

Universidad Nacional de Ingeniería

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA



“ Proyecto de Automatización con Control Numérico Computarizado de un Torno Horizontal Convencional ”

T E S I S

PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA

CARLOS MARVIN DELGADO GUISBERT

PROMOCION: 1990 - 2

LIMA . PERU . 1993

TABLA DE CONTENIDO

- Prólogo.....	1
1. Introducción.....	3
2. Generalidades.....	10
2.1 Características de las Máquinas Herramientas C.N.C.....	10
2.2 Clases de máquinas herramientas con C.N.C....	12
2.2.1 Por el sistema de control.....	12
2.2.2 Por el tipo de comando.....	13
2.2.3 Por el proceso de manufactura.....	13
2.3 Comparación entre MHT, MHCN y MHCNC	14
2.4 Tecnologías aplicadas a las MHCNC.....	18
2.5 Estudio del Lenguaje de C.N., Formatos y Codificación.....	44
2.5.1 La programación en el C.N.....	44
2.5.2 Lenguaje de control numérico.....	45
2.6 Definición del Proceso.....	49
2.7 Características Eléctricas de los Accionamientos a Utilizar.....	54
2.7.1 Motores Paso a Paso.....	54
2.7.1.1 El paso.....	59
2.7.1.2 El torque.....	61
2.7.1.3 El proceso de arranque y parada	62
2.7.1.4 Pérdida de pasos.....	65
2.7.2 Motores de Corriente Continua.....	66
3. Diseño mecánico de las transmisiones.....	69
3.1 Definición de los parámetros del torno.....	69
3.1.1 Materiales a trabajar.....	69
3.1.2 Velocidades de corte y avance.....	71
3.1.3 Herramientas a utilizar.....	71
3.1.3.1 Proceso de selección de plaqui- ta para desbaste.....	73

3.1.3.2	Proceso de selección de plaquita para acabado.....	76
3.1.4	Cálculo de la potencia y fuerzas de corte.....	78
3.1.4.1	Fuerzas de corte.....	78
3.1.4.2	Potencia requerida.....	81
3.2	Diseño de la torre porta-herramienta.....	82
3.2.1	Selección de pernos sujeta manguito....	82
3.2.1.1	Análisis de cargas.....	82
3.2.1.2	Determinación del diámetro de pernos.....	85
3.2.2	Selección de pernos sujeta-torre.....	87
3.2.2.1	Análisis de cargas.....	87
3.2.2.2	Determinación del diámetro de pernos.....	91
3.3	Diseño de la transmisión del carro transversal.....	94
3.3.1	Análisis de cargas.....	95
3.3.1.1	Análisis de cargas teórico.....	95
3.3.1.2	Análisis de cargas experimental	99
3.3.2	Diseño de la transmisión.....	100
3.3.2.1	Consideraciones iniciales.....	100
3.3.2.2	Potencia de diseño.....	101
3.3.2.3	Selección del paso de la faja..	103
3.3.2.4	Análisis de la precisión y velocidad de avance.....	103
3.3.2.5	Selección de poleas, longitud de faja y distancia entre centros.....	106
3.3.2.6	Selección del ancho de la faja.	107
3.3.2.7	Resumen.....	107
3.4	Diseño de la transmisión del carro longitudinal.....	108
3.4.1	Análisis de Cargas.....	108
3.4.1.1	Análisis de cargas teórico.....	108
3.4.1.2	Análisis de cargas experimental	112
3.4.2	Diseño de la transmisión.....	113
3.4.2.1	Consideraciones iniciales.....	113
3.4.2.2	Potencia de diseño.....	114
3.4.2.3	Selección del paso de la faja..	116
3.4.2.4	Análisis de la precisión y velocidad de avance.....	116
3.4.2.5	Selección de poleas, longitud de faja y distancia entre centros.....	119
3.4.2.6	Selección del ancho de la faja.....	120
3.4.2.7	Resumen.....	120
3.5	Diseño de la transmisión del husillo principal.....	121

4. Diseño de Circuitos Electrónicos.....	125
4.1 Circuito de Direccionamiento E/S de Datos....	126
4.1.1 Tarjeta decodificadora.....	127
4.1.2 Circuito de memorización.....	128
4.2 Diseño del Control de Velocidad.....	130
4.2.1 Circuito de Conversión D/A y control proporcional.....	131
4.2.2 Circuito de realimentación.....	133
4.2.3 Circuito de disparo de tiristores.....	134
4.3 Circuitos manipuladores de los motores de pasos.....	137
4.3.1 Circuito secuenciador de pulsos.....	137
4.3.1.1 Sub-circuito generador de pulsos.....	137
4.3.1.2 Sub-circuito secuenciador de pulsos.....	141
4.3.2 Circuito amplificador de pulsos.....	143
4.4 Circuito del clock variable.....	144
4.5 Circuito de limit switch.....	147
5. Software de Simulación y Manipulación del Torno C.N.C.....	148
5.1 Simulador del Proceso de Manufactura.....	149
5.1.1 Módulo CAD.....	150
5.1.1.1 Objetivo.....	150
5.1.1.2 Alcances.....	150
5.1.1.3 Limitaciones.....	151
5.1.2 Módulo CAM.....	152
5.1.2.1 Objetivo.....	152
5.1.2.2 Alcances.....	152
5.1.2.3 Limitaciones.....	153
5.1.2.4 Especificaciones del módulo CAM	155
5.1.2.5 Descripción de rutinas del simulador.....	157
5.1.2.6 Ejemplos de utilización de funciones principales CNC.....	160
5.2 Ejecución del Proceso de Manufactura.....	168
5.2.1 Objetivo.....	168
5.2.2 Alcances.....	169
5.2.3 Limitaciones.....	169
5.2.4 Especificaciones del módulo ejecutor...	170
5.2.5 Descripción de rutinas.....	171
6. Análisis económico del proyecto.....	175
6.1 Costo de la automatización.....	175
6.1.1 Costos de materiales utilizados en la parte mecánica.....	175
6.1.2 Costos de dispositivos utilizados en la	

<i>parte electrónica.....</i>	177
6.1.3 <i>Costo total de la automatización.....</i>	178
6.2 <i>Análisis económico comparativo entre el torno convencional, el automatizado y un torno CNC.</i>	179
6.2.1 <i>Procedimiento de análisis económico utilizado para la comparación.....</i>	179
6.2.1.1 <i>Costo horario de operación de la máquina (Ch).....</i>	179
6.2.1.2 <i>Costo de manufactura de una pieza (Cmanuf).....</i>	182
6.2.1.3 <i>Costo total de producción.....</i>	188
6.2.2 <i>Resultados comparativos entre los tornos convencional, automatizado y CNC...</i>	190
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	197
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	206
BIBLIOGRAFIA.....	209
GLOSARIO DE TERMINOS	
PLANOS MECANICOS	
DIAGRAMAS DE CIRCUITOS ELECTRONICOS	
APENDICE A	
APENDICE B	

PROLOGO

La presente tesis ha sido elaborada con el espíritu de investigar la fusión de la mecánica, electrónica e informática, para dar soluciones integrales a los problemas de automatización industrial.

La aplicación de la automatización a un torno mecánico horizontal, comprende varios estudios especializados. En el capítulo 2 se exponen los conceptos generales del tipo de automatización que se realizará (CNC), así como de los dispositivos electromecánicos a utilizar en la manipulación.

El capítulo 3 muestra el diseño de las transmisiones mecánicas entre los dispositivos de maniobra y los carros de avance del torno, así como, el diseño de una torreta para la herramienta CNC.

La parte electrónica se trata en el capítulo 4, en donde se expone el funcionamiento de los circuitos diseñados para la manipulación y control del torno, los cuales conforman

la interfase electrónica con la microcomputadora IBM-PC.

El sistema desarrollado para la edición, simulación y ejecución de programas CNC, es explicado en el capítulo 5. En este se especifican y explican con detalle los módulos que conforman este sistema adoptando las técnicas CAD, CAM y CNC. Por último, en el capítulo 6 se hace un análisis económico comparativo del torno convencional, el automatizado con CNC y un torno CNC original.

INTRODUCCION

Esta tesis tiene como objetivo fundamental la automatización de un torno convencional, mediante la implementación en él del control numérico computarizado con una IBM-PC, la misma que demuestra la factibilidad técnica y económica del diseño propuesto. En ella se muestra la integración de ramas de la ingeniería, como son: la mecánica, la electrónica y la informática, para la elaboración de una solución integral al problema de la automatización de una máquina herramienta. Pretende, pues, dar una muestra de la aplicación de una nueva especialidad que se va popularizando, "La Mecatrónica".

Esta tesis esta enmarcada en la tendencia actual de optimización de los recursos existentes en el taller, a la cual la han llamado como "Retrofitting"; también en ella se hace uso de las actuales técnicas del CAD y CAM, haciendo posible la integración entre el diseño y la manufactura. El desarrollo de esta tesis se inicio con la investigación

y estudio la electrónica, así como de las características y funcionamiento de una computadora IBM-PC. Paralelamente se investigaron los accionamientos a utilizar (steppers), luego se experimentaron los circuitos integrados que podrían brindar soluciones específicas a nuestros requerimientos, para que después se diseñará la interfase electrónica para la computadora. Esta interfase consta de circuitos manejadores de los steppers, los cuales son programados enviándoseles datos sobre los movimientos sincronizados que realizarán, pudiéndose controlar el ángulo y la frecuencia de giro de éste.

También se desarrollo un circuito que permite que los steppers pudiesen realizar la función anterior, mediante una aceleración gradual al inicio, y desaceleración al final del movimiento, sin perder ni un solo paso; función muy útil para anular la carga de inercia y elevar la velocidad de operación de los steppers.

Se diseñaron también los circuitos de memorización que servirían para mantener las tareas encargadas a cada circuito específico.

Además, se tuvo que incursionar en el estudio del control de velocidad del motor DC, desarrollándose un circuito de control proporcional de la velocidad para éste motor que acoplamos al husillo del torno, control que se compone de un circuito de sensado de velocidad, un circuito del control proporcional y uno de disparo de tiristores. De tal forma que mediante la computadora se envíe la velocidad

a obtener y éste control se encargue de mantener estable esta velocidad. Además se implementaron circuitos de limit-switches para evitar las colisiones de los carros del torno, como también los circuitos de potencia para los steppers.

La parte mecánica se constituyó básicamente del diseño de las transmisiones de los steppers a los carros, el diseño de una torreta simple para la herramienta CNC y la transmisión entre el husillo principal y el motor de corriente continua que se iba a controlar. La implementación de la parte mecánica se realiza mediante el cambio del carro superior, por una plataforma, sobre la cual va alojado el stepper que accionará el carro transversal y la torreta diseñada para albergar la herramienta CNC seleccionada. El tipo de transmisión seleccionado ha sido el de fajas de sincronización utilizadas ampliamente en el campo de robótica, de forma tal que las manijas de los carros fueron reemplazadas por poleas dentadas que se diseñaron para que se acoplarán con los steppers, mediante estas fajas.

También se tuvo que diseñar soportes para el motor de corriente continua y para el stepper del carro longitudinal; como también el diseño de la transmisión entre el motor DC y el husillo del torno.

El software se inicio con la investigación de la emisión y recepción de señales a través de la compuerta paralelo de la computadora. Luego más tarde se estudio el acceso al bus

de datos y direcciones de la computadora, mediante una tarjeta decodificadora que se coloca en algún slot de expansión de la misma.

Después se definieron los objetivos del sistema CAD-CAM-CNC y se construyó el mapa de direcciones para el acceso a cada circuito de la interfase. Luego se implementaron las rutinas de bajo nivel que programarían los circuitos de manipulación y obtendrían datos sobre el cumplimiento de las tareas asignadas a éstos mismos, construyendo a partir de las rutinas, programas intermedios que sirvieron como plataformas de prueba para la experimentación de cada circuito de la interfase electrónica. El siguiente paso, siguiendo los lineamientos del sistema fue la programación de un Editor de líneas de programa CNC, para el cual se utilizó el lenguaje Turbo Pascal, con él se posibilitó la creación, edición y copia de programas con códigos CNC estándar.

Más tarde se inició la programación también en lenguaje Turbo Pascal del sistema EJECUTOR, el cual tiene como misión la manipulación y control de todo el proceso de manufactura, a partir del programa CNC. Para ello, antes se tuvo que estudiar todo lo referente a este lenguaje CNC, para así tratar de adoptar los códigos normalizados internacionalmente. Este programa brinda la facilidad de manipular el torno, tanto en modo automático, como en modo manual desde el teclado de la computadora. Entre las principales órdenes CNC implementadas están G0, G1, G2 y

G3. También se proveen los ciclos fijos de desbaste exterior recto o cónico G81 y el de refrentado recto o cónico G82. Ciclos fijos que constituyen una gran ayuda para la ejecución de una pieza, ya que en una línea de programa puede ordenarse un desbaste o refrentado de varias pasadas.

El siguiente paso fue la construcción del software de simulación del proceso de manufactura según el programa CNC. Inicialmente se pensó en desarrollarlo en lenguaje Turbo Pascal utilizando su unidad gráfica, como las experiencias desarrolladas en la Universidad Técnica Federico de Santa María de Chile, pero una investigación del lenguaje de programación AutoLISP que brinda el programa Autocad de la firma Autodesk me convenció de la conveniencia del desarrollo de una interfase gráfica con este paquete gráfico de arquitectura abierta ampliamente utilizado en el medio, de tal manera, que se pudiera superponer los planos de la pieza a fabricar CAD (tanto la pieza en bruto como la pieza final), a la simulación del proceso de manufactura CAM, y así tener la ayuda de verificar la trayectoria correcta de la herramienta. Teniéndose acceso a todas las ayudas CAD que brinda Autocad, el módulo CAD de nuestro sistema sólo tuvo que complementarse con un sistema de menús personalizado a nuestras necesidades, mientras que el módulo CAM se constituyó de un programa desarrollado en lenguaje AutoLISP especializado en la simulación del programa CNC. El módulo

CAM brinda secuencialmente toda la información respecto a los parámetros de maquinado que se han previsto en el programa CNC, como también, la posibilidad de ver el tiempo que va transcurriendo por cada instrucción, así como el tiempo de maquinado efectivo.

En el simulador se ha incluido un programa que se ha desarrollado para ayudar a la visualización tridimensional de la pieza final. El editor de líneas del programa CNC, gracias a la arquitectura abierta de Autocad corre dentro de éste, mediante la activación de un file ejecutable, de tal manera que se puede editar y simular constantemente durante el proceso de programación CNC.

Entre las limitaciones, respecto a la parte electrónica puedo mencionar que al utilizar los steppers como dispositivos de maniobra, la velocidad y la potencia de esta manipulación será limitada a aplicaciones de tornos pequeños y medianos. En los tornos grandes sólo podría automatizarse los carros transversal y el superior. Además, al no utilizarse retroalimentación se corre el riesgo de pérdida de pasos ante una carga mayor a la máxima prevista. El control de velocidad implementado en el diseño puede ser superado por otro especializado comercial.

En lo que respecta a las limitaciones de la parte mecánica se tiene que este diseño no incluye el de una torreta de múltiples herramientas y además no tiene la función de roscado. También podemos mencionar que el problema de los juegos en los tornillos de los carros los

tratamos de superar con un concepto al que le hemos llamado "juego promedio", debido a la falta de financiamiento para la solución mediante retroalimentación o con el cambio de estos tornillos por los tornillos de bolas que eliminan estos juegos.

En la parte de software no se ha desarrollado completamente un visualizador gráfico de tiempo real para la ejecución del proceso de manufactura.

Queda pues, algunas cosas por mejorar y en las conclusiones se mencionan varias de éstas, incluyendo la forma en que podrían realizarse.

Capítulo 2 **GENERALIDADES**

En este capítulo se estudia las características, funcionamiento y tecnologías utilizadas en las máquinas herramientas con control numérico computarizado (CNC). En él se comparan las máquinas herramientas tradicionales (MHT) con las de control numérico (CN) y las más avanzadas de control numérico computarizado (CNC). Además se exponen las fases para la ejecución de un trabajo con una máquina CNC, como también un estudio del lenguaje CN. Finalmente se explica el funcionamiento y características de los dispositivos utilizados para la manipulación.

2.1 Características de las Máquinas Herramientas con C.N.C.

La estructura deberá ser compacta, rígida y su estructura no debe ser inútilmente pesada. Se debe considerar no sólo la rigidez estática sino también la dinámica de la cual depende la capacidad de arranque de

viruta de la máquina^[1].

- *Las guías deben ser fabricadas de acero o fundición templada y rectificadas, por el requerimiento de precisión en el tiempo y también por la rapidez de respuesta de la máquina.*
- *Para reducir al mínimo la elasticidad, el juego, la inercia, el rozamiento y tener máxima rigidez; la cadena cinemática de los avances deben ser cortos y diversos.*

Es requerimiento importante que los servomecanismos sean de elevada calidad. Los más difundidos son los controladores de motores de corriente continua ya que garantizan óptima prestación y poco mantenimiento.

Son necesarios los sensores de posición para la retroalimentación del sistema de posición de la máquina y la confirmación de la obtención de la cota requerida. Siendo los más adecuados los del tipo absoluto, pero también los más caros.

- *Sistemas de protección de la máquina son indispensables para evitar las colisiones y rotura de herramientas y piezas. Contra las colisiones suelen utilizarse relés fin de carrera en los extremos de los carros de desplazamiento de la máquina y así desconectar el avance cuando es inminente la colisión. Para evitar la ruptura de las herramienta y piezas son utilizados sistemas de sensores de tensiones y/o de potencia que mandan parada de emergencia ante un consumo elevado por*

los motores de potencia o desplazamiento.

El control numérico debe tener la capacidad de controlar a los servomecanismos acoplados a él (múltiples ejes) y sincronizarlos mediante la comunicación a estos de los valores de consigna a obtener (tanto en posición como en velocidad y aceleraciones).

El control numérico debe tener un soporte de almacenamiento de los programas para su posterior utilización o modificación (cinta perforada, cinta magnética, diskettes, etc). También este deberá contar con la posibilidad de comunicación con un ordenador u otro CNC para que sea factible la interconexión en red.

2.2 Clases de máquinas herramientas con CNC

La clasificación puede realizarse por aspectos como los siguientes:

2.2.1 Por el sistema de control

- Lazo abierto: en este caso el CN manda el valor de la posición y velocidad a obtener, pero no verifica si realmente lo ha conseguido.*
- Lazo cerrado: aquí si recibe la confirmación de haber obtenido la posición a la velocidad deseada (retroalimentación).*

2.2.2 Por el tipo de comando

- *Punto a Punto: en donde sólo interesa la posición final de cada desplazamiento y no la trayectoria utilizada para alcanzarlo. Es utilizado en soldadoras de puntos, taladradoras, punzonadoras, etc.*
- *Continuo: en donde se realiza el cálculo de la trayectoria a seguir, ya sea lineal o circular. Este es el más completo y es utilizada en tornos, fresadoras, centros de mecanizado, etc.*

2.2.3 Por el proceso de manufactura

- *Tornos*
- *Fresadoras*
- *Centros de mecanizado*
- *Electroerosionadoras*
- *Soldadoras por punto*
- *Cortadoras de planchas con llama*
- *Punzonadoras de planchas*
- *Máquinas de medición tridimensional*
- *Afiladoras de herramientas, etc.*

2.3 Comparación entre MHT, MHCN y MHCNC

Tabla 2.1 Comparación entre las máquinas herramientas tradicional (MHT), con control numérico (MHCN) y con control numérico computarizado (MHCNC)

ACCION	M.H.T.	M.H.C.N.	M.H.C.N.C.
<i>Información Requerida</i>	<ul style="list-style-type: none"> -Dibujo de definición de la pieza -Dibujo de fabricación -Escala 	<ul style="list-style-type: none"> -Dibujo de definición de la pieza. -Programa de fabricación de la pieza. 	<ul style="list-style-type: none"> -Dibujo de definición de pieza C.A.D. -Programa de fabricación de la pieza generado por CAM. -Simular el proceso de maquinado para prueba y puesta a punto.
<i>Inmovilizar la pieza</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Mandril - Tornillo - Utillaje - Manual ó neumática 	<ul style="list-style-type: none"> - Mandril - Tornillo - Utillaje - Manual ó neumática 	<ul style="list-style-type: none"> - Mandril - Tornillo - Utillaje - Accionamiento automático
<i>Inmovilizar la herramienta</i>	<ul style="list-style-type: none"> Con Torreta portaherramienta acción manual. 	<ul style="list-style-type: none"> Con Torreta portaherramienta cuya carga y cambio están dirigidos y controlados por el armario electrónico. 	<ul style="list-style-type: none"> Con la Torreta portaherramienta cuya carga y cambio están dirigidos y controlados por el computador

<i>ACCION</i>	<i>M.H.T.</i>	<i>M.H.C.N.</i>	<i>M.H.C.N.C.</i>
<i>Rotación de la pieza (o la herramienta).</i>	<i>Con motor, reductor y caja de velocidades. Selección manual de la gama de velocidades.</i>	<i>Se logra mediante el motor, él cual es controlado y dirigido por el armario electrónico.</i>	<i>Se logra mediante el motor, él cual es controlado y dirigido por el computador</i>
<i>Desplazmto. transversal, longitudinal (o vertical) de la herramienta (o de la pieza).</i>	<i>Con motor, reductor, caja de velocidades de avance o de manivela. Selección de la gama y de la velocidad es manual.</i>	<i>Con motores dirigidos y controlados por el armario electrónico (sobre X, Y y Z).</i>	<i>Con motores dirigidos y controlados por el computador para cualquier tipo de trayectoria.</i>
<i>Control de desplazmto.</i>	<i>Visual del operario de los tambores graduados o visualización electrónica (Display).</i>	<i>Captadores de posición analizados y dirigidos por el armario electrónico (sobre X, Y y Z).</i>	<i>Con captadores de posición, analizados y dirigidos por el computador (sobre X, Y y Z).</i>
<i>Parada en la cota deseada</i>	<i>Lectura en tambores graduados o con topes automáticos. Accionados directa o indirectamente por el operador.</i>	<i>Por la dirección del armario electrónico en función del programa de la pieza.</i>	<i>Por la dirección del computador en función del programa de la pieza.</i>

<i>ACCION</i>	<i>M.H.T.</i>	<i>M.H.C.N.</i>	<i>M.H.C.N.C.</i>
<i>Seguimiento del trabajo</i>	<i>Se hace mediante la acción en los órganos de maniobra y de ajuste de la M.H.T. a iniciativa del operario.</i>	<i>Por la dirección del armario electrónico en función del programa de la pieza.</i>	<i>Inicial mediante el simulador, y en proceso dirigido por el computador</i>
<i>Control de Calidad</i>	<i>Operario con instrumentos de medición.</i>	<i>Operario con instrumentos de medición.</i>	<i>Mediante palpadores electrónicos en el porta-herramienta</i>

Cabe destacar que en una M.H.C.N.C. el programa final de fabricación contiene todos los ajustes y todas las acciones a ejecutarse previa prueba y puesta a punto mediante el simulador. Este programa puede ser realizado y transferido desde un sistema de ordenadores de producción (conectados en Red) hasta la M.H.C.N.C. constituyendo lo que se denomina Control Numérico Distribuido (D.N.C.).

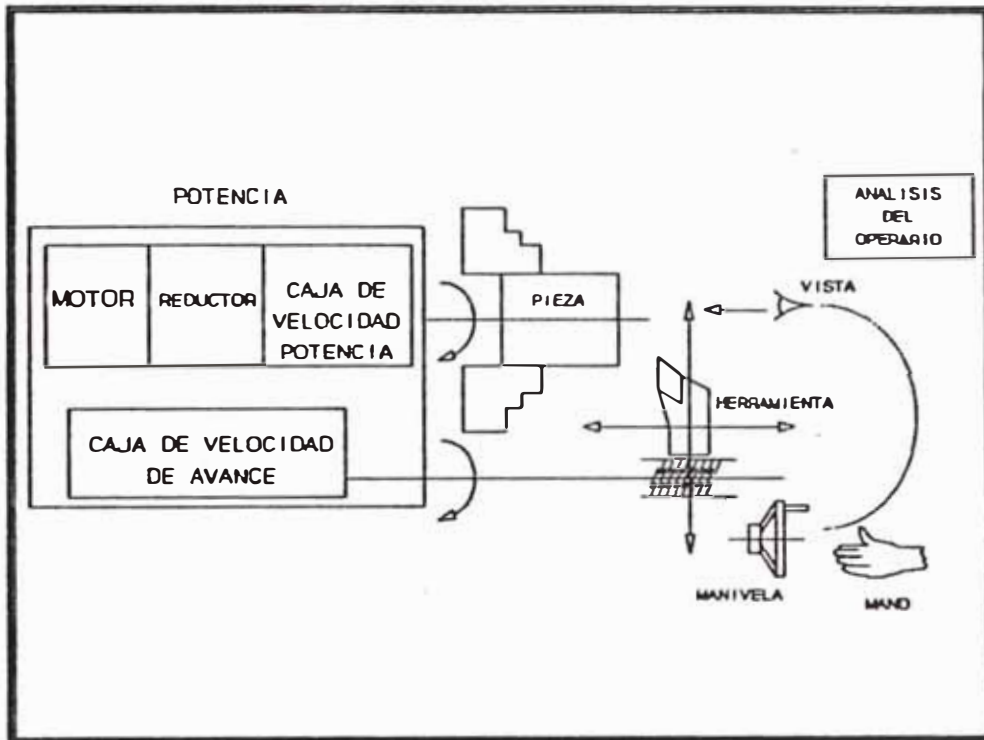


Fig:2.1 Funcionamiento de una MHT

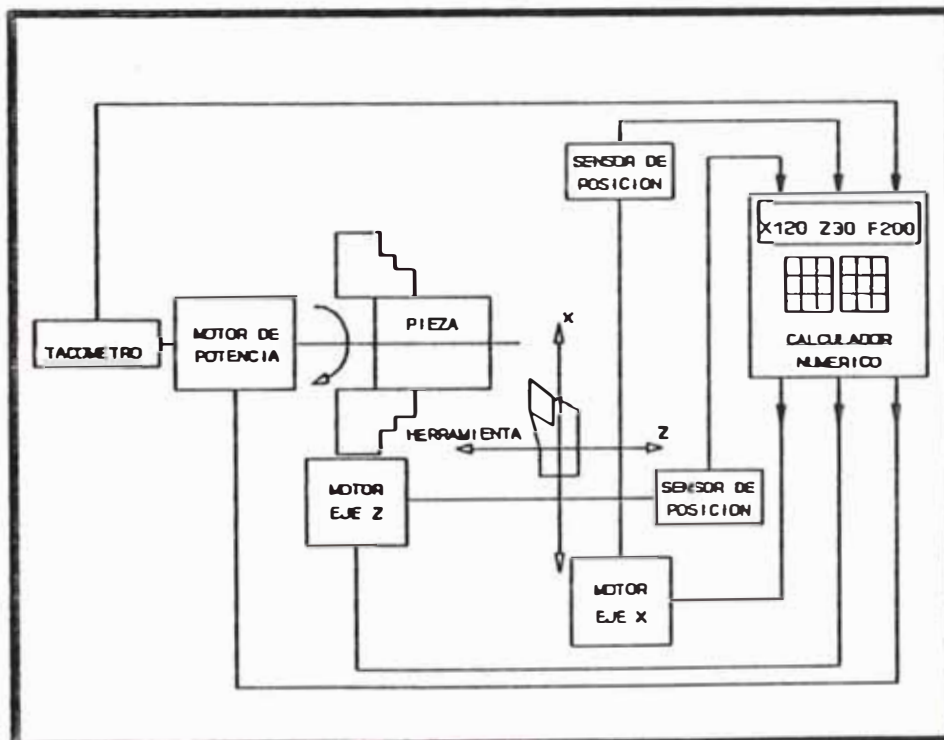


Fig:2.3 Funcionamiento de una MHCN

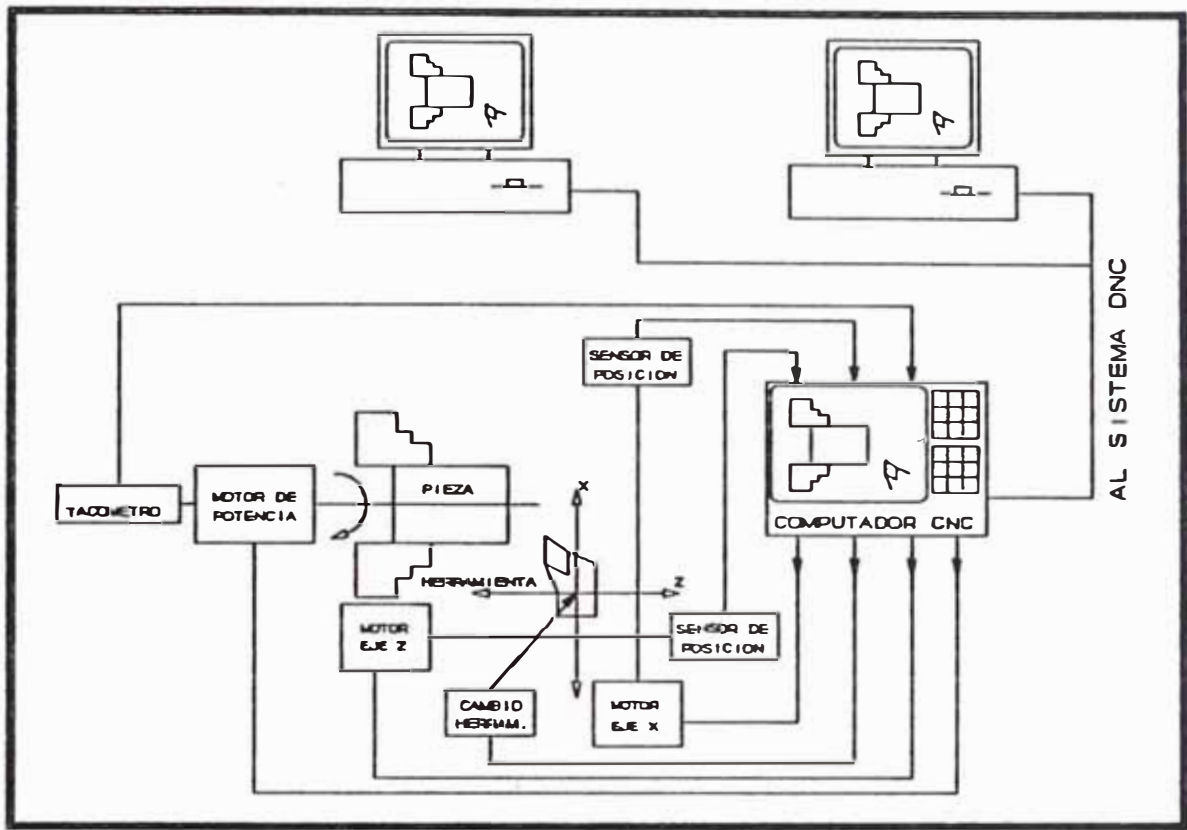


Fig:2.3 Funcionamiento de una MHCNC

2.4 Tecnologías aplicadas a las MHCNC

Los avances tecnológicos que han sido aplicados en las MHCNC son los siguientes:

Los accionadores

Las transmisiones motor-mesa

Las guías

Los sensores de posición

- Los ejes de coordenadas

Los servomecanismos

Los sistemas de cambio de herramienta y de piezas

Los sistemas de medición de piezas y herramientas

- *Los controles de condiciones de mecanizado*
- *Las herramientas*

Accionadores

La función de los accionadores es la de transmitir a la pieza o la herramienta una velocidad de avance independiente en cada eje que varíe entre 0 y 40 m/min. En las máquinas convencionales esta función de avance viene ligada al motor de potencia por medio de una caja de velocidades o por un motor independiente pero siempre con intermediación de una caja de velocidades o si no por un resorte hidráulico regulado por distribuidor.

Para las MHCNC se ha desarrollado una tecnología nueva para permitir una variación, y una independencia, de la velocidad de desplazamiento de la mesa o de la herramienta. De tal modo estas máquinas poseen un motor y un reductor por eje (actualmente el motor va conectado directamente, sin reductor).

Los tipos de motores que actualmente se utilizan son:

- *Motor Hidráulico (gato o motor).*
- *Motor de corriente continua.*
- *Motor de corriente alterna.*
- *Motor paso a paso.*

Con la finalidad de modular de una forma flexible (sin cortes, ni saltos) la velocidad de desplazamiento, es necesario interponer un regulador entre el móvil y el motor, el que actuará sobre:

- El caudal en los motores hidráulicos.*
- La tensión en los motores de corriente continua.*
- La tensión y la frecuencia en los motores de corriente alterna.*
- La frecuencia en los motores paso a paso.*

Transmisión motor-mesa

Cuya función es la de conectar el accionador a la mesa, o la herramienta, eliminando las holguras (juegos) de la inversión del sentido de desplazamiento o de la fabricación. Ya que estas holguras en trabajos de contorneado (trabajo en simultaneidad o concordancia) provocarían la ruptura de la herramienta.

En las máquinas convencionales el enlace entre el motor eléctrico y la mesa se hace con ayuda del sistema tornillo - tuerca, del cual podemos mencionar tres tipos:

- Sistema tornillo-tuerca tradicional, con una holgura de funcionamiento. Este sistema impone al operario recuperar la holgura con las manivelas.*

- *Sistema tornillo-tuerca con recuperación de holgura, por pretensado de la tuerca. En este sistema, la tuerca está constituida por dos partes que estriban en cada costado de la rosca del tornillo, lo que conlleva una fricción importante y obliga al operario a seleccionar una velocidad de avance más baja.*
- *Sistema de tornillo de bolas, en el que las bolas están intercaladas entre la tuerca y el tornillo. Las fricciones son mucho más bajas, las holguras son eliminadas y las velocidades pueden ser más elevadas. El enlace del gato hidráulico a la mesa se hace directamente lo cual permite eliminar holguras.*

Los enlaces utilizados en las MHCNC permiten eliminar al máximo las holguras de funcionamiento entre los elementos en movimiento. Los más utilizados son:

- *Sistema de tornillo de gargantas.- En este sistema, las roscas del tornillo y de la tuerca son reemplazadas por gargantas helicoidales por los que circulan las gargantas de acero. Un dispositivo atirantado permite ajustar el tensado sobre las gargantas asegurando la eliminación de holguras. las ventajas de los tornillos de gargantas son:*
 - *Holguras casi nulas,*
 - *Disminución de fricciones,*
Aumento de las velocidades de traslación y
 - *Aumento de la duración.*

- *Sistema de enlace con gato hidráulico.- En este sistema el gato asegura un enlace directo entre la parte móvil (mesa) y la parte fija (carcasa) de la Máquina. Sus ventajas son:*

- *Holguras casi nulas (aceite incompresible),*
- *Flexibilidad cualquiera que sea la velocidad programada.*
- *Transmisión de esfuerzos importantes y fácilmente controlables.*

Su principales desventajas es que necesita la instalación hidráulica en la MHCNC y su funcionamiento permanente ocasiona un elevado nivel sonoro en el taller.

Guías

Como su nombre lo expresa la función que tienen las guías es de guiar el desplazamiento de la pieza, o de la herramienta, siguiendo un eje lineal, sin dispersiones geométricas y oponiendo una mínima resistencia.

Las guías en las máquinas convencionales son de los tipos siguientes:

- *En cola de milano,*
- *Prismáticas y*
- *Circulares.*

En todas estas existe fricción (hierro sobre acero generalmente). La lubricación del sistema impone no superar la velocidad de 4 a 8 m/min como velocidad de traslación por el riesgo de la ruptura de la película de aceite.

En las MHCNC se utilizan aún las mismas guías. No obstante que se observan torques importantes en el arranque y fenómenos de ramoneo (avance por sacudidas) con velocidad lenta.

Estos inconvenientes son disminuidos interponiendo entre los elementos en movimiento los siguientes:

- Patines de agujas,*
- Camino de bolas,*
- Turcita, (aleación de teflón y de bronce),*
- Película de aceite "irrompible" (guía hidrostática). De tal forma, es posible alcanzar velocidades de avance del orden de 40 m/min en ciertas máquinas.*

Debido a que el operario en la actualidad controla la posición de la mesa y no la de la pieza, entonces se requiere que las guías sean lo más geométricamente precisas. En un futuro cercano el operario no controlará la posición de la mesa si no de la pieza, gracias a la aplicación del laser. Y tampoco será indispensable la perfección del guiado, pues la máquina compensará automáticamente las dispersiones geométricas de las guías.

Sensores de posición

La función de estos, es la de conocer en todo momento la posición de la pieza respecto a la herramienta (fresado) o la posición de la herramienta respecto a la pieza (torneado), con una precisión media del orden de 0,01 mm. Resumiendo, trata de controlar los desplazamientos herramienta/pieza.

Las máquinas convencionales tratan de suplir esta función mediante los siguientes dispositivos:

- Tambor graduado equipado con un vernier,*
- Soporte fijo,*
- Leva,*
- Plantilla.*

A excepción del tambor graduado, todas estas soluciones son fijas, ajustadas para una pieza y sometidas a esfuerzos. De otro lado, no dan ninguna indicación sobre el desplazamiento herramienta/pieza en el curso de la trayectoria. La posición sólo se conoce al final de la carrera. Ninguna de estas soluciones están adaptadas a las MHCNC.

En las MHCNC se ha desarrollado una técnica nueva. El desplazamiento herramienta/pieza es "observado" con la ayuda de unos captadores y las "informaciones" recogidas por ellos se envían al computador de la MHCNC. Este decodifica las informaciones recibidas, las analiza y a continuación muestra la posición observada.

De esta manera, es conocido el menor desplazamiento herramienta/pieza por el operario con una precisión de 0,01mm.

Los captadores de posición utilizados los podemos clasificar en los siguientes grupos:

- Absolutos o incrementales (relativos)*
- Lineales o rotativos.*
- Directos o indirectos.*
- Analógicos o digitales (numéricos).*

Un captador absoluto identifica unívocamente cada posición del útil con un cierto valor de una magnitud física. Para ello, a lo largo del eje se colocan una serie de posiciones mediante un código correspondiente a cada posición que representa la medida de la misma con respecto a un origen de coordenadas.

El captador incremental o relativo emite un impulso por cada desplazamiento elemental y la longitud recorrida será proporcional al número de impulsos emitidos. Un contador que acumula estos impulsos nos da la medida del desplazamiento.

En los captadores lineales el principio de funcionamiento se basa en el desplazamiento lineal. Por ejemplo: reglas graduadas o codificadas.

Los captadores rotativos sólo son capaces de medir movimientos de rotación. Ejemplo : disco graduado.

Los captadores directos miden el desplazamiento sobre el mismo eje de movimiento, sin ningún elemento mecánico intermedio.

Los captadores indirectos miden el desplazamiento del útil por el desplazamiento de algún elemento intermedio de la cadena cinemática de accionamiento del mismo, aplicando la correspondiente ley de movimiento que relaciona el punto de medición con el útil.

Los captadores analógicos facilitan un valor continuo de la magnitud medida.

Los captadores digitales o numéricos sólo son capaces de facilitar un número finito de valores de posición, sin posibilidad de establecer valores intermedios.

Los captadores digitales incrementales, basados en reglas o discos graduados, son muy utilizados por su sencillez y bajo coste pero van siendo desplazados por dos tipos de captadores analógicos absolutos.

- El resolver - rotativo

- El inductosyn - lineal.

Ambos están basados en el principio de la variación de las corrientes inducidas según el desplazamiento de unas bobinas o espiras.

Las características de los captadores en cuanto a precisión, sensibilidad, resolución, repetibilidad, ruidos e interferencias son fundamentales por cuanto condicionan directamente la precisión obtenida en el mecanizado.

Ejes de Coordenadas

El control del posicionado del útil exige la elección de unos ejes de coordenadas y un origen de los mismos. Un sistema de ejes cartesianos XYZ sitúa la herramienta en el punto del espacio deseado y unas rotaciones A B C sobre estos le dan la orientación correcta.

El eje Z se corresponde con la dirección del eje del husillo principal, que proporciona la potencia de corte.

El sentido positivo aumenta la distancia a la pieza, vale decir, se aleja de la misma. Por ejemplo, en tornos se inicia en el plano de las garras de amarre y sigue la dirección longitudinal de la máquina hacia el contrapunto.

Si no existe husillo principal el eje Z se toma normal al plano de sujeción de la pieza. Por ejemplo máquinas de oxicorte, trazadoras, etc.

Si el eje del husillo puede girar sobre un eje perpendicular al mismo. el eje Z es la dirección normal al plano de sujeción de la pieza.

Si existen varios husillos, se elige como eje Z preferentemente el que, situado perpendicularmente al plano de sujeción de la pieza, disponga de más potencia de corte.

El eje X es un eje de traslación principal, horizontal y normal al eje Z y por tanto paralelo a la superficie

de sujeción de la pieza. En las máquinas en que las piezas tienen movimiento de rotación, tipo torno, el eje X es horizontal radial y sus sentido positivo sale hacia fuera del eje de rotación que es el Z.

En las máquinas en que al herramienta tiene rotación, tipo fresas, hay que distinguir según que este eje Z sea horizontal o vertical.

En las máquinas tipo fresadora horizontal, o sea eje Z horizontal, el eje X es horizontal y su sentido positivo hacia la derecha mirando la pieza desde la herramienta. Por tanto, el plano XZ es un plano horizontal.

En las máquinas tipo fresadora vertical el eje X es horizontal y su sentido es positivo a la derecha de un observador que mira del husillo hacia el montante en los de una sola columna.

En las máquinas en las que ni pieza ni herramienta estén dotadas de movimiento giratorio, por ejemplo máquinas de medición, el eje X se corresponde con el eje longitudinal horizontal y sus sentido positivo sigue los mismos criterios anteriores.

El eje Y es un eje de traslación principal elegido de manera que con los ejes X y Z forme un triedro de sentido directo.

La regla de los tres dedos, es utilizada para facilitar el reconocimiento del triedro de referencia en la máquina.

El origen de coordenadas, este se sitúa siempre en el mismo punto en las máquinas de origen fijo. En este caso, cada eje dispone de topes o dispositivos detectores de posición que definen la posición cero de cada uno de ellos. Si la máquina dispone de mesa se identifica también este punto en la misma mediante topes, trazos, etc.

Pero la tendencia actual es hacia el origen móvil. En este caso los valores de las coordenadas se refieren a un punto cualquiera del campo de trabajo considerado como origen, del cual en el programa se dan las coordenadas del desplazamiento respecto al origen de la máquina. En este caso, si bien en el programa las coordenadas de los puntos de las piezas se dan respecto al origen móvil, el controlador de la máquina las suma a las coordenadas de desplazamiento del mismo y en realidad la máquina trabaja con coordenadas absolutas respecto a su origen fijo.

Se utiliza también el origen flotante. En este caso las máquinas no tienen ningún dispositivo de posicionamiento de origen. En cada caso se fija el origen posicionando la herramienta en un punto y validando esta posición como origen de coordenadas tanto para el programa como para la máquina.

Definida la posición a alcanzar por la herramienta mediante las coordenadas en estos ejes, queda por definir su orientación. Para ello se eligen unos ejes

de rotación alrededor de estos ejes principales, siendo el sentido positivo de giro en cada caso el correspondiente a la regla del sacacorchos o de la mano derecha. Así, se define el eje C para giros alrededor del eje Z, el eje A para rotar sobre el eje X y el eje B para rotaciones según el eje Y. Todos los ejes así descritos se refieren al caso de pieza inmóvil y herramienta en movimiento con relación a la pieza.

Si la herramienta es fija y es la mesa de la pieza la que se mueve la MM.HH. responde en dirección opuesta a la definida anteriormente.

En este caso, en general, los ejes se indican con el mismo símbolo con tilde: X', Y', Z', A', B', C' .

En máquinas múltiples pueden existir desplazamientos de elementos secundarios. En este caso se utilizan ejes U, V, W , paralelos a los anteriores X, Y, Z , respectivamente. Así mismo pueden existir ejes terciarios P, Q, R paralelos o no a los anteriores.

Servomecanismos

Son utilizados para controlar en todo momento la velocidad de avance y la posición de la herramienta respecto a la pieza, y adecuar estas informaciones con el movimiento programado.

En las máquinas convencionales, el conocimiento de la

posición de la herramienta respecto a la pieza se obtiene por el operario. Dispone para ello de su visión y de los sistemas de control clásicos:

- Tambores graduados equipados de vernier,*
- Lectores ópticos (Display).*

Los datos, así recibidos, son analizados por el operario, que decide la interrupción o la continuación de la fabricación. De la misma forma, la velocidad de avance está regulada de manera fija por el operario con ayuda de una caja de velocidades. El valor de la velocidad de avance viene dado por la gama de fabricación.

En las MHCNC, el reconocimiento de la posición de la herramienta respecto a la pieza se obtiene por medio de un captador de posición. Las informaciones recogidas las analiza el CNC y las compara con las informaciones contenidas en el programa de trabajo (cota a tener en cuenta). El computador reemplaza al análisis del operario y decide (en función de la cota de medidas) el proseguimiento o la interrupción del trabajo.

De la misma forma, la velocidad de avance está controlada por el CNC. En avance lineal es fija y forma parte de los datos del programa de trabajo. En avance circular es variable y se calcula en todo momento en función de la posición de la herramienta respecto a la pieza.

De otro lado, el CNC puede controlar una desaceleración

de la velocidad de avance en la aproximación de la cota a alcanzar, de manera que no se supere (operación de llegada).

Un resumen de los tipos de Bucles de servomecanismos son los que siguen:

- Bucles Abiertos: El computador envía una información binaria, correspondiente al desplazamiento a obtener, a un reductor de preselección, elemento electrónico que permite memorizar este valor binario (ver fig: 2.4). El reductor de preselección está unido a un generador de impulsos que le envía una frecuencia de oscilacion ligada a la velocidad programada. Los impulsos que resultan de la frecuencia de oscilación son descontados del valor binario conservado en memoria. Hasta que el reductor no ha concluido (valor binario igual a cero) el oscilador alimenta, por medio del reductor de preselección, al motor paso a paso unido al sistema tornillo-tuerca. Cuando el descuento termina, el motor paso a paso no recibe más impulsos, se bloquea y el desplazamiento se detiene: la posición programada se alcanza.

Obsérvese que la velocidad de oscilación es proporcional a la velocidad programada.

Los inconvenientes de este sistema es la posibilidad de pérdida de pasos en el desplazamiento. Pues sí el esfuerzo de avance es muy alto el motor se frenará pero el descuento de pasos continúa, lo cual conlleva

a error de posición cuando el descenso termine. Y la débil potencia debida a la limitación de los motores paso a paso.

- *Bucle de Posición (cerrado):* El computador envía una información binaria (0-1) a un conversor digital analógico (DAC). Este transforma la información en una tensión variable de 0 a 10 V. Esta tensión se dirige hacia un comparador que recibe una tensión procedente del captador de posición (ver fig:2.5). El comparador analiza estas dos tensiones y determina una desviación que es enviada a un conversor analógico digital (ADC). Esto transforma la tensión (valor de la desviación) en una información binaria (0-1) que entra en el computador. Este último muestra el valor del desplazamiento que hay que efectuar. Cuando la desviación medida por el comparador es nula, el computador lanza la orden de parada al motor de avance; el desplazamiento se detiene, y se obtiene la cota.

Bucle de Velocidad (cerrado): El computador envía, en un instante dado, una información binaria (0-1) a un conversor digital analógico (DAC). Este transforma la información en una tensión variable de 0 a 10 V. (ver fig:2.6)

Esta tensión se dirige a un comparador que recibe una

tensión que viene de la dinamo- tacométrica montada en el tornillo, o en el árbol motor. El comparador analiza estas dos tensiones y dirige directamente la diferencia de tensión hacia el regulador que ajusta así la velocidad del motor. Cuando las tensiones procedentes del DAC y de la dinamo son idénticas, la velocidad de rotación del tornillo corresponde a la programada. Observamos que la comparación de tensiones se efectúa permanentemente.

- *Bucle Posición-Velocidad (cerrado): En las MHCNC, los dos bucles están íntimamente ligados. Se obtiene el esquema del principio mostrado (fig:2.7). Conviene observar que el principio de los bucles de servomecanismo cerrados se ha simplificado extremadamente. Se pueden incluir variantes en función del tipo de máquina.*

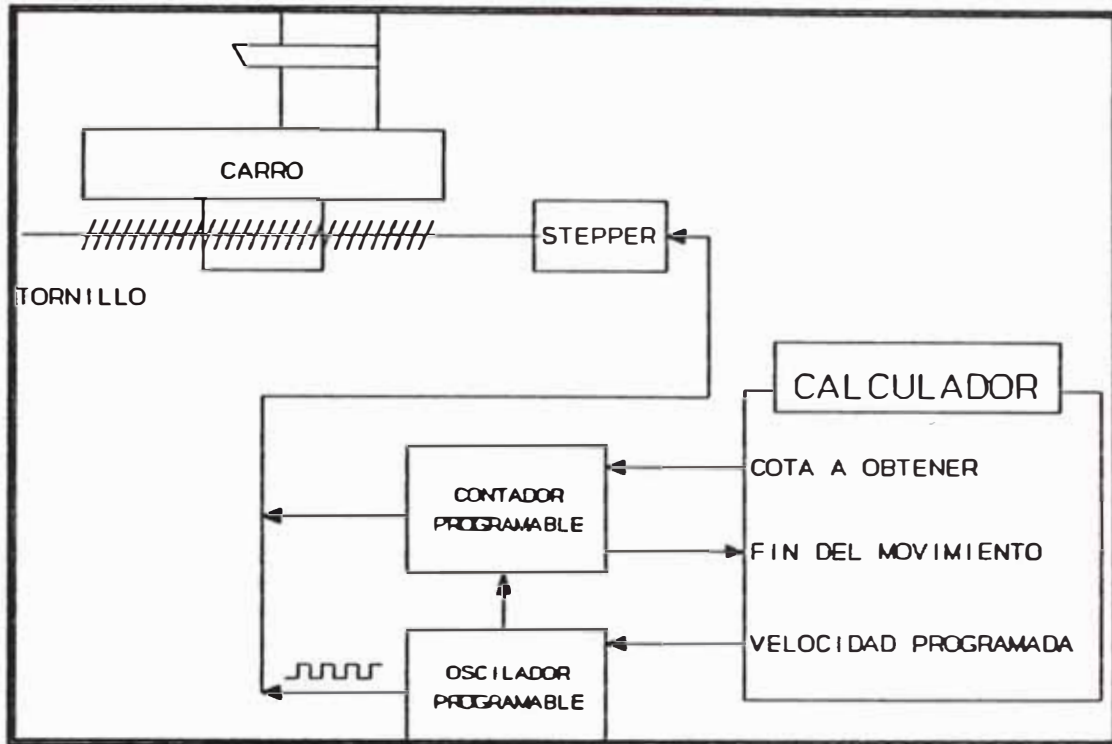


Fig:2.4 Lazo de control abierto

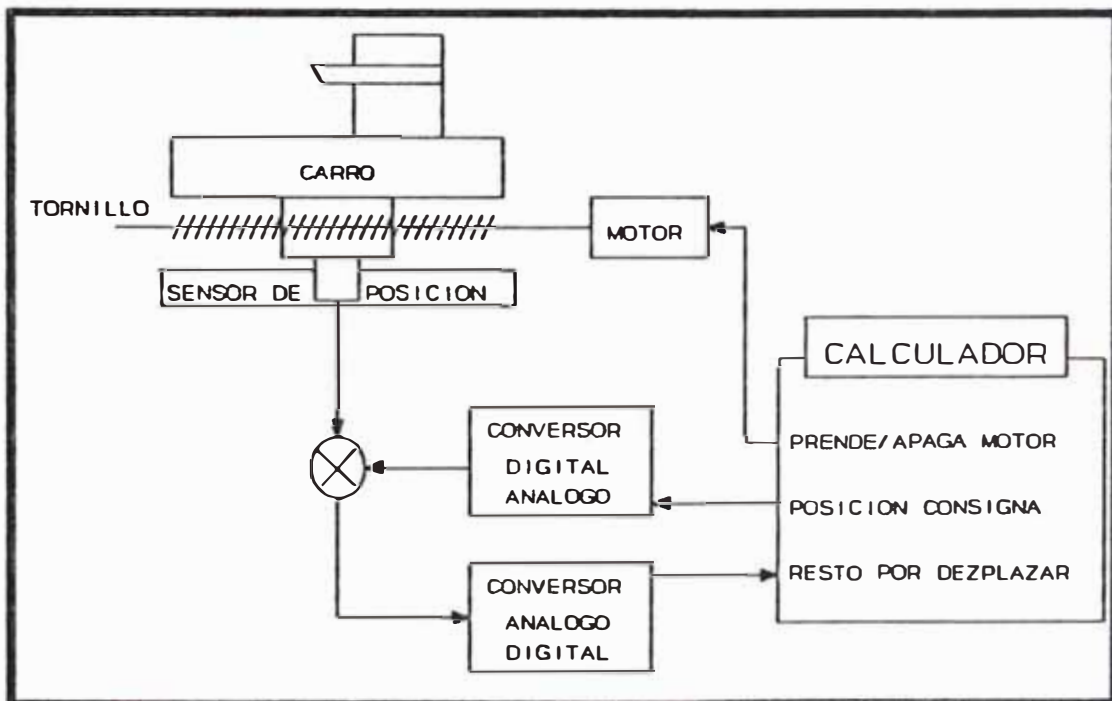


Fig:2.5 Lazo de control de posición

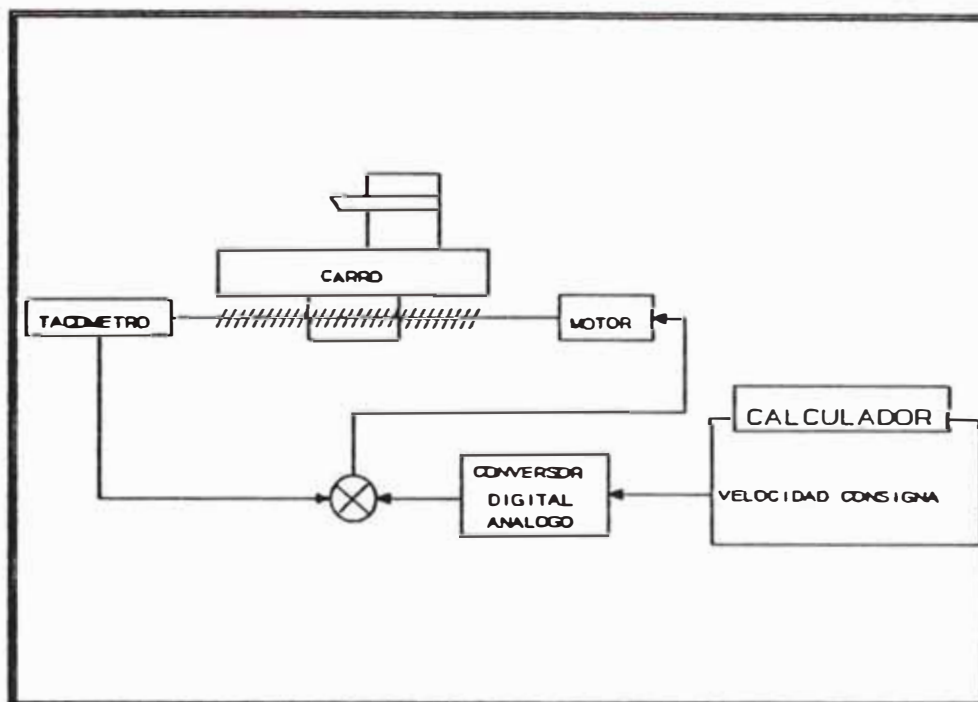


Fig:2.6 Lazo de control de velocidad

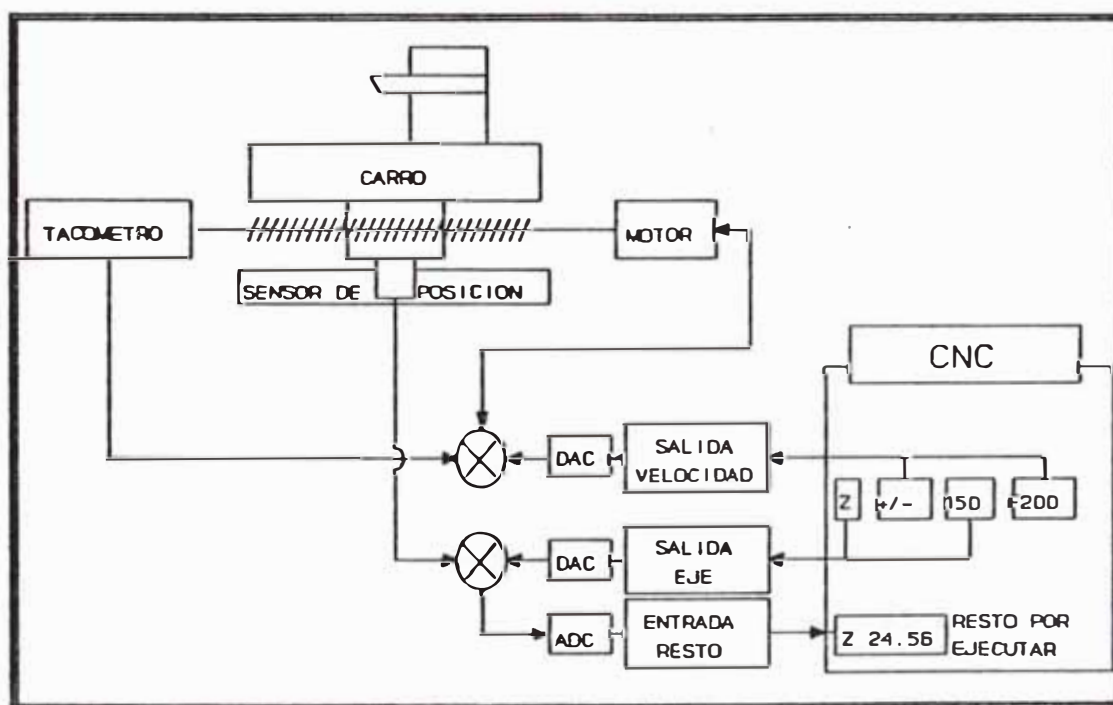


Fig:2.7 Lazo de control de posición y velocidad

Sistemas de cambio de herramientas y de piezas

Otra función que incorporan las máquinas herramientas de control numérico es el cambio automático de herramientas. Cuando la máquina precisa pocas herramientas diferentes, se utilizan torretas con herramientas montadas en sus caras; de 6 a 8 en tornos y hasta 40 en fresadoras. Girando la torreta se sitúa la herramienta en posición de trabajo. Cuando se precisa un mayor número, se acopla a la máquina un almacén de tambor o de cadena y un manipulador, en general de dos brazos, para cambiar la herramienta montada en el husillo por otra del almacén.

Se dispone de un sistema de identificación de herramientas para que el sistema pueda situar la prevista en cada fase.

Unos sistemas de identificación consisten en asignar una posición fija para cada herramienta en la torreta o en el almacén.

Los sistemas más evolucionados disponen de un código de identificación en la herramienta y un procedimiento de lectura del código, lo que permite el almacenaje de las herramientas al azar en el almacén de la máquina y en los programas es suficiente referirse al código de la herramienta.

Los sistemas con cambio automático de herramientas precisan disponer también de sistemas de detección y

medida del desgaste y rotura de herramientas. Unos sistemas establecen un desgaste teórico en función de las horas de utilización de la misma. Pero en general se tiende a incorporar a la máquina sensores para la medición directa o indirecta del desgaste. En torneado los más utilizados son sensores ópticos, que comparan el perfil real de la herramienta con uno teórico. En fresas se utilizan palpadores. En función de los resultados de la medición, el control corrige automáticamente la trayectoria de la herramienta para mantener las dimensiones de la pieza dentro de las tolerancias establecidas.

Para el cambio de piezas en los tornos hay tendencia a la utilización de robots los cuales cogen y colocan las piezas entre posiciones fijas.

Sistemas de medición de piezas y herramientas

La existencia de los sistemas de medición de desplazamientos permite desarrollar, en las máquinas herramienta de control numérico, funciones de medición e inspección de piezas y herramientas y efectuar el control de calidad en la misma máquina.

Montando un palpador, galga o instrumento adecuado en el portaherramienta se pueden efectuar mediciones de comprobación de las cotas de mecanizado.

En la actualidad se han desarrollado sistemas de palpación o digitalización del perfil tridimensional mediante la utilización de los Laser. Así cualquier pieza mecánica puede ser reproducida o confeccionado el molde para su fundición

La medición de la herramienta permite controlar su desgaste y modificar los parámetros del mecanizado en función del mismo. La medida se efectúa mediante palpado, utilizando los sistemas de medición de desplazamiento de la maquina, o bien con sistemas independientes de tipo neumático, inductivo u óptico.

Control de las condiciones técnicas del mecanizado

Cada maquina dispone de una gama de velocidades de avance y de rotación del eje principal. El programador elegirá en cada caso las más adecuadas en función del material a mecanizar, la potencia de la máquina y la precisión y grado de acabado requeridos.

Para optimizar las condiciones de mecanizado se utilizan sistemas de Control Adaptativo que, en función de los valores suministrados por ciertos captadores, esfuerzo y potencia consumida, vibraciones, etc., modifican los valores de la velocidad de avance para mantener los valores de las magnitudes dentro de ciertos limites.

Otra característica importante es la refrigeración. Las elevadas potencias utilizadas en las misma, transformadas en calor por el arranque en viruta, precisan de un elevado caudal de líquido refrigerante, no sólo para la herramienta sino también para la pieza y a veces incluso para la máquina o ciertos elementos de la misma.

El elevado volumen de viruta arrancada precisa soluciones bien estudiadas del sistema de evacuación de la misma.

Las Herramientas

Las herramientas utilizadas en las máquinas de C.N. de cambio manual son las mismas que encontramos en el mecanizado convencional y los criterios de selección son prácticamente los mismos.

A medida que se ha incrementado la aplicación de cambiadores automáticos, el diseño de herramientas ha evolucionado hacia una mayor estandarización y flexibilidad de utilización en varias máquinas, así como hacia la adopción de sistemas de acoplamiento rápido fácilmente automatizado. Nace el concepto de BTS -Block Tool System- o sistema de bloques de herramientas. Consiste en pequeñas unidades de corte, formadas por la plaqueta y un reducido cuerpo de

fijación, que se insertan a adaptadores o acoplamientos intermedios montados sobre el portaherramienta.

Este sistema permite un cambio automático muy rápido y una misma herramienta puede montarse en máquinas distintas a las que se ha acoplado el adaptador correspondiente.

En torneado las herramientas más utilizadas son las de plaquita de fijación mecánica. Y entre estas las de plaquita pérdida. Este sistema evita el reafilado y, como cada plaquita dispone de 2 a 8 filos de corte, se cambia la posición de la misma para utilizar otros filos. Cuando los filos se han desgastado se tira la plaquita.

Las torretas del torno, en general de 6 a 8 caras, permiten en cada una de ellas el montaje de la herramienta en posición radial para mecanizado externo o en posición axial para el torneado de interiores.

Si la herramienta se monta directamente sobre la torreta, antes de su utilización es preciso establecer las cotas de la punta y su radio y modificar los valores de los correctores. Es un proceso que representa un pérdida de productividad de la máquina.

Los criterios de selección del tipo de herramienta, mango y plaquita son los mismos que en el mecanizado convencional y dependen del tipo de operación a efectuar, material de la pieza, precisión y calidad de acabado, velocidad de avance, sección de viruta, etc.

En los centros de mecanizado, la fijación de efectúa mediante cono normalizado, que proporciona el centrado de la herramienta y una fuerza tensora aplicada desde la parte posterior del husillo. Para el cambio automático de herramientas se dota al portaherramientas de dispositivo de tensado adecuado.

Los sistemas de producción automática introducen dos nuevas funciones referidas a las herramientas:

- El Prerreglaje (Presetting).

- La Monitorización

El prerreglaje tiene por objeto conocer las cotas de la punta de la herramienta respecto al punto de referencia, previamente a su utilización, para introducirlos en la memoria del control.

El prerreglaje se efectúa en un puesto de trabajo específico, fuera de línea, dotado de un utillaje que reproduce el alojamiento de la herramienta en la máquina y dos carros que se desplazan para medir las cotas de la punta de la herramienta respecto al punto de referencia del alojamiento. En las herramientas de torneado, un sensor óptico permite determinar las cota X, Z de la punta de la herramienta y su radio R . En las herramientas giratorias son, en general, unos palpadores los que suministran la longitud y el diámetro de la misma. Se utilizan también sensores ópticos para encuadrar la punta de la herramienta.

La monitorización de la herramienta tiene por objeto

detectar:

- Rotura de herramienta.*
- Colisiones*
- Desgaste*

En función del resultado se puede parar la máquina, cambiar la herramienta o corregir los parámetros de la misma en el control según proceda.

Para ello se utilizan sistemas de sensores de tensiones, en general piezoeléctricos, sea en la misma herramienta o en el portaherramientas. Como el valor de las tensiones a que se somete la herramienta depende de las características técnicas del mecanizado y es difícil de establecer a priori. Para ello se determina un nivel de referencia en las primeras pasadas de trabajo, se memoriza y se comparan los valores posteriores con esta primera grabación. Las puntas provocadas, sea por rotura de herramienta sea por colisiones, o el aumento del nivel de tensión por encima de un límite, por desgaste de la herramienta, permiten al control ejecutar las acciones oportunas.

2.5 Estudio del Lenguaje de CN, Formatos y Codificación

2.5.1 La Programación en el control Numérico

Consiste en elaborar y codificar la información necesaria para mecanizar una pieza en un lenguaje que la máquina sepa interpretar. Esta programación puede descomponerse en tres etapas:

- 1) Preparación el trabajo.*
- 2) Codificación del programa.*
- 3) Prueba y puesta a punto.*

La etapa de preparación del trabajo es similar a la correspondiente del mecanizado convencional. A partir de las características de la pieza a obtener, de los medios de producción disponibles, de sus características y posibilidades, se define una secuencia de operaciones elementales, definiendo en cada una de ellas las herramientas a utilizar y los utillajes necesarios. Es necesario conocer las técnicas de mecanización para definir adecuadamente la secuencia. Esta secuencia de órdenes es denominada la definición del proceso y la abordaremos más adelante.

En la fase de codificación se transcribe toda la información, según los símbolos y reglas de sintaxis de un lenguaje comprensible por la máquina

a un soporte que el control pueda leer. Se precisa conocer las reglas del lenguaje que facilita el fabricante de la máquina en su manual.

En la fase de prueba y puesta a punto de programa se comprueba que en realidad la máquina ejecuta las operaciones previstas y se obtiene la pieza con la forma y acabado deseados. Según el procedimiento utilizado se puede efectuar una simulación previa del mecanizado antes de efectuar la pruebas sobre la máquina. Si los medios disponibles no permiten efectuar esta simulación, la prueba se realiza en vacío o con un material muy blando para evitar que los posibles errores de programación dañen la pieza o la máquina.

2.5.2 Lenguaje de Control Numérico

En este tipo de lenguaje el programador descompone la información en operaciones elementales a ejecutar por la maquina, por ejemplo, un recorrido, un cambio de herramienta, etc. Cada una de estas operaciones elementales constituye un "bloque" o una fase del programa y es una línea horizontal del mismo.

Las diferentes funciones a realizar por la máquina dentro de cada bloque se identifican por el formato

del bloque. En los lenguajes de bloques de formato fijo cada posición tiene un significado determinado. Actualmente está en desuso.

En los bloques de formato variable las funciones se identifican con una letra o dirección y los caracteres que siguen a esta letra especifican el valor directo o codificado de esta función. Es decir, un bloque se descompone en funciones o palabras definidas por una letra dirección seguida de caracteres numéricos.

Según la norma DIN 66025, equivalente a la ISO 1057, las direcciones utilizadas y su significado son:

- 1) N numeración del bloque.*
- 2) G función preparativa*
- 3) XYZ desplazamiento en las direcciones principales.*
- 4) UVW desplazamiento en las direcciones secundarias.*
- 5) PQR desplazamiento en las direcciones terciarias.*
- 6) IJK coordenadas de centros de círculos*
- 7) ABC rotaciones alrededor de los ejes principales*
- 8) DE rotaciones alrededor de ejes secundarios*
- 9) F velocidad de avance*
- 10) S velocidad de rotación*

11) T función de herramienta codificada

12) M función auxiliar

El orden de estas funciones o palabras dentro del bloque es variable según el constructor del control, pero en general coincide con el señalado.

Función N

Es la primera palabra del bloque. Sirve para numerar correlativamente los bloques y ayudar a su localización. Su formato es N03 ó N04. El 3 y 4 indican el número máximo de cifras a utilizar en la codificación y el 0 indica que pueden suprimirse los ceros a la izquierda.

Función G

G es la dirección de las funciones preparatorias que tienen por objeto informar al control de las características de la operación descrita en el bloque y que se especifica mediante el resto de palabras. Su formato es G2 lo que significa que pueden programarse 100 funciones distintas codificadas del 00 al 99, por ejemplo interpolaciones, elección de ejes, compensación de herramientas, ciclos, etc. Están agrupadas por similitud de funciones y en un bloque pueden programarse varias funciones G siempre que sean de

grupos distintos.

Funciones de desplazamiento o de coordenadas XYZ
Indican la cota a alcanzar por cada eje en su movimiento, excepto las direcciones I,J,K que indican el centro de arco descrito por la herramienta. Su formato, trabajando en milímetros, acostumbra ser X+04.3, en donde X es la letra de la dirección; el + indica que pueden programarse signos positivos (+) y negativos (-), el cero que pueden suprimirse los ceros a la izquierda y el 4.3 que las cotas pueden tener como máximo 4 cifras enteras y 3 decimales.

Funciones de desplazamiento angular ABC

Las funciones ABC indican la cota angular a alcanzar por giro alrededor de los ejes XYZ respectivamente. Su formato es también A+04.3 y la unidad es el grado.

F Velocidad de Avance

La dirección F sirve para comunicar el valor de la velocidad de avance. Su formato es F04 (mm/revolución). F0 se utiliza para programar la velocidad máxima de avance de la máquina.

S Velocidad de rotación

Sirve para programar la velocidad del husillo. Su formato es S04 (rev/minuto).

T Función de herramienta

Se programa el número de herramientas a utilizar y en algunos casos los valores de corrección de herramienta. El formato es T2.2 (0 a 99 herramientas y de 0 a 99 valores de corrección).

M Función Auxiliar

Se utiliza para indicar condiciones de funcionamiento de la máquina: sentido de giro, cambio de herramienta, refrigeración en marcha, parada, etc. Su formato es M2 lo que significa que se dispone de 100 códigos distintos.

Los fabricantes de equipos de máquinas herramientas de control numérico basan las codificaciones propias de sus equipos en estas normas, pero en general eliminan algunos códigos no aplicables y lo complementan con códigos propios.

2.6 Definición del Proceso

Esta definición del proceso de mecanizado se realiza

para obtener una secuencia de información de todas las operaciones que se deben ejecutar, para la elaboración de una pieza. Los pasos que tenemos que realizar son:

- Estudio del plano de la pieza:

Las máquinas con CN. crean la necesidad de contar con un área de Ingeniería de Métodos, porque los detalles del proceso se deben realizar primero en esta área a cargo de los analistas de métodos. Estos se informan de los detalles constructivos, de las particularidades y características de la pieza a mecanizar.

- Verificación de las piezas a mecanizar:

En este paso el analista realiza un estudio del origen de la pieza en bruto. Según el tipo de procedencia del material (barra, plancha, fundición) se debe determinar el estado superficial, homogeneidad en la dureza y margen de sobremedida adecuadas para ser mecanizadas en las máquinas con CN.

- Reacotado:

Esta operación se realiza porque las máquinas con CN realizan todos sus desplazamientos con referencia a un punto de origen (origen del programa) y el reacotado del diseño de la pieza hace posible definir

la secuencia de los movimientos en base a un plano de coordenadas y las operaciones a realizar durante el mecanizado.

- Elección de la máquina:

Depende de muchos factores como las tolerancias de fabricación, los acabados superficiales, el tamaño y forma de la pieza, la cantidad de piezas y el tratamiento térmico de la pieza.

- Estudio del dispositivo:

Para conseguir utilizar al máximo la capacidad del CN es necesario realizar un dispositivo (utillaje) que permita hacer el cambio de la pieza y su sujeción en un tiempo bajo, siendo maniobrable y seguro al operador. Esto utillajes son más utilizados para los casos de fresadoras y centros de mecanizado; que para tornos.

- Selección de herramientas:

Durante la elaboración de piezas con máquinas CN es necesario utilizar para cada operación de mecanizado un determinado tipo de herramienta; una herramienta para el desbaste, una herramienta para el acabado, una para el roscado, otra para hacer canales, etc. Esto hace que debamos utilizar las herramientas correctas para cada operación, tomando en cuenta el

tipo de material, dureza, potencia de la máquina, tolerancias de las medidas, condiciones de mecanizado, etc.

- Confección del ciclo de trabajo:

Después de haber cubierto los pasos anteriores nos toca transcribir estos en unos formularios, indicando cada una de las fases y operaciones con los tiempos previstos, tipos de herramientas que se van a emplear, especificando tipo de insertos, portainserto, portaherramientas, dispositivos de sujeción y medición, croquis de la ubicación de la pieza en la máquina, etc.

- Confección del manuscrito:

En la confección del manuscrito transcribimos todos los datos geométricos del plano y tecnológicos necesarios para la elaboración de la pieza, en una secuencia de números y letras, un lenguaje especial alfanumérico que sirve para que el CN interprete las órdenes y pueda ejecutar el mecanizado de la pieza.

- Introducción del programa:

Después de haber transcrito toda la información, se procede a perforar una cinta (antiguo método) o introducirlo directamente al CN de la máquina o a grabarlo en una cinta magnética a través de una

lectora portatil o ha grabarlo en disquette desde un terminal remoto si se está en un sistema DNC

- Verificación del proceso y programa:

En este último paso, después de haber definido el proceso y el programa, es necesario realizar una verificación de todas las operaciones que se van a realizar paso a paso, con el fin de prevenir cualquier error cuando empecemos a ejecutar el programa.

Con la ayuda de simuladores de CNC los programas pueden ser simulados y revisados, para detectar posibles errores de programación, de sintaxis y de lógica, antes de ser corridos en las propias máquinas CN. De esta forma se ahorra tiempo de prueba en la máquina CN. Pero siempre recomendable darle una corrida al programa en vacío, ya que la máquina puede estar siendo forzada a trabajar en un régimen que la pueda perjudicar.

2.7 Características eléctricas de los accionamientos utilizados

2.7.1 Motores Paso a Paso (Steppers)

Un motor paso a paso o también llamado stepper es un dispositivo electromecánico que convierte en movimiento mecánico, las señales digitales que le son enviadas. El rotor del stepper gira por la permutación de la energización de sus bobinas. De esta permutación se encarga un circuito electrónico de comando (secuenciador o driver) y de la energización adecuada (nivel de tensión y corriente) un circuito de potencia.

Existen dos tipos de steppers, los llamados de imán permanente y los llamados híbridos^[2].

- Steppers de imán permanente: El ángulo de paso del stepper depende de la relación entre el número de polos magnéticos del estator y del rotor. Como la forma del magneto permanente es cilíndrico, los polos son limitados debido a las características del material magnético. Esto limita el número de pasos por vuelta que puede dar el stepper. Si se quiere un stepper, de este tipo, con mayor cantidad de pasos se tendrá que agrandar el rotor y por lo

tanto se tendrá una drástica elevación de la inercia del motor. El ensamble del estator comprende de dos o más estatores, los cuales tienen sus bobinados respectivos a través de los cuales la corriente forma el campo magnético. La formación del campo magnético en un estator alinea el rotor a una nueva posición de equilibrio. Por lo que la velocidad dependerá de la velocidad de permutación de la energización de sus bobinas.

En la figura 2.8 se muestra el funcionamiento de un stepper de imán permanente de 4 fases. En la primera figura las fases P y R están energizadas, por lo que el rotor obtiene la posición indicada. Si el switch S1 es ahora conmutado las fases Q y R estarán energizadas y el rotor se mueve 90 grados como se muestra en la figura adyacente. De esta forma puede observarse que operando alternativamente los switches S1 y S2 el rotor puede ser rotado en pasos de 90 grados. Para pasos más pequeños el estator tendrá mayor cantidad de estatores.

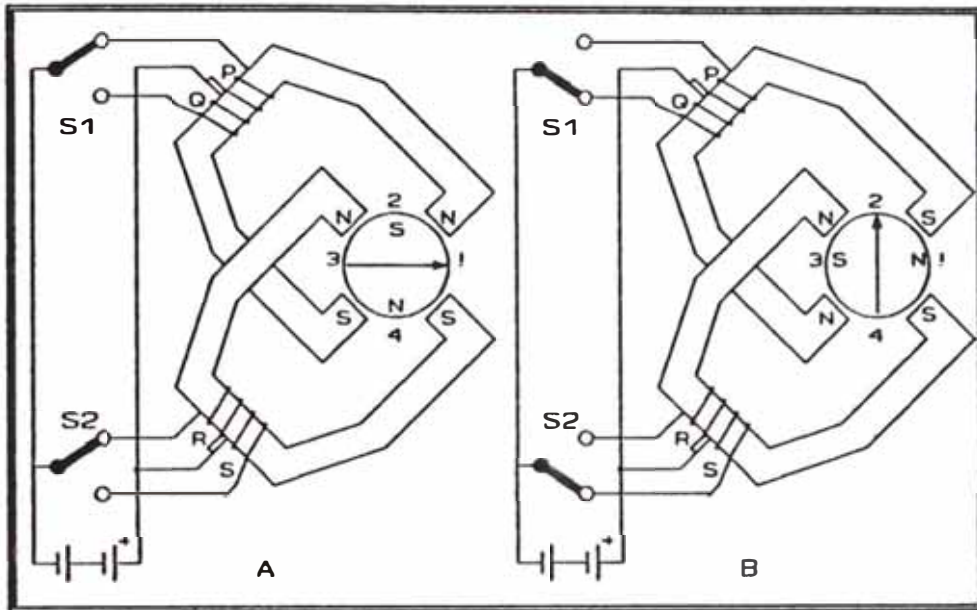


Fig:2.8 Funcionamiento de un stepper de imán permanente de 4 fases

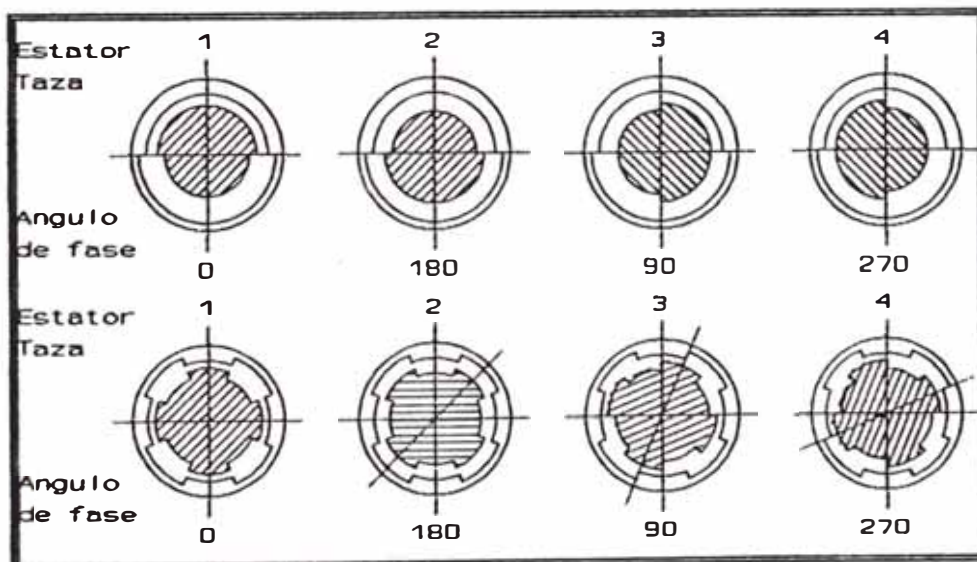


Fig:2.9 Posiciones de un rotor de 4 discos

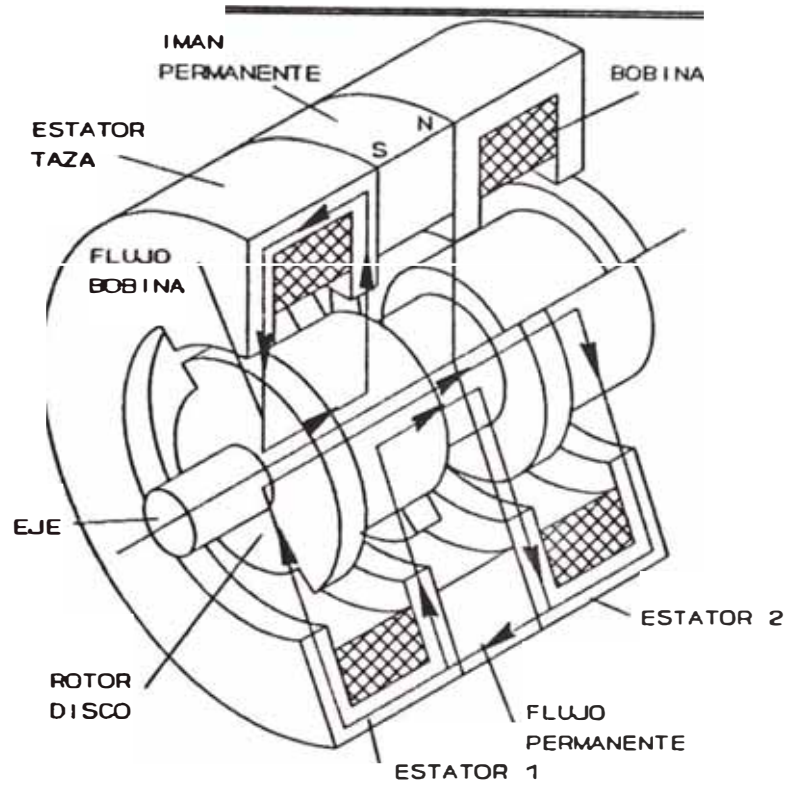


Fig:2.10 Constitución interna de un stepper híbrido

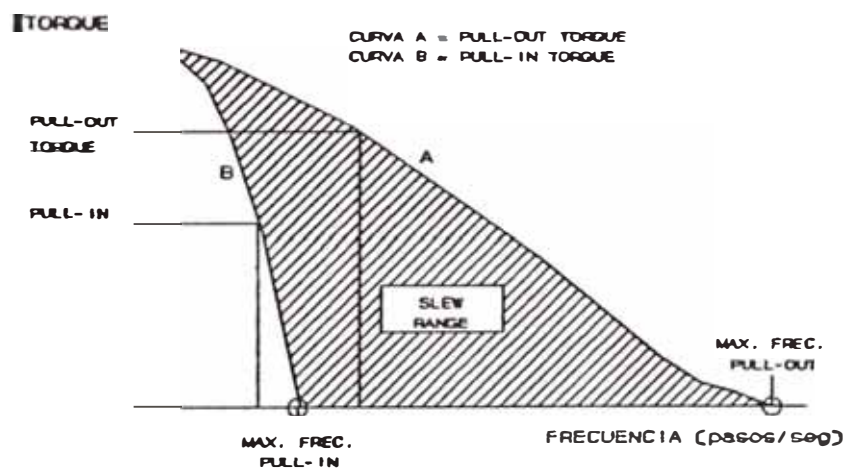


Fig:2.11 Curvas características de un stepper

- *Steppers Híbridos: Su diseño consiste en cuatro estatores tipo taza ensambladas cara con cara en el que lleva un bobinado tipo anillo. Cada par de estos estatores cerrados son juntados por un magneto permanente. La circunferencia interior de cada estator tipo taza tiene dientes, el número de dientes depende del paso del motor. El rotor consiste de cuatro discos con el mismo número de dientes que el estator. Los discos del rotor son girados un de otro por medio diente siguiendo una forma dictada por la secuencia de energización de las bobinas del estator (ver figura 2.9). El flujo magnético del imán permanente es distribuido a través de cada estator y cerrado vía el rotor (en la zona de menor reluctancia). Cuando el estator es energizado alternativamente y en ambas direcciones un flujo magnético rotatorio es producido (ver figura 2.10). Para cada paso en la secuencia de energizado, un diente del rotor-disco se alinea con un diente del estator-taza.*

A continuación describiremos las características más importantes del funcionamiento de los motores paso a paso llamados también "Steppers".

El paso

Es la respuesta a una permutación en la energización de las bobinas del stepper. Estas permutaciones son realizadas por un circuito secuenciador cual debe poder energizar las bobinas de stepper de tal forma que este pueda girar en la dirección que se le indique con una frecuencia de permutaciones igual a la frecuencia del tren de pulsos que se le mande.

- La oscilación: Al mandarle un pulso al circuito secuenciador el stepper dará un paso y quedará oscilando en esta nueva posición de equilibrio eléctrico hasta finalmente detenerse. Las características de esta oscilación representan la dificultad de responder a un nuevo paso. El tipo de carga a vencer influye en estas características. La carga esta compuesta por la carga de inercia y por la carga de fricción.

Esta oscilación aparece como amortiguada por la carga de fricción. Y la respuesta a cada paso puede variar desde sub-amortiguada hasta sobre-amortiguada según la carga de fricción aumente. Los motores de imán permanente muestran mejores características de amortiguamiento que los motores de reluctancia variable. El aumento de la carga de inercia tanto del rotor como de la carga disminuye

la frecuencia de estabilización en la nueva posición de equilibrio.

- La precisión: la cual esta dada en una fracción del ángulo de paso y la misma que no es acumulativa. Es decir el posible error (de ángulo) en un paso es el mismo que el error al final de 1000 pasos, debido a la simetría y la distribución magnética sobre sus numerosos polos. Pero este error depende del tipo de carga y ante una carga variable también puede variar. Por lo que el error de precisión podría duplicarse, ya que para una carga variable que en un paso esta forzando al stepper hacia una dirección, puede cambiar la dirección de la fuerza al siguiente paso.

- Equilibrio de corrientes: este se tiene que dar cuando se energizan dos bobinas a la vez (disposición utilizada por esta tesis). Suele utilizarse esta disposición para aumentar el torque motriz. Este equilibrio puede romperse si se utilizan componentes electrónicos de diferentes características para cada bobina. Lo cual acarrearía una posición de equilibrio intermedia entre la original y la siguiente. Esto es utilizado para algunas aplicaciones en donde se requiere incrementar la precisión (obtener medios pasos),

pero para esto en una bobina se reduce gradualmente la corriente mientras que en la otra se mantiene constante.

2.7.1.2 El Torque

Existen tres tipos de torque que son importantes de considerar:

- El torque de Retención: Es el torque necesario para mover el stepper un paso, cuando este está energizado y en reposo en una determinada posición. Si se aplica un torque mayor que este al stepper entonces se moverá continuamente.

Este torque normalmente es más grande que el torque de operación o trabajo. Puede decirse que nos da una idea de la rigidez que tiene un stepper. Cuando más alto es el torque de retención más precisa la retención de la carga en su posición.

- El torque residual: Es el torque que tienen los steppers de imán permanente y los híbridos debido al flujo magnético producido por el imán permanente y a la fricción en los rodamientos. Su magnitud es aproximadamente del 10% del torque de retención y puede servir, en algunas aplicaciones, como un freno cuando el stepper esta desenergizado.

- *El torque de operación:* Las características dinámicas de un stepper pueden ser descritas por curvas de Torque vs. frecuencia de pasos. Estas curvas se muestran en la figura 2.11. La curva llamada *Pull-In* muestra la carga con la que el motor puede arrancar y parar sin pérdida de pasos cuando es operado a una frecuencia constante. La curva llamada *Pull-Out* muestra el torque disponible cuando el motor es gradualmente acelerado del reposo hasta la velocidad de operación.

El área entre las curvas es conocida como *Slew range* y representa la región en la que el stepper puede mover la carga sin ningún aumento de aceleración y sin posibilidad de parar, ni de cambiar de sentido de giro.

2.7.1.3 El proceso de arranque y parada

Los steppers pueden arrancarse y detenerse de forma brusca o de forma gradual dependiendo del tipo de frecuencia de pulsos que se le mande al secuenciador. Las ventajas e inconvenientes de estos tipos de arranques vamos analizar a continuación

- *Arranque y parada a frecuencia constante:* En este tipo de arranque al stepper se le manda un tren de determinado número de pulsos y de una determinada frecuencia constante. Para saber la capacidad de carga que puede soportar el stepper a una determinada frecuencia sin perder sincronismo (pérdida de pasos) se prueba el stepper obteniéndose curvas experimentales de Torque vs. Frecuencia de pérdida de sincronismo (gráficas Pull-in). Este ensayo consiste pues en cargar al stepper en reposo con una determinada carga de inercia y de fricción, para luego mandarle un determinado tren de pulsos de frecuencia constante. Esta frecuencia se va aumentando hasta alcanzar la frecuencia, en la que para esa determinada carga, pierde sincronismo el stepper. Para tabular un nuevo punto se aumenta o disminuye la carga del stepper.

Este tipo de arranques son utilizados en aplicaciones en donde se requiera que el stepper tenga que arrancar en el mínimo tiempo posible. Pero como el stepper es acelerado a su velocidad de rotación constante en el curso de un paso, esta aceleración es muy brusca, por lo que la velocidad máxima a la que puede llegar (velocidad límite) será menor a la que se pudiera alcanzar con una aceleración gradual.

Cabe mencionar que luego de un largo tren de pulsos de frecuencia constante es necesario un período de tiempo para que el stepper pueda estabilizarse y así poder reiniciar el movimiento o invertirlo. Esto es debido a la inercia propia del motor en movimiento.

- Arranque y parada con aceleración gradual: En este tipo de arranque se aplica al stepper un frecuencia de pulsos que varia desde cero hasta la frecuencia de operación; lo mismo pero en forma inversa se realiza para la parada del stepper. Este método es utilizado en aplicaciones en donde se pueda incrementar gradualmente la velocidad y en donde la carga de inercia sea significativa. Las gráficas de Torque vs. Frecuencia que se obtienen con este método son llamadas Pull_Out y nos muestran el torque máximo que podríamos obtener si arrancamos de forma gradual hasta la velocidad de operación. También existen las gráficas que muestran el tipo de aceleración al que ha sido ensayado el motor y son del tipo Frecuencia vs. Tiempo para una carga constante de inercia y fricción.

2.7.1.4 Pérdida de pasos

Como se observa en la figura 2.12 el torque de trabajo disminuye cuando la velocidad de operación aumenta. Esto es semejante si en las bobinas el gradiente de la corriente respecto el tiempo disminuye al inicio del paso. La corriente deberá alcanzar un valor elevado antes que el stepper se mueva de manera apreciable y así alcanzar el torque máximo. Se conoce que la máxima carga de fricción que idealmente puede conducir un motor es de 0,707 veces el torque de retención máximo.

Se han observado comportamientos inestables a determinadas frecuencias en algunos steppers sin carga en los que la tasa de crecimiento de la corriente es elevada.

Estas frecuencias son múltiplos de la frecuencia de resonancia. Las altas tasas de crecimiento de corrientes en estas frecuencias pueden llevar al stepper a zonas en que el siguiente pulso tenderá a invertir el sentido de giro. Para evitar estos fenómenos es recomendable aplicar cargas de fricción para la amortiguación de estas frecuencias. El fenómeno de resonancia puede ocurrir si a altas frecuencias el voltaje de la fuente alimentación es mucho más alto que el nominal.

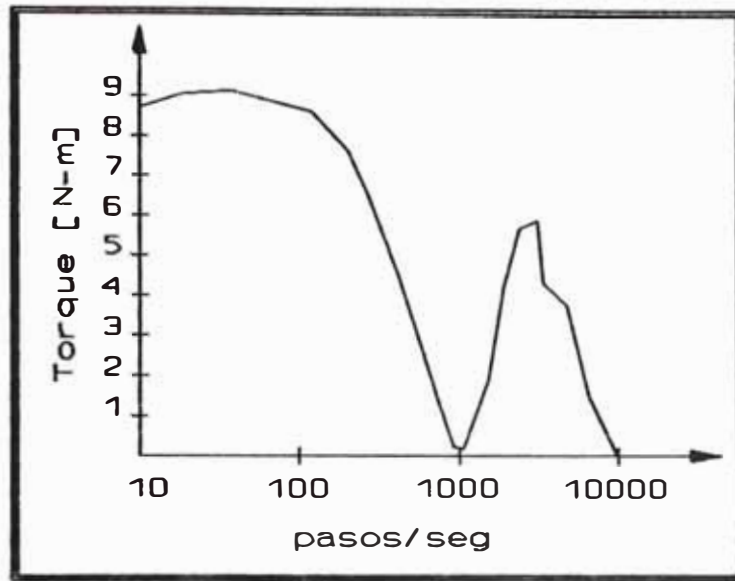


Fig:2.12 Torque requerido para pérdida de sincronismo.

2.7.2 Motor de corriente continua

El funcionamiento del motor DC se basa en la ley de Ampere, la cual indica que un conductor por el cual circula corriente y se encuentre dentro de un campo magnético, tenderá a moverse en ángulos rectos con ese campo (regla de la mano izquierda) [3].

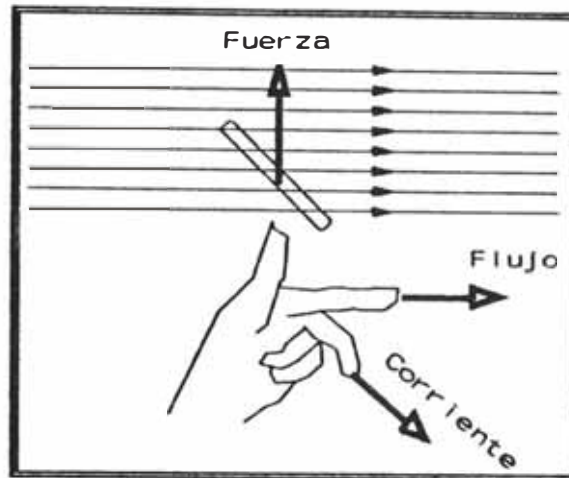


Fig:2.13 Regla de la mano izquierda

Como los conductores del motor giran en un campo magnético entonces deben generar una f.e.m. igual que un generador DC, es decir [4]:

$$E = K \cdot \phi N \quad (2.1)$$

en donde: K - constante, depende del número de polos, número de conductores en la armadura, etc.

ϕ = flujo que entra a la armadura desde un polo

N - RPM

Esta f.e.m. esta en oposición al voltaje en los terminales y tiende a oponerse a la corriente que

entra a la armadura, cuyo valor es:

$$E = V - I_a \cdot R_a \quad (2.2)$$

en donde: V = voltaje en los terminales

I_a = corriente de armadura

R_a = resistencia de armadura

Sí reemplazamos (2.2) en (2.1) tenemos la ecuación general para la velocidad de un motor:

$$N = \frac{V - I_a \cdot R_a}{K \cdot \phi} \quad (2.3)$$

El torque electromagnético desarrollado por la armadura es proporcional al flujo y a la corriente de armadura, así:

$$T_e = K_t \cdot \phi \cdot I_a \quad (2.4)$$

en donde K_t es una constante.

En nuestro caso el motor DC utilizado tiene un campo magnético de 2 polos, proporcionado por imanes permanentes de tal forma que el flujo magnético (ϕ) es contante y por lo tanto el torque electromagnético será proporcional a la corriente de armadura. Es decir:

$$T_e = Cte \cdot I_a \quad (2.5)$$

Capítulo 3

DISEÑO MECANICO DE LAS TRANSMISIONES

En este capítulo se expone el diseño realizado de la transmisión de los steppers con los carros longitudinal y transversal, así como la transmisión del motor de corriente continua con el husillo y el diseño de la torre porta-herramienta. Previamente se definen los parámetros que regirán el diseño, como son: los materiales a trabajar, las velocidades de corte y avances, las herramientas, etc.

3.1 Definición de los parámetros del torno

3.1.1 Materiales a trabajar

El material más duro que trabajará el torno será el acero al carbono SAE 1020 ($K_s=1900 \text{ N/mm}^2$), con el diámetro máximo de 80 mm (máximo sobre bancada) requiriéndose un acabado superficial de clase N°7 es decir con una rugosidad absoluta de $1,6 \mu\text{m}$ ($\nabla\nabla\nabla$). El cálculo de potencia y fuerzas será hecho

para este material en maquinado de desbaste, por considerarse el más crítico. Luego los materiales más blandos podrán ser maquinados con facilidad por el torno, como es el caso de aluminios y bronces (ver tabla 3.1).

Tabla:3.1 Materiales a trabajar

Material a trabajar	Fuerza específica de corte Ks [N/mm ²]	Dureza Brinell HB
Acero al carbono SAE1020	1900	125
Fundición Maleable		
Ferrítica	1100	130
Perlítica	1100	230
Fundición		
Baja resistencia a la tracción	1100	180
Alta resistencia a la tracción	1500	260
Fundición nodular SG		
Ferrítica	1100	160
Perlítica	1800	250
Aleaciones de Aluminio		
No tratable por calentamiento	500	60
Tratables por calentamiento	800	100
Aleaciones Aluminio (fundición)		
No tratable por calentamiento	750	75
Tratables por calentamiento	900	90
Aleaciones de bronce y latón		
Aleaciones de plomo, Pb>1%	700	110
Latón, latón rojo	750	90
Bronce y cobre sin plomo, incluyendo cobre electrolítico	1750	100
Otros materiales		
Plásticos duros		
Fibra		
Caucho duro		

3.1.2 Velocidades de corte y avances

Para el desbaste se trabajará con la velocidad más baja igual a 200 RPM y con una penetración máxima de 0,15 mm. Para esta penetración utilizaremos un avance de 0,15 mm/rev (desbaste ligero [1]).

Para el acabado trabajaremos con la velocidad más alta igual a 1000 RPM y con un penetración de 0,05 mm y un avance de 0,1 mm/rev.

El resumen puede verse en la tabla 3.2.

Tabla:3.2 Parámetros de maquinado

	Desbaste	Acabado
RPM	200	1000
Velocidad de corte [m/min]	50	250
Avance [mm/rev]	0,15	0,1
Penetración [mm]	0,15	0,05

3.1.3 Herramientas a utilizar

Utilizaremos herramientas para máquinas de control numérico, es decir manguitos porta_plaquitas y sus respectivas plaquitas recambiables. Por tener disponibilidad de un juego de herramientas de un torno CN específico, el manguito portaplaquitas para desbaste exterior

(igual al de acabado exterior) será de las dimensiones mostradas en la figura 3.1.

Este manguito es semejante al del tipo T_MaxU (diseño de tornillo brida) con especificación [2] SDJCR1212F07. El cual utiliza igualmente plaquitas rómbicas de 7,8 mm de lado.

Luego solo seleccionaremos las características de la plaquita a utilizar (radio de punta, geometría del perfil cortante y material), para las características del mecanizado anteriormente fijadas.

Tengo que mencionar que sólo seleccionaré las plaquitas a utilizar en el torneado exterior de desbaste y en el de acabado para el material anteriormente definido como más crítico (acero SAE 1020). Las plaquitas para el tronzado, torneados interiores y roscados tienen procedimientos semejantes. La selección de la plaquita, como más adelante veremos, dependerá del tipo de material a tornear, por lo que la selección para el metal más duro puede no ser la más óptima para materiales más blandos, para los cuales puede seleccionarse una plaquita más económica y adecuada.

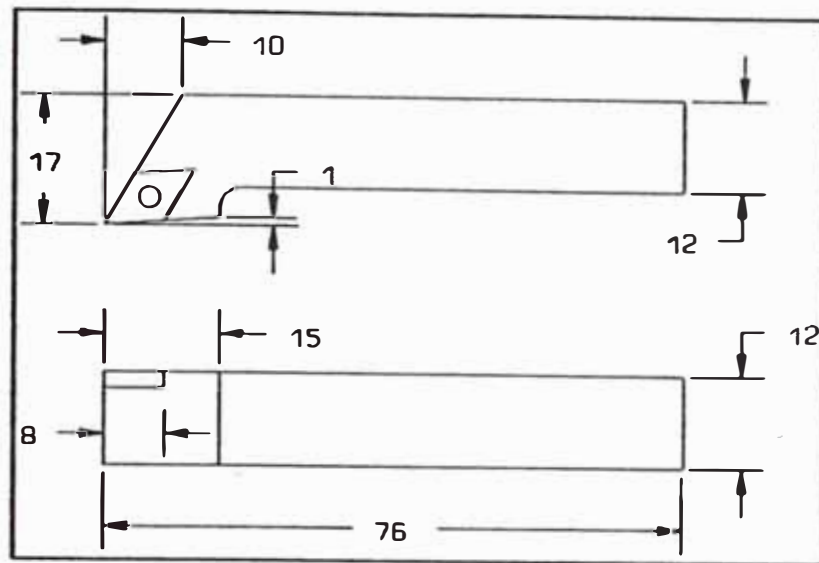


Fig:3.1 Herramienta CNC disponible

3.1.3.1 Proceso de selección de plaquita para desbaste

El proceso se basará en el aconsejado por el fabricante, luego a continuación todas las tablas que se mencionan corresponden al manual de herramientas de corte Sandvik (ver Apéndice A).

- *De la tabla de la pág.466 obtenemos el código CMC para el material a desbastar.*
- *En desbaste el avance no debe superar los rangos establecidos en la tabla de la pág.454. En la cual para un radio de punta de la plaquita igual a 0,4 mm (característico del tipo de plaquita utilizado para desbaste) se debe tener un avance máximo de 0,25 ó 0,35*

mm/rev. El avance también puede ser calculado según la siguiente regla práctica sugerida por el fabricante:

Avance máximo de desbaste = 0,5 x Radio de la punta

Avance máximo desbaste = 0,5 x 0,4 = 0,2mm

0,2 mm/rev > 0,15 mm/rev ...Ok!

- *Con la velocidad de corte de desbaste (50 m/min) y el código CMC (01.1) vamos a las tablas de las págs. 466-467. En ellas se observa que la plaquita de material GC235 tiene para un avance de 0,1 mm/rev una velocidad máxima de corte de 180 m/min y para un avance de 0,4 mm/rev le corresponde una velocidad máxima de corte de 130 m/min. Esta plaquita con estos pares de valores de avance y velocidad de corte nos puede durar como mínimo 15 minutos (radio de la punta sin perder precisión). En la tabla de la pag.463 están tabulados los valores de factores de corrección de la velocidad máxima de corte para que la duración sea mayor que 15 minutos. La máxima duración tabulada es de 60 minutos al cual le corresponde un factor de 0,75. Afectando los valores de velocidad máxima de corte para que la plaquita dure 60 minutos tenemos:*

Velocidad máxima de corte - 128 m/min

Avance - 1,5mm/rev

Este valor de velocidad (obtenido por interpolación) es mayor que el valor de nuestra velocidad de desbaste por lo que cada filo de la plaquita nos durará más de 60 minutos.

Ahora debemos elegir la geometría del perfil cortante (diferente de geometría de la plaquita: rómbica, cuadrada, etc.), para esto en las tabla de la pág.452 se obtiene el área de trabajo: desbaste ligero (C). En la misma tabla se obtiene que la geometría más adecuada es la del tipo UM.

A continuación debemos comprobar si la penetración usada es adecuada para el tipo de plaquita. En la tabla de la pág.453 se observa que para la plaquita DCMT-UM la penetración máxima es de 1/4 de la arista (7,8 mm), es decir 2mm. Por lo que la penetración utilizada 0,15 mm es adecuada.

Finalmente en la pág.40 ubicamos la especificación completa de la plaquita para el pedido:

Usar plaquita:

DCMT 07 02 04 UM de material GC 235

3.1.3.2 Proceso de selección de plaquita para acabado

Las plaquitas para acabado sugeridas por el fabricante tienen comúnmente un radio de punta igual a 0,2 mm, por lo que con el avance anteriormente propuesto, debemos verificar si podemos obtener un acabado igual o mejor que el requerido. Igualmente las paginas a las que se hace referencia, pertenecen al manual de herramientas de corte Sandvik.

Con la siguiente fórmula (igual que pág.455) obtenemos la profundidad del perfil:

$$R_T = \frac{f^2}{8 \cdot r_\epsilon} \cdot 1000 \quad (3.1.1)$$

donde:

R_t - profundidad del perfil [μm]

r_ϵ - radio de la punta [mm] = 0,2

f = avance [mm/rev] = 0,1

reemplazando en (3.1):

$$R_t = 6,25 \mu\text{m}$$

Con el valor anterior de R_t vamos a la tabla de la pag.455 y obtenemos la rugosidad absoluta resultante. La cual como se observa es menor que la que requeríamos, por lo tanto

la selección es correcta.

$$Ra = 1,4 \mu m < 1,6 \mu m \dots Ok!$$

Hasta ahora hemos comprobado lo adecuado que es el avance y el radio de la plaquita para el acabado. A continuación elegiremos el material y la geometría de la plaquita.

De la tabla de la pag.452 observamos que para el área de trabajo A (super acabado), la geometría (tipo) más adecuado es la UF.

Para obtener el material de la plaquita vamos a la tablas de las pags.466-467, con el N°CMC, el avance y la velocidad de corte. En ella obtenemos que el material más adecuado es el CT525. Con este material la plaquita con una velocidad de corte máxima de 410 m/min y el mismo avance durará 15 min.

Con el factor de corrección de la velocidad de corte igual a 0,75, obtenemos que la velocidad máxima deberá ser igual a: 307 m/min, para que la plaquita dure 60 minutos. Como nosotros vamos utilizar una velocidad de corte menor (250 m/min), la duración de la plaquita será mayor.

- En la pág.40 encontramos la especificación completa de la plaquita a utilizar.

Usar plaquita:

DCMT 07 02 02 UF de material CT 525

3.1.4 Cálculo de la potencia y fuerzas de corte.

3.1.4.1 Fuerzas de corte

La fuerza de corte principal F , puede dividirse en tres componentes:

F_C = Fuerza tangencial, o de corte dirigida hacia abajo

F_A = Fuerza axial o de avance, en dirección paralela a la línea central de la pieza a trabajar

F_R = Fuerza radial, es dirigida en dirección perpendicular a la línea central de la pieza a trabajar.

Existen relaciones aproximadas entre estas tres componentes como las siguientes:

$$F_C : F_A : F_R = 4 : 1,2 : 0,6 \quad [3]$$

ó

$$F_C : F_A : F_R = 4 : 2 : 1 \quad [4]$$

Pero los valores de F_A y F_R quedan determinados sobre todo por el ángulo de posición y el radio de punta de la plaquita.

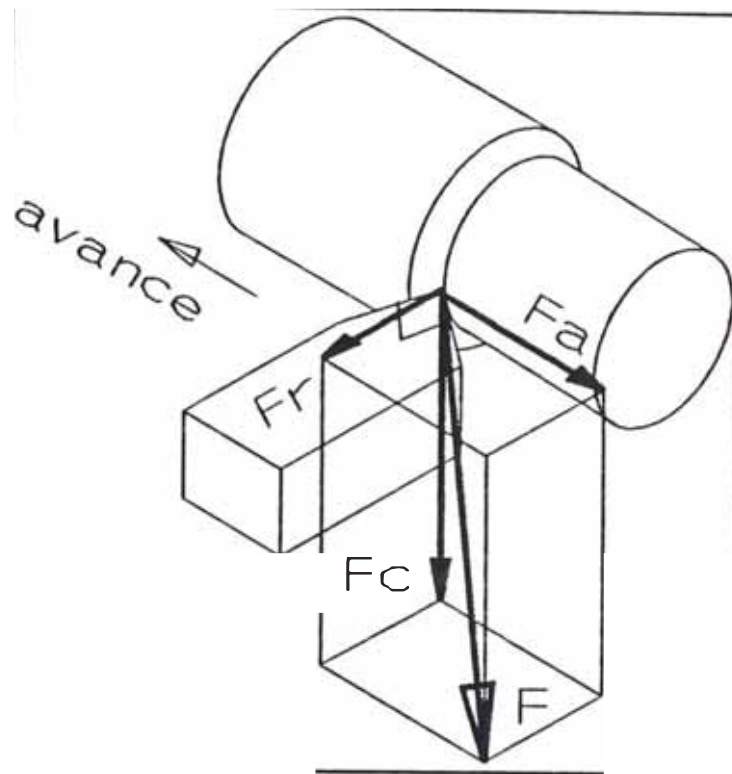


Fig:3.2 Fuerzas de corte

La fuerza de corte tangencial F_c (en Newtons), puede calcularse con la siguiente fórmula:

$$F_c = K_s \cdot a \cdot s \quad (3.1.2)$$

donde:

K_s - fuerza específica de corte [N/m^2]

a - profundidad de corte [mm]

s = avance [mm/rev]

La fuerza específica de corte K_s es una constante del material, única para un material específico

bajo ciertas condiciones de corte, que indica, hasta cierto punto la mecanibilidad del material. Para un material específico, se puede determinar el valor K_s basándose en los datos de corte de la referencia [5].

Sin embargo, el valor K_s no sólo varia en función del material sino también en función de factores como:

- geometría de la plaquita
- ángulo de posición de la herramienta
- velocidad de avance seleccionada

La referencia [6] contiene los factores de corrección válidos para las geometrías, ángulos de posición y avances.

A continuación calcularemos las fuerzas de corte para el desbaste, ya que en él se dá el caso más crítico del funcionamiento.

Factor ángulo de posición (93°) = 1

Factor espesor de viruta (0,15 mm) = 1,32

Factor geometría (T-MAXU-DCMT) = 0,83

Factor total = $1 \times 1,32 \times 0,83 = 1,0956$

La fuerza de corte F_c :

$F_c = 1,0956 \cdot K_s \cdot a \cdot s = 1,0956 \times 1900 \times 0,15 \times 0,15$

$F_c = 48 \text{ N}$

Las fuerzas de corte de avance y radial las calcularemos con las relaciones de la referencia [4] por ser más conservadoras:

$$F_R = 0,5 \cdot Ft = 24 \text{ N}$$

$$F_A = 0,25 \cdot Ft = 12 \text{ N}$$

3.1.4.2 Potencia Requerida

La potencia máxima requerida en el husillo para desbastar (potencia de corte P_c) será:

$$P_c = F_c \times V_c$$

$$V_c = \text{RPM} \cdot \pi \cdot D_{\text{max}} / 60 = 200 \cdot \pi \cdot 80 \cdot 10^{-3} / 60$$

$$V_c = 0,84 \text{ m/s}$$

$$P_c = 41 \text{ Watts}$$

Luego con una eficiencia estimada de la transmisión de $n = 98\%$ (por fajas en V y motor DC), obtenemos la potencia requerida del motor:

$$P_{\text{elec}} = P_c / 0.98$$

$$P_{\text{elec}} = 42 \text{ Watts}$$

3.2 Diseño de la torre porta-herramienta

Para el diseño de la torre porta-herramienta consideraré inicialmente una geometría tentativa de ésta, así como la disposición de los pernos que sujetan la torre y los pernos que sujetan el manguito. Luego calcularé los tornillos, por ser los elementos que serán sometidos a los esfuerzos más críticos, debido a las fuerzas máximas en el maquinado de desbaste.

La geometría y disposición de la torre se muestra en el plano N°1.

3.2.1 Selección de los pernos sujeta-manguito

3.2.1.1 Análisis de cargas

Para el análisis de cargas consideraremos el manguito completamente rígido. Las fuerzas F_r y F_a producen corte directo y momento torsor sobre los pernos; mientras que la fuerza F_c produce compresión. El valor de las fuerzas de compresión en cada perno las calcularemos mediante su respectiva proporción a las deformaciones producidas en los pernos al querer pivotar el manguito sobre el punto "O".

- Fuerzas de compresión:

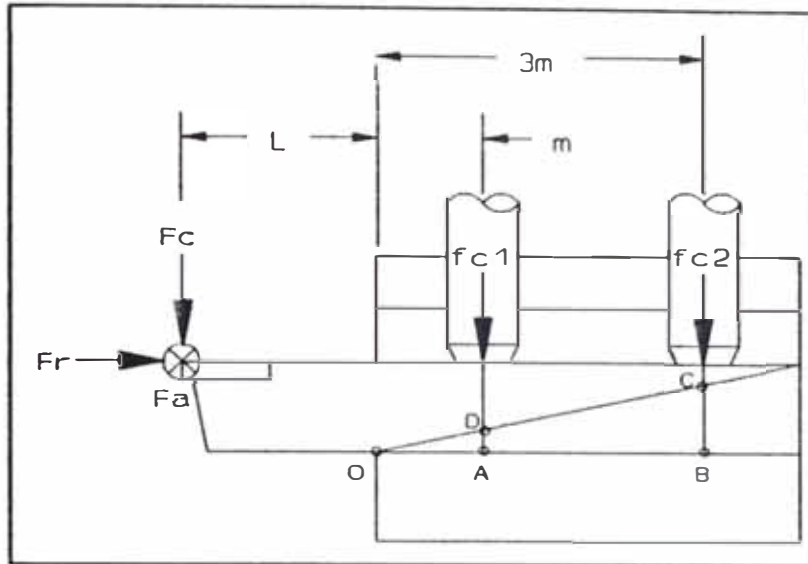


Fig:3.3 Fuerzas de compresión sobre el manguito

$$\delta_1 = \frac{f_{c1} \cdot L_1}{E_1 \cdot A_1} \quad \delta_2 = \frac{f_{c2} \cdot L_2}{E_2 \cdot A_2}$$

como los pernos son iguales se tiene:

$$\frac{\delta_1}{f_{c1}} = \frac{\delta_2}{f_{c2}} \quad (3.2.1)$$

por semejanza de triángulos AOD y BOC se tiene:

$$\frac{\overline{AD}}{\overline{OA}} = \frac{\overline{BC}}{\overline{OB}} \quad \rightarrow \quad \frac{\delta_1}{m} = \frac{\delta_2}{3 \cdot m}$$

$$\delta_2 = 3 \cdot \delta_1 \quad (3.2.2)$$

reemplazando (3.2.2) en (3.2.1) se tiene:

$$f_{c2} = 3 \cdot f_{c1} \quad (3.2.3)$$

En donde: $L = \text{voladizo} = 22 \text{ mm}$ $m = 9 \text{ mm}$

$a = \text{distacia}(Fr-CG) = 11 \text{ mm}$

tomando momentos en el punto O se debe cumplir:

$$F_C \cdot L = m \cdot f_{c1} + 3 \cdot m \cdot f_{c2} \quad (3.2.4)$$

reemplazando (3.2.3) en (3.2.4) se obtiene:

$$f_{c1} = \frac{L}{10 \cdot m} \cdot F_C = 12 \text{ N}$$

$$f_{c2} = 3 \cdot f_{c1} = 36 \text{ N}$$

- Fuerzas de corte:

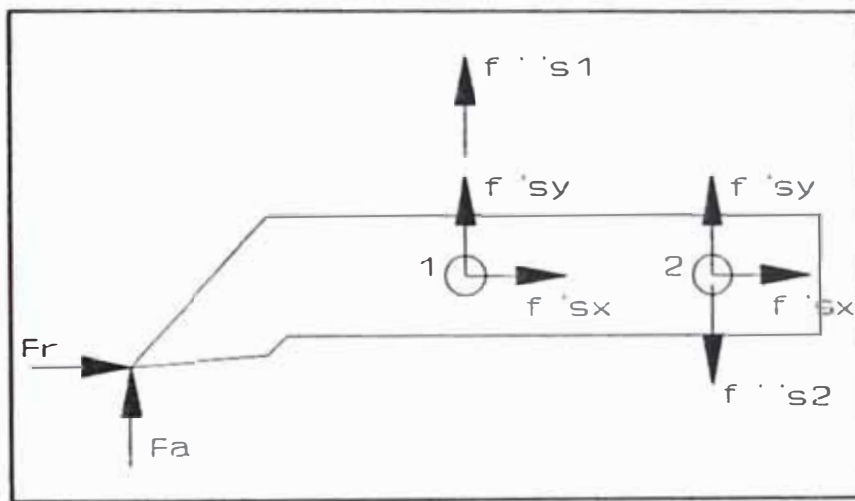


Fig:3.4 Fuerzas de corte sobre el manguito

1) corte directo:

$$f_{sy} = \frac{F_a}{2} = 6$$

$$f_{sx} = \frac{F_r}{2} = 12$$

2) corte por torsión:

$$T = F_a \cdot (L + 2 \cdot m) - F_r \cdot a = 216 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$f_{si} = \frac{T \cdot R_i}{\sum R_j^2}$$

donde: $r_1 = r_2 = m$

$$\sum R_j^2 = 2 \cdot m^2$$

reemplazando se obtiene:

$$f''_{s1} = \frac{T}{2.m} = 12 \text{ N}$$

$$f''_{s2} = -\frac{T}{2.m} = -12 \text{ N}$$

las fuerzas resultantes de corte son:

$$f_{s1} = \sqrt{(f'_{sy} + f''_{s1})^2 + f'_{sx}{}^2} = 22 \text{ N}$$

$$f_{s2} = \sqrt{(f'_{sy} + f''_{s2})^2 + f'_{sx}{}^2} = 14 \text{ N}$$

Luego el perno crítico es el N°1, ya que soporta la mayor fuerza de corte.

3.2.1.2 Determinación del diámetro del perno

Considerando que la carga de corte es absorbida por la fuerza de fricción entre el manguito y la base se tiene que la fuerza de ajuste inicial más la fuerza de compresión debe ser mayor que la fuerza normal (de compresión) necesaria para eliminar la fuerza de corte [1]. Es decir:

$$f_1 + f_c \geq \frac{f_s}{\mu}$$

$$f_i \geq \frac{f_B}{\mu} - f_c \quad (3.2.5)$$

donde $\mu = 0,2$ [coeficiente de fricción entre el manguito y la base : acero-acero]

$$f_{i_{\min}} = 98 \text{ N}$$

Pero el esfuerzo máximo es producido por la suma de las fuerzas f_i más f_c , luego este esfuerzo debe ser menor que el esfuerzo admisible inicial. Es decir:

$$f_i + f_c \leq S_i \cdot A_s \quad (3.2.6)$$

donde:

$$S_i = 0,8 \cdot S_y \quad [1]$$

S_y = esfuerzo de fluencia del material

Probando con el material ASTM A325 y con la rosca M5 con paso 0,8 mm, cuyos datos son:

$$S_y = 64,8 \text{ Kg/mm}^2 = 635 \text{ N/mm}^2$$

$$D_b = 4,22 \text{ mm}$$

$$A_s = 13,99 \text{ mm}^2$$

Reemplazando estos datos en la ecuación anterior se tiene:

$$98 + 12 \leq (0,8 \times 635) \times 13,99$$

$$110 \text{ N} \leq 7107 \text{ N} \quad \text{OK!}$$

Luego si se desea es posible aumentar la fuerza de ajuste inicial hasta:

$$f_{i_{\max}} = S_i \cdot A_s - f_c = 7095 \text{ N}$$

Tomaremos una fuerza de ajuste inicial de:

$$f_i = 700 \text{ N}$$

Ahora calcularemos el torque de ajuste considerando pernos no lubricados.

$$T = 0,2 \cdot f_i \cdot D_b = (0,2 \cdot 700 \cdot 4,22) / 1000$$

$$T = 0,59 \text{ N.m}$$

finalmente la selección es:

Usar 2 pernos M5 de material ASTM A325, ajustados con un torque de 0,59 N.m

3.2.2 Selección de los pernos sujeta-torreta

3.2.2.1 Análisis de cargas

Para el análisis de cargas consideraremos que el centro de gravedad del grupo de pernos (CG) se encuentra en el plano base del manguito. La ubicación del CG se ha realizado con las medidas geométricas iniciales (tentativas).

$$X = 33,7 \text{ mm} \quad Y = 40 \text{ mm} \quad Z = 12 \text{ mm}$$

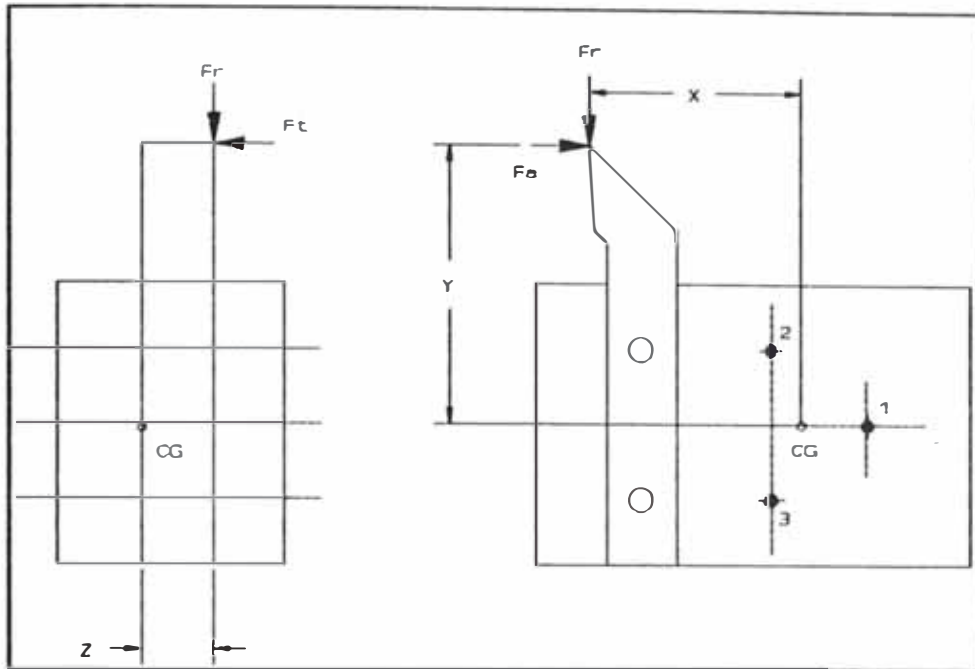


Fig:3.5 Ubicación del centro de grupo de pernos

- Corte directo:

$$f'_{sx} = \frac{F_a}{3} = 4 \text{ N.}$$

$$f'_{sy} = -\frac{F_r}{3} = -8 \text{ N.}$$

- Corte por torsión:

$$T = F_r \cdot X - F_a \cdot Y = 329 \text{ N. mm}$$

$$f''_{sxi} = \frac{T \cdot r_{iy}}{\sum r_j^2} \quad f''_{syi} = \frac{T \cdot r_{ix}}{\sum r_j^2}$$

Con los datos:

$$r_{1x} = 9,3 \quad r_{2x} = r_{3x} = 4,7$$

$$r_{1y} = 0 \quad r_{2y} = r_{3y} = 9,0$$

$$f''_{sx1} = 0 \text{ N} \quad f''_{sx2} = -10 \text{ N} \quad f''_{sx3} = 10 \text{ N}$$
$$f''_{sy1} = 11 \text{ N} \quad f''_{sy2} = -5 \text{ N} \quad f''_{sy3} = -5 \text{ N}$$

- Tensión directa:

$$f'_t = -\frac{F_C}{3} = -16 \text{ N}$$

- Tensión por flexión:

Debido al momento flector en el eje X:

$$M_{f_x} = F_C \cdot Y - F_R \cdot Z = 1632 \text{ N.mm}$$

$$f''_{txi} = \frac{M_{f_x} \cdot b_x}{\sum b_{xj}^2}$$

con los datos:

$$b_{x1} = 0 \quad b_{x2} = b_{x3} = 9 \text{ mm}$$

se obtiene:

$$f''_{tx1} = 0 \text{ N} \quad f''_{tx2} = -91 \text{ N} \quad f''_{tx3} = 91 \text{ N}$$

Debido al momento flector en el eje Y:

$$M_{f_y} = F_C \cdot X - F_a \cdot Z = 1474 \text{ N.mm}$$

$$f''_{tyi} = \frac{M_{f_y} \cdot b_y}{\sum b_{yj}^2}$$

con los datos:

$$b_{y1} = 9,3 \quad b_{y2} = b_{y3} = 4,7 \text{ N.mm}$$

se obtiene:

$$f''_{ty1} = 106 \text{ N} \quad f''_{ty2} = -53 \text{ N} \quad f''_{ty3} = -53 \text{ N}$$

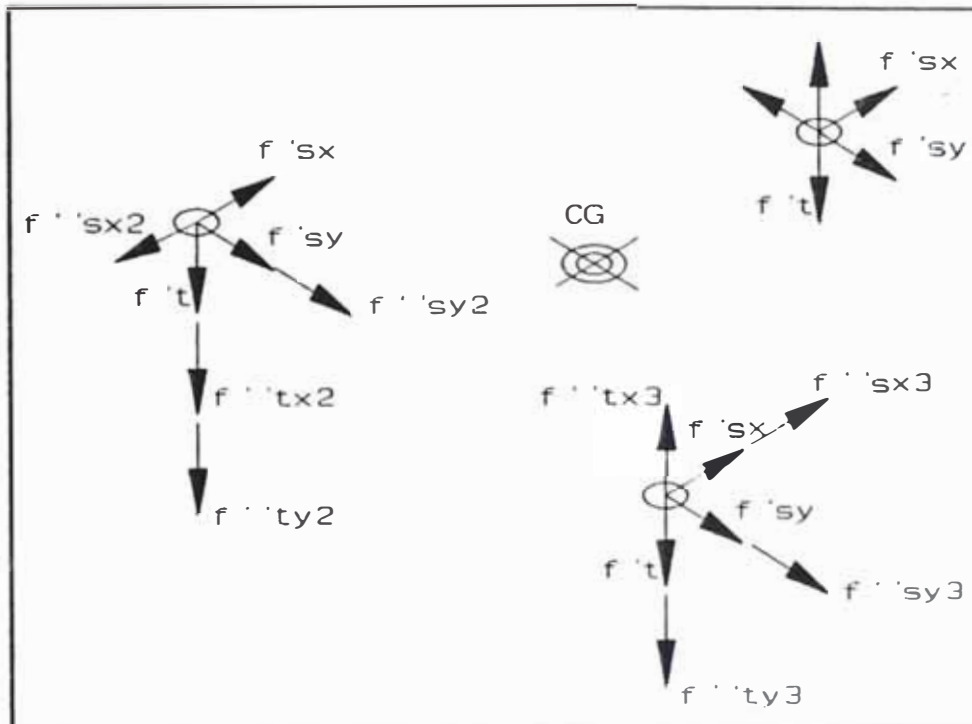


Fig:3.6 Fuerzas sobre los pernos sujeta-torreta

Fuerzas resultantes:

$$f_{si} = \sqrt{(f'_{sx} + f''_{sxi})^2 + (f'_{sy} + f''_{syi})^2}$$

$$f_{ti} = f'_t + f''_{txi} + f''_{tyi}$$

reemplazando se tienen:

$$\begin{array}{ll} f_{s1} = 5 \text{ N} & f_{t1} = 89 \text{ N} \\ f_{s2} = 15 \text{ N} & f_{t2} = -160 \text{ N} \\ f_{s3} = 20 \text{ N} & f_{t3} = 22 \text{ N} \end{array}$$

3.2.2.2 Determinación del diámetro del perno

Asumiendo que la fuerza de corte es absorbida por la fuerza de fricción de las planchas, tenemos dos casos. El primero es cuando la fuerza axial generada por la carga en el perno es de compresión, la cual ayudará a anular la carga de corte, por lo que la fuerza de ajuste inicial requerida se verá reducida. En este caso debemos seleccionar el perno con la suma de las fuerzas de ajuste inicial y la de compresión sobre el perno. El segundo caso es cuando la fuerza axial es de tensión, para este caso debemos ajustar el perno con una fuerza inicial igual o mayor a la suma de las fuerzas de tensión y de la fuerza normal requerida para anular la fuerza de corte. En este último caso el perno se seleccionará con la fuerza inicial de ajuste.

Los pernos críticos son el N°2 y el N°3 y para su diseño se utilizara la siguiente formula [1]:

$$F_i \geq f_c + \frac{f_s}{\mu}$$

en donde: $\mu = 0,2$ coeficiente de fricción entre perno y tuerca (acero-acero-no lubricado) [8]

Perno N°2: (cargas de compresión y corte)

reemplazando en la fórmula se tiene:

$$F_{i_2} > (-160) + 15/0,2$$

$$F_{i_2} \geq -85 \text{ N}$$

El resultado anterior significa que no hay requerimiento de fuerza de ajuste inicial, ya que la carga produce en el perno suficiente fuerza de compresión como para anular la fuerza de corte mediante la fricción entre las planchas.

Sin embargo tomamos, por razones de fijación:

$$F_{i_2} = 50 \text{ N}$$

Luego la fuerza de diseño será:

$$F_{diseño2} = F_{i_2} + f_{comp} = F_{i_2} - f_t = 50 - (-160)$$

$$F_{diseño2} = 210 \text{ N}$$

Perno N°3: (cargas de tensión y corte)

reemplazando en la fórmula se tiene:

$$F_{i_3} \geq 22 + 20/0,2$$

$$F_{i_3} > 122 \text{ N}$$

Además se tiene que:

$$F_{diseño3} = F_{i_3}$$

Tomamos:

$$F_{\text{diseño3}} = 122 \text{ N}$$

Del análisis anterior se observa que el perno crítico es el N°2, por lo tanto seleccionaremos los pernos para este caso.

El esfuerzo producido por la fuerza de diseño debe ser menor que el esfuerzo admisible inicial. Es decir:

$$F_{\text{diseño2}} < S_i \cdot A_s$$

donde:

$$S_i = 0,8 \cdot S_y$$

S_y = esfuerzo de fluencia del material

Probando con el material ASTM A325 y con la rosca M5 con paso 0,8 mm, cuyos datos son:

$$S_y = 64,8 \text{ Kg/mm}^2 = 635 \text{ N/mm}^2$$

$$D_b = 4,22 \text{ mm}$$

$$A_s = 13,99 \text{ mm}^2$$

Reemplazando estos datos en la ecuación anterior se tiene:

$$210 \text{ N} \leq (0,8 \times 635) \times 13,99$$

$$210 \text{ N} \leq 7107 \text{ N} \quad \text{OK!}$$

Luego si se desea es posible aumentar la fuerza de ajuste inicial hasta:

$$F_{i_{\text{max}}} = S_i \cdot A_s - F_{\text{diseño2}} = 6896 \text{ N}$$

Tomaremos una fuerza de ajuste inicial de:

$$F_i = 2000 \text{ N}$$

Ahora calcularemos el torque de ajuste considerando pernos no lubricados.

$$T = 0,2 \cdot f_i \cdot D_b = 0,2 \cdot 2000 \cdot 4,22 / 1000$$

$$T = 1,688 \text{ N.m}$$

finalmente la selección es:

Usar 3 pernos M5 de material ASTM A325, ajustados con un torque de 1,7 N.m

3.3 Diseño de la transmisión del carro transversal

La secuencia en el diseño de esta transmisión comienza con el análisis de las fuerzas que deberá vencer el motor de accionamiento (stepper) tanto de forma teórica como experimental. La medición de campo de las fuerzas es necesaria ya que la máquina por el desgaste sufrido suele mostrar irregulares cargas a lo largo de sus guías.

Luego se elige el tipo de transmisión a utilizar, nuestro caso utilizamos fajas dentadas. Estas fajas son la opción más adecuada, pues son fáciles de montar y desmontar, la implementación de sus poleas es simple (la manija del carro será reemplazada por la polea dentada) y los juegos muy pequeños, tanto que el error (no acumulativo) es insignificante. Eliminándose en

gran medida, este último, con el sobredimensionamiento de la faja.

Conociendo el tipo de transmisión a utilizar se deberá hacer un análisis de la resolución (precisión) y de la velocidad necesaria para la aplicación. Con estos dos es posible ya la elección del stepper y de la relación de transmisión a utilizar, para que por último se seleccione las fajas y sus respectivas poleas.

En nuestro caso, debido a la indisponibilidad para la obtención de los steppers seleccionados, hemos tenido que forzar el proceso de diseño para utilizar los steppers (usados) que se tenían a disposición. Para ello se tuvo que reconstruir sus curvas características que normalmente son brindadas por el fabricante, mediante el ensayo de los mismos.

Con la capacidad de estos steppers disponibles se ha tratado de obtener la mayor precisión y velocidad posible.

3.3.1 Análisis de cargas del carro transversal

3.3.1.1 Análisis de cargas teórico

Por el teorema de las fuerzas vivas ^[9] para un sólido rígido se tiene:

$$E_{ki} + U_{i-ii} = E_{kii} \quad (3.3.1)$$

donde: E_{ki} - Energía cinética inicial

E_{kii} - Energía cinética final

U_{i-ii} - Trabajo realizado por todas las fuerzas que actúan sobre el sólido.

- Energía cinética inicial:

$E_{ki} = 0$ por ser el reposo el estado inicial

- Energía cinética final:

$$E_{kii} = \frac{m_L \cdot V_L^2}{2} + \frac{I_T \cdot W_T^2}{2} + \frac{I_m \cdot W_m^2}{2} \quad (3.3.2)$$

donde:

$m_L = 4109 \text{ gr}$ (masa total del carro transversal)

$V_L = 0,75 \text{ mm/s}$ (velocidad de avance máxima del carro transversal)

$I_T = 64\,425 \text{ gr}\cdot\text{mm}^2$ (momento de inercia del tornillo más su polea)

$I_m = 26\,964 \text{ gr}\cdot\text{mm}^2$ (momento de inercia del motor más su polea)

$W_T = 4,712 \text{ rad/s}$ (velocidad angular máxima del tornillo)

$W_m = 9,424 \text{ rad/s}$ (velocidad angular máxima del motor)

$$E_{kij} = 1,914 \text{ N.mm}$$

- Trabajo realizado por las fuerzas externas

$$U_{1-11} = M_m \cdot \alpha_m - M_{ftornillo} \cdot \alpha_t \quad (3.3.3)$$

donde:

$M_m = ?? \text{ N.mm}$ (torque necesario para vencer la inercia y la fuerza actuante máxima, entregado por el motor)

$\alpha_m = 0,031 \text{ rad}$ (ángulo que gira el motor por cada paso)

$\alpha_t = 0,015 \text{ rad}$ (ángulo que gira el tornillo por cada paso)

$M_{ftornillo} = ??$ (torque opositor por fricción y por la carga máxima)

Con la siguiente fórmula [10] podemos calcular el torque opositor por fricción:

$$M_{ftornillo} = \frac{F \cdot D_m \cdot \tan \lambda + f \cdot \beta}{2 \cdot 1 - f \cdot \beta \cdot \tan \lambda} + \frac{D_c \cdot f_c \cdot F}{2} \quad (3.3.4)$$

donde:

$F = 24 \text{ N}$ (fuerza transversal por arranque de viruta)

$D_m = 5.133 \text{ mm}$ (diámetro medio del tornillo del carro)

$\Gamma = 0,030 \text{ rad}$ (ángulo de avance de la rosca)

$f = 0,3$ (coeficiente de fricción entre el tornillo y el carro transversal)

$f_c = 0,3$ (coeficiente de fricción entre el tornillo y su apoyo)

$D_c = 9,5 \text{ mm}$ (diámetro medio del apoyo del tornillo)

$= 1,047 \text{ rad}$ (ángulo entre los flancos de la rosca de 60°)

$$B = (1 + \cos^2 \Gamma \cdot \tan^2 \phi)^{\frac{1}{2}}$$

$$B = 2$$

$$M_{ftornillo} = 75.59 \text{ N.mm}$$

Despejando y reemplazando (3.3.3) en la ecuación (3.3.1) se obtiene:

$$M_m = \frac{E_{kif} + M_{ftornillo} \cdot \alpha_t}{\alpha_m} \quad (3.3.5)$$

$$M_{mteórico} = 98,73 \text{ N.mm}$$

3.3.1.2 Análisis de cargas experimental

La medición de campo realizada, mostró que el torque requerido para desplazar el carro transversal no era uniforme. La tabla 3.3 muestra los valores de torque obtenidos.

Tabla:3.3 Carga presentada a lo largo del carro transversal

Posición del carro transversal [mm]	Torque Máximo [N.mm]
0	159
10	172
20	245
30	270
40	270

El valor del Torque motriz requerido varía según la posición del carro, debido a las variaciones de desgaste de este sobre sus guías. Para el diseño de la transmisión y selección del motor utilizaremos el valor máximo del torque requerido, el cual lo obtenemos de la figura 3.7.

$$Mm_{experimental} = 270 \text{ N.mm}$$

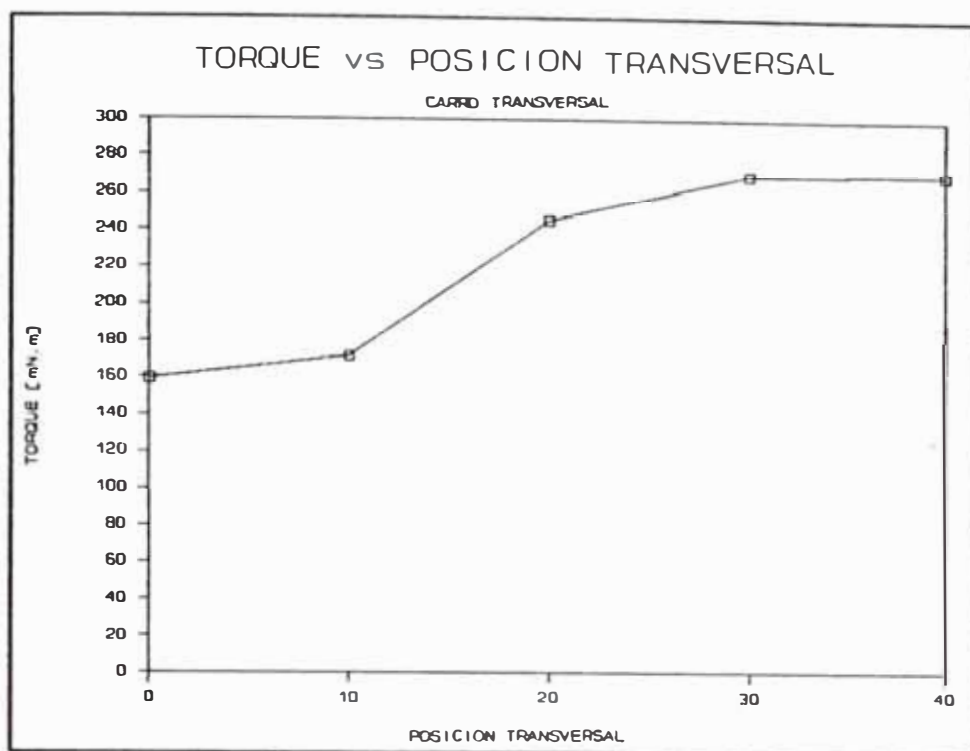


Fig:3.7 Curva de carga presentada a lo largo del carro transversal

3.3.2 Diseño de la transmisión

3.3.2.1 Consideraciones iniciales

La distancia entre centros requerida está entre 110 y 130 mm (4,33" - 5,11"). Por razón de espacio disponible.

El torque resistente máximo de la carga es 270 N.mm (ver fig:3.7).

Se hará trabajar el stepper a una frecuencia de pulsos máxima de 300 Hz. Para la cual obtendremos un torque motriz máximo de 170 N.mm

(ver fig:3.8). Todo esto a una tensión de alimentación continua de 12 voltios (en bornes de cada bobina).

El avance del tornillo transversal es de 1 mm/vuelta.

- La precisión que se desea obtener es de 0,02 mm. Por lo tanto éste debe ser el avance mínimo que debe tener el carro.
- El stepper es de 200 pasos por vuelta.
- El diámetro de la polea mayor deberá estar entre 50 y 70 mm (2" y 2 3/4"), para asemejarse a la manija inicial de carro.

El diámetro de la polea menor deberá estar entre 20 y 40 mm (3/4" y 1,5"), porque el diámetro del husillo del stepper es de 5 mm.

El procedimiento de selección de fajas y poleas utilizado es el aconsejado por el fabricante de fajas de sincronización Gates ^[11] (ver apéndice B), luego las páginas mencionadas en el siguiente procedimiento corresponde a esta referencia

3.3.2.2 Potencia de diseño

- Revoluciones por segundo del stepper (RPS):

$$RPS = fpulsos / \#pasos\ vuelta = 300 / 200$$

$$RPS = 1,5$$

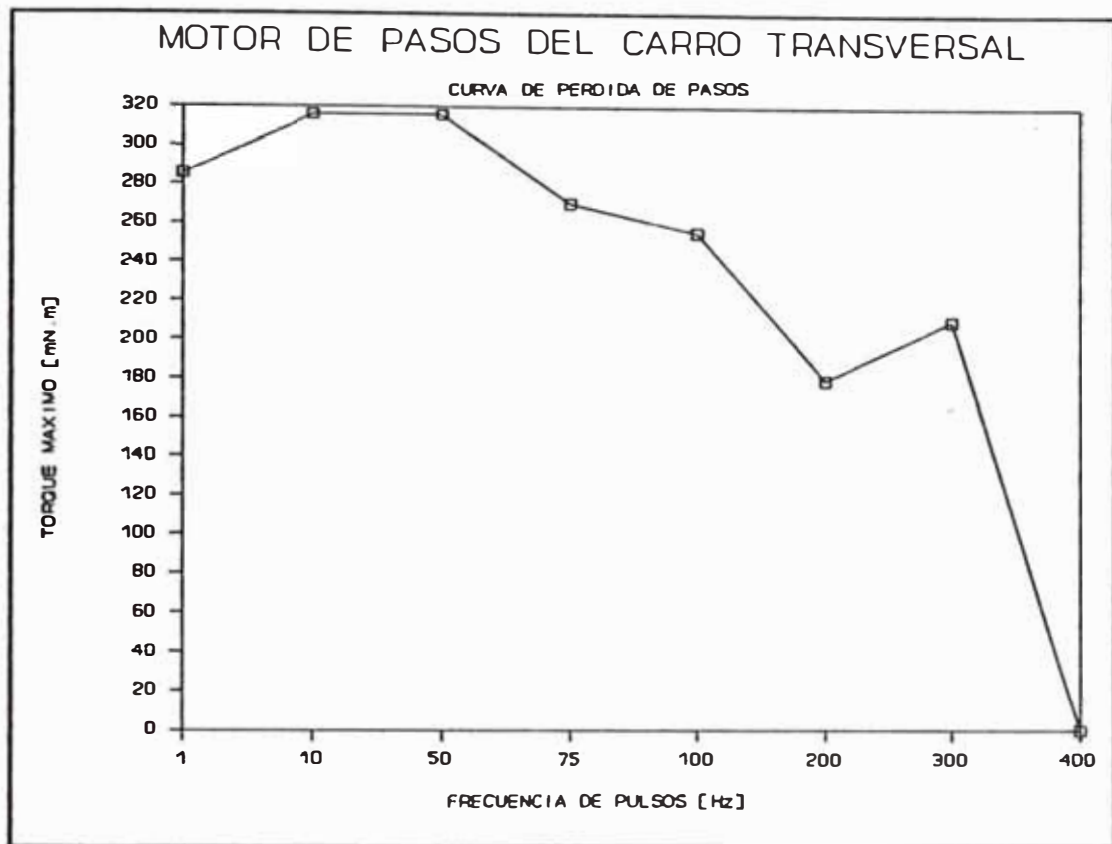


Fig:3.8 Curva de carga del stepper del carro transversal

- Velocidad angular máxima del stepper (W):

$$W = RPS \cdot 2\pi$$

$$W = 9,42 \text{ rad/s}$$

Potencia máxima a transmitir (Pmax):

$$P_{max} = \text{TorqueMáximo} \cdot W$$

$$P_{max} = 0,170 \text{ [N.m]} \cdot 9,42 \text{ [rad/s]}$$

$$P_{max} = 1,60 \text{ watts} / 745 \text{ [watt/Hp]}$$

$$P_{max} = 0,0022 \text{ Hp}$$

- Factor de Servicio (FS):

Lo obtengo del cuadro #1 (pág:4), considerando un servicio normal para una máquina herramienta.

$$FS = 1,7$$

- *Potencia de Diseño (Pd):*

$$Pd = FS \cdot P_{max}$$

$$Pd = 0,00365 \text{ Hp}$$

3.3.2.3 Selección del paso de la faja

$$RPM_{max} = RPS \cdot 60$$

$$RPM_{max} = 90$$

Del gráfico de la pág:5, con valores de Pd y RPM_{max} obtenemos que la faja debe ser del tipo XL es decir debe tener un paso de 0,2 pulgadas.

3.3.2.4 Análisis de la precisión y velocidad de avance

Relación de transmisión mínima necesaria:

Para poder mover el carro transversal debemos vencer el torque resistente máximo que vale 270 N.mm. Como el torque máximo del stepper (a 300 Hz de pulsos) es de 170 N.mm, necesitamos una relación de transmisión mínima de:

$$RT_{min} = 270 / 170 = 1,58$$

- *Angulo necesario que debe girar la manija para obtener el avance mínimo (precisión) (θ_{pm})*

$$\theta_{pm} = 360 [^\circ/1mm] \cdot 0,02 [mm]$$

$$\theta_{pm} = 7,2^\circ$$

- Número mínimo de pulsos de salida (NMP) del circuito electrónico 3 (restricción de hardware).

Angulo que gira el stepper por cada pulso - 1,8
[°/pulso]

- Número de pulsos (NPP) para alcanzar la precisión. Este depende de la relación de transmisión. Y debe ser mayor o igual que el NMP.

Angulo que debe girar el stepper para obtener el avance mínimo (θ_{ps})

$$\theta_{ps} = 1,8^\circ \cdot NPP$$

Relación de transmisión (RT), debe ser mayor que la mínima requerida.

$$RT = \theta_{ps} / \theta_{pm}$$

$$RT = (1,8^\circ \cdot NPP) / 7,2^\circ$$

$$RT = 0,25 \cdot NPP$$

De las fórmulas anteriores se observa que la relación de transmisión ha elegir deberá cumplir dos condiciones; una es que debe ser mayor que la mínima requerida y la otra es que el número de pulsos para obtener la precisión (NPP) debe ser mayor o igual a 3. Luego podemos tabular un cuadro variando el NP y obteniendo la relación de transmisión (RT).

Tabla:3.4 Relaciones de transmisión posibles para el carro transversal

<i>#Pulsos (NPP)</i>	<i>RT</i>	<i>θps (°)</i>
6	1,500	10,8
7	1,750	12,6
8	2,000	14,4
9	2,250	16,2
10	2,500	18,0
11	2,750	19,8
12	3,000	21,6

Escogo la RT = 2 por ser la más cercana a la mínima requerida y por ser par, el número de pulsos para el avance mínimo (8).

- Velocidad de Avance

Con la RT anteriormente elegida, para mover el carro 0,02 mm el stepper deberá girar 14,4°, para lo cual se le mandará un tren de 8 pulsos.

El avance por pulso (AvP):

$$AvP = 0,02 \text{ mm} / 8 \text{ pulsos}$$

$$AvP = 0,0025 \text{ [mm/pulso]}$$

La velocidad de avance (Vav):

$$Vav = Avp \cdot FrecuenciaMáxima$$

$$Vav = 0,0025 \cdot 300$$

$$Vav = 0,75 \text{ mm/s}$$

Luego para recorrer una longitud de 80 mm (longitud máxima a recorrer por el carro) se

demorará:

$$T_{80\text{mm}} = 80 / 0,75 = 107 \text{ s} = 1'47''$$

Holgura de trabajo del stepper:

Para una frecuencia de pulsos igual a 300 Hz se tiene que vencer una carga de 270 N.mm por lo que el stepper debe vencer una carga de:

$$T_{\text{stepper}} = 270 / RT$$

$$T_{\text{stepper}} = 135 \text{ mN.m}$$

Como el stepper a esta frecuencia puede dar como máximo un torque de 170 N.mm, entonces la holgura es:

$$\text{Holgura} = 170 - 135$$

$$\text{Holgura} = 35 \text{ N.mm}$$

$$\% \text{carga} = 135 / 170$$

$$\% \text{carga} = 79 \%$$

Por lo que el stepper estará trabajando a un 79% de su carga máxima.

3.3.2.5 Selección de poleas, longitud de faja y distancia entre centros.

Selección de poleas

En la tabla de la pág:12 para fajas tipo XL, se busca el juego de poleas que satisfagan la RT y las consideraciones iniciales anteriormente expuestas (ver plano N°2).

Polea Motriz: # de dientes - 20
Diámetro paso = 1,273"

Polea Conducida: # de dientes = 40
Diámetro paso = 2,546"

Longitud de faja y distancia entre centros:
a la derecha de la tabla anterior seleccionamos una longitud de faja, de tal manera que, las poleas elegidas generen una distancia entre centros semejante a 5".

Longitud de faja = 15"

Distancia entre centros = 4,46"

3.3.2.6 Selección del ancho de la faja

En la tabla de la pág:30, con el número de dientes de la polea menor (20) y los RPM mayor (100), se obtiene, que si la faja fuese de ancho igual a 0,38" (9,7 mm) entonces podría transmitir 0,012 HP luego la faja estará sobredimensionada en 228%.

3.3.2.7 Resumen

Características de la faja seleccionada:

Paso · 0,2" (5,08 mm)

Tipo : XL

dientes : 70

Longitud : 15" (381 mm)

Ancho : 0,38" (9,65 mm)

- *Características de las poleas seleccionada:*

Polea Motriz: # de dientes = 24

Diámetro paso = 1,528" (38,81 mm)

Diámetro exterior = 1,508" (38,30 mm)

Polea Conducida: # de dientes = 40

Diámetro paso = 2,546" (64,67 mm)

Diámetro exterior = 2,526" (64,16 mm)

Distancia entre centros = 4,27" (108,5 mm)

3.4 Diseño de la transmisión del carro longitudinal

La secuencia en el diseño de esta transmisión es la misma que en el diseño del carro transversal.

3.4.1 Análisis de cargas del carro longitudinal

3.4.1.1 Análisis de cargas teórico

Por el teorema de las fuerzas vivas para un sólido rígido [9] se tiene:

$$E_{ki} + U_{i-ii} = E_{kii} \quad (3.4.1)$$

donde: E_{ki} = Energía cinética inicial
 E_{kii} = Energía cinética final
 U_{i-ii} = Trabajo realizado por todas las fuerzas que actúan sobre el sólido.

Energía cinética inicial:

$E_{ki} = 0$ por ser el reposo el estado inicial

Energía cinética final:

$$E_{kii} = \frac{m_L \cdot V_L^2}{2} + \frac{I_T \cdot W_T^2}{2} + \frac{I_m \cdot W_m^2}{2} \quad (3.4.2)$$

donde:

$m_L = 6958 \text{ gr}$ (masa total del carro longitudinal)

$V_L = 1,00 \text{ mm/s}$ (velocidad de avance máxima del carro longitudinal)

$I_T = 98\,312 \text{ gr}\cdot\text{mm}^2$ (momento de inercia del tornillo más su polea)

$I_m = 137\,976 \text{ gr}\cdot\text{mm}^2$ (momento de inercia del motor más su polea)

$W_T = 6,283 \text{ rad/s}$ (velocidad angular máxima del tornillo)

$W_m = 10,47 \text{ rad/s}$ (velocidad angular máxima del motor)

$$E_{kij} = 9,509 \text{ N.mm}$$

- Trabajo realizado por las fuerzas externas

$$U_{1-11} = M_m \cdot \alpha_m - M_{ftornillo} \cdot \alpha_t \quad (3.4.3)$$

donde:

$M_m = ? \text{ N.mm}$ (torque necesario para vencer la inercia y la fuerza actuante máxima, entregado por el motor)

$\alpha_m = 0,035 \text{ rad}$ (ángulo que gira el motor por cada paso)

$\alpha_t = 0,021 \text{ rad}$ (ángulo que gira el tornillo por cada paso)

$M_{ftornillo} = ?$ (torque opositor por fricción y por la carga máxima)

Con la siguiente fórmula [10] podemos calcular el torque opositor por fricción:

$$M_{ftornillo} = \frac{F \cdot D_m}{2} \cdot \frac{\tan \lambda + f \cdot \beta}{1 - f \cdot \beta \cdot \tan \lambda} + \frac{D_c \cdot f_c \cdot F}{2} \quad (3.4.4)$$

donde:

$F = 12 \text{ N}$ (fuerza longitudinal por arranque de viruta)

$D_m = 11,13 \text{ mm}$ (diámetro medio del tornillo del carro)

$\Gamma = 0,014 \text{ rad}$ (ángulo de avance de la rosca)

$f = 0,25$ (coeficiente de fricción entre el tornillo y el carro longitudinal)

$f_c = 0,25$ (coeficiente de fricción entre el tornillo y su apoyo)

$D_c = 13 \text{ mm}$ (diámetro medio del apoyo del tornillo)

$= 1,047 \text{ rad}$ (ángulo entre los flancos de la rosca de 60°)

$$\beta = (1 + \cos^2 \Gamma \cdot \tan^2 \phi)^{\frac{1}{2}}$$

$$\beta = 2$$

$$M_{\text{tornillo}} = 54,8 \text{ N.mm}$$

Despejando y reemplazando (3.4.3) en la ecuación (3.4.1) se obtiene:

$$M_m = \frac{E_{kif} + M_{\text{tornillo}} \cdot \alpha_t}{\alpha_m} \quad (3.4.5)$$

$$M_{m_{\text{teórico}}} = 304,59 \text{ N.mm}$$

3.4.1.2 Análisis de cargas experimental

Tabla:3.5 Carga presentada a lo largo del carro longitudinal

Posición carro longitudinal [mm]	Torque Máximo [N.mm]
0	345
20	345
40	302
60	378
80	367
100	324
150	350
200	345

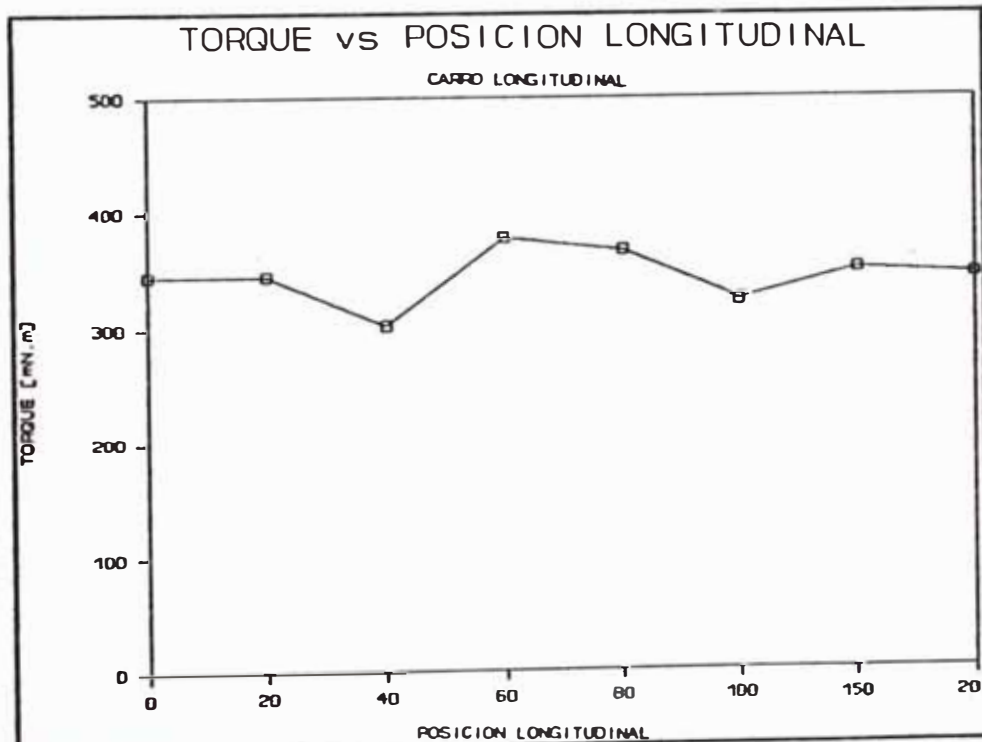


Fig:3.9 Carga presentada a lo largo del carro longitudinal

El valor del Torque motriz requerido varía según la posición del carro, debido a las variaciones de desgaste de este sobre sus guías. Para el diseño de la transmisión y selección del motor utilizaremos el valor máximo del torque requerido, el cual lo obtenemos de la gráfica anterior.

$$Mm_{experimental} = 378 \text{ N.mm}$$

3.4.2 Diseño de la transmisión

3.4.2.1 Consideraciones iniciales

La distancia entre centros requerida ésta entre 98 y 120 mm (3 7/8 - 4 3/4"). Por razón de espacio disponible.

El torque resistente máximo de la carga es 378 N.mm (ver fig:3.9).

Se hará trabajar el stepper a una frecuencia de pulsos máxima de 300 Hz. Para la cual obtendremos un torque motriz máximo de 322 N.mm (ver fig:3.10). Todo esto a una tensión de alimentación continua de 12 voltios.

El avance del tornillo longitudinal es de 1_mm/vuelta.

La precisión que se desea obtener es de 0,02_mm. Por lo tanto este debe ser el avance

mínimo que debe tener el carro.

- El stepper es de 180 pasos por vuelta.
- El diámetro de la polea mayor deberá estar entre 50 y 70 mm (2" y 2 3/4"), para asemejarse a la manija inicial de carro.
- El diámetro de la polea menor deberá estar entre 20 y 40 mm (3/4" y 1,5"), porque el diámetro del husillo del stepper es de 9 mm.
- El procedimiento de selección de fajas y poleas utilizado es el aconsejado por el fabricante de fajas de sincronización Gates ^[11] (ver apéndice B), luego las páginas mencionadas en el siguiente procedimiento corresponde a ésta referencia.

3.4.2.2 Potencia de diseño

Revoluciones por segundo del stepper (RPS):

$RPS = \text{fpulsos} / \text{\#pasos vuelta}$

$RPS = 300 / 180$

$RPS = 1,666$

Velocidad angular máxima del stepper (W):

$W = RPS \cdot 2\pi$

$W = 10,47 \text{ rad/s}$

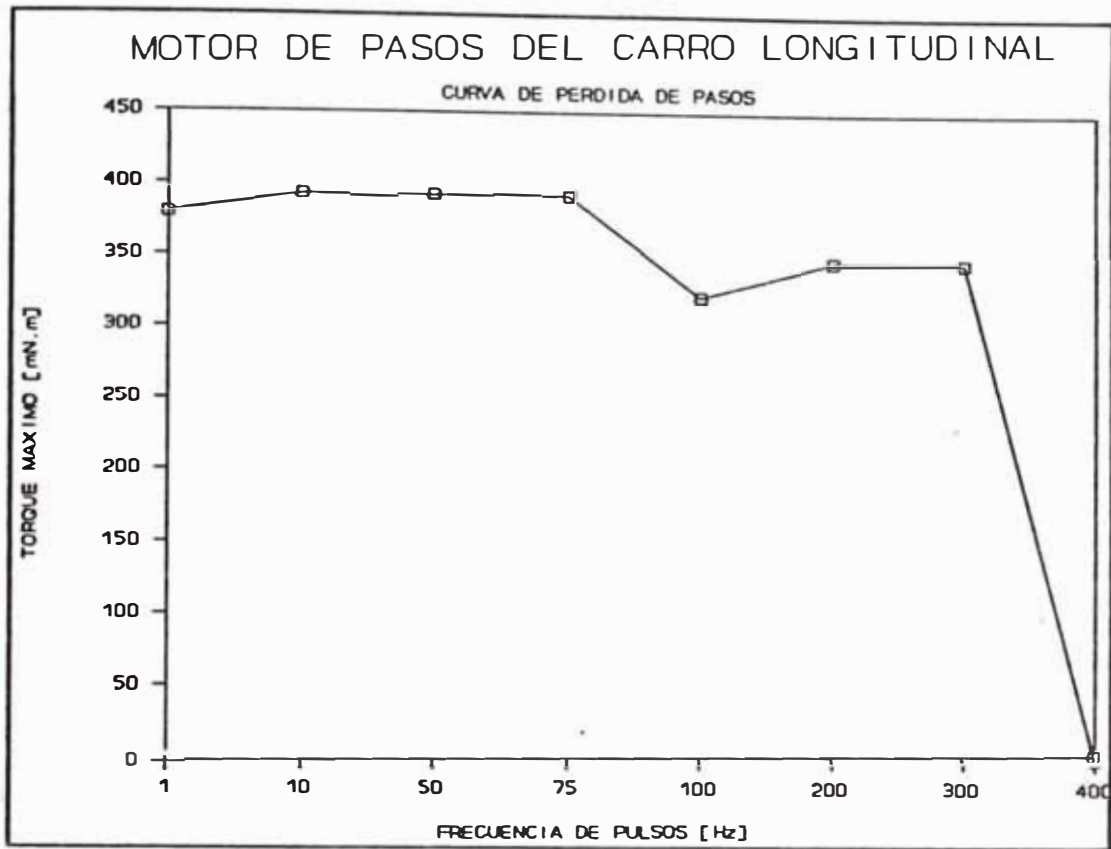


Fig:3.10 Curva de carga del stepper del carro longitudinal

Potencia máxima a transmitir (P_{max}):

$$P_{max} = \text{TorqueMáximo} \cdot W$$

$$P_{max} = 0,322 \text{ [N.m]} \cdot 10,47 \text{ [rad/s]}$$

$$P_{max} = 3,37 \text{ watts} / 745 \text{ [watt/Hp]}$$

$$P_{max} = 0,0045 \text{ Hp}$$

- Factor de Servicio (FS):

Lo obtengo del cuadro #1 (pág:4). Considerando un servicio normal para una máquina herramienta.

$$FS = 1,7$$

Potencia de Diseño (P_d):

$$Pd = FS \cdot Pmax$$

$$Pd = 0,00769 \text{ Hp}$$

3.4.2.3 Selección del paso de la faja

$$RPMmax = RPS \cdot 60$$

$$RPMmax = 100$$

- Del gráfico de la pág:5, con los valores de Pd y RPMmax obtenemos que la faja debe ser del tipo XL es decir debe tener un paso de 0,2 pulgadas.

3.4.2.4 Análisis de la precisión y velocidad de avance

Relación de transmisión mínima necesaria

Para poder mover el carro longitudinal debemos vencer el torque resistente máximo que vale 378 N.mm. Como el torque máximo del stepper (a 300 Hz de pulsos) es de 322 N.mm, necesitamos una relación de transmisión mínima de:

$$RTmin = 378 / 322 = 1,1739$$

- Angulo necesario que debe girar la manija para obtener el avance mínimo (precisión) (θ_{pm})

$$\theta_{pm} = 360 [^\circ/1mm] \cdot 0,02 [mm]$$

$$\theta_{pm} = 7,2^\circ$$

Número mínimo de pulsos de salida (NMP) del circuito electrónico =3 (restricción de hardware).

Angulo que gira el stepper por cada pulso = 2 [°/pulso]

- Número de pulsos (NPP) para alcanzar la precisión. Este depende de la relación de transmisión. Y debe ser mayor o igual que el NMP

Angulo que debe girar el stepper para obtener el avance mínimo (θ_{ps})

$$\theta_{ps} = 2^\circ \cdot NPP$$

- Relación de transmisión (RT), debe ser mayor que la mínima requerida.

$$RT = \theta_{ps} / \theta_{pm}$$

$$RT = (2^\circ \cdot NPP) / 7,2^\circ$$

$$RT = 0,277 \cdot NPP$$

De las fórmulas anteriores se observa que la relación de transmisión ha elegir deberá cumplir dos condiciones; una es que debe ser mayor que la mínima requerida y la otra es que el número de pulsos para obtener la precisión (NPP) debe ser mayor o igual a 3. Luego podemos tabular un cuadro variando el NP y obteniendo la relación de transmisión (RT).

Tabla:3.6 Relaciones de transmisión posibles para el carro longitudinal

<i>#Pulsos (NPP)</i>	<i>RT</i>	<i>θ_{ps} (°)</i>
	0,83	6,00
4	1,11	8,00
5	1,39	10,00
6	1,67	12,00
7	1,94	14,00
8	2,22	16,00
9	2,50	18,00

Escogo la RT = 1,67 por ser la más cercana a la mínima requerida y por ser par el número de pulsos para el avance mínimo (6).

- Velocidad de Avance

Con la RT anteriormente elegida, para mover el carro 0,02 mm el stepper deberá girar 12°, para lo cual se le mandará un tren de 6 pulsos.

El avance por pulso (AvP):

$$AvP = 0,02 \text{ mm} / 6 \text{ pulsos}$$

$$AvP = 0,0033 \text{ [mm/pulso]}$$

La velocidad de avance (Vav):

$$Vav = Avp \cdot \text{FrecuenciaMáxima}$$

$$Vav = 0,0033 \cdot 300$$

$$Vav = 1 \text{ mm/s}$$

Luego para recorrer una longitud de 200 mm se demorará:

$$T_{200mm} = 200 \text{ s} = 3'20''$$

Holgura de trabajo del stepper

Para una frecuencia de pulsos igual a 300 Hz se tiene que vencer una carga de 378 N.mm por lo que el stepper debe vencer una carga de:

$$T_{\text{stepper}} = 378 / RT$$

$$T_{\text{stepper}} = 226,9 \text{ N.mm}$$

Como el stepper a esta frecuencia puede dar como máximo un torque de 322 N.mm, entonces la holgura es:

$$\text{Holgura} = 322 - 226,9$$

$$\text{Holgura} = 95,1 \text{ N.mm}$$

$$\% \text{carga} = 226,9 / 322$$

$$\% \text{carga} = 70 \%$$

Por lo que el stepper estará trabajando a un 70% de su carga máxima.

3.4.2.5 Selección de poleas, longitud de faja y distancia entre centros.

- Selección de poleas

En la tabla #2 (pág:11), para fajas tipo XL, se busca el juego de poleas que satisfagan la RT y las consideraciones iniciales anteriormente expuestas (ver plano N°2).

$$\text{Polea Motriz:} \quad \# \text{ de dientes} = 24$$

$$\text{Diámetro paso} \quad = 1.528''$$

Polea Conducida: # de dientes = 40

Diámetro paso = 2.546"

Longitud de faja y distancia entre centros:

A la derecha de la tabla seleccionamos una longitud de faja que para las poleas elegidas generen una distancia entre centros semejante a 4".

Longitud de faja = 15"

Distancia entre centros - 4,27"

3.4.2.6 Selección del ancho de la faja

En la tabla #9 (pág:30), con el número de dientes de la polea menor (24) y los RPM mayor (100), se obtiene, que sí la faja fuese de ancho igual a 0,38" (9,7 mm) entonces podría transmitir 0,014 HP luego la faja estará sobredimensionada en 82%.

3.4.2.7 Resumen

Características de la faja seleccionada:

Paso . 0,2" (5,08 mm)

Tipo : XL

dientes 70

Longitud 15" (381 mm)

Ancho . 0,38" (9,65 mm)

Características de las poleas seleccionada:

Polea Motriz: # de dientes = 24

Diámetro paso = 1,528" (38,81 mm)

Diámetro exterior = 1,508" (38,30 mm)

Polea Conducida: # de dientes = 40

Diámetro paso = 2,546" (64,67 mm)

Diámetro exterior = 2,526" (64,16 mm)

Distancia entre centros = 4,27" (108,5 mm)

3.5 Diseño de la transmisión del husillo principal

La transmisión a utilizar será de fajas en V especiales, debido a la facilidad de montaje y desmontaje, por la rapidez de la implementación y para la utilización de un juego de poleas disponible. Para esto se eliminará los escalones intermedios de transmisión que tiene la caja de velocidad, conectándose el motor DC con una faja al husillo principal. El motor podría conectarse directamente al husillo, ya que la variación de la velocidad se hará mediante un control de velocidad electrónico, pero se obstruiría el agujero del husillo principal (hueco), el cual sirve para el maquinado de barras largas.

El motor DC será montado en posición paralela al motor AC, luego cuando se utilice el sistema automatizado, se conectará el husillo principal al motor DC y se

desconectará el motor AC.

A continuación mostraré el procedimiento utilizado para la selección de fajas en V especiales. El cual es el recomendado en la referencia [12], de tal forma que todas las tablas mencionadas son de aquella referencia.

Datos:

Diámetro exterior polea husillo = 85 mm - 3,35"

Diámetro exterior polea motor - 85 mm = 3,35"

Potencia de la carga = 0,26 kw = 0,349 Hp

RPM del motor = RPM de la carga = 200

Distancia entre centros aproximada = 330 mm = 13"

a) Con una eficiencia de 0,98 para este tipo de transmisión, calculamos la potencia que deberá entregar el motor DC.

$$HP_{motor} = HP_{carga} / 0,98 = 0,356 \text{ Hp}$$

b) Obtenemos el factor de servicio de la tabla N°1 (pág:53). Como el motor DC es de la clase 1, para servicio normal y máquinas herramientas se tiene un factor de servicio igual a 1,2. Luego la potencia de diseño será:

$$HP_d = 0,356 \times 1,2 = 0,4272 \text{ Hp}$$

c) En la figura N°2 (pág:75), con el HP_d y RPM motor obtenemos:

$$\text{Sección de la faja} = 3V$$

d) La relación de transmisión es:

$$Rt - 1 \text{ por ser iguales las poleas}$$

e) De la tabla N°16 (pág:76) para sección 3V reconocemos las poleas estándar de 3,35" de diámetro exterior cada una. Y el diámetro de paso de estas será:

$$D_p = D_{ext} - 1,27 \text{ mm} = 85 - 1,27$$

$$D_p = 83,73 \text{ mm} = 3,297''$$

Según la tabla N°2 (pág:55) para la menor potencia tabulada (0,5 Hp) y el menor RPM tabulado (575) debe usarse una polea de diámetro exterior mínimo de 2,5", luego como el diámetro de la polea es mayor, entonces la selección del diámetro es adecuado.

La velocidad tangencial de la faja será:

$$V = \frac{\pi \cdot D_p \cdot N}{12} = \frac{\pi \cdot 3,296 \cdot 200}{12}$$

$$V = 172,6 \text{ ppm} < 6500 \text{ ppm} \quad \text{Ok!}$$

f) La longitud aproximada de la faja es:

$$L \approx = 2C + 1,65 \cdot (D+d) = 2 \cdot 13 + 1,65 \cdot (3,35+3,35)$$

$$L = 34,37''$$

De la tabla N°19 (pág:77) la longitud estándar más próxima es de 35,5", que corresponde a una faja 3V355. La distancia entre centros correcta será:

$$C = \frac{L - \frac{\pi}{2} \cdot (D+d)}{2} = \frac{35,5 - \frac{\pi}{2} \cdot (3,35+3,35)}{2}$$
$$C = 12,488'' = 317\text{mm}$$

g) El factor de corrección por ángulo de contacto:

Como $(D-d)/C = 0$, entonces $K_{\theta} = 1$

El factor de corrección por longitud de faja lo

hallamos de la tabla N°19 (pág:77): $K_L = 0,89$

La potencia por faja se obtiene de la tabla_N°20 (pág:78) con la velocidad de 200 RPM y el diámetro exterior de 3,35", la cual es:

$$\text{HP/faja} = 0,43 \text{ Hp}$$

La potencia adicional por relación de transmisión es igual a cero (0) ya que la relación de transmisión es igual a 1.

Luego la potencia que se puede transmitir por faja, para las condiciones expuestas será:

$$\text{HP/faja} = (0,430 + 0) \times 1 \times 0,89 = 0,3827 \text{ Hp}$$

$$\text{HP/faja} > \text{HPd} \dots\text{Ok!}$$

Por lo tanto la faja a usar será:

Una faja 3V355 con poleas de 3,35" cada una.

Capítulo 4

DISEÑO DE CIRCUITOS ELECTRONICOS

El objetivo de la parte electrónica es el de diseñar una interface que mediante una computadora IBM-PC manipule y controle los dispositivos de maniobra electromecánicos a utilizar en la automatización. Para ello se ha diseñado circuitos especializados en determinadas funciones como: controlar la velocidad del motor DC, controlar el ángulo de giro de los motores de pasos (steppers), controlar la aceleración y desaceleración del giro de estos steppers, y recepcionar las señales de los sensores contra las colisiones. Así mismo se ha diseñado los circuitos que reparten las tareas ha ejecutar por cada uno de estos circuitos especializados, como también los circuitos que mantienen memorizadas estas tareas para su respectivo cumplimiento. En la figura (4.1) se muestra los principales circuitos que conforman la interface electrónica, así como sus interconexiones.

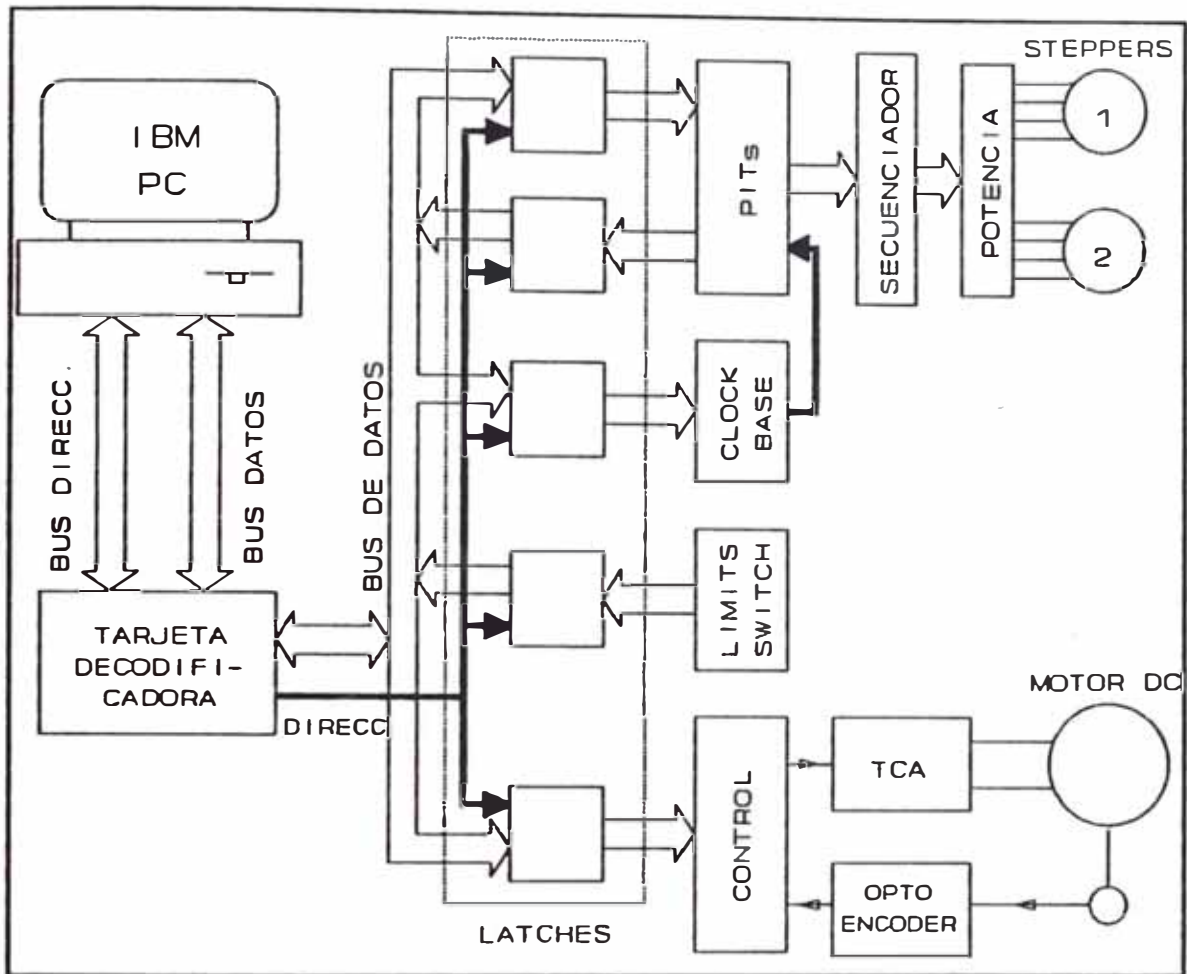


Fig:4.1 Diagrama de bloques de la interface electrónica

4.1 Circuito de direccionamiento E/S de datos

El control por computadora de los distintos circuitos especializados en: manejar los steppers, variar la velocidad del motor DC y recepcionar las señales de los fines de carrera, requiere de un medio para la comunicación entre la computadora y estos circuitos. Para esta función se utiliza una tarjeta decodificadora que permite el acceso a a 8 distintas direcciones, para escribir o leer 8 bits del bus de datos de la

computadora.

Pero además se requiere de un medio por el cual los datos que fluyen constantemente por este bus sean almacenados y mantenidos para gobernar los circuitos, para esto utilizamos un circuito de memorización. A continuación pasaré a explicar estos dos circuitos que permiten el direccionamiento E/S de los datos.

4.1.1 Tarjeta Decodificadora

Esta tarjeta ha sido diseñada para permitir el acceso al bus de datos de la computadora y a 8 direcciones de la misma (ver circuito N°1). La tarjeta se coloca en uno de los slots de expansión de la microcomputadora y presenta un arreglo de ocho pines (del Y0 al Y7) que pueden ser activados mediante su respectivo direccionamiento, a través de software. Luego mediante el lenguaje Turbo Pascal podemos escribir y leer datos a/de estas direcciones. Esto último es realizado utilizando la función PORT[###], en donde ### es el número de la dirección deseada. De tal manera, que por ejemplo para escribir un dato (byte) a la dirección que activa el pin Y2 (dirección \$308) en el programa se asignará:

```
PORT[$308] := Byte;
```

Y para leer el dato de estas direcciones se usará:

Byte := PORT[\$308]

Como se observa el direccionar un determinado dato a una de estas direcciones activan un determinado pin, el cual lo utilizaremos para habilitar la lectura o escritura de/en las memorias (latches) que cada circuito tiene para mantener sus datos de consigna.

Las direcciones que podremos usar con esta tarjeta serán:

Tabla:4.1 Direcciones de los puertos de la tarjeta decodificadora

<i>Puerto</i>	<i>Y0</i>	<i>Y1</i>	<i>Y2</i>	<i>Y3</i>	<i>Y4</i>	<i>Y5</i>	<i>Y6</i>	<i>Y7</i>
<i>Dirección</i>	<i>\$300</i>	<i>\$304</i>	<i>\$308</i>	<i>\$30C</i>	<i>\$310</i>	<i>\$314</i>	<i>\$318</i>	<i>\$31C</i>

4.1.2 Circuito de Memorización

Estas memorias son necesarias debido a que al tener varios circuitos debemos repartir determinado trabajo a cada uno de ellos y estas ordenes impartidas deben mantenerse invariables hasta que no se hayan reemplazado por otras. La forma en que se reparte este trabajo es mediante el direccionamiento de datos a cada uno de ellos (tarjeta decodificadora), y su memorización mediante justamente las memorias. Los CI

utilizados para la memorización son los 74373 que pasaré a explicar a continuación.

CI 74373

Se denominan *Básculas Octales Tipo D (Octal D-Type Transparent Latches)* [1], los cuales permiten memorizar 8 bits de datos. Su principio se basa en los elementos básicos de memoria llamados *flip-flop tipo D* o *báscula tipo D* [2].

El CI tiene 8 pines para la entrada de datos y 8 para la salida de los mismos. Posee una entrada de control de la salida de datos (*output control OC*) que se utiliza para fijar las salidas con los datos almacenados cuando OC esté en 1 ó para fijar las salidas en un estado de alta impedancia cuando OC esta en 0.

Con el pin *Enable (G)* en estado 1 se permite el acceso de los datos del bus de la tarjeta decodificadora dentro de la memoria (se abre la ventana). Cuando ponemos este G a 0 (se cierra la ventana) el dato quedará almacenado hasta otro acceso.

Los circuitos se alimentarán de estos datos mantenidos por los Latches para sus respectivas tareas. Los circuitos que deberán ser leídos por la computadora usan el mismo sistema de funcionamiento pero en sentido contrario, es

decir, el circuito manda datos al Latch, este los almacena y luego mediante la tarjeta decodificadora la computadora los leerá habilitando al Latch para que vierta sus datos en el bus de datos.

El sistema de direccionamiento y almacenamiento consta de 5 CI 74373 para los siguientes propósitos :

Tabla:4.2 Funciones de los Latches

<i>No. Latch</i>	<i>Read/Write</i>	<i>Puerto</i>	<i>Propósito</i>
<i>1</i>	<i>Write</i>	<i>Y0-Y1</i>	<i>Programar inicio y dirección de movimiento de los carros.</i>
<i>2</i>	<i>Read</i>	<i>Y4</i>	<i>Recepción señales fin de movimiento.</i>
<i>3</i>	<i>Read</i>	<i>Y5</i>	<i>Recepción señales de micro-switch de fines de carrera.</i>
<i>4</i>	<i>Write</i>	<i>Y6</i>	<i>Fijar el reloj base para los PIT.</i>
<i>5</i>	<i>Write</i>	<i>Y7</i>	<i>Fijar velocidad de motor C.C.</i>

Estos CI 74373 estan repartidos en cada uno de los circuitos que mencionaré más adelante (ver circuito N°10).

4.2 Diseño del Control de Velocidad

El control de velocidad que se ha implementado es del tipo proporcional y consta de 3 circuitos que se

encargan de la conversión digital/análoga, el algoritmo de control, el sensado de la velocidad y su realimentación, y la fase de potencia. El circuito de potencia se ha realizado mediante tiristores debido al valor de voltaje que utiliza el motor de continua (100 VDC)

4.2.1 Circuito de conversión D/A y control proporcional

En el circuito N°2 observamos que el latch 74373 es utilizado para mantener cargado el byte que selecciona el nivel de velocidad, mediante el direccionamiento de este byte a la dirección del latch (\$031C). De tal manera, que cuando deseamos tener una velocidad máxima escribimos el byte máximo a esta dirección y cuando deseamos la velocidad de cero tendremos que escribir el byte mínimo a la misma dirección.

Luego estos datos que son mantenidos por el latch, son convertidos a un nivel de tensión continua (de 0 a -12 Vdc), mediante la utilización del conversor digital/análogo DAC0800 [3]

El DAC trabaja con nivel de tensión de 12 Vdc y sus entradas de voltajes referenciales VR+ y VR- han sido puestas a 12 V y a tierra respectivamente para trabajar dentro de este

rango. El nivel de 12 V es adecuado para que opere con los amplificadores operacionales de control que trabajan a este nivel también.

La salida del DAC esta invertida, por ello utilizamos a continuación un amplificador operacional (U4) en conexión de amplificador inversor, con ganancia que puede llegar hasta 2. Esta señal hasta aquí obtenida es llamada valor consigna (Set Point), es decir, el valor que indica el nivel de velocidad que se desea. Luego el valor obtenido en la realimentación deberá llegar a ser igual a éste para que se cumpla que el motor esta girando a la velocidad deseada.

El Set Point (SP) y la realimentación (voltaje medido VM) entran en el siguiente amplificador operacional (U5) que está en conexión de resta obteniéndose a la salida de éste el valor del error:

$$E = SP - VM \quad (4.1)$$

A continuación, este error es invertido y multiplicado por el siguiente amplificador operacional (U6) que está en conexión de amplificador inversor, obteniéndose a su salida el valor:

$$-K.E$$

Donde el valor de K es la ganancia y es con la que se varía el ancho de banda del control proporcional

Luego este valor del error así transformado es sumado con un voltaje de referencia (V_{ref}), mediante el potenciómetro de 1 Kohm y el siguiente amplificador operacional (UA7). Este voltaje de referencia se requiere para evitar que ingrese valores negativos al operacional, el cual esta polarizado entre 12 Vdc y tierra. La suma así obtenida en la salida del último operacional constituye la entrada del circuito de disparo de los tiristores:

$$V_{total} = -K \cdot E + V_{ref} \quad (4.2)$$

$$V_{total} = -K \cdot (VM - SP) + V_{ref} \quad (4.3)$$

4.2.2 Circuito de realimentación

Este circuito N°3 se alimenta de la señal producida por el opto-encoder, el cual esta implementado mediante un disco ranurado acoplado al eje del motor, de tal manera que al girar el eje con el disco, éste comenzará a interrumpir la luz infraroja entre los bornes del optosensor,

después pase cada ranura. Por lo que el optosensor emitirá una señal pulsante proporcional a la velocidad de giro del motor. Esta señal es filtrada por el condensador en serie y comparada por el amplificador operacional (U2) con tierra, obteniéndose una señal que es amplificada por el transistor ECG199 [4]. Luego esta señal es aplicada al pin 2 del timer 555 [4], el cual está en conexión monoestable. Esta conexión se utiliza para sacar una onda cuadrada (por el pin 3) en base a la entrada (pin 2) constituida por disparos. La onda cuadrada proporcional a la frecuencia de giro del motor es reforzada por el amplificador operacional U3, para finalmente obtener la señal de retroalimentación

4.2.3 Circuito de disparo de tiristores

En este circuito N°4 el componente principal es el CI TCA-780, el cual explicaré genéricamente, para luego explicar el circuito en sí.

TCA-780

Es un CI analógico de 16 pines que sirve para aplicaciones de control del ángulo de disparo de

tiristores y triacs [8]. Su versatilidad permite innumerables aplicaciones dentro de electrónica. Este CI genera una onda rampa a través del pin 10, por cada semionda de la tensión sinusoidal de referencia aplicada entre el pin 5 y tierra. La pendiente de esta onda rampa se puede variar con el potenciómetro colocado en su pin 9.

Por su pin 11 se aplica la tensión de control, la cual será comparada con la tensión rampa y cuando los valores de tensión sean iguales mandará un pulso por el pin 15 (por cada semicomba positiva), y también mandará un pulso por el pin 14 (por cada semicomba negativa). El inicio de estos pulsos es utilizado para el disparo de tiristores y triacs, ya que, al variar la señal de control variará el ángulo de disparo de estos.

Explicación del circuito

El circuito N°4 se alimenta con la tensión de referencia sinusoidal por el pin 5 del TCA. Esta tensión es proporcional (6 Vac) y de igual fase a la tensión alterna de alimentación de potencia del motor (110 Vac), para ello se utiliza un transformador de relación 110/6.

Por el pin 11 se aplica la señal control que llega desde el circuito de control proporcional anterior (N°2). Luego, como ya expliqué

anteriormente por el pin 14 y 15 salen los pulsos que servirán para el disparo de los tiritores. Mediante los diodos en paralelo sumamos estas señales. Esta suma la multiplicamos con la señal de un oscilador de onda cuadrada de 30 KHz, el cual está implementado con las compuertas (CMOS) U3A, U3B y U3C. La multiplicación es realizada para asegurar el disparo del tiristor en el rango que debe dispararse.

A continuación esta señal es enviada hacia la base del transistor (ECG123AP) para que se encargue de amplificar los pulsos. El transformador de pulsos es utilizado para el aislamiento entre la fase de potencia y control, y para que deje pasar los pulsos sin atenuación. Por último, la señal final entre el Gate (G) y el Cátodo (K) del tiristor es un rango de pulsos que se encargarán de disparar al tiristor dentro del mismo. El inicio de este rango es el inicio del ángulo en que ésta disparado el tiristor y es proporcional a la señal de control aplicada (pin 11).

Cabe mencionar, que mediante este circuito el tiristor es disparado tanto en la semicomba positiva, como en la negativa, pero por su característica ya conocida sólo podrá conducir la semicomba positiva.

4.3 Circuitos manipuladores de los motores de pasos

4.3.1 Circuito secuenciador de pulsos

El objetivo de este circuito es el de hacer girar el motor de pasos, un ángulo específico, a una determinada frecuencia. Para ello hemos dividido éste en dos sub-circuitos: uno llamado el Generador de pulsos y el otro llamado el Secuenciador propiamente dicho. El primer sub-circuito se encargará de generar el tren de pulsos con un número de pulsos y frecuencia específica, que alimentará al Secuenciador. Y el segundo sub-circuito se encargará de dar la secuencia de permutación de bobinas, para que el stepper gire en uno u otro sentido.

4.3.1.1 Sub-circuito generador de pulsos

El requerimiento de éste circuito es que actúe como un periférico (de IBM PC), de tal forma que la computadora lo programe para que genere (independientemente de esta) un tren de pulsos con un número de pulsos y frecuencia determinadas. Para ello, utilizaremos el circuito integrado 8253, él cual es un Temporizador de Intervalos Programable (PIT) [5].

PIT 8253

Este es un dispositivo contador/temporizador programable para ser usado como periférico en microcomputadoras. Consta de 3 contadores independientes de 16 bits, que pueden contar pulsos hasta una frecuencia de 2,6 MHz.

Cada contador puede ser programado para trabajar en 6 modos diferentes posibles:

MODO 0 : Contador con interrupción final

MODO 1 : Contador por disparo

MODO 2 : Generador de rangos

MODO 3 : Generador de onda cuadrada

MODO 4 : Disparador por software

MODO 5 : Disparador por hardware

Cada contador tiene una entrada (input), una salida (output) y un pin de habilitación para su funcionamiento (gate). La operación de conteo de cada contador es completamente independiente uno de otro. La cuenta de los contadores es decremental.

Para la programación del PIT, un juego de bytes (8 bits) de control le deben ser enviadas para inicializar cada contador con el modo deseado y

valor de datos a almacenar. El byte de control programa el modo, la secuencia de carga de los datos a almacenar y la clase de conteo (binaria o BCD).

Después de enviarle el byte de control, el PIT queda en espera del envío de los bytes de dato en la secuencia previamente especificada en el byte de control.

El PIT va conectado al bus de datos de la microcomputadora, igualmente a las líneas de habilitación de escritura (WR a /IOW) y de lectura (RD a /IOR). Las líneas A0 y A1 se conectan a sus similares del bus de direcciones y el CS (chip select) a la línea de habilitación. Este CS habilita al PIT para que reciba las palabras de control y de datos (sincronización). Luego para programar el PIT solamente se deberá escribir un dato (byte de control o de dato) a una determinada dirección (que actuará sobre A0, A1 y CS).

Los modos de operación de los contadores que hemos utilizado son:

MODO 0: Contador con interrupción final.- En el que el número cargado inicialmente irá decrementándose (contando), por cada pulso que se aplica a su entrada (input). Durante el contéo la

salida se mantiene en cero (0), pero al final de la cuenta ésta pasará a nivel alto (1). La cuenta empieza y se mantiene sólo cuando el gate está en 1.

MODO 3: Generador de onda cuadrada.- Genera un pulso simétrico (onda cuadrada) por cada N pulsos de entrada, donde N es el número dato con el que fue cargado inicialmente. Esta operación representa un divisor de frecuencia programable. De tal manera, que en este modo la frecuencia base que ingresa por la entrada puede ser convertida en cualquier otra frecuencia menor, mediante la carga del número divisor. La generación de pulsos empieza y se mantiene sólo cuando el gate esta en 1.

Explicación del sub-circuito generador de pulsos

En el circuito N°5 se muestra las conexiones del PIT. En ella se muestra una combinación de compuertas lógicas (AND y OR) conectadas al PIT, las cuales tienen la función de evitar que el generador de pulsos siga mandando pulsos cuando el contador haya alcanzado su valor de consigna (número de pulsos programado).

La línea START sirve para iniciar el envío del tren de pulsos. Esta va consistenciada con la señal (de termino de tarea anterior) de la salida del contador de pulsos.

Con la línea SCAN podemos leer si la última tarea programada ha sido o no terminada por el PIT.

4.3.1.2 Sub-circuito secuenciador de pulsos

Este circuito está encargado de dar la secuencia lógica de energización (permutaciones) de las bobinas del stepper, para hacerlo girar a un sentido u otro. Para ello utilizamos el CI 74194, el cual es un registro de desplazamiento bidireccional de 4 bits [6].

CI 74194

Este CI funciona (ver circuito N°6) desplazando los datos ABCD una posición a la izquierda o derecha, por cada pulso aplicado en su entrada CLK. El sentido del desplazamiento depende de los valores aplicados en S0 y S1 (S0=1, S1=0 derecha y S0=0, S1=1 izquierda) Los datos ABCD son cargados a su memoria interna colocando S0=1 y

S1=1 (parallel load). Por el SR o SL (según el sentido de desplazamiento) sale el dato (bit) que por el desplazamiento sobra (rebalsa) y por el otro SL o SR debería entrar el bit que ocuparía la primera nueva posición. Los datos ABCD sólo se cargan una sola vez y estos representan el estado lógico inicial de energizado de las bobinas.

Explicación del sub-circuito secuenciador

El circuito se alimenta del tren de pulsos mandado por el sub-circuito generador de pulsos (N°5), el cual entra al CLK. Como se va a alimentar el stepper por 2 de sus 4 bobinas (conexión bipolar) a la vez, debemos inicializar el 74194 con 2 datos de valor 1 (A=B=1) y los otros 2 datos con valor 0 (C=D=0). Para ello realizamos un parallel load colocando S0=1 y S1=1.

Como la energización de bobinas es una secuencia cerrada debemos evitar la pérdida del bit que rebalsa por el desplazamiento. Para ello conectamos SR con la salida QD y SL con la salida QA, de tal manera que para cualquier sentido de desplazamiento la secuencia se mantendrá cerrada siempre, es decir sin pérdida de pasos lógicos.

La entrada CLR (clear) debe estar en 0 (como esta negada la ponemos en 1) para evitar que exista un borrado de la memoria del chip.

El arreglo de compuertas (OR y AND) utilizadas es para lograr que cuando se mande 0 por LOADATA acompañado por cualquier valor de IZQ/DER, se obtengan en S0 y S1 el valor de 1 y así se carguen los datos. Así mismo, en S0 y S1 llegará la combinación correcta para desplazar a la izquierda o derecha, cuando LOADATA este en 1 y por DER/IZQ se mande el valor adecuado.

4.3.2 Circuito amplificador de pulsos

Este circuito N°7 de potencia tiene la finalidad de energizar con el voltaje de operación (24 Vdc) a las bobinas del stepper, de acuerdo a la secuencia lógica antes expuesta. Como ya hemos mencionado en el capítulo de generalidades, la característica de torque v.s. frecuencia del stepper depende también de su manejador (driver). Para manejar el stepper a bajas velocidades el requerimiento de este driver es menor, pero cuando se deseé mayores velocidades el driver será más complejo.

Nuestro driver enfrenta el problema de elevar

la corriente rápidamente, mediante la colocación de una resistencia en serie con cada bobina del stepper. De tal manera que la constante de tiempo L/R se reduzca, y por lo tanto la velocidad de crecimiento de la corriente se eleve.

Como se muestra en éste circuito, para la energización de las bobinas se utiliza un transistor Darlington (BD681/ECG253) [4] por cada bobina, el cual conecta a tierra la bobina según la señal lógica (de 5 a 20 mAmp.) del circuito secuenciador de pulsos.

Estos transistores son utilizados por su alto factor de amplificación de corriente ($h_{fe}=2000$). La resistencia que va en su base es para proteger el CI 74194. Además se tiene un diodo en paralelo con la bobina y la resistencia de potencia para disipar la energía almacenada en la bobina cuando se desconecte ésta.

4.4 Circuito del clock variable

Como se mencionó anteriormente los stepper tienen la limitación de no poder ser manejados a elevadas frecuencias, lo cual imposibilita tener movimientos rápidos de los carros de la máquina. Una de las causas de esta limitación es la carga de inercia. Bien, para

liberarnos de esta inercia lo debemos hacer gradualmente. Esto lo conseguimos acelerando gradualmente el stepper hasta la velocidad deseada (igualmente su desaceleración), de tal manera que consigamos mayores velocidades de giro sin perder pasos.

Los circuitos manejadores de los stepper no pueden realizar esta función de aceleración y desaceleración gradual. Por ello, conviene variar el clock base que utilizan los PITs, de tal manera que cuando manden el tren de pulsos de frecuencia específica, nosotros variaremos ésta mediante otro circuito. El CI utilizado para esta tarea es el XR-2206 [1], él cual explicaré a continuación, para luego explicar el circuito general.

XR-2206

Este CI es un generador de formas de onda, tales como cuadradas, triangulares, de rampa, senoidales y pulsos de alta calidad en un amplio rango de frecuencias.

La frecuencia de oscilación (F_o) es determinada por el capacitor de control externo a través de los pines 5 y 6, según el diagrama, y por una resistencia de temporización conectada a cualquiera de los pines 7 u

8. La frecuencia está dado por $F_0 = 1 / RC$.

El V.C.O. (Oscilador Controlado por Voltaje) del circuito produce dos formas de onda simultáneamente. Una de estas es una rampa lineal, la cual es alimentada a un multiplicador interno y al bloque conformador de la señal seno, y la otra es una forma rectangular.

Explicación del circuito

El objetivo del circuito N°8 es la generación de una onda cuadrada con un rango variable de frecuencia de 15 a 1. Luego, si preparamos el XR-2206 para tener una frecuencia máxima de 150 KHz, entonces podremos variar esta frecuencia hasta obtener una frecuencia mínima de 10 KHz.

La variación de frecuencia de la onda cuadrada se logra variando la tensión de control aplicada por el pin 7. Esta variación de la tensión de control es lograda mediante la utilización de un conversor digital/análogo (DAC0800) [3] conectado a su respectivo latch para la fijación de su dato de consigna. Es decir, que cuando querramos tener la señal de clock base a una frecuencia determinada, debemos direccionar a este latch el byte de valor proporcional a esta frecuencia. Luego, el conversor D/A convertirá este byte a una tensión

proporcional y el XR-2206 generará la onda cuadrada con frecuencia deseada. El conversor D/A presentará para cada uno de los 256 valores del byte dato una tensión proporcional comprendida entre 0 y 10 voltios.

Para lograr el efecto de aceleración gradual, direccionaremos repetidamente el byte con valores que varíen de cero hasta el valor correspondiente a la velocidad deseada.

4.5 Circuito de limit switch

Es el circuito más sencillo y su función es la de recepcionar las señales que emiten los micro-switches montados en los carros de avance (ver circuito N°9). De manera tal que cuando se recepciona una señal lógica 0, significa que el carro se encuentra dentro del rango permitido en el que puede desplazarse; mientras que si la señal es 1 significa que está en el límite o fuera de este rango. En este último caso se interrumpirá el programa, se detendrá el husillo y los steppers, de tal manera que se eviten las colisiones.

Capítulo 5

SOFTWARE DE SIMULACION Y MANIPULACION DEL TORNO C.N.C.

El objetivo en lo concerniente a software es la elaboración de un sistema que permita la edición, simulación gráfica y ejecución en el torno de las órdenes dadas en lenguaje C.N.C. Además de tener la posibilidad de superposición de planos de la pieza final como también de la pieza en bruto, sirviendo éstas como referencia durante el proceso de programación. El sistema aprovecha los ya conocidos soportes de almacenamiento en diskettes, impresión gráfica (para la simulación y planos) e impresión en modo texto (para el listado del programa).

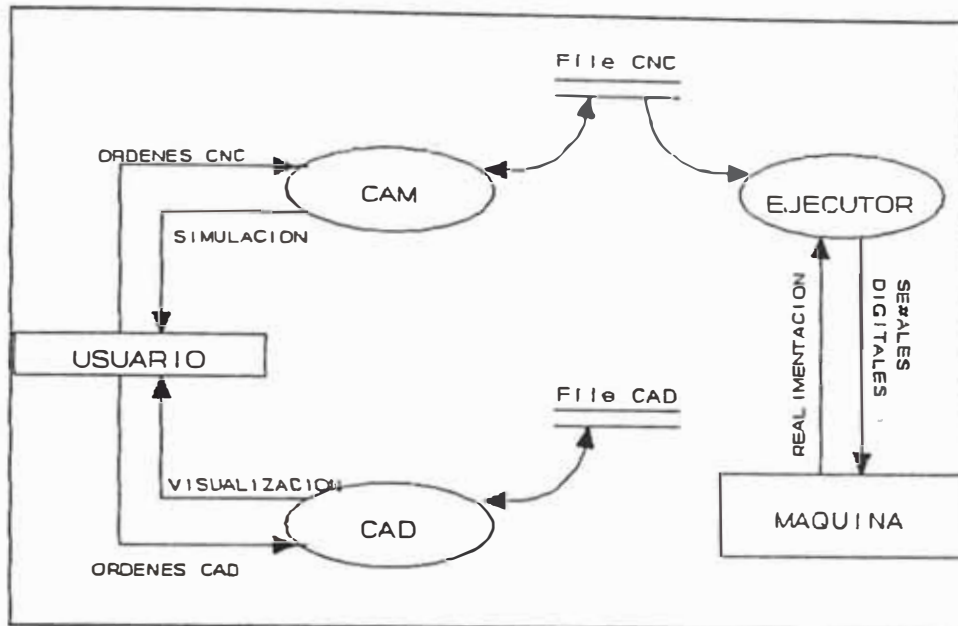


Fig:5.1 Flujo de datos global

5.1 Simulador del proceso de manufactura

Este simulador está conformado por dos módulos, uno dedicado al CAD y el otro para el CAM. Su interrelación es básicamente de carácter gráfico, mediante la superposición. Se vió conveniente trabajar este simulador bajo el ambiente del programa AUTOCAD, de tal forma que el módulo CAD estará constituido por el programa mismo Autocad, y el módulo CAM mediante la ejecución de un programa en lenguaje AutoLisp [1] que corre dentro de Autocad.

5.1.1 Módulo CAD

5.1.1.1 Objetivo

Contar con un sistema de creación y edición de dibujos para desarrollar dibujos referenciales (pieza inicial y pieza acabada) que se superpongan en el sistema CAM.

5.1.1.2 Alcances

El sistema permite la creación y edición de la figura de la pieza inicial (en bruto) y de la pieza final (acabada) dimensionada.

- *Estos dibujos se pueden mantener visualizados para servir como referencia durante la programación dentro del sistema CAM.*
- *El sistema está constituido por el programa Autocad, versión 2.6 de la firma Autodesk Inc.*
- *Se cuenta con un sistema de menús personalizados^[2] que permiten el acceso y edición, tanto a la pieza inicial como a la final, las cuales se encuentran en diferentes capas (layers)^[3] definidas con nombres específicos*
- *El sistema cuenta con un programa de generación*

de figuras tridimensionales a partir del plano de la figura final, constituyendo una referencia tridimensional de esta.

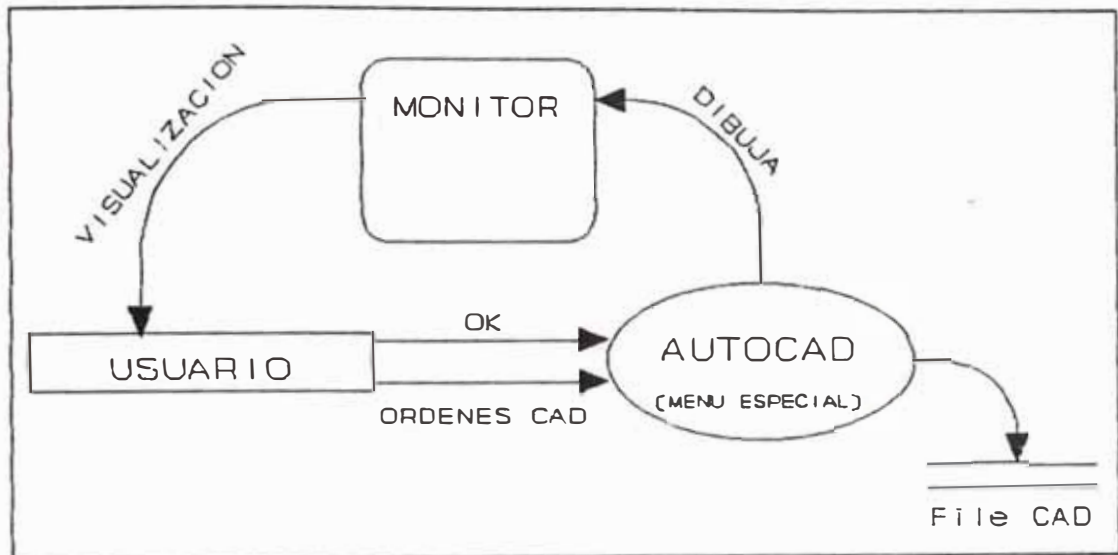


Fig:5.2 Flujo de datos del módulo CAD

5.1.1.3 Limitaciones

- El tamaño de la pieza a trabajar será limitada por razones de capacidad de máquina, de proceso de manufactura y manipulación asistida.
- En la simulación sólo se visualizará la mitad de la pieza (lado derecho axial), además las dimensiones de la pieza estará en milímetros.

5.1.2 Módulo CAM

5.1.2.1 Objetivo

Simular la secuencia de operaciones de la máquina herramienta a partir de los códigos normalizados de CNC introducidos por el usuario.

5.1.2.2 Alcances

- *Se ha creado con un editor de líneas de programa de códigos CNC. Este ha sido realizado en lenguaje de programación Turbo Pascal.*
- *La simulación gráfica de las órdenes CNC introducidas se realiza mediante la ejecución, a través del menú, de un programa creado para esta función. Este programa ha sido hecho en lenguaje de programación gráfica AutoLisp [1], el cual corre dentro del ambiente de Autocad.*
- *La simulación permite la visualización secuencial del número de programa así como de los parámetros de maquinado (velocidad de husillo y avance), según el avance del programa.*
- *La simulación visualiza secuencialmente el*

tiempo que va transcurriendo por cada orden CNC, en base al avance y a la velocidad del husillo, pudiéndose estimar el tiempo de maquinado de cualquier programa.

- *Debido a que la simulación es realizada dentro del ambiente de Autocad, todas las ayudas de éste están disponibles para la edición de los gráficos.*

5.1.2.3 Limitaciones

- *Sólo se podrán simular las órdenes CNC de la tabla 5.1.*
- *La programación sólo se realizará en coordenadas absolutas, con valores de radios y en milímetros.*

Los programas serán de 255 líneas como máximo.

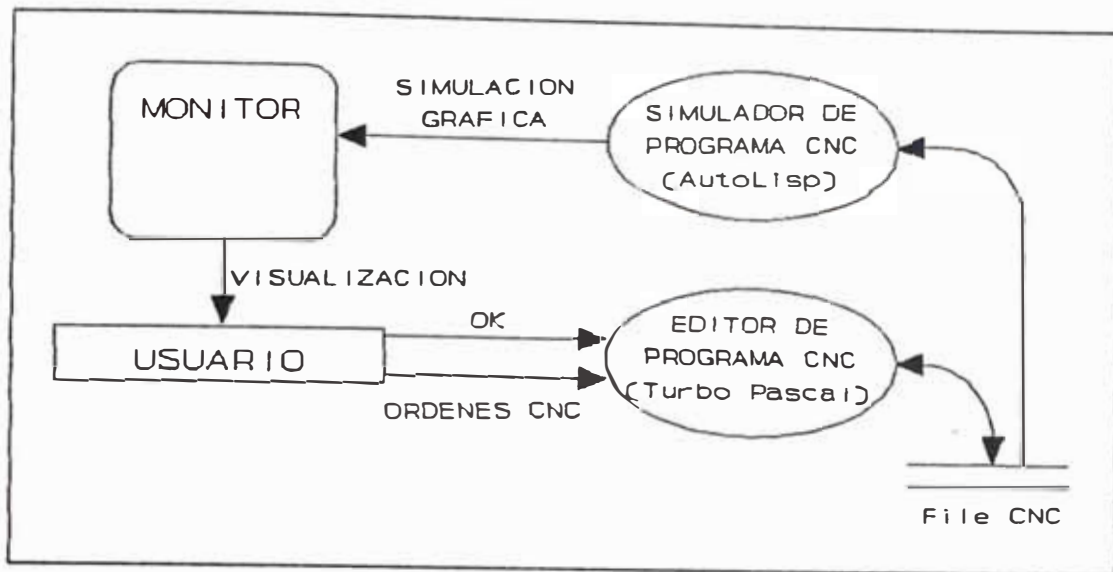


Fig:5.3 Flujo de datos del módulo CAM

Tabla:5.1 Ordenes disponibles CNC

Instrucción	Descripción
G0	Avance rápido
G1	Avance lineal
G2	Avance circular en sentido horario
G3	Avance circular en sentido antihorario
G4	Tiempo de espera
G81	Ciclo fijo de desbaste exterior
G82	Ciclo fijo de refrentado exterior
G90	Interpolación Absoluta
G92	Modificación del punto cero
M2	Fin de programa (incluye M05)
M3	Marcha del husillo a la derecha (horario)
M5	Paro del husillo
T1	Cuchilla de desbaste y acabado
T2	Cuchilla de perfilado
F #.###	Avance en #.### mm/revolución
S ####	Velocidad del husillo en RPM

5.1.2.4 Especificaciones del módulo CAM

EDITOR

- El editor se ha realizado en lenguaje Turbo Pascal^[4] y se ha compilado con el nombre EDITTOR.EXE. Su ejecución se realiza dentro del ambiente de Autocad mediante activación de su opción en el menú personalizado.
- Los comandos de programación CNC serán: G, M, F, S y sus parámetros: X, Z, I, J.
- El editor de líneas de programa CNC está habilitado para insertar, borrar y modificar líneas de códigos CNC.
- El editor tiene las siguiente estructura de datos:

Código	N	G	X	Z	I	J	F	S	T	M
Tipo	B	B	R	R	R	R	R	E	B	B
Bytes	1	1	4	4	4	4	4	2	1	1

Por lo tanto, una línea tendrá una longitud de 26 bytes.

Por razones de capacidad de memoria el programa ha de ser como máximo de 255 líneas, es decir de 6,5 KBytes.

- Se puede grabar el archivo CNC en cualquier momento dentro del editor, este archivo estará

en formato ASCII para facilitar su lectura por diversos programas.

- *El formato utilizado en el archivo CNC es el siguiente :*

*N3 , G2 , X4.2 , Y4.2 , I4.2 , J4.2 , F3.3 , S4
T1 , M2.*

Donde número a la izquierda del punto significa la cantidad de dígitos enteros que pueden editarse para cada función, y el valor a la derecha del punto el número de dígitos decimales permitidos.

- *El orden de ejecución de los bloques estará ordenado según la numeración dada mediante la numeración del bloque (N).*
- *El editor presenta las líneas de programa en una ventana de 11 en 11 líneas, la cual permite la edición de las mismas, como también el acceso ó reentrada al ambiente de Autocad.*
- *El editor verifica los datos con rangos establecidos, activándose mensajes de error al ser sobrepasados estos rangos, generando un sonido y pidiendo un nuevo valor.*
- *El editor cargará a memoria el último programa que se editó. Sin embargo el editor da la opción de crear un nuevo programa o de cargar a memoria un programa anteriormente editado.*

SIMULADOR

- *La simulación podrá ser realizada en cualquier momento de la edición del archivo CNC, saliendo del ambiente del Editor y activando, dentro del ambiente Autocad, la opción de simulación en el menú de opciones.*
- *En cada nueva simulación (activación de simulación en el menú) se borrará la anterior, se regenerarán los dibujos CAD y se empezará desde el principio del archivo CNC actual (último en haberse editado en el ambiente del editor).*

El simulador al inicio de cada simulación pide el punto cero (cero flotante) para empezar la simulación, acción comunmente conocida como "Acerar".

- *Se tiene la posibilidad de visualizar el perfil de la herramienta, tanto de la plaquita como del manguito independientemente, mediante su solicitud en el menú de opciones.*

5.1.2.5 Descripción de rutinas del simulador

Programa Principal SIMULA

El diagrama se muestra en la fig:5.4 y la

descripción de las rutinas es la siguiente:

INICIO : Salva las variables del sistema Autocad y luego las cambia. Inicializa las variables del programa simulador.

LIMPIA : Borra las capas de la última simulación.

ABRE : Abre el último archivo CNC editado con el editor.

ACERAR : Pide el ingreso del punto cero (cero flotante, "Aceración").

LAZO : Es el bloque principal, se encarga de leer y simular secuencialmente todas las ordenes CNC.

FINAL : Repone variables del sistema Autocad.

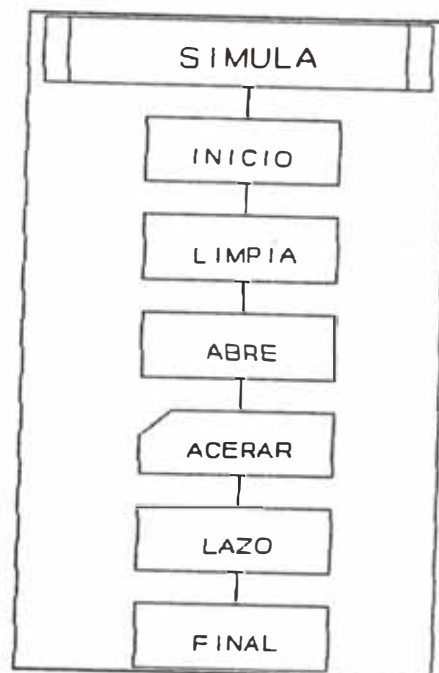


Fig:5.4 Diagrama de bloques del simulador

Programas secundarios:

- G00 : Rutina para simular la función G0 (movimientos lineares rápidos).*
- G01 : Rutina para simular la función G1 (movimientos lineares de maquinado).*
- G0203 : Rutina para simular la función G2 y G3 (movimientos curvos de maquinado).*
- G04 : Rutina de tiempo de espera en segundos.*
- G81 : Rutina que simula el ciclo fijo de desbaste G81.*
- G82 : Rutina que simula el ciclo fijo de refrentado G82.*
- F00 : Rutina que visualiza en pantalla el avance que es seleccionado en el programa (en mm/revolución).*
- S00 : Rutina que visualiza en pantalla la velocidad del husillo que es seleccionada en el programa (RPM).*
- T00 : Rutina que obtiene de la biblioteca la figura del perfil de la herramienta seleccionada y visualiza su nombre en pantalla.*
- TIMER : Rutina que se encarga de calcular el tiempo que demora cada operación de maquinado y visualiza el tiempo transcurrido secuencialmente en pantalla.*

Programa auxiliar para construcción tridimensional CNC3D.

CNC3D : Programa principal de construcción tridimensional.

START : Inicializa variables.

LINEAS : Construye un elemento diferencial de superficie por cada línea de la figura de la pieza final.

ARCOS : Construye un grupo de elementos diferenciales de superficie por cada arco de la figura de la pieza final.

CNC3DFIN: Elimina la construcción 3D y reestablece el estado inicial.

5.1.2.6 Ejemplos de utilización de funciones principales CNC.

G0 : Posicionamiento rápido

Sí estamos en el punto inicial X=20, Z=-20 y damos la orden:

N10 G0 X50 Z-50

obtendremos el movimiento de la figura 5.5. Su visualización es en líneas punteadas debido a que se trata de un movimiento a la máxima velocidad de avance.

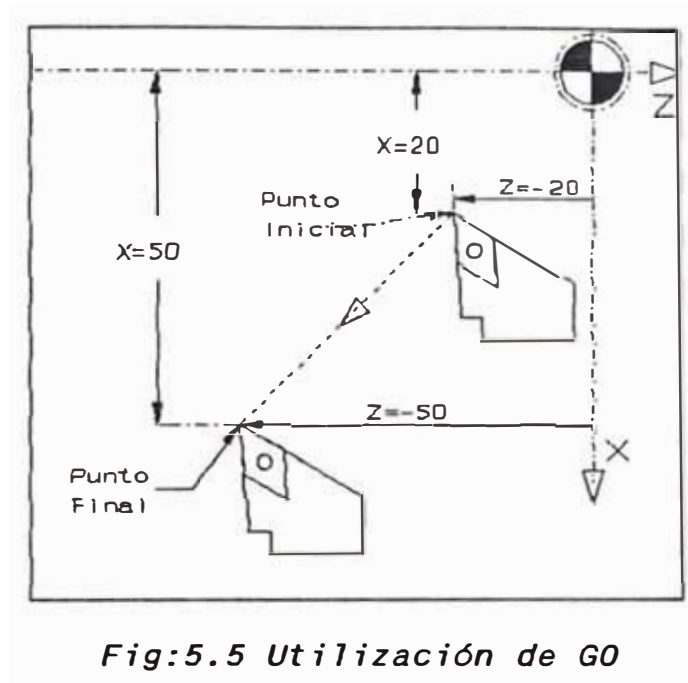


Fig:5.5 Utilización de G0

G1 : Trayectoria lineal

Si estamos en el punto inicial X=20, Z=-20 y damos la orden:

N10 G1 X50 Z-50

obtendremos el movimiento de la figura 5.6. Su visualización es línea continua debido a que se trata de un movimiento a la velocidad de avance programada.

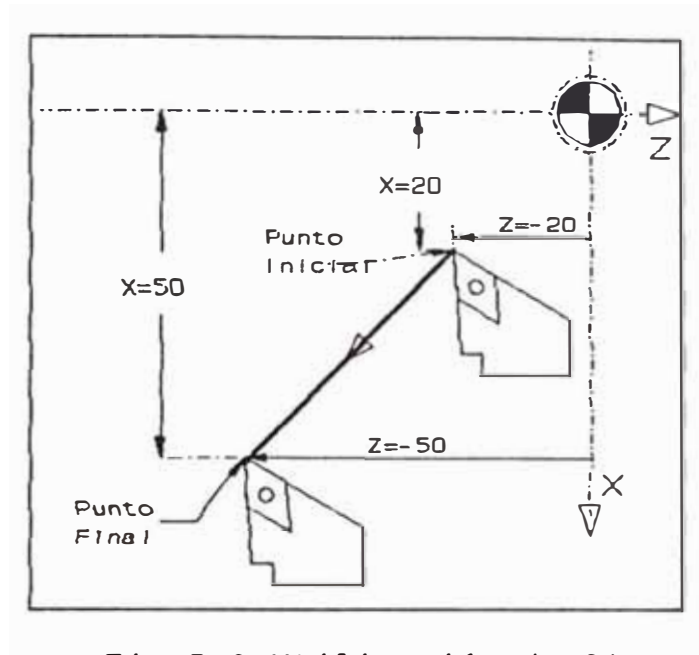


Fig:5.6 Utilización de G1

G2 : Trayectoria circular en sentido antihorario

Si estamos en el punto inicial X=20, Z=-20 y damos la orden:

N10 G2 X50 Z-50 I30 K0

obtendremos el movimiento de la figura 5.7. Su visualización es línea continua debido a que se trata de un movimiento a la velocidad de avance programada.

El valor I es la diferencia entre el punto de principio del arco y su centro en dirección del eje X.

El valor K es la diferencia entre el punto de principio del arco y su centro en dirección del eje Z.

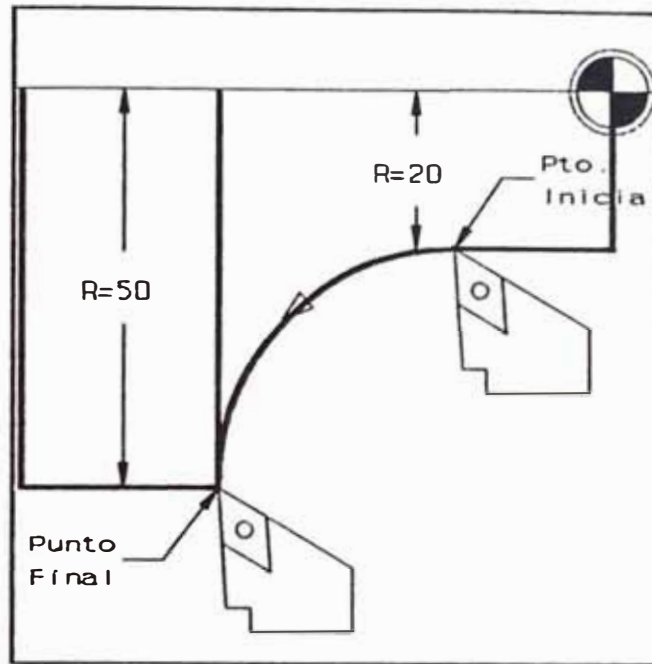


Fig:5.7 Utilización de G2

G3 : Trayectoria circular en sentido horario

Si estamos en el punto inicial $X=20$, $Z=-20$ y damos la orden:

```
N10 G3 X50 Z-50 I0 K-30
```

obtendremos el movimiento de la figura 5.8. Su visualización es línea continua debido a que se trata de un movimiento a la velocidad de avance programada.

El valor I es la diferencia entre el punto de principio del arco y su centro en dirección del eje X .

El valor K es la diferencia entre el punto de principio del arco y su centro en dirección de Z .

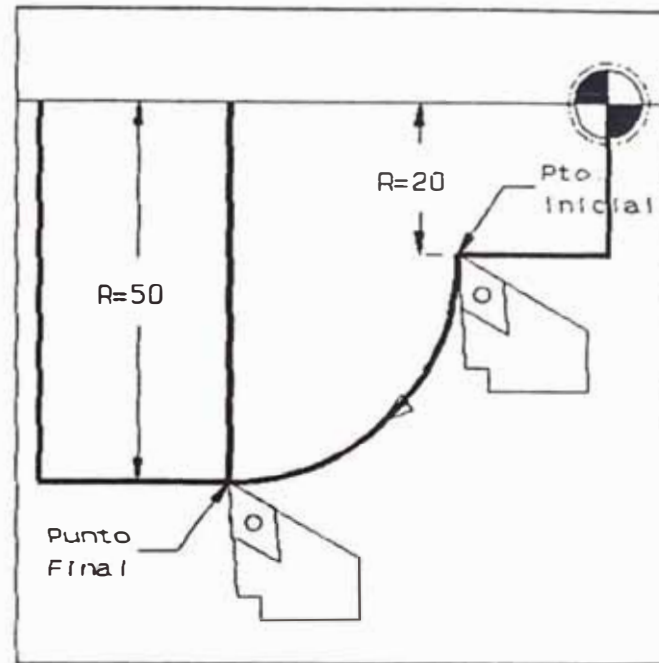


Fig:5.8 Utilización de G3

G81 : Ciclo de desbaste exterior

Torneado cilíndrico:

Si estamos en el punto inicial X=50, Z=5 y damos la orden:

N10 G81 X20 Z-75 I10

obtendremos el movimiento de la figura 5.9. Las líneas continuas representan los movimientos de desbaste y las discontinuas los movimientos rápidos. Al final del ciclo se regresa al punto inicial.

El valor de Z representa la longitud final alcanzada.

El valor de X el radio final alcanzado.

El valor de I la profundidad de cada pasada.

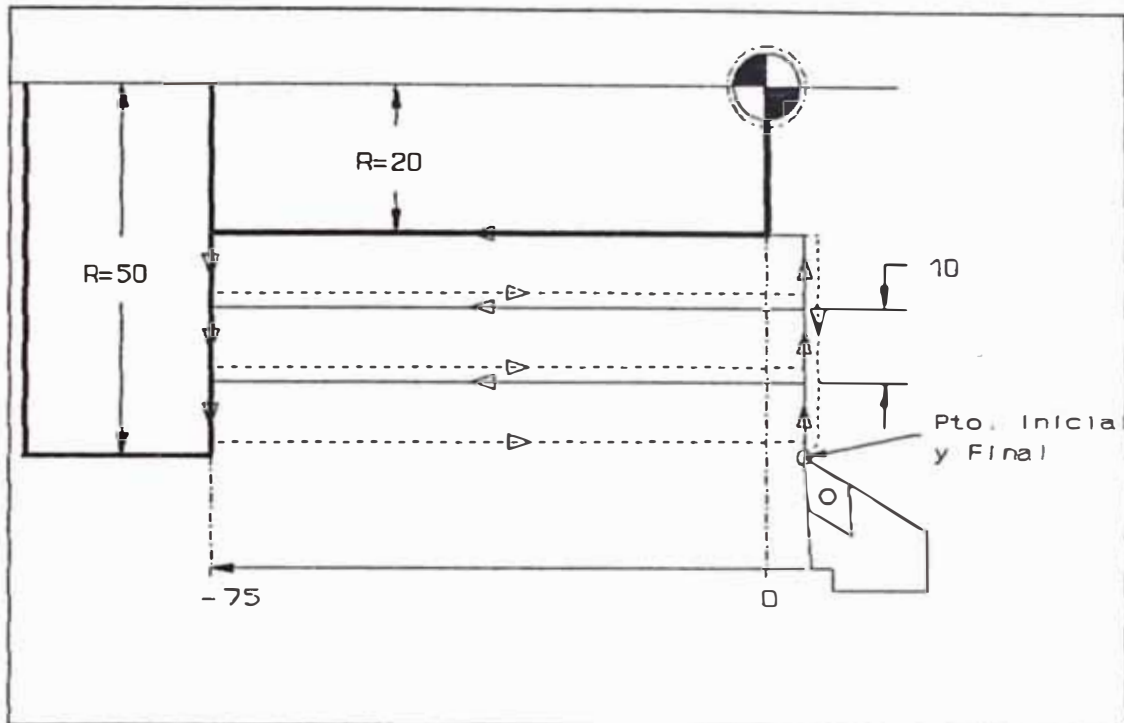


Fig:5.9 Utilización de G81 en desbaste cilíndrico

Torneado cónico:

Si estamos en el punto inicial $X=50$, $Z=5$ y damos la orden:

`N10 G81 X20 Z-75 I10 K10`

obtendremos el movimiento de la figura 5.10.

El valores de Z, X e I representan lo mismo que el ejemplo anterior y el valor de K sirve para definir el ángulo de la conicidad.

$$K = \frac{I}{\tan(\alpha)}$$

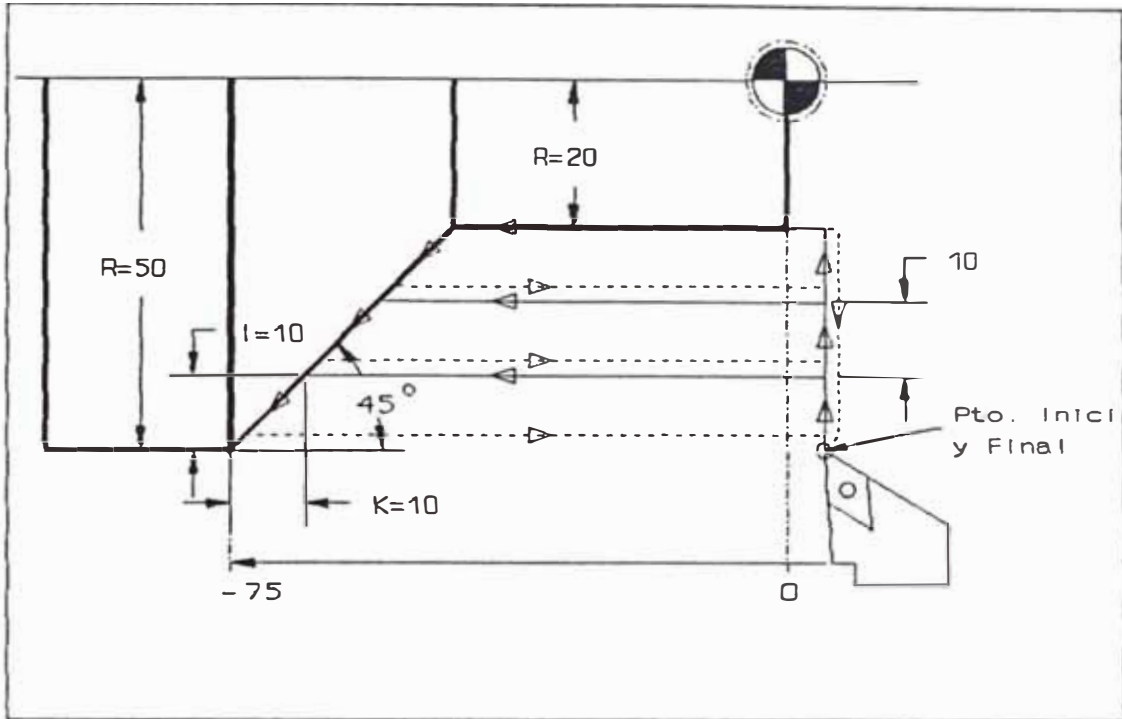


Fig:5.10 Utilización de G81 en desbaste cónico

G82 : Ciclo de refrentado

Refrentado recto:

Si estamos en el punto inicial X=75, Z=0 y damos la orden:

N10 G82 X20 Z-40 K10

obtendremos el movimiento de la figura 5.11. Las líneas continuas representan los movimientos de desbaste y las discontinuas los movimientos rápidos. Al final del ciclo se regresa al punto inicial.

El valor de Z representa la longitud final

alcanzada.

El valor de X el radio final alcanzado.

El valor de K la profundidad de cada pasada.

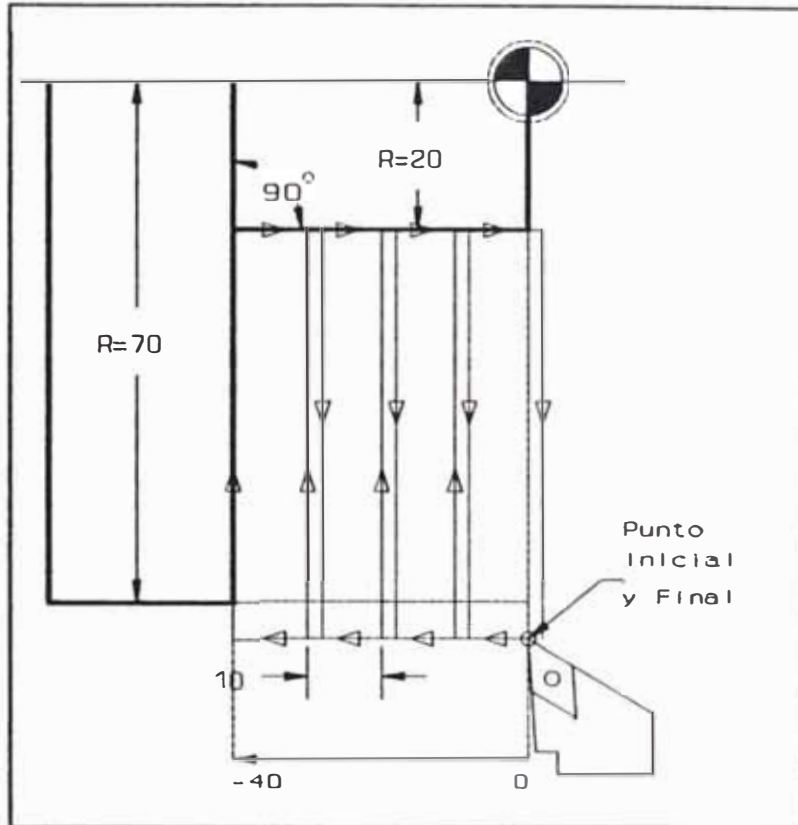


Fig:5.11 Utilización de G82 en refrentado recto

Refrentado cónico:

Si estamos en el punto inicial $X=75$, $Z=0$ y damos la orden:

```
N10 G82 X20 Z-40 I10 K10
```

obtendremos el movimiento de la figura 5.12.

El valores de Z , X e K representan lo mismo que el ejemplo anterior y el valor de I sirve para definir el ángulo de la conicidad.

$$I = K \cdot \tan(\alpha)$$

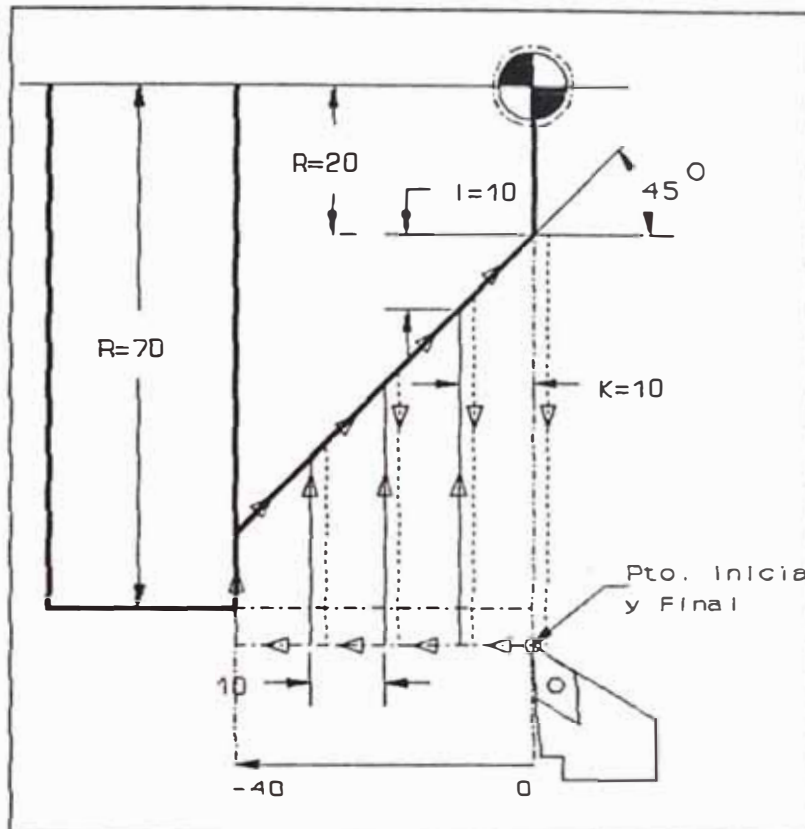


Fig:5.12 Utilización de G82 en refrentado cónico

5.2 Ejecución del proceso de manufactura

5.2.1 Objetivo

Realizar un software que manipule el torno de acuerdo a las órdenes CNC, tanto en modo automático (programa CNC) como en modo manual (teclado).

5.2.2 Alcances

El programa realiza la conversión del programa CNC en señales digitales que envía a la interface electrónica, la cual amplifica estas señales para accionar los accionadores eléctricos.

El programa reprograma los dispositivos electrónicos secuencialmente y verifica (Scan) el término de sus respectivas labores, deteniendo todo el proceso en situaciones de emergencia.

Se tiene la posibilidad de manipulación manual mediante las teclas [↑], [↓], [→], [←] que mueven los carros transversal y longitudinal en ambos sentidos. Como también la posibilidad de seleccionar la velocidad de rotación del husillo, el avance y el origen de coordenadas (aceración).

- *Desde este programa se puede de editar el archivo CNC sin tener que entrar al simulador.*

5.2.3 Limitaciones

Las limitaciones en el proceso de manufactura ya han sido expuestas en el sistema CAD-CAM.

Este sistema requiere del reglaje de la herramienta antes de la primera ejecución del proceso.

5.2.4 Especificaciones del módulo ejecutor

El programa principal ha sido realizado en lenguaje Turbo Pascal^[4] y luego se ha compilado, con el nombre EJECUTOR.EXE.

- Este programa llama a las rutinas de la unidad^[5] PORTS.TPU, también realizada en Turbo Pascal.

El programa carga en memoria todos los bloques del programa CNC y luego los procesa secuencialmente.

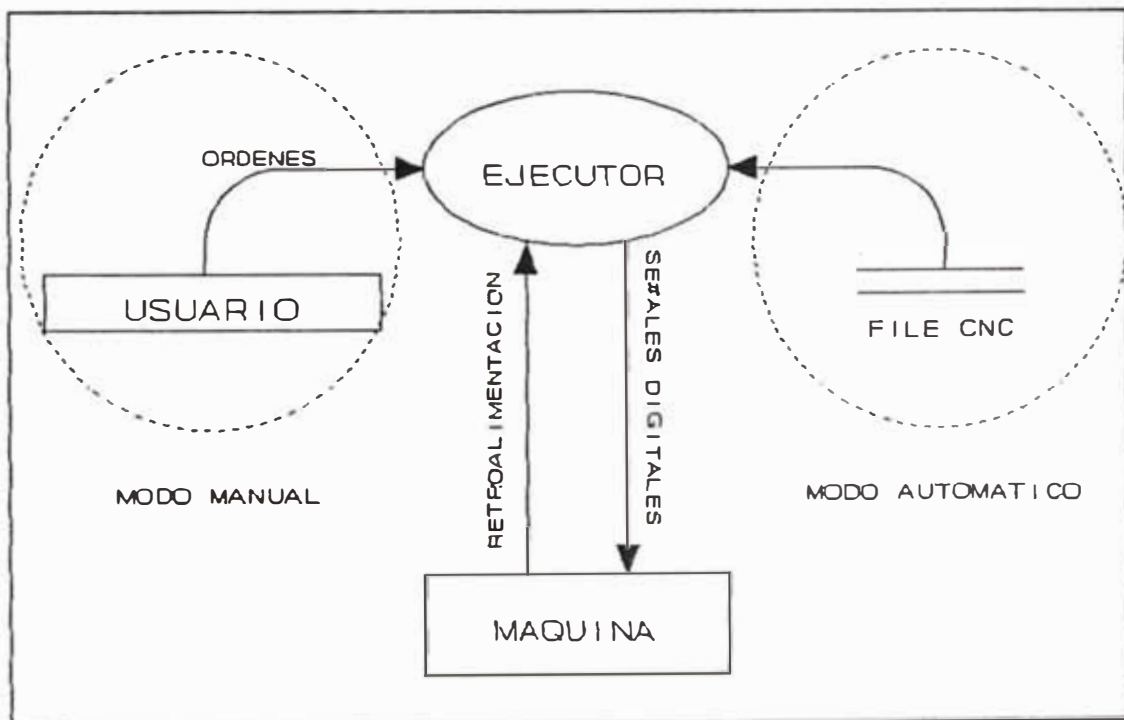


Fig:5.13 Flujo de datos del ejecutor

5.2.5 Descripción de rutinas

Rutinas genéricas

PROG_STEPPER: Programa los PITs de cada carro, fijando el número de pulsos y su frecuencia con la que girarán los steppers.

Parámetros : Frecuencia y Número de Pulsos de cada desplazamiento.

START_STEP: Autoriza el desplazamiento e indica el sentido de este a los carros del torno. Antes se debe haber definido la magnitud del desplazamiento con PROG STEPPER.

Parámetros : Inicio y dirección de los desplazamientos

WAIT_END_STEPPER: Recibe las señales que indican el final de las labores de los PIT y por tanto que se alcanzado la posición programada. La siguiente programación se realizará sólo cuando las señales de ambos carros (2) se hayan recibido.

LIMIT_SWITCH: Recibe las señales de los micro-switches de los carros, las cuales al activarse nos advertirán que la colisión es inminente y por

tanto se debe paralizar el trabajo. Esta situación es evitada en principio por el seguimiento por software de la posición actual de los carros.

SET_CLOCK_PIT: Se encarga de fijar la frecuencia base de los PIT. Pudiendose generar una aceleración gradual, mediante la utilización de esta función con valores crecientes de frecuencia hasta la velocidad de movimiento rápido (G0). Igualmente se procede para la desaceleración.

Parámetros : Frecuencia base para los PIT.

SET RPM: Fija la velocidad de giro de husillo, mediante el direccionamiento del byte dato al conversor Digital/Analógico, el cual a su vez proporcionará la tensión referencial al control de velocidad del motor DC.

Parámetro : Velocidad de giro del husillo.

Rutinas específicas

El programa principal tiene un procedimiento para cada una de las funciones G y M. Las funciones T, S y F tienen cada una de ellas un procedimiento a los cuales se les fija el valor correspondiente. A continuación mencionaré brevemente el funcionamiento de cada rutina de

las distintas funciones.

CALC_FREC_Y_PULSOS: Estima el desplazamiento que debe realizarse en cada eje del torno y a continuación calcula tanto el numero de pulsos como la frecuencia de giro del stepper, así como la dirección del desplazamiento. La frecuencia se calcula conociendo la velocidad de avance, relación de transmisión del motor de paso a la maquina, # de pulsos por vuelta del motor de paso, avance por vuelta de la maquina, y la componente del desplazamiento según el eje.

En caso de que se encuentre activada la función G00 se considerará la mayor velocidad posible en los motores de paso. Estos datos servirán como parámetros de entrada a la rutina PROG_STEPPER.

Parámetros : P1,P2 : Coordenadas del punto inicial y punto final del desplazamiento.

G00 : Realiza el desplazamiento a velocidad de avance máxima.

G01 : Realiza un desplazamiento lineal a la velocidad de avance programada.

G02 : Realiza una trayectoria circular en sentido horario. La generación de esta trayectoria es

realizada mediante la programación de pequeños tramos rectilíneos.

G03 : Similar a la anterior pero en sentido antihorario.

G04 : Realiza un parada en el proceso de mecanizado un tiempo en segundos dado por el parámetro correspondiente.

G81 : Realiza el ciclo fijo de desbaste exterior.

G82 : Realiza el ciclo fijo de refrentado.

G90 : Determina que las coordenadas dadas están en coordenadas absolutas.

G92 : Permite una traslación del punto cero de la máquina a un punto conveniente.

Las consideraciones iniciales del programa son:

- La velocidad del desplazamiento será la velocidad de avance.*
- Las coordenadas están en coordenadas absolutas.*
- La velocidad del husillo será nula.*

Capítulo 6

ANALISIS ECONOMICO

Este análisis lo he realizado especificando inicialmente todos los gastos realizados en la implementación del sistema automatizado, para luego encontrar el costo total de la automatización. Después se comparan los costos de producción de un lote de determinado tipo de piezas, entre el torno convencional, el automatizado (con CNC) y un torno CNC original. Para ello, antes explico el método utilizado para el cálculo de todos los costos involucrados en este análisis y luego presento una tabla con los resultados obtenidos. También especifico los puntos de equilibrio entre el torno convencional, el torno automatizado y el torno CNC original.

6.1 Costo de la automatización

6.1.1 Costos de materiales utilizados en la parte mecánica

Tabla:6.1 Lista de costos de materiales para mecánica

Descripción	Canti dad	Uni dad	Costo Unidad \$ US	Costo Total \$ US
Platina Acero CK45 20x40x120	0,754	Kg	8	6,03
Platina CK45 6x178x220	1,84	Kg	8	14,72
Platina CK45 25x100x200	3,92	Kg	8	31,36
Platina Acero Estructural 1x30x400	0,1	Kg	4	0,40
Plancha Acero Estructural 3x200x300	1,413	Kg	4	5,65
Eje de Aluminio Diám 90mm x 160 mm	2,85	Kg	2	5,70
Faja en V Optibelt 8x720	1	u.	10	10,00
Fajas de Sincronización GATES POWERGRIP	2	u.	5	10,00
Tornillos Allen M5x40	3	u.	0,3	0,90
Tornillos Allen M5x20	6	u.	0,2	1,20
Tornillos Allen M6x20	4	u.	0,3	1,20
Pernos con Tuerca Hexagonal M4x15	4	u.	0,2	0,80
Pernos con Tuerca Hexagonal M4x80	4	u.	0,3	1,20
Tornillos con Cabeza Hexagonal M6x15	8	u.	0,3	2,40
Tornillos con Cabeza Hexagonal y Tuerca Diám 1/4"NCx2"	10	u.	0,5	5,00
Electrodo E70XX Supercito	1	u.	0,5	0,50
PortaPlaquitas de Corte Sandvik	1	u.	70	70,00
Plaquitas de Corte Sandvik	10	u.	6	60,00
Costo Total de Componentes Mecánicos				227,06

6.1.2 Costos de dispositivos utilizados en la parte electrónica

Tabla:6.2 Lista de costos de componentes electrónicos

Descripción	Cantidad	Costo Unitario \$ US	Costo Total \$ US
CI 7402	3	1	3,00
DAC 0800 (conversor D/A de 8 bits)	1	10	10,00
CI 74LS373	4	3	12,00
CI 7404	4	1	4,00
CI 7408	2	1	2,00
Transistores NPN BC107 (ECG 123)	1	1	1,00
Transistores (8 amp) Darlington NPN BD681	8	5	40,00
PIT 8253	2	8	16,00
CI 74194	2	4	8,00
TL081	2	2	4,00
XR-2206	1	10	10,00
Potenciometro 10 Kohm.	1	1	1,00
Disipadores de calor	8	1	8,00
Tarjeta Decodificadora	1	25	25,00
Stepper Motor (1.1Nm) Bautz HY200-3424-130A8	1	115	115,00
Stepper Motor (0.8Nm) Bautz HY200-2232-190A8	1	100	100,00
Motor de Corriente Continua (0,5 HP)	1	170	170,00
Fuente de Potencia de 24V y 20 A.	1	80	80,00
Tarjetas controladoras de velocidad DC			140,00

<i>Descripción</i>	<i>Canti dad</i>	<i>Costo Unitario \$ US</i>	<i>Costo Total \$ US</i>
<i>Cable de 40 hilos</i>	<i>1</i>	<i>2,5</i>	<i>2,50</i>
<i>Resistencias, diodos, condensadores, etc.</i>			<i>30,00</i>
<i>Fuente de Control (Switching) 5V y 2A</i>	<i>1</i>	<i>12</i>	<i>12,00</i>
<i>Tarjetas Impresas</i>	<i>5</i>	<i>20</i>	<i>100,00</i>
<i>Caja Metálica</i>	<i>1</i>	<i>20</i>	<i>20,00</i>
<i>Switch Fin de Carrera</i>	<i>4</i>	<i>1,5</i>	<i>6,00</i>
<i>Cable Twin Axial</i>	<i>2</i>	<i>5</i>	<i>10,00</i>
<i>Cables y Conectores</i>			<i>30,00</i>
<i>Costo total de dispositivos electrónicos</i>			<i>959,50</i>

6.1.3 Costo total de la automatización

<i>- Costo de parte mecánica:</i>	<i>227</i>
<i>- Costo de parte electrónica:</i>	<i>960</i>
<i>- Costo de manufactura:</i>	<i>513</i>
<i>- Costo de ingeniería y software:</i>	<i>1700</i>
<i>- Costo de PC-AT con disco duro:</i>	<i>600</i>

Costo total de la automatización (\$ US): 4000

6.2 *Análisis económico comparativo entre el torno convencional, el automatizado y un torno CNC.*

Para saber el grado de conveniencia económica que se obtiene con la automatización, realizaremos éste análisis para el torno convencional, el torno automatizado y un torno CNC seleccionado de características mecánicas semejantes a los anteriores. El procedimiento de análisis se basará en hallar el costo de producción de un lote, de determinado tipo de piezas. Este costo se encuentra constituido por un costo fijo y uno variable, en función del número de piezas del lote. De tal manera, que al final se determinará los números de piezas a partir de los cuales resulta conveniente utilizar el torno convencional, el automatizado y el CNC original.

6.2.1 Procedimiento de análisis económico utilizado para la comparación

6.2.1.1 Costo horario de operación de la máquina (Ch)

Este costo se compone del costo horario de máquina (M), el costo por mano de obra directa (L) y el costo de gastos generales (B). A su

vez M se compone del costo de depreciación que sufre la máquina en el tiempo, el costo de los intereses y el costo de mantenimiento de la máquina. El costo por gastos generales (B) está calculado como un porcentaje del costo horario del operador (L).

$$C_h = M + L + B \quad (6.1)$$

- Costo horario de máquina (M):

$$M = \frac{(\text{depreciación} + \text{interés} + \text{mantenimiento})}{\text{horas al año} \times \text{factor utilización}} \quad (6.2)$$

Depreciación anual:

$$\text{Depreciación anual} = \frac{\text{Costo del torno}}{\text{tiempo de depreciación}} \quad (6.3)$$

donde:

Tiempo de depreciación = en años

Valor de salvamento = 0

Interés anual:

$$\text{Interés anual} = \text{Costo Torno} \cdot \frac{(1+i)^n \cdot i}{(1+i)^n - 1} \quad (6.4)$$

donde:

n = vida útil del torno en años

i = tasa de interés anual de depósitos en \$

Costo anual de mantenimiento:

*Lo consideraremos como un porcentaje del
costo de depreciación anual de la máquina.*

$$\text{Mantenimiento} = \frac{X\%}{100} \cdot \text{Depreciación} \quad (6.5)$$

*Reemplazando (6.3), (6,4) y (6.5) en (6.2) y
además:*

Horas al año durante un turno = 2000 horas

Factor de utilización = 0.7

Obtenemos:

M en \$/hora

- Costo horario por mano de obra directa (L):

*Este costo esta compuesto por el jornal
diario del operario más sus beneficios
sociales.*

$$L = \frac{\text{Jornal diario} + \text{beneficios sociales}}{8 \text{ horas}} \quad (6.6)$$

Jornal total diario del operador en \$/dia

L en \$/hora

Gastos Generales (B):

Este depende de la distribución de los gastos entre las máquinas del taller.

$$B = \frac{b\%}{100} \cdot L \quad (6.7)$$

B en \$/hora

Reemplazando M, L y B en (6.1) se obtiene:

Ch = \$/hora <<<== costo horario de operación de la máquina.

6.2.1.2 Costo de manufactura de una pieza

(C_{manuf})

$$C_{manuf} = C_h \cdot T_e + C_{mat} + C_{herr} \quad (6.8)$$

donde: Ch = costo horario operación de la máquina

C_{mat} = costo del material

C_{herr} = costo de la herramienta

T_e = tiempo de ejecución de una pieza en horas

- Costo de material (C_{mat}):

Se usará para cada pieza una barra redonda de 40 mm de diámetro y 80 mm de longitud y el material será aluminio.

$$C_{mat} = 0.6 \text{ \$/pieza}$$

- Costo de la herramienta (C_{herr}):

Este costo esta dado por el costo de un filo de la herramienta (CF) dividido entre el número piezas que se pueden maquinar con un mismo filo (NP).

$$C_{herr} = \frac{\text{costo de un filo}}{\text{número de piezas por filo}} = \frac{CF}{NP} \quad (6.9)$$

A su vez el costo de un filo esta compuesto por lo que cuesta afilar una herramienta (C_{afilar}) mas la división del costo de la herramienta ($C_{cuchilla}$) entre el número máximo de afiladas posibles (N_{max}). Para los casos del torno automatizado y el torno CNC, no se afilan las herramientas, ya que se utilizan herramientas de corte desechables.

$$CF = C_{afilar} + \frac{C_{cuchilla}}{\text{número maximo afiladas}} \quad (6.10)$$

donde:

$$C_{cuchilla} = \$$$

El número máximo de afiladas para las herramientas CNC es igual a los filos que posee cada plaquita.

$$C_{afilar} = \$/filo$$

Reemplazando en (6.10) tenemos:

$$CF = \$/filo$$

Para saber el NP debemos calcular el tiempo de vida de la herramienta y el tiempo de maquinado de una pieza para las condiciones de velocidad de corte seleccionada. Pero, como el costo de manufactura debe ser el mínimo deberemos de utilizar la velocidad de corte óptima, para este caso^[1]. Esta velocidad puede obtenerse mediante la formula:

$$V_{optima} = V_r \cdot \left(\frac{n}{(1-n)} \cdot \frac{\frac{Ch}{60} \cdot t_r}{\left(\frac{Ch}{60} \cdot t_{ct} + CF \right)} \right)^{\frac{1}{n}} \quad (6.11)$$

donde:

V_r = velocidad de corte de referencia en
m/seg, para una vida de 1 minuto

t_r = tiempo de vida de referencia = 1 min

n = índice de Taylor para el tipo
cuchilla ha utilizar y para material
aluminio.[1]

t_{ct} = tiempo que demora el cambio de
herramienta en minutos

Ch - costo horario en \$/hora

Reemplazando en (6.11) se obtiene:

$V_{\text{óptima}}$ en m/s

Pieza de referencia:

Consideraremos el siguiente trabajo ha
realizar para la comparación entre las tres
máquinas:

Trabajo = desbaste exterior recto

Material - aluminio

Longitud a desbastar = 50 mm

Diámetro pieza bruto = 38 mm

Diámetro pieza final = 35 mm

Profundidad de pasada = 0,05 mm

Número de pasadas = 3

La fórmula de Taylor se utiliza cuando la
velocidad de corte es constante, pero dado
que la variación entre el diámetro inicial y

final no es muy significativa tomaré la velocidad de corte correspondiente al diámetro medio, para calcular el valor del tiempo de vida del filo de la herramienta.

$$\text{Diámetro medio} = 36,5 \text{ mm}$$

Luego, con este diámetro podemos obtener los RPM para la velocidad óptima:

$$RPM_{\text{óptima}} = \frac{V_{\text{óptima}} \cdot 60000}{\pi \cdot D_{\text{medio}}} \quad (6.12)$$

Como cada torno tiene una determinada gama o velocidades disponibles, escogeremos la que más se acerque a la velocidad óptima.

$$RPM_{\text{selecc}} \approx RPM_{\text{óptimo}}$$

Ahora con éste RPM y el D_{medio} calculamos la velocidad de corte:

$$V_{\text{corte}} = \frac{RPM_{\text{selecc}} \cdot \pi \cdot D_{\text{medio}}}{60000} \quad (6.13)$$

A continuación calcularemos mediante la ecuación de Taylor [2], el tiempo de vida para la velocidad de corte seleccionada:

$$t = t_r \cdot \left(\frac{V_r}{V} \right)^{\frac{1}{n}} \quad (6.14)$$

En seguida debemos calcular el tiempo que demora en ejecutar una pieza con la velocidad y avance fijados. Para ello hacemos el siguiente análisis de tiempos:

$$T_e = T_m + T_i \quad (6.15)$$

$$T_i = T_{med} + T_{mon} + T_{reg} + T_{etc} \quad (6.16)$$

donde: T_e = tiempo de ejecución de una pieza.

T_m = tiempo productivo ó de maquinado efectivo.

T_i = tiempo improductivo.

T_{med} = tiempo utilizado en las mediciones de la pieza.

T_{mon} - tiempo utilizado en montaje y desmontaje de la pieza.

T_{reg} = tiempo utilizado en regresar para realizar una nueva pasada.

T_{etc} = otros tiempos no productivos.

para realizar el trabajo anterior con las condiciones de mecanizado siguientes:

$$RPM = RPM_{selecc}$$

$$Avance = 0,1 \text{ mm/rev}$$

se obtiene:

$$T_m = \min$$

Reemplazando T_{med} , T_{mon} , T_{reg} , T_{etc} en (6.16) obtenemos:

$$T_i = \min$$

Y con T_m y T_i obtendremos:

$$T_e = \min$$

Ahora calculamos el NP mediante:

$$NP = \frac{T_{vida\ filo}}{T_m} \quad (6.17)$$

Además NP debe ser entero.

Reemplazando este en la ecuación (6.9) obtenemos:

$$C_{herr} = \$/pieza$$

finalmente, podemos calcular el costo de manufactura por pieza reemplazando C_{herr} y T_e en la ecuación (6.8):

$$C_{manuf} = \$/pieza$$

6.2.1.3 Costo total de producción

El costo total de producción de un lote de determinado número de piezas se compone de un costo fijo y uno variable. El costo fijo es el

costo que se debe a las horas de preparación de la máquina para la producción del lote, más el costo de los dispositivos utilizados. El costo variable depende de las unidades a producir. De tal manera, que si graficamos las ecuaciones del costo total de producción para las tres máquinas podremos saber para que número de piezas resulta más conveniente producir en cada una de estas máquinas.

$$\text{CostoTotal} = \text{CostoFijo} + \text{CostoVariable} \quad (6.18)$$

$$\text{CostoFijo} = Ch \cdot Tp + \text{CostoDispositivos}$$

$$\text{CostoVariable} = C_{\text{manuf}} \cdot N_{\text{piezas}}$$

donde:

$$Tp = \text{tiempo de preparación de máquina}$$

$$N_{\text{piezas}} = \text{número de piezas del lote}$$

haciendo en (6.18) : $A0 = \text{Costo Fijo}$ y

$$A = C_{\text{manuf}}$$

obtenemos la ecuación de una recta.

Para el torno convencional se tiene:

$$\text{Costo Total} = A0 + A \cdot N_{\text{piezas}}$$

Para el torno automatizado se tiene:

$$\text{Costo Total} = A0_{\text{auto}} + A_{\text{auto}} \cdot N_{\text{piezas}}$$

Y para el torno CNC se tiene:

$$\text{Costo Total} = A0_{\text{CNC}} + A_{\text{CNC}} \cdot N_{\text{piezas}}$$

Luego, los puntos de equilibrio se obtienen con las siguientes ecuaciones:

Entre el torno convencional y el automatizado:

$$N_{\text{Piezas}} = \frac{(A0_{\text{Auto}} - A0)}{(A - A_{\text{Auto}})} \quad (6.19)$$

Entre el torno convencional y el CNC:

$$N_{\text{Piezas}} = \frac{(A0_{\text{CNC}} - A0)}{(A - A_{\text{CNC}})} \quad (6.20)$$

Entre el torno automatizado y el CNC:

$$N_{\text{Piezas}} = \frac{(A0_{\text{Auto}} - A0_{\text{CNC}})}{(A_{\text{CNC}} - A_{\text{Auto}})} \quad (6.21)$$

6.2.2 Resultados comparativos entre los tornos convencional, automatizado y CNC

Tabla:6.3 Resultados comparativos entre los tornos

Descripción	Normal	Automa	CNC
Costo torno	2000	6000	13500
Interés anual	8%	8%	8%
Tiempo depreciación	10	10	10
% mantenimiento	50%	60%	30%
Depreciación anual	200	600	1350
Intereses anuales	298.06	894.18	2011.90

Descripción	Normal	Automa	CNC
Mantenimiento anual	100	360	405
M [\$/hora]	0.43	1.32	2.69
Jornal operario [\$/dia]	8	12	12
L [\$/hora]	1.00	1.50	1.50
B [\$/hora]	1.2	1.8	1.8
Costo Horario Máquina	2.63	4.62	5.99
Costo Material	0.6	0.6	0.6
Avance [mm/rev]	0.1	0.1	0.1
Vel. rápida [mm/min]	120	300	500
Costo cuchilla [\$]	9	6	6
# máximo afiladas	40	2	2
Costo / afilada [\$]	0.03	0	0
CF [\$/filo]	0.26	3	3
Indice taylor n	0.125	0.3	0.3
Tr [min]	1	1	1
Vr [m/s]	3	30	30
Tct cambio herram [min]	2.5	1	1
Vel. óptima. [m/s]	1.80	7.70	8.30
RPM óptimo	944	4028	4343
RPM selección	1200	2500	3200
Vcorte selección	2.29	4.78	6.12
T vida de un filo [min]	9	457	201
Vel. Avance [mm/min]	120	250	320
Tm [min/pieza]	1.25	0.60	0.47
t med (min)	0.6	0.2	0.2
t montaje (min)	1	1	1
t regreso	1.25	0.5	0.3
t etc	0.10	0.00	0.00
Ti [min/pieza]	2.95	1.70	1.50
Te [min/pieza]	4.20	2.30	1.97

<i>Descripción</i>	<i>Normal</i>	<i>Automa</i>	<i>CNC</i>
<i>NP</i>	<i>6</i>	<i>761</i>	<i>427</i>
<i>Costo Herrta [\$/pza]</i>	<i>0.043</i>	<i>0.004</i>	<i>0.007</i>
<i>C. Manufactura [\$/pza]</i>	<i>0.83</i>	<i>0.78</i>	<i>0.80</i>
<i>Tiempo preparación [min]</i>	<i>15</i>	<i>30</i>	<i>20</i>
<i>Costo dispositivos</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0</i>
<i>Costo de producción:</i>			
<i>Costo fijo [\$] A0</i>	<i>0.66</i>	<i>2.31</i>	<i>2.00</i>
<i>Costo variable[\$/pz] A</i>	<i>0.83</i>	<i>0.78</i>	<i>0.80</i>

Costos de producción:

Con los valores obtenidos A0 y A, para cada tipo de torno, construimos las rectas que se muestran en la figura (6.1). Esta nos indica la tendencia comparativa de los costos de producción, en función del número de piezas del lote.

Es importante mencionar, que estos resultados se han obtenido para el tipo de pieza tomada como referencia, por lo que para otros tipos de piezas más complejas el torno CNC puede ser el que presente el menor costo de manufactura por pieza (pendiente de la recta), entre los tres tornos.

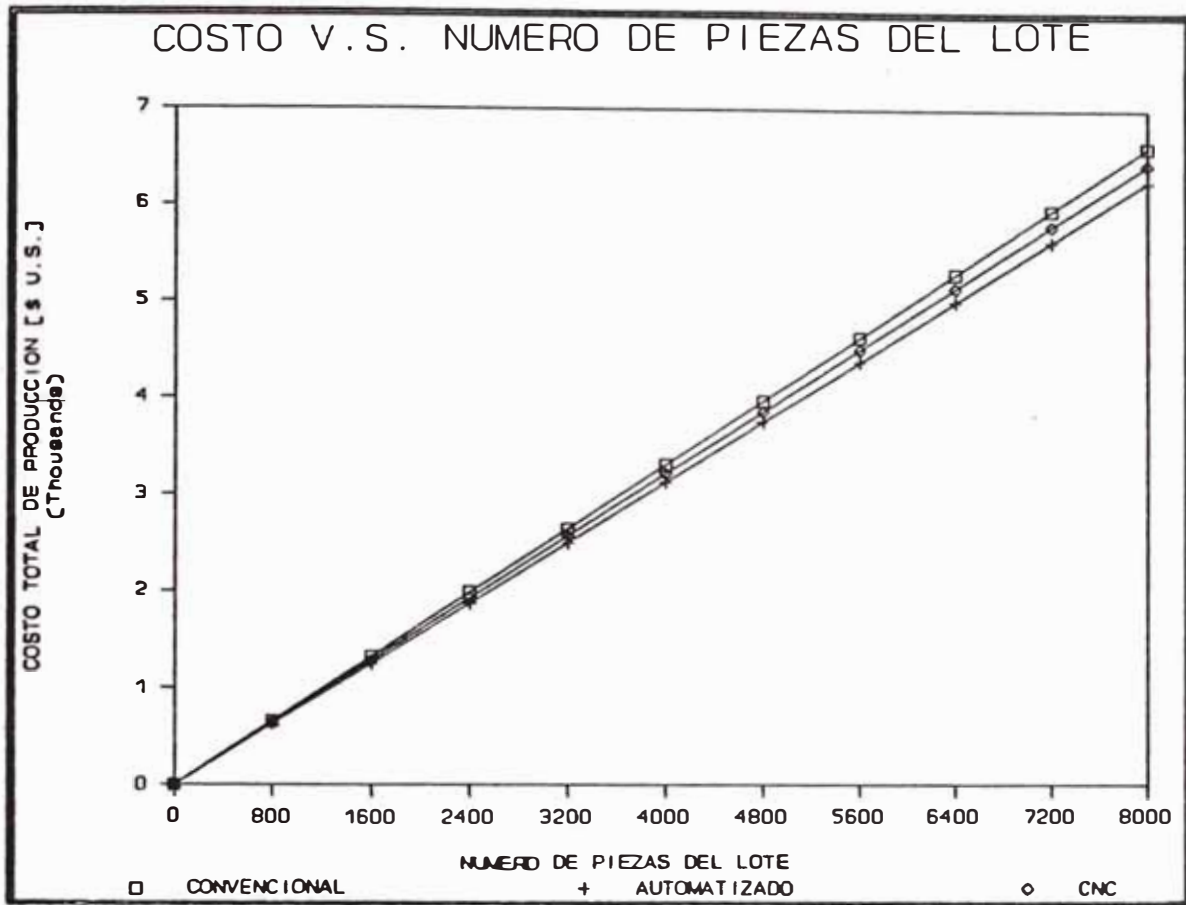


Fig:6.1 Costo de producción V.S. Número de piezas del lote

Puntos de equilibrio:

Reemplazando los resultados en la ecuaciones (6.19), (6.20) y (6.21) obtenemos los puntos de equilibrio entre los tornos. Los cuales pueden verse graficados en la figura (6.2).

- Convencional y Automatizado: $N_{piezas} = 37$
- Convencional y CNC : $N_{piezas} = 59$
- Automatizado y CNC : $N_{piezas} = 14$

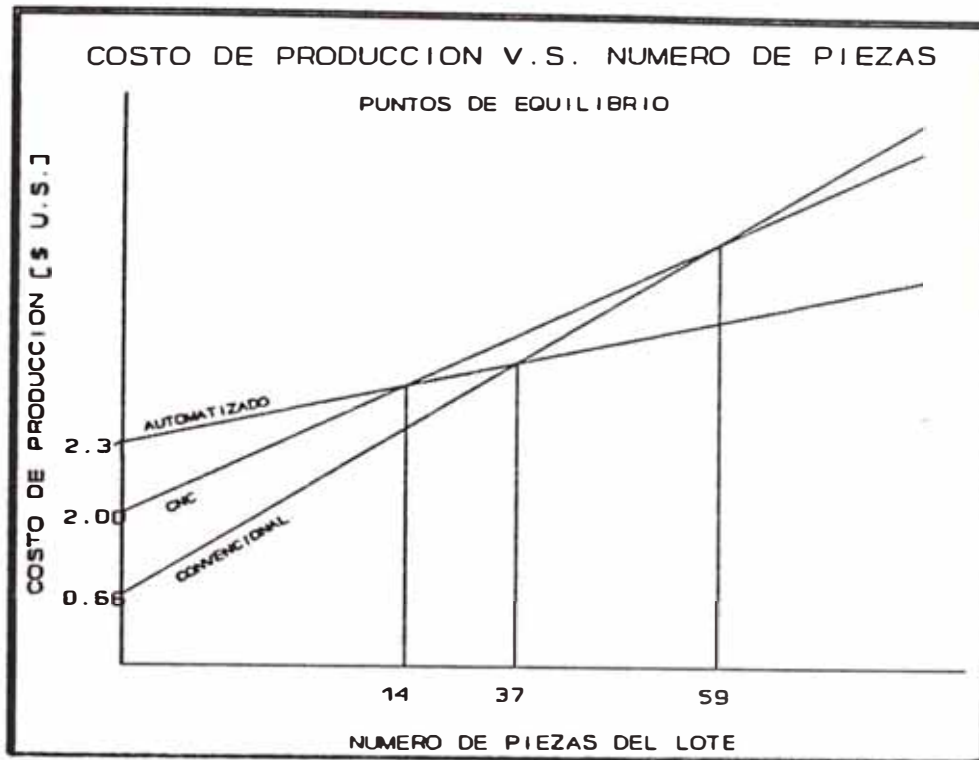


Fig:6.2 Puntos de equilibrio entre los tornos convencional, automatizado y CNC.

Tiempos de producción y Ahorro en costos:

En la figura (6.3) podemos ver una comparación entre los tiempos de producción de un lote de hasta 8000 piezas en cada tipo de torno. Se observa que el torno CNC es el más rápido para realizar la producción, sin embargo su alto costo de manufactura por pieza hace que su costo de producción del lote sea mayor que el del automatizado. El torno automatizado logra reducir hasta casi, un 50 % el tiempo de ejecución del lote, respecto al torno convencional.

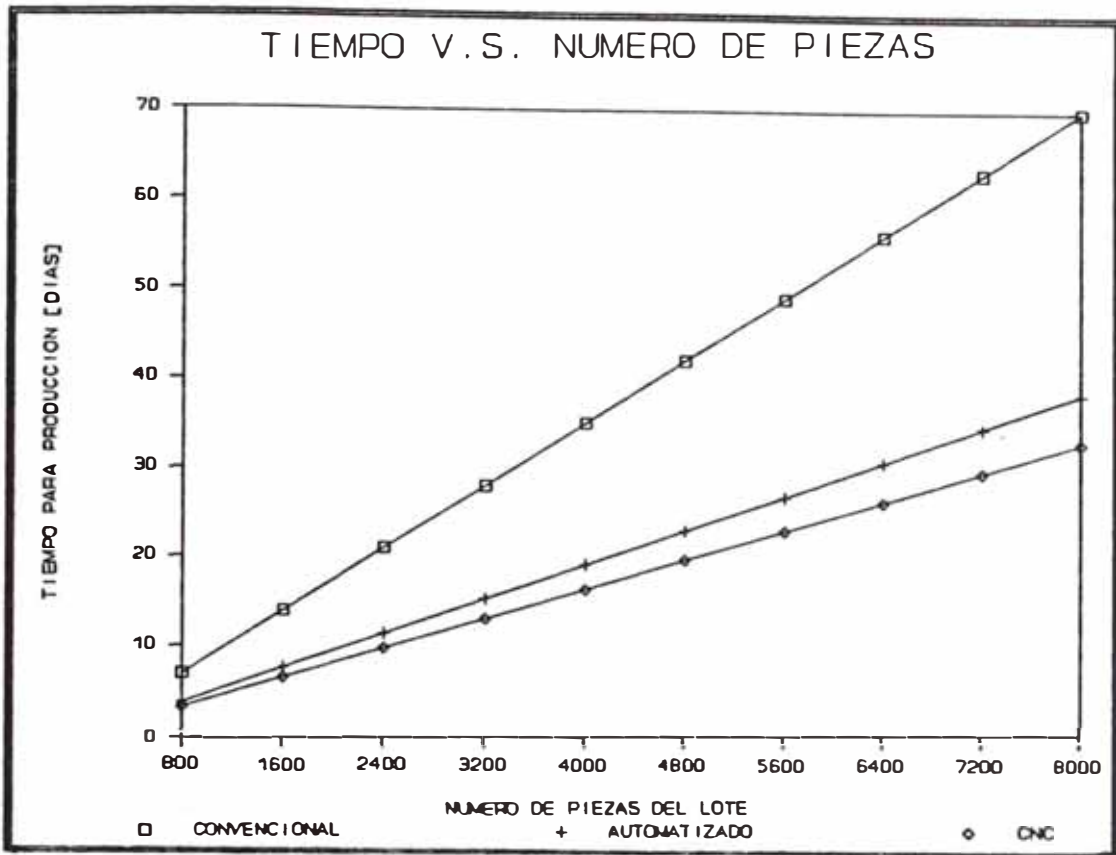


Fig:6.3 Comparación de tiempos para la producción de un lote de piezas

Pasados los puntos de equilibrio, los tornos automatizados y CNC producen un ahorro en el costo de producción del lote con respecto al convencional. Observandose en la figura (6.4) la comparación del ahorro en costo de producción que proporcionan el torno automatizado y el torno CNC con respecto al torno convencional.

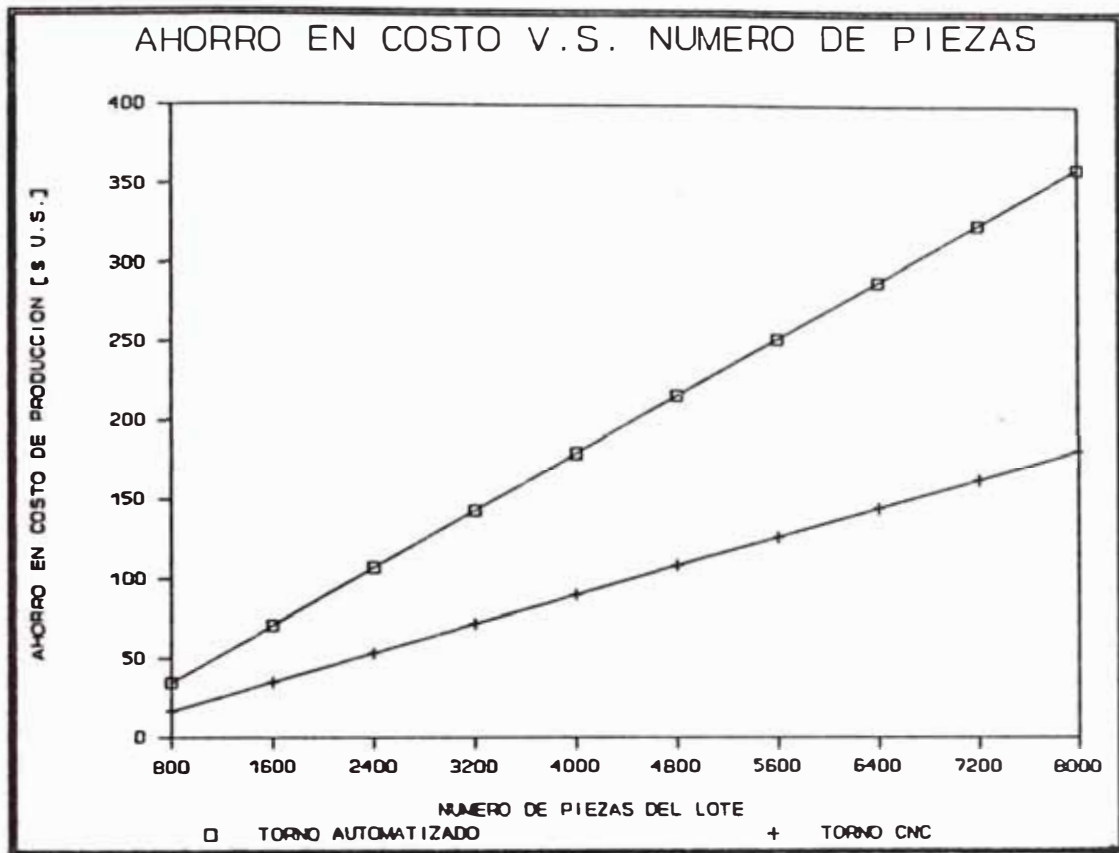


Fig:6.4 Comparación del ahorro en costo de producción

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- 1. La automatización es técnicamente factible mediante la construcción de una interface para una computadora IBM/PC y las transmisiones mecánicas adecuadas.*
- 2. El ahorro en tiempos de maquinado está entre 22 a 50 % con respecto a la máquina convencional.*
- 3. El análisis económico presentado es referencial, pues mayor será la conveniencia económica de la automatización cuando más compleja sea la pieza a fabricar.*
- 4. Una conclusión, fuera de la automatización sería la de utilizar herramientas de corte con plaquitas desechables (con tornillo) en los tornos convencionales. Ya que como se observa en el análisis económico el costo de la herramienta es menor para este tipo de útil de corte. Siendo las plaquitas más convenientes las de varios filos y doble cara.*

5. *El sistema de control de posición de los carros es de lazo abierto, de tal manera que no se tiene la confirmación real que se ha obtenido la posición deseada. Por ello los steppers deben ser manejados sin perder un solo paso, para que no se genere algún error.*

6. *Además se tiene el problema del juego que presentan los tornillos de avance de los carros del torno, los cuales pueden generar errores de medida en el mecanizado. Para enfrentar este problema sin cambiar los tornillos por tornillos de bolas, se ha ideado un concepto al que le llamo "juego promedio". Este consiste en el número de pasos adicionales que se le tiene que dar al steppers para que anule el juego que se presenta en el tornillo cuando se cambia de dirección en el avance. Si se analiza más detenidamente se podrá observar que el error es no acumulativo por la naturaleza de avance y retroceso de cada carro. Así el error sólo será el que resta por una imprecisa estimación del juego promedio.*

7. *Para tornos grandes la automatización mediante steppers sería en los carros transversal y superior. De tal manera que sólo se utilice el automatismo de forma localizada. Esto debido a la baja potencia de los steppers.*

8. *Para tornos medianos este tipo de automatización si es*

factible, seleccionándose los steppers con potencia superior. El diseño podría mejorarse aplicando retroalimentación (transductores) y/o cambiando los tornillos de avance de los carros por tornillos de bolas. De tal manera que se aumente la precisión y elimine los juegos en los tornillos. La factibilidad del mejoramiento del diseño la dará un adecuado análisis económico al respecto.

9. El diseño permite el cambio del control de velocidad por otro especializado comercial. Es así que para tornos medianos no es necesario cambiar el motor AC por un motor DC y construir la transmisión, más bien podría utilizarse los modernos controladores de motores AC. Su mando se realiza mediante el nivel de tensión variable proporcional a la velocidad deseada, que provee la interface. Igual que la recomendación anterior la decisión final la dará la conveniencia económica.

10. Para obtener mayores velocidades de avance y precisión se debería cambiar los tornillos de los carros de avance por tornillos de bolas comerciales, ya que con estos se elimina los juegos, se baja la fricción significativamente y por lo tanto los steppers pueden trabajar a mayores velocidades sin pérdida de pasos. Puede, por lo tanto ser más confiable este sistema de lazo abierto.

11. *En el diseño, se puede mejorar la velocidad aplicando en la parte de potencia de los steppers, los circuitos excitadores tipo Chopper. Estos circuitos de electrónica de potencia, tratan de alimentar con mayor rapidez la corriente de las bobinas al inicio del movimiento de un paso. De tal manera que el torque al inicio es considerablemente mayor y por lo tanto mayor es la velocidad límite a la que pueden ser manejados.*

12. *Para la retroalimentación el diseño puede complementarse con la utilización de transductores de desplazamiento lineal. Los cuales suelen ser del tipo incremental, de tal modo que envían señales del incremento que se consigue al avanzar el carro y de la dirección del movimiento. Mediante la aplicación de estos se tiene la seguridad de la posición exacta de los carros y por lo tanto la precisión es confiable. Estos transductores son los mismos que se utilizan en los ya conocidos visualizadores comerciales para máquinas herramienta.*

13. *Para esta última implementación se requiere construir un circuito electrónico contador de pulsos ascendente y descendente, para así tener en todo momento acceso a la posición real de los carros.*

14. *El costo de operación de la máquina convencional es menor que el de la máquina automatizada; sin embargo el costo de manufactura por pieza de la máquina convencional es mayor que el de la automatizada. Esto último es debido al ahorro de tiempo de mecanizado, aumentando éste ahorro cuando más compleja sea la pieza a maquinar.*

15. *El diseño no incluye la función de maquinar tornillos. Para ello en el diseño sólo habrá que poner un optosensor y su respectivo disco (con una sola ranura), de tal forma que emita un pulso por cada vuelta del husillo. Recibiendo esta señal por algún bit disponible, podremos sincronizar el motor del husillo con el avance de los steppers. Pero para que el tornillo sea realmente uniforme se deberá utilizar un control de velocidad más especializado como los que hay en el mercado actual.*

16. *El diseño podría complementarse con el diseño de una torre portaherramienta múltiple. Con capacidad mínima de tres herramientas para exteriores y tres para interiores. Para ello se deberá seleccionar las herramientas a utilizar comerciales, así luego se dimensionará la torreta adecuadamente.*

17. *La motorización de esta torre sería también con un stepper. Pero su control no requiere un circuito secuenciador especial como los de los steppers de los carros. Debido a que no se tiene requerimiento de variación de velocidad en el cambio de herramienta. Así más sencillo sería direccionarle repetidamente a su circuito de memorización la secuencia de permutación de bobinas hasta que se alcance a posicionar la nueva herramienta.*

18. *Para esta torre se debe diseñar un sistema de frenado ó traba, para que la herramienta quede sólidamente fija en su nueva posición. Este punto es crítico en el diseño ya que de él depende la precisión de la automatización. Un freno recomendable sería el de un embrague eléctrico (solenoide) comandado por la interface electrónica ó por limit-switch activados por una leva adecuada.*

19. *En la torre debería utilizarse una transmisión del tipo tornillo sinfín y corona. Para que así el requerimiento sobre el stepper sea menor y se le ayude a mantener en su sitio la herramienta.*

20. *Se recomienda el realizar investigaciones sobre Servomotores, ya que estos nos proveen mayores potencias de desplazamiento que los steppers y*

posicionamientos bastantes precisos. Además de adecuadas transiciones de aceleración y desaceleración para vencer cargas inerciales.

21. El simulador utiliza un sistema del tipo de arquitectura abierta para así ser compatible con otros sistemas semejantes.

22. La simulación gráfica es de vital ayuda para la programación e instrucción en el lenguaje CNC. Permitiendo la visualización de los errores del maquinado, así como el tiempo de ejecución y de maquinado efectivo.

23. El ejecutor ha sido creado para el envío y recepción de datos a la interface electrónica. De tal manera que distribuye tareas a los dispositivos, programándolos y realiza la función de supervisión del cumplimiento de estas tareas (SCANEO).

24. En el ejecutor se han implementado los códigos CNC normalizados básicos y además los ciclos fijos de desbaste exterior, así como el de refrentado. Los cuales constituyen una gran ayuda para la programación sencilla del maquinado de cualquier pieza.

25. *No se ha programado la función de roscado debido a la falta de sincronización del husillo con el carro longitudinal (por no contar con el sensor respectivo) y por la falta de estabilidad adecuada por el sistema de control de velocidad.*
26. *Mediante el lenguaje de programación gráfica Autolisp puede avanzarse mucho más en lo que respecta a CAM. Así puede producirse paquetes especializados que generen los programas codificados en lenguaje CNC, en función del perfil dibujado de la pieza a obtener.*
27. *En el ejecutor se puede complementar con la utilidad de visualización en tiempo real del maquinado que se está realizando. Esto es posible utilizando la unidad gráfica que posee el Turbo Pascal.*
28. *Este diseño puede ser aplicado a otras máquinas para lograr su automatización. La aplicación de mayor cantidad de sensores y calidad de dispositivos de maniobra dependerá del estudio de factibilidad económica del proyecto.*
29. *Se recomienda la implementación de una nueva especialidad en la facultad, la que podría llamarse Ingeniería Mecatrónica, especializada en automatización industrial. De tal manera que en ella se enseñase las*

tecnologías modernas de automatización, como son: mandos electromecánicos, hidráulica, neumática, electrohidráulica, electroneumática, electrónica analógica y digital, control numérico computarizado, controladores lógicos programables, computación, CAD, CAM, CIM, sistemas de manufactura flexible, etc.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Del Capítulo 2

- [1] *Universidad Nacional de Ingeniería; Seminario: Software e instrumentación aplicado al diseño y control en la industria; Lima 1991, pág:171.*
- [2] *Philips; Data handbook components and materiales; Book C17; 1987, pág:8.*
- [3] *Nasar,; Máquinas eléctricas y electromecánicas; pág:73.*
- [4] *Nasar,; Máquinas eléctricas y electromecánicas; pág:75.*

Del Capítulo 3

- [1] *Sandvik; Manual de herramientas de corte; 1991 pág:452.*
- [2] *Sandvik; Manual de herramientas de corte; 1991 pág:88.*
- [3] *Koenisberger F; Design Principles of Metal Cutting Machine Tools; Pergamon/Mac Millan; New York, 1964 pág:5.*
- [4] *Manual de selección de herramientas SANDVIK; 1988 pág:182.*
- [5] *Manual de herramientas de corte Sandvik; 1991 pág:466. Apéndice A.*
- [6] *Manual de selección de herramientas SANDVIK; 1988 pág:184.*

- [7] Hori, J.; *Diseño de elementos de máquinas*; Lima 1988, págs:12, 17.
- [8] Hori, J.; *Diseño de elementos de máquinas*; Lima 1988, págs:17, 34.
- [9] Beer, F. y Johnston, E.; *Mecánica para ingenieros*; T2 1981, pág:779.
- [10] Hori, J.; *Diseño de elementos de máquinas*; Lima 1988, pág:26.
- [11] *Catálogo de selección de fajas Gates*; Apéndice B.
- [12] Hori, J.; *Diseño de elementos de máquinas*; Lima 1988, págs: 53, 86.

Del Capítulo 4

- [1] *National Semiconductor Corporation, Logic Databook*, T2 pág: 2-177.
- [2] Angulo, J.M.; *Electrónica digital moderna*; Madrid, 1989, pág:272.
- [3] *National Semiconductor Corporation, Linear Databook*, pág:4-6.
- [4] *Philips, Manual de reemplazo ECG*, 1991.
- [5] *Intel Microprocessor and Peripheral Handbook*; T1, 1988, pág:6.14.
- [6] *National Semiconductor Corporation, Logic Databook*, T2 pág:4-179.
- [7] *Manual de componentes electrónicos Motorola*.
- [8] *Icotron S/A, Industria de Componentes electrónicos, Lic. Siemens; Brasil*.

Del Capítulo 5

- [1] *Autodesk INC; AutoLISP Release 9, Programmer's Reference*; 1987.
- [2] *Cogollor Gómez J.L.; AUTOCAD Técnicas de diseño*; Madrid 1988, pág:257.

- [3] *Cogollor Gómez J.L.; AUTOCAD Técnicas de diseño; Madrid 1988, pág:47.*
- [4] *Jeff Duntemann; La biblia del TURBOPASCAL; Ed. Anaya, Madrid, 1989.*
- [5] *Jeff Duntemann; La biblia del TURBOPASCAL; Ed. Anaya, Madrid, 1989, pág:299.*

Del Capítulo 6

- [1] *Boothroyd Geoffrey; Fundamentos del corte de metales y de las máquinas-herramienta; México, Ed. Mc Graw Hill, 1978, pág:149.*
- [2] *Boothroyd Geoffrey; Fundamentos del corte de metales y de las máquinas-herramienta; México, Ed. Mc Graw Hill, 1978, pág:148.*

BIBLIOGRAFIA

- Alecop; Manual del curso CNC 8025 Torno; Mondragón 1992.*
- Angulo, J.M.; Electrónica digital moderna; Madrid, 1989.*
- Autodesk INC; AutoLISP Release 9, Programmer's Reference; 1987.*
- Bartsch; Alrededor del torno; 1981.*
- Beer, F. y Johnston, E.; Mecánica para ingenieros; T2, 1981.*
- Boothroyd Geoffrey; Fundamentos del corte de metales y de las máquinas-herramienta; Ed. Mc Graw Hill; México 1978.*
- Boehler; Manual de aceros; Lima 1989.*
- Cogollor Gómez J.L.; AUTOCAD Técnicas de diseño; Ed. Rama; Madrid 1988.*
- Cogollor Gómez J.L.; Programación en Autolisp; Ed. Rama; Madrid 1989.*
- Ferre Masip, Rafael; Cómo programar un control numérico.*
- Gates Rubber Company; Power Grip, Timing Belt System for Industrial Drives; Denver, Colorado 1988.*
- Gerling, H.; Alrededor de las máquinas herramienta; Ed. Reverte; Barcelona, 1987.*
- Gonzales, Juan; El control numérico y la programación manual; 1986.*
- Huapaya, Zavaleta y Echevarría; Diseño mecánico; Lima 1986*

- Hori, J.; Diseño de elementos de máquinas; Lima 1988.*
- Intartaglia, R.; Guía del control numérico de máquinas herramienta; 1989.*
- Intel; Microprocessor and Peripheral Handbook; T1, 1988.*
- Jeff Duntemann; La biblia del TURBOPASCAL; Ed. Anaya; Madrid, 1989.*
- Koenisberger F; Design Principles of Metal Cutting Machine Tools; Pergamon/Mac Millan; New York, 1964.*
- Nasar; Máquinas eléctricas y electromecánicas.*
- National Semiconductor Corporation, Logic Databook, T2; 1988.*
- National Semiconductor Corporation, Linear Databook; 1988.*
- Philips, Manual de reemplazo ECG, 1991.*
- Philips; Data handbook components and materiales; Book C17; 1987.*
- Redondo Ibañez, José; Máquinas herramientas con control numérico.*
- Rodríguez Roselló, Miguel Angel; 8088-8086/8087 Programación ENSAMBLADOR en entorno MS DOS; Ed. Anaya; Madrid 1988.*
- Sandvik; Manual de herramientas de corte; 1991.*
- Sandvik; Manual de selección de herramientas; 1988.*
- Tecsup; Seminario: Automatización industrial; Lima 1991.*
- Universidad Nacional de Ingeniería; Seminario: Software e instrumentación aplicado al diseño y control en la industria; Lima 1991.*