seguir una secuencia lógica en la programación sin saltarse ni una sola instrucción por fácil ó obvia que parezca, debido a que solo y únicamente la máquina ejecutará las instrucciones asignadas y por simple que sea la ejecución la máquina no lo va a efectuar.

Por ejemplo: para la operación de barrenado. En una placa se desea barrenar dos agujeros; primero el husillo se posiciona en el primer punto seleccionado de coordenadas (X_1, Y_1) referidas a un origen, después de que las guías han llevado a la mesa al primer punto fijado, el cabezal empezara a descender con el husillo girando hasta atravesar con la broca el grueso de la placa. Para poderse trasladar hacia el otro punto de coordenadas (X_2, Y_2) , es obvio que el husillo debiera de retraerse una distancia un poco mayor al grueso de la placa y posteriormente trasladarse al otro punto y así, poder efectuar la siguiente operación: pero esto de retraer el husillo es tan lógico, que si no se informa a la

máquina, lo más seguro es que se traslade a la otra posición estando la broca dentro del mismo agujero, teniendo como resultado de algo tan lógico una herramienta rota y una pieza con posibilidades de que ya no sirva.

Enumeremos los pasos a seguir en la preparación de un programa, con la salvedad de que la aplicación es referida a un sistema de punto - punto, para una operación de barrenado:

- 1.- En coordenadas Cartesianas localizar los centros de los barrenos en términos de X-Y, y punto de inicio.
- 2.- Profundidad y diámetro de los barrenos.
- 3.- Método y forma de controlar el eje Z (husillo).
- 4.- Funciones preparatorias, funciones suplementarias, en la secuencia requerida por el programa.
- 5.- Secuencia de las operaciones de maquinado y de los cambios de herramienta en el punto preciso

- 6.- Formato adecuado para la unidad de control.
- 7.- Elección del herramental y dispositivo.
- 8.- Cálculo de las RPM y avances para cada herramienta.

5.3.1 INSTRUCCIONES DE OPERACION PUNTO A PUNTO.

Con las acotaciones de una placa mostrada en la figura 25, se describirá la secuencia de barrenado para una máquina de posicionamiento. El dibujo muestra dos referencias, las cuales serán alineadas perfectamente a la mesa de la máquina, la intersección entre estas referencias es el punto de inicio del programa. El primer movimiento para este caso, será posicionar la mesa en el punto (0,0), posteriormente ha de trasladarse hacia los puntos marcados con letras, comenzando en el punto A, así hasta el punto F.

El manuscrito es presentado en la hoja de programación donde se describe la secuencia de operación, y co-

mentarios. Se utiliza un sistema de posicionamiento absoluto para cada punto, esto también en relación a las acotaciones dadas en el dibujo que están en un sistema absoluto desde un punto (0, 0).

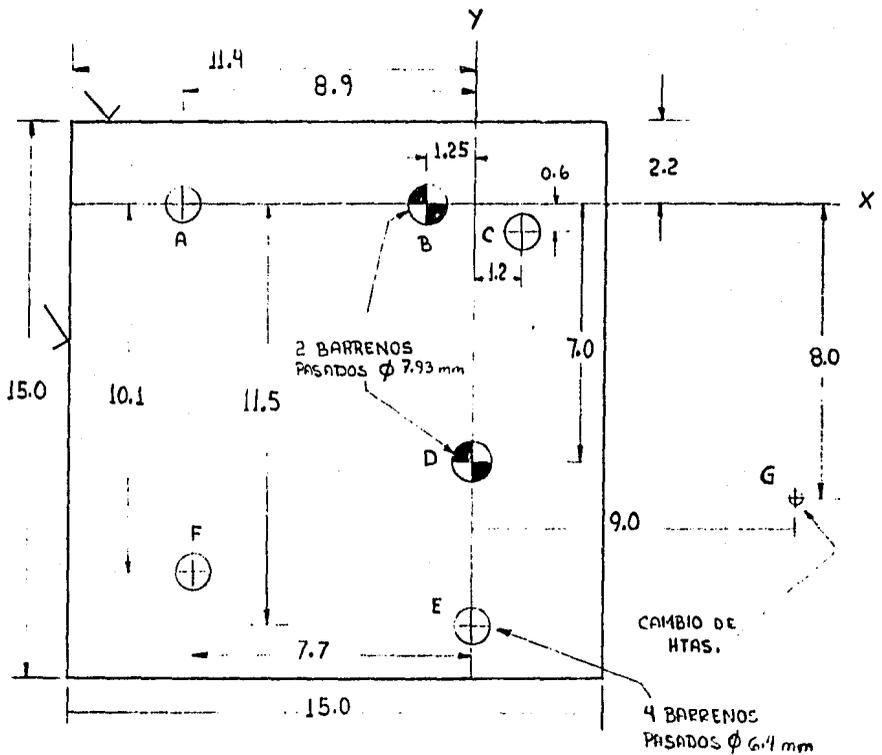


Fig. 25: Placa Base (Acot. en Cm.)

N. DE CINTA. 15				N.º DE PROGRAMA. 15					
N. DE PARTE. 243				PREPARADO POR. JHR					
NOMBRE DE LA PARTE. PLACA BASE				FECHA. 26-IV-85					
				HOJA No 1		De 1			
N. Sec	TAB. EOB	COORD. X	TAB. EOB	COORD. Y	TAB. EOB	FUN. EOB	TAB. EOB	INSTRUCCION	EOB
1	T	+ 11900	T	- 2200	T		T	Momimiento hacia el punto (0,0)	E
2	T	- 8900	T	0	T		T	despues de alinear la pieza Posicionamiento en el punto A para Iniciar el barrenado con la broca de centros No 3 en los 6 puntos	
3	T	- 1250	E						
4	T	+ 1200	T	- 600	E				
5	T	0	T	- 7000	E				
6	T		T	- 11500	E				
7	T	- 7700	T	- 10100	E				
8	T	+ 9000	T	- 8000	T		T	Cambio de hta. Broca del No 60	E
9	T	- 1250	T	0	T		T	Posición del punto B, 2 barrenos	
10	T	0	T	- 7000	E				
11	T	+ 9000	T	- 8000	T		T	Cambio de hta. Broca del No 72	
12	T	- 8900	T	0	T		T	Posición del punto A, 4 barrenos	
13	T	+ 1200	T	- 600	E				
14	T	0	T	- 11500	E				
15	T	- 7700	T	- 10100	E				
16	T	+ 9000	T	- 8000	T		T	Cambio de hta Quitar la pieza y colocación de otra similar.	E

Hoja de programación punto-punto.

5.4 PROGRAMACION TRAYECTORIA CONTINUA.

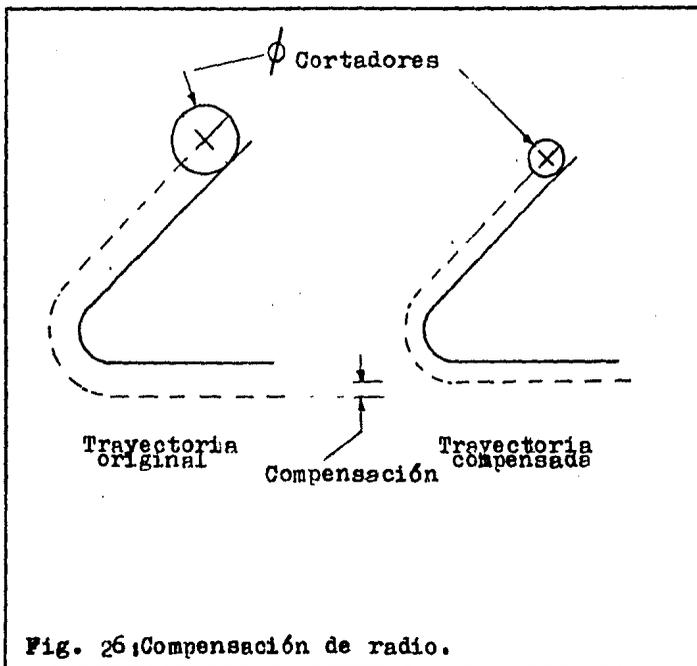
Los conceptos básicos de operación que requiere una máquina de trayectoria continua, para efectuar los movimientos necesarios en un maquinado han sido explicados en el capítulo IV, así mismo en este capítulo se describió las características y ventajas de un sistema de trayectoria continua en contraste con los sistemas de posicionamiento.

Estos sistemas además de contar con un interpolador, cuenta con un vasto número de funciones (comandos) que hacen al sistema sumamente versátil en todas las operaciones de maquinado. Por ejemplo es posible compensar el radio del cortador, compensar alturas en las herramientas, copiado de espejos, subrutinas, ciclos de barrenado, cancelación de ciclos, autorutinas, etc.

Las funciones G41/G42, permite compensar el radio del cortador a la izquierda o derecha de la cara de la

pieza para obtener las dimensiones originales de maquinado.

Esta función es de gran utilidad cuando se manejan diferentes diámetros en las herramientas, por ejemplo - la figura 26 muestra el efecto de la compensación del - radio en el cortador.



Suponiendo que el cortador de la trayectoria programada se llegará a romper ó simplemente a desafilarse, - por lo tanto es necesario colocar un nuevo cortador. - Ningún problema existira, si se cuenta con el cortador de las mismas medidas y características que el original, únicamente se procederá a colocarlo y reiniciar nuevamente el ciclo.

Pero que pasa, si el cortador con que se cuenta es diferente en diámetro con respecto al cortador original; (en la figura 26 se muestra un cortador de menor diámetro que el original), así, si únicamente se colocara la herramienta y se reiniciara el ciclo sin antes efectuar la compensación, tendríamos dos casos.

Primero.- Simplemente pudiera no cortar en ningún punto de toda la trayectoria original el nuevo cortador.

Segundo.- Obtendríamos dimensiones fuera de las especificaciones de plano en la pieza terminada, siendo -

esta dimensión la diferencia entre los radios de los -
cortadores.

Suponemos que el diámetro del cortador original es
de 2.54 cm. y el cortador que reemplazaremos es de 2.48
cm. la compensación sera:

$$C = \frac{D_i}{2} - \frac{D_f}{2} \quad C = \text{Compensación.}$$

$$C = 1.27 - 1.24 \quad D_i = \text{Diámetro Inicial.}$$

$$D_f = \text{Diámetro Final.}$$

$$C = 0.03 \text{ cm.} = 0.3 \text{ mm.}$$

5.4.1 PREPARACION DE UN PROGRAMA DE TRAYECTORIA CONTI- NUA.

Tomando como base la figura 27 daremos un ejemplo -
de una programación para un sistema de trayectoria con-

tinua. En esta pieza se contempla que para lograr el - perfil, tendremos que hacer uso de la interpolación lineal y circular en dos ejes, y para el barrenado simplemente un posicionamiento lineal.

En la preparación del manuscrito partimos del hecho que es necesario conocer las características de los materiales, tanto de la herramienta como la de la pieza. Para este caso la herramienta es una fresa frontal de - 6 filos de acero rápido con un diámetro de 2.54 cm. y - la placa es de fierro negro con 2.5 cm. de espesor.

Con estos datos podemos conocer las revoluciones recomendadas para el cortador, y por otra parte la profundidad de corte queda en función de la potencia disponible en la máquina.

- Las RPM recomendada para una fresa frontal de 2.54 - cm. de diámetro, con una velocidad de corte de 18 m/min. sera.

$$N = \frac{1000V_c}{\pi D}$$

V_c = Velocidad de corte m/min.

D = Diámetro en mm.

N = RPM

$$N = \frac{1000(18)}{(25.4)} = 225$$

- Avance: para $N=225$ RPM con 0.228 de avance mm/diente.

$$F = fNn$$

f = Avance por diente mm/diente.

N = RPM del husillo.

n = Número de dientes.

$$F = 0.228(6)(225) = 307.8 \text{ mm/min.}$$

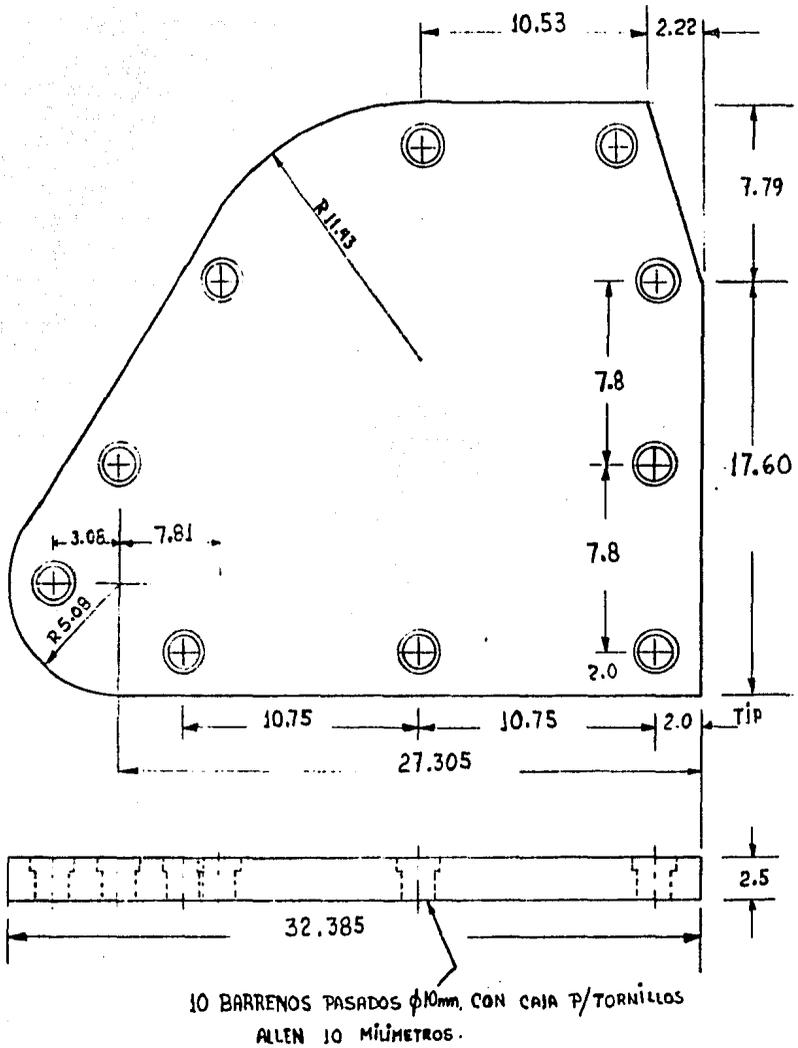


Fig. 27: Pieza acotada con dimensiones finales, para su programación de trayectoria continua. (Acotaciones en cm.)

En el capítulo IV, se definieron los conceptos de interpolación lineal y circular, mostrando con un ejemplo, la forma de obtener los valores para cada caso, que a su vez es la información que necesita la unidad de control, en la realización de dichas funciones.

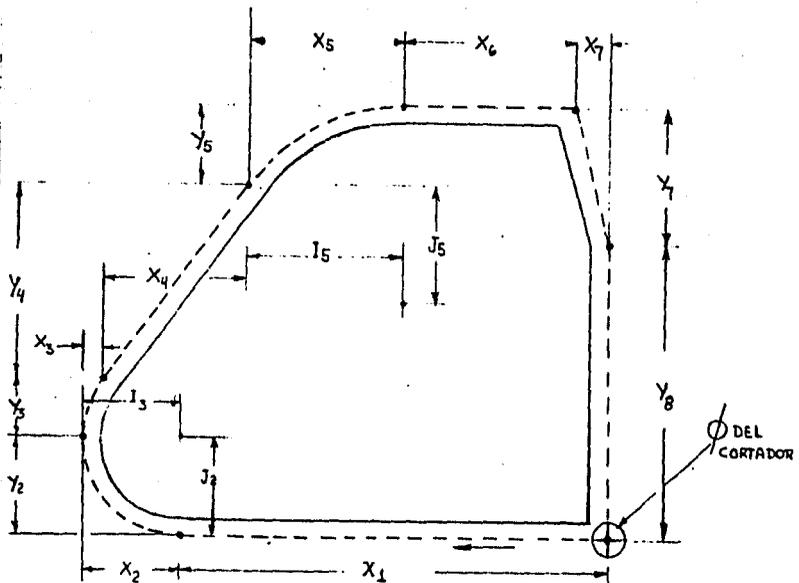


Fig. 28: Trayectoria real del cortador.

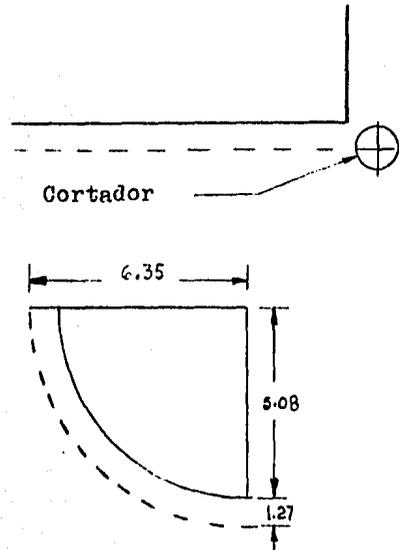
De acuerdo al dibujo mostrado en la figura 27 se calculan los puntos de la trayectoria de la herramienta, para esto se ha de considerar el radio del cortador para cada punto en relación a las medidas finales. La trayectoria real del centro de la herramienta se observa fácilmente en la figura 28 por la línea punteada, por lo tanto las nuevas dimensiones de estos puntos serán.

$$X_1 = -28.575$$

$$X_2 = -6.35$$

$$Y_2 = 6.35$$

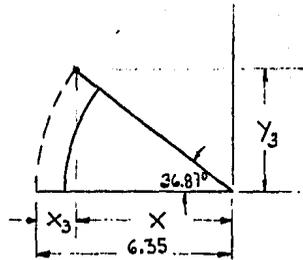
$$J_2 = 6.35$$



$$X_3 = 1.27$$

$$Y_3 = 3.81$$

$$I_3 = 6.35$$



$$X_3 = 6.35 - X$$

$$X_3 = 6.35 - \cos 36.87^\circ (6.35)$$

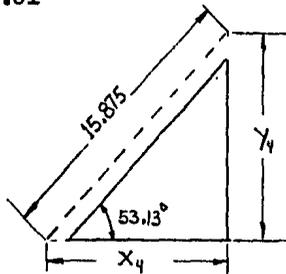
$$X_3 = 1.27$$

$$Y_3 = \sin 36.87^\circ (6.35)$$

$$Y_3 = 3.81$$

$$X_4 = 9.525$$

$$Y_4 = 12.70$$



$$X_4 = 15.875 (\cos 53.13^\circ) = 9.525$$

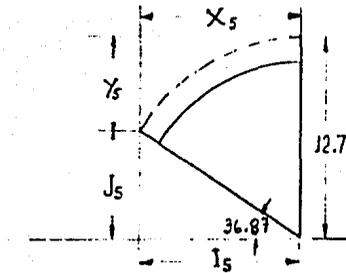
$$Y_4 = 15.875 (\sin 53.13^\circ) = 12.6999$$

$$X_5 = 10.16$$

$$Y_5 = 5.08$$

$$I_5 = 10.16$$

$$J_5 = -7.62$$



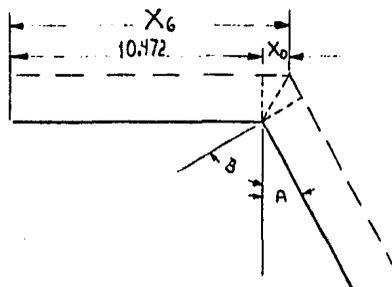
$$X_5 = 12.7 (\text{Sen } 53.13^\circ) = 10.1599$$

$$Y_5 = 12.7 - 12.7 (\text{Cos } 53.13^\circ) = 5.0799$$

$$I_5 = X_5 = 10.1599$$

$$J_5 = 12.7 (\text{Cos } 53.13^\circ) = 7.62$$

$$X_6 = 11.430$$

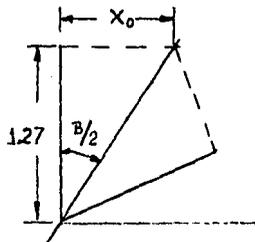


$$X_6 = 10.472 + X_0$$

$$\text{Tang } (A)^{-1} = \frac{2.228}{7.798} = .28571$$

$$A = 15^{\circ}.56'$$

$$B = 89^{\circ}.60' - 15^{\circ}.56' = 74^{\circ}.03'$$



$$X_0 = \text{Tang } \frac{B}{2} (1.27)$$

$$= \text{Tang } 37.02^{\circ} (1.27) = 0.958$$

$$X_6 = 10.472 + .958 = 11.430$$

$$X_7 = 2.54$$

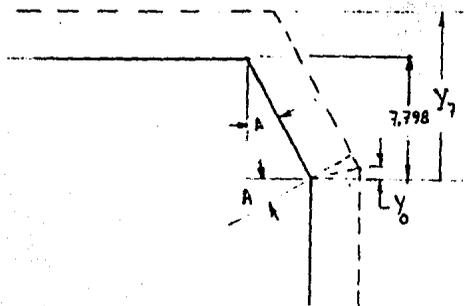
$$X_7 = (2.228 - X_0) + 1.27$$

$$Y_7 = 9.890$$

$$X_7 = (2.228 - .958) + 1.27$$

$$X_7 = 2.54$$

$$\text{Si } A = 15^{\circ}.57'$$



$$Y_7 = 1.27 + (7.798 - Y_0)$$

$$Y_0 = \tan 7.9726^{\circ} (1.27) = .178$$

$$Y_7 = 1.27 + (7.798 - .178)$$

$$Y_7 = 8.890$$

$$Y_8 = 19.05$$

$$Y_8 = .178 + 17.602 + 1.27$$

$$Y_8 = 19.05$$

En este ejemplo se ha puesto especial atención a la localización de los puntos de la trayectoria, que deberá tocar el centro del cortador. Utilizando los ángulos de cada intersección se puede calcular con precisión y sin ningún problema las coordenadas de estos puntos incrementados.

Se ha manejado el concepto de las funciones trigonométricas, pero esto no quiere decir que sea el único medio para calcular las coordenadas. Algunos programadores prefieren utilizar en sus cálculos logaritmos, por este medio también se obtiene las coordenadas de los puntos con exactitud.

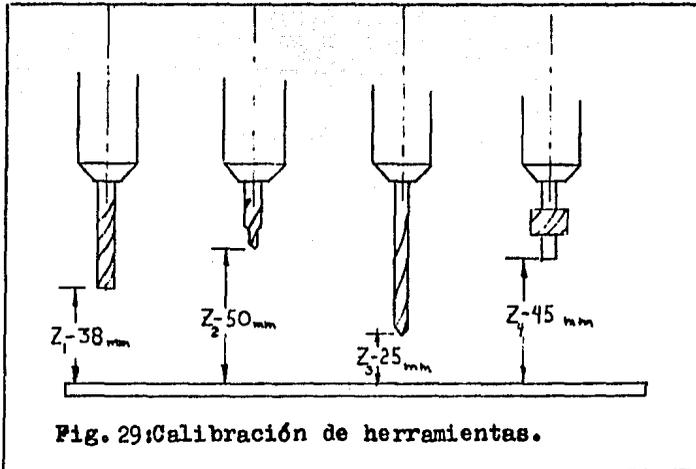
En este aspecto el programador decidirá el método a seguir para efectuar sus cálculos.

Para el barrenado la secuencia es la siguiente: - primeramente sera una broca de centros número cuatro, en segundo término la broca de 10 mm. de diámetro y -

posteriormente el cortador para cajas. El dibujo marca 10 barrenos pasados \varnothing 10 mm. con caja para tornillos "ALLEN", que para su maquinado es necesario contar con tres herramientas con las características anteriores.

Es conveniente utilizar la función de compensación de alturas la cual permite simplificar las operaciones cuando el proceso requiere de varias herramientas donde sus alturas son diferentes entre si. Esto quiere decir que al colocar las herramientas en los portabovillas, las alturas no serán iguales, por lo tanto para utilizar la función de compensación de alturas se tendrá que calibrar previamente las herramientas, todas de acuerdo a un mismo plano de referencia como se muestra en la figura 29, (se agrega también el cortador \varnothing 2.54).

Las dimensiones de las alturas mostradas en la figura 29, son almacenadas en las memorias que tiene asignada para este fin la unidad de control, por ejemplo para la herramienta UNO.



T0101 : La herramienta número 1 de acuerdo -
 al orden del carrusel, es requerida
 con el valor asignado en la memoria
 de compensación de alturas número 1

El siguiente cuadro da los valores de operación -
 de acuerdo a las características de cada herramienta,
 la finalidad es de mantener un orden y una relación -
 con la secuencia del programa principal.

Hta.	Nombre	RPM	Avance	EJE	COMPENSACION DE ALTURAS	
					DIRECCION	DISTANCIA
1	Cortador	225	307.8	Z	-	38 mm.
2	Broca de Centros	950	.05	Z	-	50 mm.
3	Broca 10 mm.	570	.16	Z	-	25.6mm.
4	Cortador p/cajas	350	.18	Z	-	45.2mm.

Los puntos de los centros de los barrenos son dados directamente en la hoja de programación.

Con los datos obtenidos, el manuscrito de la programación está prácticamente terminado, solo resta ordenar la secuencia de las funciones de la máquina, los datos y las funciones son mostrados en las hojas de programación para una máquina SPINDLE WIZARD.

PROG.No. 2		PROGRAMADOR J. MARTÍNEZ R.		
ORGANIZACION		TRABAJO No. 2	FECHA 9-Ago-85	
MAQUINA 58		No. DE INST. 107		
SEC. NO. /	DIRECCIONES	FUNCIONES	ENTER STORE	OBSERVACIONES
1		G 67	S	
2		G 69	S	
3		G 71	S	
4		G 92	S	
5		M 28	S	
6		S 42	S	Giro ↷
7	/	N 58	S	A CAMBIO DE HTA.
8		M 4	S	
9		T 6.0	S	
10		F 12.0	S	
11	/ X 22.27		E	
12	/ Y 3.73		S	
13		T 100	S	
14	Z - .925		S	
15	/	N 69	S	A RUTINA DEL PERFIL
16	Z 3.0		S	
17	/	N 58	S	A CAMBIO DE HTA.
18		M 29	S	
19		S 26	S	
20		M 3	S	Giro ↶
21	/ X 18.0		E	
22	/ Y 7.0		S	
23		T 200	S	
24	/ Z .9		E	



PROG.No. 2		PROGRAMADOR J. MARTINSON R		
ORGANIZACION		TRABAJO No. 2	FECHA 9-AGO-85	
MAQUINA 58		No. DE INST. 107		
SEQ. NO. /	DIRECCIONES	FUNCIONES	ENTER STORE	OBSERVACIONES
25 /		T.25	E	
26		G81	S	
27	Z 0.0		S	
28 /		N92	S	A RUTINA DE BARRENADO
29		G80	S	
30 /		N58	S	A CAMBIO DE HTA
31		M28	S	
32		S99	S	
33		M3	S	
34		F6.0	S	
35 /	X 18.0		E	
36 /	Y 7.0		S	
37		T300	S	
38 /	Z-3.2		E	
39	Z-0.4		E	
40		G83	S	
41	Z0.0		S	
42 /		N92	S	A RUTINA DE BARRENADO
43		G80	S	
44 /		N58	S	A CAMBIO DE HTA
45		S87	S	
46		M3	S	
47 /	X 18.0		E	
48 /	Y 7.0		S	



SEC. NO. /		DIRECCIONES	FUNCIONES	ENTER STORE	OBSERVACIONES
49			T400	S	
50 /		Z -1.3		E	
51 /			T.25	E	
52			G82	S	
53 /			N92	S	A RUTINA DE BARRENADO.
54			G80	S	
55 /			N58	S	A CAMBIO DE HTA.
56			G98	S	
57			M2	S	
58			M11	S	
59			G90	S	
60 /		Z0.0		S	
61 /		X20.0		E	
62 /		Y5.0		S	
63			G91	S	
64			M5	S	
65			M20	S	
66			M21	S	
67			M22	S	
68			NØ	S	
69			M10	S	
70		X-29.575		S	
71		X-6.35		E	
72		Y 6.35		E	



PROG. No. 2		PROGRAMADOR J. MARTÍÑON. R.		
ORGANIZACION		TRABAJO No. 2	FECHA 9-AGO-85	
MAQUINA 58		No. DE INST. 107		
SER. NO. /	DIRECCIONES	FUNCIONES	ENTER STORE	OBSERVACIONES
73 /	Y 6.35		S	
74	X 1.27		E	
75	Y 3.81		E	
76 /	X 6.35		S	
77	X 9.525		E	
78	Y 12.7		S	
79	X 10.16		E	
80	Y 5.08		E	
81 /	X 10.16		E	
82 /	Y-7.62		S	
83	X 11.43		S	
84	X 2.54		E	
85	Y-8.89		S	
86	Y-19.05		S	
87		M 11	S	
88	Z-0.65		S	
89 /		G 4	S	
90		N 69	S	
91		N Ø	S	
92 /	X-10.75		S	
93 /	X-10.75		S	
94 /	X-6.885		E	
95 /	Y 3.08		S	
96 /	X 3.08		E	

CAPITULO VI

VENTAJAS QUE OFRECE EL SISTEMA CNC.

6.1 MAYOR RENDIMIENTO.

Se ha enfatizado la importancia de los parámetros que deben ser considerados en los maquinados para -- cualquier tipo de material, la velocidad del corte, -- RPM, etc., en donde su correcta aplicación se vera re flejada una mejor calidad en la producción.

La diferencia entre la acción de remover material en una pieza, ya sea en una máquina convencional o de control numérico es la rapidez, y para este planteamiento es necesario hacer una comparación entre estos tipos de máquinas, desde el punto de vista reducción de tiempo de maquinado para una misma pieza.

Por ejemplo una máquina convencional llega a obtener de un 20-30% de rendimiento, mientras que la má--

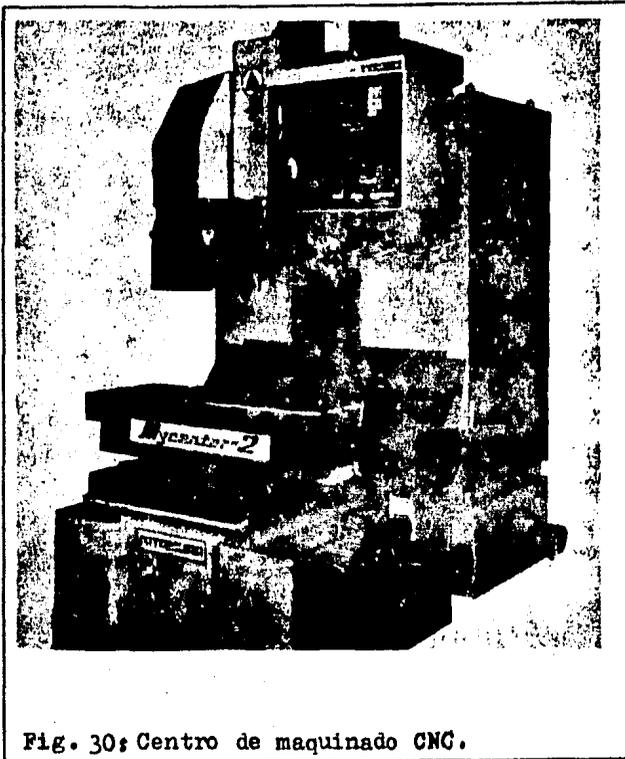
quina de CN., logra un 70% ó más, maquinando una misma pieza. El porque de un rendimiento mayor de una máquina de CN. Esto es debido a que realiza más trabajo en un mismo período de tiempo, debido a que básicamente to dos sus movimientos estan controlados eléctricamente - por tanto, en ningún momento pierde tiempo de posicionamiento ni de trayectoria, es decir trabajan continuamente sin interrupción, hasta completar el ciclo de maquinado. Esto es una importante ventaja para las empresas que usan máquinas de CN., particularmente en el campo 4 de la producción.

6.2 EXCELENTE PRECISION.

La precisión que se obtiene es sin duda alguna, - otra ventaja más para máquinas de CN. por su alto porcentaje de repetibilidad. Dependiendo del fabricante - algunas máquinas llegan a obtener repetibilidades del - orden de 0.005 mm. (0.0002 pulg.) y una resolución de - 0.0025 mm. (0.0001 pulg.).

Para lograr esta precisión se requiere también - que en la construcción de la máquina propiamente dicha, se tenga rigidez y durabilidad. Por otra parte las máquinas con CN. son más consistentes al trabajar con tolerancia cerrada. Otro de los aspectos relevantes de este tipo de máquinas, es que una sola de ellas puede efectuar diferentes tipos de maquinados en una misma estación de trabajo sin perder su precisión.

Por ejemplo en un centro de maquinado tipo vertical como lo muestra la figura 30, se realizan operaciones de barrenado, mandrilado y fresado. Este tipo de máquinas ha tenido una aceptación amplia en la Industria Automotriz debido principalmente a la versatilidad que ofrece al maquinar en una sola estación varias operaciones.



6.3 PRODUCCION DE PARTES SEMEJANTES.

La intercambiabilidad de partes dentro de la industria ha persistido, desde que se implantó la producción en serie, hoy en día la industria moderna sigue reafir-

mando el concepto de intercambiabilidad.

De hecho toda la industria necesita de refacciones para reparar sus máquinas y tenerlas en servicio lo más pronto posible, por tanto la pieza que es cambiada para reemplazar una original gastada o rota, deberá ser la adecuada y además tendrá que cubrir exactamente las mismas funciones como la parte original.

Aquí es donde las máquinas de CN. juegan un papel muy importante dentro del concepto de intercambiabilidad al producir partes muy semejantes con esto, las máquinas de CN. proporcionan y satisfacen a la industria su demanda de refacciones, asegurando la funcionalidad de la pieza reemplazada.

En otro aspecto, cuando se desee un porcentaje alto de piezas que estén dentro de las tolerancias que marque el plano y asegure dimensionamiento, se recomienda la utilización de máquinas controladas numericamente.

El fundamento de la producción de partes semejantes es el siguiente: las instrucciones de alimentación en la máquina de CN. Son las mismas para un lote de piezas que ha de fabricarse del mismo modelo, la repetibilidad que se obtiene es bastante grande en una máquina de CN. lo cual ha hecho posible fabricar una gran cantidad de piezas con tolerancia muy cerradas, que difícilmente se logra por medios convencionales.

Como en toda rama de la Ingeniería no todo es beneplácito, y también se tienen sin sabores y la industria metal mecánica no es la excepción, al trabajar con máquinas de CN.

Una de las pocas desventajas que se tiene en máquinas de CN., con respecto a las convencionales y esto por la aportación del programador. Cuando se tiene la primera experiencia en la manipulación y programación de la máquina, generalmente se incurre en errores por no conocer completamente el funcionamiento de la misma.

Si un programa no está bien planeado, de como y donde - deben posicionarse las herramientas, la máquina no sabe que está mal y seguirá ejecutando las instrucciones que ha recibido.

Es imperante verificar cada paso del programa desde la primera instrucción hasta la última, antes de colocar cualquier pieza ó pulsar un botón en la máquina. - Si se tienen estas precauciones se evitará tener colisiones, que bien puedan decentrar el cabezal o sacar de posición alguna pieza de la máquina.

Considerando que el control numérico es relativamente una nueva forma de automatización, surge la inevitable pregunta: ¿ Como se diferencia de los equipos anteriores de control automático ? . Pues bien, como anteriormente se mencionó, uno de los puntos más notables - tocante al control numérico es la precisión alcanzada, donde los sistemas de control numérico electrónico son generalmente mucho más precisos que las máquinas que en

si controlan; mientras que la precisión de equipos automáticos convencionales esta limitada a la precisión del perfil de una leva o bien al posicionamiento de topes mecánicos.

La popularidad del control numérico no se finca en el hecho de ser diferente y progresista desde el punto de vista ingenieril, sino en su habilidad para fabricar partes mucho más económicas, en comparación con sistemas de control automático, por tanto las máquinas equipadas con sistemas de control numérico son rápidas, precisas, versátiles e igualmente eficientes que otras máquinas.

6.4 JUSTIFICACION DE MAQUINAS CNC.

Observemos previamente que el ciclo de trabajo - real de una máquina es de un 20%, del total de tiempo que se emplea para la fabricación de piezas, es decir la máquina permanece inactiva 80% del tiempo estimado para producir determinada pieza. Esto se debe a un sinnúmero de circunstancias dadas através de todo el proceso y se atribuyen a los siguientes factores, - (se consideran los más significativos).

- 1.- Manejo y posicionamiento de la pieza, herramientas de corte y accesorios.
- 2.- Paros constantes para revisión y verificación de medidas.
- 3.- Paros para el posicionamiento y cambios de herramientas.
- 4.- Fatiga del operador.
- 5.- Supervisión constante por el departamento de Ingeniería.

6.- Colocación de herramientas equivocadas por mala interpretación.

Por otra parte ya se hizo énfasis de que las máquinas de CNC. trabajan del 60% al 70% del tiempo total - empleado en el maquinado de la pieza, por consiguiente se reduce el tiempo donde la máquina permanece inactiva (tiempo muerto). El espacio restante de tiempo, abarca la introducción de datos por cinta perforada a la unidad de control y calibración de herramientas.

Para justificar la rentabilidad de las máquinas CNC la referencia es el hecho de maquinar una misma pieza, y comparemos los resultados obtenidos por un medio convencional y através de un sistema de control numérico. Para este caso la pieza de la figura 27 servira para - ilustrar los porcentajes de tiempo requerido en su mecanizado. La tabla 6.4 muestra el tiempo empleado por cada operación efectuada dentro del proceso de fabricación.

OPERACION	M E T O D O	
	CONVENIONAL	C N C.
Fresado de perfil	90.87 min.	14.54 min.
Barrenado broca de centros.	4.807 min.	.8333 min.
Broca \varnothing 10 mm.	13.84 min	4.166 min.
Cajas P/tornillo ALLEN 10 mm.	13.00 min.	4.6 min.
Comprobación de medidas.	4.00 min.	0.0 min.
Cambios de herramientas.	10.25 min.	1.5 min.
Tiempo acumulado	136.767 min.	25.639 min.
% de ahorro por pieza.	81.2 %	

TABLA COMPARATIVA.

En esta pieza en particular se tiene un ahorro de tiempo de 1.851 hrs. y si consideramos que el lote de producción es de mil piezas, para esta cantidad implica un ahorro de 1852.1 horas de tiempo máquina.

La reducción de tiempo es de un 81.2 %, por pieza maquinada en CNC, esto se debe porque, en el proceso de maquinado el corte se efectúa sin ninguna interrupción, salvo cuando tiene que cambiarse de herramienta

El porcentaje de ahorro dependerá del tipo de máquina que se adquiera, como también la complejidad de las piezas a fabricar.

Cabe señalar que el elevado precio de las máquinas CNC. en muchas ocasiones hace difícil justificar claramente su adquisición, y más aun cuando la base es un método contable tradicional.

Es necesario tener presente que la adquisición de

una máquina de CNC. representa una estrategia de fabricación como una inversión a la contabilidad de costos. Por otro lado las máquinas de CNC ofrecen muchos beneficios indirectos, por ejemplo: la inspección se reduce - debido a una mayor exactitud de maquinado, flexibilidad para programar más lotes de producción (tiempos de producción más cortos), como también una reducción de mano de obra.

CAPITULO VII

SISTEMAS CAD/CAM.

El control numérico probablemente es una de las tecnologías que más ha avanzado en esta última década en la consecuente automatización industrial, en tal grado que Estadístas preveen para el año 2000, estos sistemas alcancen un 40% del total de los equipos productivos en el mundo.

La computadora ha tenido gran aceptación en la in-dustria, debido, principalmente a su facilidad para manejar con precisión gran cantidad de números que requiere una máquina controlada numéricamente; siendo así, - que la secuencia usual de las operaciones de diseño y - manufactura, han experimentado considerables cambios, - desde el advenimiento de la computación.

Las primeras computadoras fueron usadas como un in-termitente auxiliar en el manejo de cálculos complejos, y posteriormente ha permitido relevar al Ingeniero ó Di-bujante, del trabajo tedioso de cálculo que representa todo proyecto nuevo.

En la figura 31 se muestra como se da la comunicación hombre máquina, con el sistema de diseño computarizado.



El punto de partida es la idea clara de la pieza que se desea diseñar. El dibujo inicial es generado directamente en la pantalla de rayos catódicos, a —

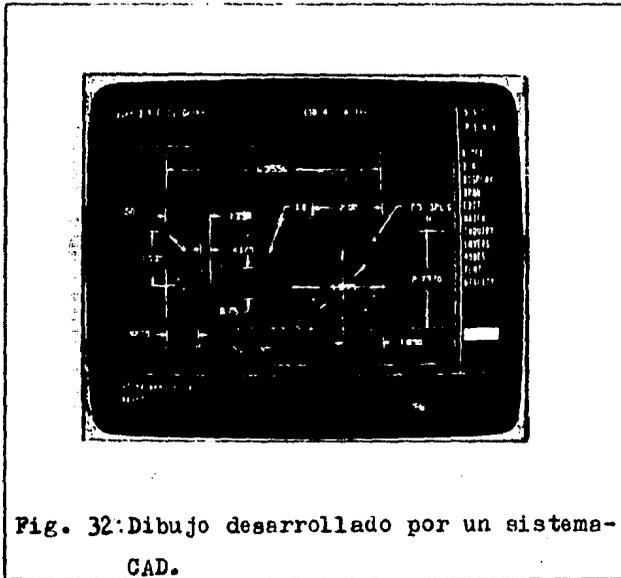
través de las señales que gobierna el computador, es te tiene provistos tres ejes dimensionados los cuales pueden rotar, amplificar, reducir ó borrar parte de la imagen mostrada.

La mayoría de los computadores utilizados en este sistema, estan diseñados para efectuar todos los cálculos que requiere el trazado de una pieza, el desarrollo de la misma puede observarse con claridad y detalladamente en la pantalla, y como es estructurado el dibujo: paso a paso. Otro aspecto importante del sistema es el de contar con una variedad de alternativas, que permiten al operador tener acceso a la información, para modificar parte de esta si se considera necesario, y de esta forma hasta satisfacer la idea inicial.

Cuando se tiene la certeza de haber cubierto los requisitos de diseño puede instruirse al computador, para que a través del graficador dibuje la figura - que se observa en la pantalla. Este sistema es cono-

cido como Diseño Ayudado por Computador (CAD).

El sistema CAD puede ser definido como un medio de ayuda al Diseñador en la preparación y análisis - de modelos matemáticos que finalmente se convertiran en dibujos lineales, como se puede apreciar en la figura 32.



Más empresas están introduciendo el sistema CAD fundamentadas en las ventajas que ofrece, por ejemplo:

- a).- Reducción de tiempo en la elaboración de dibujos.
- b).- Releva al Diseñador de sus rutinas de trabajo, y permitirle más tiempo para desarrollar su creatividad.
- c).- Simplificar el trabajo que implica la modificación de un dibujo, así como su actualización.
- d).- Reducción del tiempo empleado en dar solución a variantes de un dibujo.

Quando ya se tiene concluido la preparaci3n del dibujo de la pieza, el dise1ador utiliza parte de la pantalla para generar un c3rculo, que representara - el di1metro del cortador a utilizarse en un punto de inicio, y posteriormente proyectar la trayectoria - que ha de seguir el cortador en el proceso de maquinado de la pieza. La figura 33, se muestra lo des-- crito anteriormente.

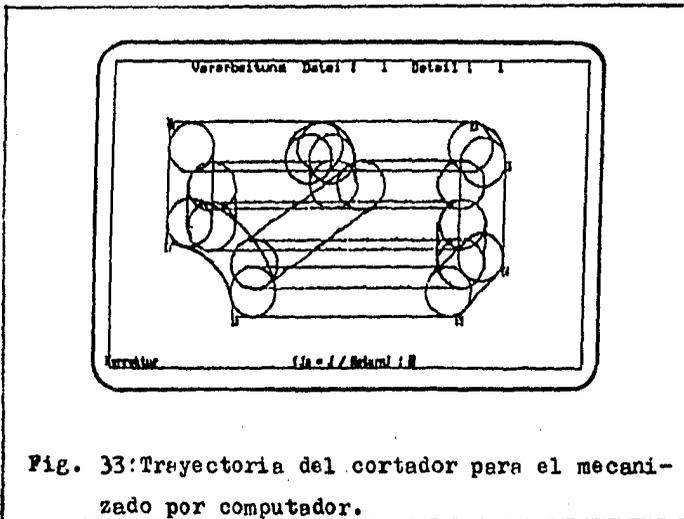


Fig. 33: Trayectoria del cortador para el mecanizado por computador.

El dibujo muestra la extensi3n y capacidad del sistema as3 como la relaci3n entre el dise1o y la forma de como sera mecanizada la pieza en cuesti3n.

El sistema cuenta con un archivo de datos, donde se tiene concentrada toda la información, acerca de trayectorias codificadas, características de las herramientas y materiales, etc. El computador automáticamente extrae los datos del archivo correctamente de la velocidad de corte y avance para cada herramienta que se utilice en el proceso de maquinado.

Teniendo como antecedentes estos datos, el computador prepara un programa de mecanizado para una máquina CNC, en un lenguaje APT (Programación Automática de Herramientas), especialmente desarrollado para efectuar operaciones de mecanizado por computador.

Posteriormente el programa es provisto a la unidad de control de máquina CNC, através de un cableado directo. El paso final sera efectuar el mecanizado de la pieza. Este proceso es conocido como Mecanizado con Ayuda de Computador. (CAM). Es común encontrar integrado los dos sistemas CAD y CAM, constituyendo lo que generalmente se conoce como CAD/CAM.

Por lo que respecta a la información que se tie-

ne en el computador, puede ser almacenada en un medio permanente (cinta perforada, cinta magnetica, etc.), donde la codificación y perforado es igual al de los sistemas CNC. La velocidad de perforado lo controla el computador, incrementandolo sin error hasta donde lo permita la resistencia del material de la cinta. Cabe señalar que el computador en ningún momento es parte de la máquina CNC.

¿ CUANDO ES CONVENIENTE UTILIZAR LOS SISTEMAS CAD/CAM?.

Depende de varios factores la decisión de utilizar los sistemas CAD/CAM. La mayoría de las empresas que manejan estos sistemas experimentaron con una fase piloto y de acuerdo a los resultados obtenidos ajustaron o ampliaron el sistema.

Los siguientes parámetros dan una idea, de cuando es necesario introducir un sistema CAD/CAM.

1.- La complejidad de las partes que seran diseñadas,

si tres, cuatro o cinco ejes seran requeridos si
multáneamente.

2.- La variedad de partes que seran diseñadas y meca-
nizadas.

3.- Si las piezas son sencillas y sin embargo las -
cintas son demasiado largas, el computador prepa-
ra la cinta sin error.

4.- El número de máquinas CNC. y su diversidad den-
tro de la empresa.

5.- El tipo de sistema que se compatible al procesar
la información con los programas de dirección de
la producción.

CONCLUSIONES

De la observación y del análisis desarrollado sobre el proceso del mecanizado de piezas, utilizando máquinas controladas numéricamente se desprenden las siguientes conclusiones.

- 1.- El sistema de control numérico en máquinas-herramientas es muy flexible y de fácil integración a cualquier tipo de empresa.
- 2.- La clave para fabricar piezas de gran exactitud así como lograr una optimización del equipo productivo es reduciendo al mínimo la intervención humana, en consecuencia se recomienda la utilización de equipos de control numérico en el proceso productivo.
- 3.- La cantidad de piezas especiales de importación puede reducirse al fabricarse en el país utilizando este sistema. Beneficiando a México en la balanza comercial.

- 4.- El sistema permite planificar más lotes de producción, puesto que los cambios de modelos de las piezas, únicamente requiere del cambio de cinta perforada.
- 5.- Los centros de mecanizado en línea han demostrado el concepto de automatización flexible, dando resultados satisfactorios, principalmente en la Industria Automotriz.

Velocidades de corte y avances para herramientas de carburo

Ejemplos de la práctica: Se emplearon el carburo de tantalio para los materiales señalados con asterisco (*) en la columna 2. El carburo de tungsteno fue usado para los demás ejemplos. Estas velocidades y avances se dan únicamente como guía general. La rigidez de la máquina y del soporte de la herramienta, los cortes interrumpidos y otros factores motivan amplias variaciones en la práctica.

Operación mecánica	Clase de material	Velocidad de corte m/min	Profundidad de corte mm	Velocidad de avance		
				Por revolución	Metros por minuto	Milímetros por diente
Torneado	Hierro fundido	76	6.3	1.8	...	...
	Hierro fundido	64	9.5	1.6	...	...
	Hierro fundido (1)	79	4.8	0.4	...	...
	Hierro fundido (2)	46	6.3-19	1.3	...	...
	Semiacero (3)	88	3.2	0.3	...	...
	Semiacero	85	...	...	...	...
	* Semiacero	91	...	0.7	...	...
	* Semiacero	68	4	0.4	...	...
	* Hierro fundido en coquilla	19	15.9	...	...	...
	* Acero S.A.E. 52100	56	3.2-7.9	0.5	...	...
	* Acero de herramientas 1.10%	43	12.7	0.5	...	...
	Acero al silicio	152	...	...	...	...
	Acero al carbono 0.90%	152	...	...	...	...
	Bronce	122	...	...	...	...
	Bronce	129	4.8	0.5	...	...
	Bronce	167	3.2	0.6	...	...
	Latón fundido (4)	143	2.4	0.8	...	...
Aluminio fundido	300	...	2.8	...	...
Aleación de aluminio	174	3.2	0.8	...	...
Fresado plano	Hierro fundido	69	1.6	...	0.63	0.4
	Hierro fundido	84	1.6	...	0.63	0.35
	Hierro fundido	62	3.2	...	0.37	0.3
	Hierro fundido	85	2.4	...	0.83	...
	Hierro fundido	87	3.2	...	0.66	...
	Hierro fundido	93	3.2	...	0.53	0.3
	Hierro fundido	112	3.2	...	1.34	0.35
	Hierro fundido (5)	69	3.2	...	0.28	...
	Hierro fundido (5)	72	3.2	...	0.24	...
	Hierro fundido (5)	72	3.2	...	0.58	...
	Hierro fundido	69	...	...	0.81	...
	* Acero S.A.E. 1020	114	1.6	...	1.07	...
Aluminio fundido	386	3.2	...	2.04	0.3	
Fresado lateral	Hierro fundido	80	3.2	...	0.97	0.2
	Hierro fundido	65	3.2	...	0.97	0.3
	Hierro fundido	83	...	...	0.97	0.2
Mandrinado	Hierro fundido	76	...	...	...	...
	Latón	106	...	...	...	...
	Aluminio	450	...	...	...	...

(1) Corte interrumpido. (2) Es posible una velocidad más alta para corte más ligero. (3) De 9 a 17 horas, sin afilar la herramienta. (4) Seis días, sin afilar la herramienta. (5) Estas fresas se usaron de 16 a 19 horas sin ser afiladas.

Velocidades de corte y de avance para herramientas de torne (1)

Acero — Herramienta normal de 7/8"					Hierro fundido — Herramienta normal de 7/8"				
Profundidad de corte mm	Avance mm	Velocidad, en metros por minuto, para una herramienta que deba durar 1 1/2 horas antes de ser reafilada			Profundidad de corte mm	Avance mm	Velocidad, en metros por minuto, para una herramienta que deba durar 1 1/2 horas antes de ser reafilada		
		Acero suave	Acero medio	Acero duro			Hierro fundido blando	Hierro fundido medio	Hierro fundido duro
2.4	0.4	145.08	72.54	32.92	2.4	1.6	37.19	18.59	10.85
	0.8	98.74	49.38	22.50		3.2	26.23	13.16	7.67
	1.6	67.66	33.83	15.34		4.8	21.34	10.69	6.22
	2.4	53.95	26.90	12.24		0.8	47.55	23.77	13.82
3.2	0.4	128.00	64.01	29.10	3.2	1.6	34.14	17.07	9.96
	0.8	87.17	43.59	19.81		3.2	24.08	12.06	7.06
	1.6	59.44	29.65	13.51		4.8	19.51	9.81	5.69
	3.2	40.54	20.20	9.20		0.8	41.76	20.72	12.22
4.8	0.4	107.28	53.65	24.38	4.8	1.6	30.18	15.11	8.84
	0.8	73.15	36.58	16.60		3.2	21.34	10.67	6.22
	1.6	49.99	24.99	11.35		4.8	17.35	8.64	5.03
	3.2	34.14	17.07	7.75		0.8	38.41	19.20	11.15
6.3	0.4	95.07	47.55	21.60	6.3	1.6	27.70	13.77	8.05
	0.8	64.92	32.61	14.73		3.2	19.51	9.81	5.66
	1.6	44.20	21.96	10.06		4.8	15.85	7.93	4.62
	2.4	35.36	17.68	8.03		0.8	33.83	16.76	9.83
9.5	0.4	89.95	40.23	18.29	9.5	1.6	24.38	12.19	7.11
	0.8	54.86	27.43	12.50		3.2	17.07	8.28	5.00
	1.6	37.19	18.59	8.43		0.8	31.70	15.85	9.25
12.7	0.4	72.24	35.97	16.35	12.7	1.6	22.86	11.43	6.71
	0.8	49.38	24.68	11.15		3.2	13.15	6.55	3.81
Acero — Herramienta normal de 5/8"					Hierro fundido — Herramienta normal de 5/8"				
Profundidad de corte mm	Avance mm	Acero suave	Acero medio	Acero duro	Profundidad de corte mm	Avance mm	Hierro fundido blando	Hierro fundido medio	Hierro fundido duro
1.6	0.4	167.03	83.50	38.10	2.4	0.8	48.77	24.38	14.17
	0.8	109.10	54.56	24.70		1.6	33.53	16.76	9.85
	1.6	71.63	35.66	16.15		3.2	22.86	11.43	6.71
2.4	0.4	142.03	71.32	32.31	3.2	0.8	45.11	22.55	13.18
	0.8	93.26	43.63	21.15		1.6	31.70	15.85	9.75
	1.6	60.96	30.48	13.84		3.2	21.34	10.57	6.17
	2.4	47.55	23.77	10.80		0.4	55.78	28.04	20.72
3.2	0.4	126.80	63.70	28.95	4.8	0.8	41.15	20.50	11.99
	0.8	82.90	41.45	18.89		1.6	28.65	14.33	8.33
	1.6	54.56	27.13	12.34		3.2	19.51	9.81	5.69
	2.4	42.67	21.32	9.63		0.4	52.12	26.21	15.24
4.8	0.4	110.33	55.17	24.99	6.3	0.8	38.41	19.20	11.20
	0.8	71.93	35.97	16.45		1.6	26.82	13.20	7.77
	1.6	47.24	23.47	10.72		2.4	21.54	10.72	6.25
6.3	0.4	99.96	49.99	22.65	9.5	0.4	47.55	23.77	13.82
	0.8	65.53	32.61	14.83		0.8	35.36	17.68	10.26
9.5	0.4	87.16	43.59	19.81	1.6	24.38	12.12	7.08	

(1) Velocidades de corte para herramientas de un buen acero rápido, adecuadamente afilado y templado.

Velocidades de corte y avances en los tornos revólver

Material	Velocidades de corte (m por min.) para el desbaste		Avances por revolución (mm por minuto) para el desbaste	
	Acero rápido con cobalto (18-4-1)	Carburo	Máquina con carro de cola de milano macho	Máquina con carro de cola de milano hembra
Hierro fundido	15 a 18	54.8 a 60.9	0.407 a 0.635	0.813 a 1.52
Semiacero (duro)	12 a 15	42.6 a 48.7	0.407 a 0.635	0.813 a 1.52
Hierro maleable *	24 a 30	76 a 91.4	0.407 a 0.635	0.813 a 1.52
Acero moldeado (0.35 % de carbono)	13.7 a 18	45.7 a 54.8	0.254 a 0.508	0.457 a 0.762
Latón (85-5-5)	60.9 a 91	182.8 a 304.8	Máximo	Máximo
Bronce (80-10-10)	33.5 a 45.7	182.8	0.407 a 0.762	0.407 a 1.27
Aluminio **	121.9	243.8	***	***
Acero SAE 1020 (avance de desbaste) *	18 a 24	91.4	0.508 a 0.762	0.610 a 1.12
Acero SAE 1020 (avance de acabado) *	30.4 a 36.5	137	0.178 a 0.508	0.254 a 0.762
Acero SAE 1035 *	22.8 a 27.4	76	0.508 a 0.762	0.610 a 1.12
Acero SAE 1050 *	18 a 24	60.9	0.305 a 0.508	0.635 a 2.29
Acero SAE 1118 (antes X-1315) *	58 a 36.5	121 a 152.4	0.254 a 0.381	0.254 a 0.381
Acero SAE 2317 (antes 2315) *	27.4 a 33.5	91.4	0.305 a 0.508	0.635 a 2.29
Acero SAE 3150 *	15 a 18	60.9	0.305 a 0.508	0.635 a 2.29
Acero SAE 4150 *	18 a 24	60.9	0.305 a 0.508	0.635 a 2.26

* El asterisco indica que ha de usarse un aceite lubricante soluble.
** El asterisco doble significa que se usa un lubricante a base de petróleo.
*** Avances finos para obtener buenos acabados.

Nota: Estas velocidades y avances (obtenidos de la «Warner & Swazey Co.») se dan sólo como guía y están sujetos a variación, según los materiales, el tipo de máquina y su estado, el tipo de cuchilla y el método de montura, fluido usado, si se usa, y modo de sujetar la pieza.

Velocidades de corte y revoluciones correspondientes por minuto para los tamaños de brocas, en números y en letras

Tamaño americano núm.	Velocidad de corte, en metros por minuto										
	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33.5	40
	Revoluciones por minuto para tamaños en números										
1	503	670	838	1005	1173	1340	1508	1675	1843	2179	2513
2	518	691	864	1037	1210	1382	1555	1728	1901	2247	2593
4	548	731	914	1097	1280	1462	1645	1828	2010	2376	2741
6	562	749	936	1123	1310	1498	1685	1872	2060	2434	2809
8	576	768	960	1151	1343	1535	1727	1919	2111	2495	2879
10	592	790	987	1184	1382	1579	1777	1974	2171	2566	2961
12	606	808	1010	1213	1415	1617	1819	2021	2223	2627	3032
14	630	840	1050	1259	1469	1679	1889	2099	2309	2728	3148
16	647	863	1079	1295	1511	1726	1942	2158	2374	2806	3237
18	678	904	1130	1356	1582	1808	2034	2260	2479	2930	3380
20	712	949	1186	1423	1650	1898	2135	2372	2610	3084	3559
22	730	973	1217	1460	1703	1946	2190	2433	2776	3164	3649
24	754	1005	1257	1508	1759	2010	2262	2513	2764	3267	3769
26	779	1039	1269	1559	1819	2078	2338	2598	2858	3378	3898
28	816	1088	1360	1631	1903	2175	2447	2719	2990	3534	4078
30	892	1189	1487	1784	2081	2378	2676	2973	3270	3864	4459
32	988	1317	1647	1976	2305	2634	2964	3293	3622	4281	4939
34	1032	1376	1721	2065	2409	2753	3097	3442	3785	4474	5162
36	1076	1435	1794	2152	2511	2870	3228	3587	3945	4663	5380
38	1129	1505	1882	2258	2634	3010	3387	3763	4140	4892	5645
40	1169	1559	1949	2339	2729	3118	3508	3898	4287	5067	5846
42	1226	1634	2043	2451	2860	3268	3677	4085	4494	5311	6128
44	1333	1777	2221	2665	3109	3554	3999	4442	4886	5774	6662
46	1415	1886	2358	2830	3301	3773	4244	4716	5187	6130	7074
48	1508	2010	2513	3016	3518	4021	4523	5026	5528	6534	7539
50	1637	2183	2729	3274	3850	4366	4911	5457	6002	7094	8185
52	1805	2406	3008	3609	4211	4812	5414	6015	6619	7820	9023
54	2084	2778	3473	4167	4862	5536	6251	6945	7639	9028	10417

Tamaño	Revoluciones por minuto para tamaños en letras										
A	491	654	818	982	1145	1309	1472	1636	1796	2122	2448
B	482	642	803	963	1124	1284	1445	1605	1765	2086	2407
C	473	631	789	947	1105	1262	1420	1578	1736	2052	2368
D	467	622	778	934	1089	1245	1400	1556	1708	2018	2329
E	458	611	764	917	1070	1222	1375	1528	1681	1968	2292
F	446	594	743	892	1040	1189	1337	1486	1635	1932	2229
G	440	585	732	878	1024	1170	1317	1463	1610	1903	2195
H	430	574	718	862	1005	1149	1292	1436	1580	1867	2154
I	421	562	702	842	983	1123	1264	1404	1545	1826	2106
J	414	552	690	827	965	1103	1241	1379	1517	1793	2068
K	408	544	680	815	951	1087	1223	1359	1495	1767	2039
L	395	527	659	790	922	1054	1185	1317	1449	1712	1976
M	389	518	648	777	907	1036	1166	1295	1424	1683	1942
N	380	506	633	759	886	1012	1139	1265	1391	1644	1897
O	363	484	605	725	846	967	1088	1209	1330	1571	1813
P	355	473	592	710	828	946	1065	1183	1301	1537	1774
Q	345	460	575	690	805	920	1035	1150	1266	1496	1726
R	338	451	564	676	789	902	1014	1127	1239	1465	1690
S	329	439	549	659	769	878	988	1098	1207	1427	1646
T	320	426	533	640	746	853	959	1066	1173	1387	1600
U	311	415	519	623	727	830	934	1038	1142	1349	1557
V	304	405	507	608	709	810	912	1013	1114	1317	1520
W	297	396	495	594	693	792	891	989	1088	1286	1484
X	289	385	481	576	672	769	865	962	1058	1251	1443
Y	284	378	473	567	662	756	851	945	1040	1229	1418
Z	277	370	462	555	647	740	832	925	1017	1202	1387

Velocidades para el taladrado con brocas de acero rápido y al carbono (1)

Brocas de acero rápido								
Diámetro de la broca, en pulg y mm	Bronce y latón, 91 m	Fun-dición reco-cida, 45 m	Fun-dición dura, 21 m	Acero suave, 30 m	Acero forjado, 18 m	Hierro ma-leable, 27 m	Acero de her-ra-mientas, 15 m	Acero mol-deado, 12 m
	Revoluciones por minuto							
1/16 (1.5)	....	9170	4278	6111	3660	....	3056	2440
1/8 (3.175)	9170	4584	2139	3056	1830	2745	1528	1220
3/16 (5.00)	6112	3056	1426	2037	1210	1830	1019	807
1/4 (6.00)	4585	2292	1070	1528	915	1375	764	610
5/16 (8.00)	3660	1833	856	1222	732	1138	611	490
3/8 (9.50)	3056	1528	713	1019	610	915	510	407
7/16 (11.00)	2614	1310	611	873	522	784	437	348
1/2 (12.50)	2287	1146	535	764	458	688	382	305
5/8 (16.00)	1830	917	428	611	366	569	306	245
3/4 (19.00)	1525	764	357	509	305	458	255	203
7/8 (22.00)	1307	655	306	436	261	392	218	174
1 (25.00)	1143	573	267	382	229	349	191	153
1 1/4 (32.00)	915	458	214	306	183	275	153	122
1 1/2 (38.00)	762	382	178	255	153	212	127	102
1 3/4 (44.50)	654	327	153	218	131	196	109	87
2 (50.00)	571	287	134	191	115	172	95	77
Brocas de acero al carbono								
Diámetro de la broca, en pulg y mm	Bronce y latón, 91 m	Fun-dición reco-cida, 45 m	Fun-dición dura, 21 m	Acero suave, 30 m	Acero forjado, 18 m	Hierro ma-leable, 27 m	Acero de her-ra-mientas, 15 m	Acero mol-deado, 12 m
	Revoluciones por minuto							
1/16 (1.5)	9170	4278	1833	1833	1528	2139	1528	1220
1/8 (3.175)	4585	2139	917	917	764	1069	764	610
3/16 (5.00)	3056	1426	611	611	510	713	510	407
1/4 (6.00)	2287	1070	458	458	382	535	382	305
5/16 (8.00)	1830	856	367	367	306	428	306	245
3/8 (9.50)	1525	713	306	306	255	357	255	203
7/16 (11.00)	1307	611	262	262	218	306	218	174
1/2 (12.50)	1143	535	229	229	191	268	191	153
5/8 (16.00)	915	428	183	183	153	214	153	122
3/4 (19.00)	762	357	153	153	127	178	127	102
7/8 (22.00)	654	306	131	131	109	153	109	87
1 (25.00)	571	267	115	115	95	134	95	77
1 1/4 (32.00)	458	214	92	92	76	107	76	61
1 1/2 (38.00)	381	178	76	76	64	89	64	51
1 3/4 (44.50)	327	153	65	65	54	76	54	44
2 (50.00)	286	134	57	57	48	67	48	39

(1) Basadas en las recomendaciones de la Cleveland Twist Drill Co

Presiones aproximadas, en kilogramos, requeridas para el avance de las brocas

Diámetro de la broca. en pulg y mm	Avance por revolución, en milímetros						
	0.10	0.15	0.20	0.25	0.3	0.35	0.4
	Presión de avance para hierro fundido						
$\frac{1}{16}$ (1.6)	34	56	68	91	106	125	147
$\frac{1}{8}$ (3.2)	45	68	91	113	136	158	181
$\frac{1}{4}$ (6.5)	61	91	125	142	181	208	237
$\frac{3}{8}$ (9.5)	79	113	147	186	227	260	295
$\frac{1}{2}$ (12.5)	91	136	181	226	267	310	354
$\frac{5}{8}$ (16.0)	113	158	215	263	317	367	418
$\frac{3}{4}$ (19.0)	125	181	245	305	363	410	476
$\frac{7}{8}$ (22.0)	136	204	272	340	408	468	544
I (25.0)	158	226	305	374	453	520	619
Diámetro	Presión para semiaceros al 30%						
$\frac{1}{16}$ (1.6)	34	50	68	...	...	...	...
$\frac{1}{8}$ (3.2)	45	68	95	120	140	...	...
$\frac{1}{4}$ (6.5)	72	106	142	177	210	242	276
$\frac{3}{8}$ (9.5)	95	140	186	228	274	317	363
$\frac{1}{2}$ (12.5)	120	170	226	283	335	390	442
$\frac{5}{8}$ (16.0)	142	204	272	329	396	464	510
$\frac{3}{4}$ (19.0)	158	237	305	385	453	532	602
$\frac{7}{8}$ (22.0)	170	261	340	419	508	589	660
I (25.0)	195	285	376	467	550	642	730
Diámetro	Acero al carbono 0.2% S.A.E. 1020 - Escleroscopio 28						
$\frac{1}{16}$ (1.6)	27	41	50	...	...	...	...
$\frac{1}{8}$ (3.2)	50	68	86	102	118	...	...
$\frac{1}{4}$ (6.5)	91	125	158	188	217	249	283
$\frac{3}{8}$ (9.5)	136	181	227	272	318	363	408
$\frac{1}{2}$ (12.5)	177	238	295	352	415	476	530
$\frac{5}{8}$ (16.0)	215	295	363	442	515	589	660
$\frac{3}{4}$ (19.0)	261	351	435	521	617	715	794
$\frac{7}{8}$ (22.0)	305	408	510	617	715	816	...
I (25.0)	345	464	560	702	816	...	...
Diámetro	Acero al cromo-níquel. S.A.E. 3140 - Escleroscopio 45						
$\frac{1}{16}$ (1.6)	45	56	73	86	...	...	...
$\frac{1}{8}$ (3.2)	68	91	113	131	147	...	...
$\frac{1}{4}$ (6.5)	136	170	204	260	272	313	345
$\frac{3}{8}$ (9.5)	193	249	299	351	404	454	510
$\frac{1}{2}$ (12.5)	249	315	390	453	530	600	658
$\frac{5}{8}$ (16.0)	297	397	476	565	640	732	816
$\frac{3}{4}$ (19.0)	363	465	566	660	771	...	...
$\frac{7}{8}$ (22.0)	420	509	660	771	...	...	...
I (25.0)	476	598	725	...	...	...	...

Debe introducirse un factor de seguridad de 1.5 para el aumento de presión cuando las brocas se embotan; las presiones dadas se refieren a brocas afiladas con puntas normales.

Par motor, empuje y potencia en caballos de vapor requeridos para el taladrado

Material y tratamiento térmico	Dureza del material			Diámetro de la broca, en pulg.	Avance, en milímetros por revolución	Velocidad de la broca, r.p.m.	Par motor, metros-kilogramos	Empuje, en kilogramos	C.V. en la punta de la broca
	Brinell núm.	Rockwell Escala B	Escleroscopio						
Hierro fundido común, sin tratamiento térmico	143	76	30	1/2	0.23	446	0.9	225	0.51
				5/8	0.28	364	1.4	281	0.70
				3/4	0.30	302	2.2	315	0.90
				1	0.36	230	3.9	454	1.22
				1 1/4	0.39	179	6.0	580	1.49
				1 1/2	0.39	153	8.8	690	1.85
Acero S.A.E. 1020, sin tratamiento térmico	137	84	29	1/2	0.23	442	1.6	281	0.97
				5/8	0.28	368	2.7	332	1.34
				3/4	0.30	298	4.2	415	1.67
				1	0.33	228	7.5	635	2.35
				1 1/4	0.39	176	12.0	861	2.96
				1 1/2	0.39	150	16.8	975	3.46
Acero S.A.E. 1045, normalizado a 880° C, recocido a 800° C	159	82	28	1/2	0.23	445	1.5	287	0.94
				5/8	0.28	368	2.7	345	1.38
				3/4	0.30	298	4.1	435	1.66
				1	0.33	228	7.5	680	2.45
				1 1/4	0.39	176	12.9	907	3.13
				1 1/2	0.39	150	17.5	1043	3.77
Acero S.A.E. 1095 (acero de herramientas, recocido)	154	85	25	1/2	0.23	445	2.1	385	1.31
				5/8	0.28	363	3.4	481	1.72
				3/4	0.30	298	5.2	920	2.14
				1	0.33	225	10.2	1170	3.19
				1 1/4	0.39	176	15.9	1496	3.86
				1 1/2	0.39	150	23.0	1814	4.78
Acero S.A.E. 2320, recocido a 880° C	163	85.5	25	1/2	0.23	446	1.6	280	0.91
				5/8	0.28	368	2.6	331	1.32
				3/4	0.30	298	3.9	467	1.58
				1	0.33	228	7.1	725	2.23
				1 1/4	0.39	176	11.9	907	2.90
				1 1/2	0.39	151	16.3	1133	3.54
Acero S.A.E. 3135, normalizado a 855° C, recocido a 820° C	192	88.5	29	1/2	0.23	446	1.4	295	0.89
				5/8	0.28	371	2.4	367	1.25
				3/4	0.30	298	3.7	544	1.50
				1	0.33	228	7.0	771	2.21
				1 1/4	0.39	176	12.2	952	2.96
				1 1/2	0.39	151	16.1	1179	3.38
Acero S.A.E. 3250, normalizado a 990° C, recocido a 800° C	207	92.5	30	1/2	0.23	445	1.7	331	1.06
				5/8	0.28	369	2.85	395	1.45
				3/4	0.30	298	4.4	635	1.82
				1	0.33	227	8.3	952	2.57
				1 1/4	0.39	179	15.0	1360	3.76
				1 1/2	0.39	150	19.8	1451	4.13
Acero S.A.E. 6150, normalizado a 900° C, recocido a 845° C	187	86.5	29	1/2	0.23	444	2.0	326	1.19
				5/8	0.28	368	3.1	381	1.57
				3/4	0.30	299	4.7	589	1.97
				1	0.33	228	8.6	850	2.72
				1 1/4	0.39	175	16.3	1088	3.71
				1 1/2	0.39	149	19.8	1360	4.10

Datos de la memoria de O. W. Boston y C. J. Oxford, presentada a la Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos. Al realizar estos ensayos, se usaron brocas afiladas y un refrigerante consistente en una parte de aceite soluble y diecisiete partes de agua.

Velocidades y avances para fresar, taladrar y tornear (1)

Material que se ha de trabajar. Para materiales marcados **, úsese un compuesto refrigerante. Para los marcados ***, úsese aceite de manteca o un refrigerante similar.	Velocidades, en metros por minuto, en el diámetro mayor															
	Fresado						Taladrado		Tornear							
	Fresa de acero al carbono		Fresa de acero rápido		Estelita núm. 3		Broca de acero al carbono	Broca de acero rápido	Herramienta de acero al carbono		Herramienta de acero rápido		Herramientas de estelita			
	Desbaste	Fino	Desbaste	Fino	Desbaste	Fino			Desbaste	Fino	Desbaste	Fino	Estelita núm.	Desbaste	Fino	
Hierro fundido	Maleable	18	23	27	30	41	52	15	21	27	30	40	45	2	61	73
	Fundición de máquinas	12	15	18	21	27	33	10	15	18	23	27	33	2	41	48
	Fundición semidura	6	7.5	9	12	13	16	5	7.5	9	10	13	15	3	21	26
Acero fundido **	Fundición dura	3	3.5	4.5	6	6.5	8	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	13	3	10	13
	.....	9	10	13	16	20	24	7.5	10	13	16	20	24	2	30	36
Acero hasta 0.3% C	Suave **	18	23	27	33	47	52	15	21	27	33	40	48	1	61	73
	Mediano **	12	15	18	21	27	30	10	15	18	21	27	30	1	41	48
Acero de herramientas, bien recocido ***	Algo duro **	7.5	10	12	15	16	24	6	9	10	13	15	20	1	24	29
	.....	7.5	10	12	15	16	24	6	9	10	13	15	20	2	24	29
Acero al Cr-Ni, recocido ***	.....	7.5	10	12	15	16	24	6	9	10	13	15	20	2	24	29
Latón amarillo	.....	23	29	33	45	52	61	18	27	33	45	48	67	3	76	90
Bronce	.....	12	15	18	21	27	30	10	15	18	21	27	30	2	41	48
Aluminio	.....	140	165	210	270	300	360	100	165	210	270	300	390	3	450	540
Avances	El avance para el fresado de desbaste debe ser el máximo que la máquina, el trabajo, los accesorios y la herramienta puedan aguantar; el avance para el desbaste se hace generalmente demasiado lento. Los avances para acabados con fresas espirales oscilan alrededor de 0.15 mm por diente y revolución; con fresas de refrentar, alrededor de 0.3 mm por diente y revolución. Para taladrar, los avances por revolución son de 0.05 mm para brocas de 1/8" de diámetro; para 1/4", 0.15 mm; para 1/2", 0.2 mm; para 3/4", 0.3 mm. Los avances para el torneado de desbaste deben ser los máximos que la máquina y el trabajo puedan resistir. Los avances para acabados dependen de la calidad requerida y del tipo de material y herramienta.															

(1) Estas velocidades y avances fueron recopilados por la «Kempamith Mfg. Co.» como representativos de una práctica moderna y conservadora. Estos datos se dan únicamente como guía general, y cuando todas las condiciones son favorables, pueden a menudo aumentarse considerablemente; o bien, en el caso de materiales duros, deben algunas veces ser menores que los dados. Las velocidades para herramientas de forma sencilla, que son fáciles de afilar y reponer, tal como las herramientas de torno, etc., deben ser más altas que las correspondientes herramientas, tales como fresas, las cuales son más difíciles de afilar y deben durar más tiempo entre dos afilados, para obtener mayor economía. Las velocidades se reducirán para herramientas empleadas en máquinas automáticas, ya que estas herramientas requieren, por lo general, más tiempo para ser colocadas en su posición de trabajo.

Velocidades de corte para herramientas al carburo de tungsteno rigidamente montadas

Material	Profundidad de corte, en milímetros						
	0.8	1.6	2.4	3.2	4.0	4.8	6.3
	Velocidad de corte, en metros por minuto						
Hierro fundido blanco, hasta 185 Brinell	100	94	88	83	79	74	68
Hierro fundido mediano, hasta 205 Brinell	82	79	73	67	64	57	52
Hierro maleable	106	100	94	90	86	82	75
Latón amarillo	225	212	195	180	165	156	137
Bronce común	137	128	119	112	106	100	90
Aluminio fundido	450	430	390	360	337	315	270

Si la máquina se halla en buen estado, la herramienta es de medidas amplias y está rigidamente montada sin sobresalir en realidad del apoyo, y, además, la pieza es de diseño robusto, será posible entonces usar las velocidades de corte dadas en la tabla, que comprende los materiales más comúnmente usados. En general, las herramientas al carburo trabajan de dos a cuatro veces más deprisa que las herramientas de acero rápido.

Promedios de velocidades, avances y profundidades de corte para herramientas al carburo de tantalio

Material trabajado - Corte recto	Velocidad, en metros por min.	Avance por revolución, en milímetros	Profundidad de corte, en milímetros
Aluminio fundido a presión (94 Al, 6 Si)	430 a 1067	0.05 a 0.51	1.6 a 3.2
Bronce al berilio, endurecido	45 a 90	0.2 a 1.0	hasta 9.5
Latón amarillo común	90 a 300	0.2 a 1.0	hasta 31.7
Hierro fundido gris, hasta 200 Brinell	50 a 122	1.0 a 2.0	1.0 a 9.5
Hierro fundido gris, entre 200 y 400 Brinell	39 a 78	0.2 a 2.0	1.0 a 9.5
Hierro fundido maleable	75 a 122	0.2 a 2.0	1.0 a 9.5
Hierro fundido al carb. silíceo	53 a 106	0.2 a 0.13	1.0 a 9.5
Hierro fundido en coquilla, 78 escleroscopio	45 a 12	3.2 a 7.9	1.0 a 9.5
Cobre de armaduras	240 a 360	0.2 a 1.2	0.2 a 6.3
Electrodos de carbón	45 a 90	0.6 a 9.5	1.0 a 38.1
Baqueíta, Durez, etc.	180 a 300	0.3 a 1.3	0.6 a 6.3
Rodillos para calendras de papel	90 a 240	0.3 a 1.3	0.8 a 6.3
Acero suave S.A.E. 1215	60 a 300	0.2 a 1.0	0.08 a 12.7
Acero alrededor 190 Brinell	60 a 300	0.2 a 1.0	0.08 a 12.7
Acero alrededor 250 Brinell	53 a 180	0.2 a 1.0	0.08 a 9.5
Acero S.A.E. 6150, 350 Brinell	53 a 90	0.2 a 1.0	0.08 a 6.3
Acero fundido, 0.6 C, 0.6 Mn	53 a 90	0.25 a 1.0	1.3 a 9.5
Acero inoxidable, 460 Brinell	53 a 120	0.1 a 1.0	0.08 a 6.3
Acero inoxidable, 18-8	38 a 120	0.1 a 1.0	0.08 a 6.3
Acero S.A.E. 4150, 325 Brinell	30 a 60	0.1 a 0.6	0.08 a 6.3
Acero, 0.5 C, 0.8 Mn, 0.6 Mo, 477 Br	26 a 38	0.1 a 1.0	0.08 a 3.2
Acero, 2.5 Mn, 0.45 C	30 a 53	0.1 a 1.0	0.08 a 4.8

En esta tabla se dan límites más amplios, y las velocidades más altas se aplican, en general, a cortes más finos, y las velocidades más lentas, a los cortes gruesos. Las velocidades dependen también del tipo de máquina-herramienta disponible, y de la rigidez de la herramienta y del trabajo a las velocidades más altas.

La función del carburo de tantalio es la de resistir la acción del almidón de las virutas. Esta resistencia se debe a ciertas diferencias fundamentales entre el carburo de tantalio y el material de las herramientas, que contienen principalmente tungsteno. La resistencia al rozamiento del carburo de tantalio contra los metales es muy baja.

Velocidades de corte y de avances para frezas aglutinadas al carburo
En sistema métrico

Material por fresar	Desbastado, metros por minuto		Acabado
	Profundidad de corte de más de 3.2 mm	Profundidad de corte de menos de 3.2 mm	Profundidad de corte de menos de 3.2 mm
Hierro fundido blando.....	60- 75	75- 97	90-120
Hierro fundido mediano.....	45- 60	60- 68	75- 90
Hierro fundido duro.....	30- 38	38- 53	45- 75
Hierro maleable (1).....	62- 90	75-105	105-135
Acero fundido (1) (2).....	30- 60	45- 75	60- 90
Acero de bajo carbono, blando (1) (2).....	45- 60	53- 75	60-105
Acero de bajo carbono, mediano (1) (2).....	30- 45	45- 68	53- 75
Acero de bajo carbono, duro (1) (2).....	22- 30	30- 45	45- 60
Latón amarillo.....	90-120	105-150	120-180
Bronce común.....	60- 90	75-105	105-150
Aluminio.....	(3)	(3)	(3)

Avances recomendados en milímetros por diente, por revolución de la fresa			
Material por fresar	Desbastado. Profundidad 2.4-4.8 mm	Semicabado. Profundidad 1.6-3.2 mm	Acabado. Profundidad 1.6 mm o menos
Hierro fundido.....	0.2 -0.25	0.23-0.36	0.15-0.2
Acero maleable.....	0.2 -0.25	0.2 -0.36	0.15-0.2
Latón.....	0.25-0.31	0.31-0.4	0.2 -0.25
Bronce.....	0.25-0.31	0.31-0.4	0.2 -0.25
Aluminio.....	0.1 -0.18	0.11-0.18	0.08-0.15
Acero.....	0.1 -0.18	0.11-0.23	0.08-0.15

(1) Úsese refrigerante.
(2) Fresas al carburo de tantalio.
(3) Las velocidades de corte para el torneado y el fresado de las aleaciones de aluminio con herramientas de carburo pueden variar de 152 a 457 m/min, y aún mayores (en algunos casos especiales), según la maquinabilidad de la aleación y de la máxima velocidad permisible en la máquina. Como regla general, puede emplearse la máxima velocidad obtenible, con la posible excepción de las aleaciones de alto contenido de silicio.

Nota: El avance en milímetros por minuto es igual al avance por diente y por revolución multiplicado por el número de dientes y por las revoluciones por minuto.

Ejemplo: Hállese el avance en milímetros por minuto y la velocidad en revoluciones por minuto para una fresa de 125 mm que tiene 10 dientes. La profundidad de corte es de 3.2 mm y la operación es desbastada de hierro fundido blando.

La tabla indica que, en este caso, debe aplicarse una velocidad de 75 m/min. Divídase 75 por la circunferencia de la fresa en metros = 0.3925 para obtener las revoluciones por minuto. Es decir: $75 \div 0.3925 = 191$ r.p.m.

La tabla recomienda un avance por diente de 0.2 a 0.25 mm. Luego multiplíquese por 0.2 los dientes por minuto, obteniendo así un avance de la mesa de 382 mm/min. (El valor dientes por minuto se obtiene multiplicando el número de dientes de la fresa por el número de revoluciones por minuto.) En este ejemplo tenemos: $0.2 \times 10 \times 191 = 382$.

- Principles of Numerical Control
James J. Childs
Industrial Press INC. New York
- Drafting and Manual Programming for Numerical Control
Harold L. Chambers
Caryl Ann Chacey
- Manual Universal de la Técnica Mecánica
Erik Ober, Franklin Jones.
- Tool & Manufacturing Engineers Handbook Society of
Manufacturing Engineers.
Mc. Graw Hill N.Y.
- Fundamentos de Computación
Rafael Arechiga G.
Limusa