

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO
SEDE- LATACUNGA**

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECHANICA.

Proyecto de grado para la obtención del Título de Ingeniero
Electromecánico

TEMA:

“Diseño y Construcción de un Prototipo de Torno Automático
Mediante Control Numérico Computarizado CNC”

ELABORADO POR:

CRISTIAN EDUARDO LEMA CHANGOLUISA

XAVIER VICENTE VEINTIMILLA HERRERA

DIRECTOR:

ING. FAUSTO V. ACUÑA C.

CODIRECTOR:

ING. WILSON SANCHEZ

Latacunga, Mayo del 2007

CERTIFICADO

En nuestra calidad de Director y Codirector, certificamos que los Srs. Cristian Eduardo Lema Changoluisa y Xavier Vicente Veintimilla Herrera han desarrollado el proyecto de grado titulado **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE TORNO AUTOMÁTICO MEDIANTE CONTROL NUMÉRICO COMPUTARIZADO CNC**, observando las disposiciones institucionales, metodológicas y técnicas que regulan esta actividad académica, por lo que autorizamos para que los mencionados señores reproduzca el documento definitivo, presente a las autoridades de la carrera de Ingeniería Electromecánica y proceda a la exposición de su contenido.

Atentamente,

Ing. Fausto Acuña

DIRECTOR

Ing. Wilson Sánchez

CODIRECTOR

AGRADECIMIENTO

Primero el agradecimiento a Dios regalarnos esta preciosa vida terrenal por medio de su palabra logremos también alcanzar el gozo celestial, a nuestros padres gracias a su cariño guía y apoyo llegamos a realizar uno de los anhelos mas grandes de la vida fruto de la confianza y el amor depositados hacia nosotros y con los cuales hemos logrado terminar nuestro estudios profesionales que constituyen el legado mas grande que pudiéramos recibir por lo cual viviremos eternamente agradecidos, a nuestros profesores quienes impartieron sus conocimientos, a todos nuestros compañeros amigos por siempre y familiares quienes nos dieron en su momento palabras de aliento que generosamente ayudaron a culminar este trabajo.

DEDICATORIA.

Dedicado a mis padres Eduardo y Fanny quienes me infundieron la ética, el rigor y el amor que guían mi transitar por la vida. A mis hermanos por confiar en mí, a mis tíos, primos, amigos y a mis queridos abuelitos Juan Manuel, Víctor Manuel, Zoila en especial a mí querida abuelita Rosita quien siempre me apoyo a cumplir mis sueños.

CRISTIAN EDUARDO

Dedicado a la mejor madre del mundo Mariana Herrera Calvopiña, por que desde el cielo siempre iluminaste mi camino para llegar a esta meta tan anhelada..... Gracias por todo.

XAVIER VICENTE

INDICE DE CONTENIDOS

CAPITULO I	PAG.
GENERALIDADES DEL CONTROL NUMERICO COMPUTARIZADO	
1.1 INTRODUCCION	1
1.1.1 ANTECEDENTES	1
1.1.2 JUSTIFICACION E IMPORTANCIA	2
1.1.3 OBJETIVO GENERAL	3
1.1.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
1.1.5 ALCANCES Y METAS	4
1.2 SISTEMAS CAD/CAM	4
1.2.1 TECNICAS DE VISUALIZACION DEL CAD/CAM	5
1.2.2 TECNICAS DE INTERACCION GRAFICA	5
1.2.3 INTERFAZ DEL USUARIO	5
1.2.4 BASE DE DATOS	6
1.3 TORNOS CNC	6
1.3.1 GENERALIDADES	6
1.4 HERRAMIENTAS DE CORTE	8
1.4.1 ACEROS PARA MAQUINAS	8
1.4.2 ELECCIÓN DE LOS ACEROS DE HERRAMIENTAS	9
1.4.3 ACEROS DE HERRAMIENTAS DE TEMPLE AL AGUA	10
1.4.5 ACEROS PARA TRABAJOS EN FRÍO	10
1.4.6 ACEROS PARA TRABAJOS EN CALIENTE (GRUPO H)	10
1.4.7 TRATAMIENTO TÉRMICO DE LOS ACEROS DE HERRAMIENTAS	11
1.4.8 HERRAMIENTA DE CORTE DE TORNO	12
1.4.9 ELECCIÓN DE LA HERRAMIENTA	14
1.5 GEOMETRIA DE CORTE EN EL TORNEADO	16
1.5.1 VELOCIDAD DE CORTE (VC)	17
1.5.2 VELOCIDAD DE AVANCE (VS)	18
1.5.3 PROFUNDIDAD DE PASADA (A)	18
1.5.4 SECCIÓN DE VIRUTA (A)	19

1.6	DESGASTE DE LAS HERRAMIENTAS ROZAMIENTO CALOR	20
1.7	RENDIMIENTO DE UNA HERRAMIENTA	20
1.7.1	FACTORES QUE INFLUYEN EN EL RENDIMIENTO DE UNA HERRAMIENTA	21
1.7.2	INFLUENCIA DE LA VELOCIDAD DE CORTE	21
1.7.3	INFLUENCIA DEL AVANCE Y DE LA PROFUNDIDAD DE PASADA	22
1.8	ELECCIÓN DE LAS CONDICIONES DE CORTE	22
1.9	VELOCIDADES Y AVANCE PARA CORTE PARA EL TORNO	23
1.10	CÁLCULO DEL TIEMPO DE MAQUINADO	27
1.11	MOVIMIENTOS PRINCIPALES EN EL TORNO	28
1.11.1	OPERACIONES PRINCIPALES EN EL TORNEADO	29
1.11.2	CILINDRADO	30
1.11.3	REFRENTADO	32
1.11.4	PARÁMETROS DEPENDIENTES DEL TORNEADO	33
1.11.5	PARÁMETROS PARA EL DISEÑO DE TORNOS	34
1.11.6	PROPIEDADES DEL LOS MATERIALES	35
1.12	ACCESORIOS PARA TORNOS CNC Y CENTROS DE TORNEADO	36
1.12.1	PUERTA AUTOMÁTICA	36
1.12.2	SISTEMAS DE EXTRACCIÓN DE VIRUTAS	37
1.12.3	SOPLADO DE AIRE A PRESION AUTOMATICO	37
1.12.4	MOVIMIENTO DEL EJE C	38
1.12.5	DISCO DURO E INTERFAZ ETHERNET CON SOPORTE PARA USB	39
1.12.6	EXTRACTOR DE PIEZAS	39
1.12.7	CONTRAPUNTO HIDRÁULICO PROGRAMABLE	40
1.12.8	VOLANTE DE AVANCE REMOTO	40
1.12.9	DISPOSITIVO PARA LUNETAS	41
1.12.10	OPCIONES DE ALMACENAMIENTO	41
1.12.11	MEDIDOR DE HERRAMIENTAS	42
1.12.12	MEDICIÓN DE PIEZAS	43
1.13	HUSILLOS A BOLAS O TORNILLOS DE BOLAS	43
1.14	TRANSMISIÓN FLEXIBLE	45

1.14.1	POLEAS	45
1.14.2	CORREA TRAPECIAL	46
1.15	FIJACIÓN DE LA PIEZA ENTRE PUNTOS	47
1.16	ATUADORES (MOTORES)	47
1.16.1	SERVOMOTOR	48
1.16.2	GENERALIDADES	48
1.16.3	SERVOMOTOR DE IMAN PERMANENTE	51
1.16.4	CONTROL DE VELOCIDAD	52
1.16.5	CONTROL DE POSICIÓN	53
1.17	BRUSLESS MOTORS	54
1.18	VARIADORES DE FRECUENCIA	55
1.18.1	COMPONENTES DE UN VARIADOR DE FRECUENCIA	56
1.19	HERRAMIENTAS Y ACCESORIOS PARA TORNOS	58
1.20	NORMAS DE SEGURIDAD	59

CAPITULO II

DISEÑO SELECCIÓN Y CONSTRUCCION DEL SISTEMA MECANICO.

2.1	DISEÑO DEL PROTOTIPO DE TORNO CNC	60
2.2	PARÁMETROS DEL DISEÑO MECÁNICO	60
2.2.1	SELECCIÓN DE SISTEMA MECÁNICO PARA EL MOVIMIENTO TRANSVERSAL.	62
2.2.2	ECUACIONES DE CÁLCULO	62
2.2.3	FLECHAS O EJES GUÍAS, ESTRUCTURA TRANSVERSAL EJE “X”	64
2.2.4	MECÁNICA DEL TORNILLO DE FUERZA O POTENCIA DEL CARRO TRANSVERSAL (EJE “X”)	66
2.2.5	SELECCIÓN DE SISTEMA MECÁNICO PARA EL MOVIMIENTO LONGITUDINAL.	69
2.2.6	FLECHAS O EJES GUÍAS, DE LA ESTRUCTURA LONGITUDINAL EJE “Z”	70
2.3	SELECCIÓN DE MOTOR PARA EL MANDRIL	72
2.3.2	POTENCIA ABSORBIDA EN EL TRABAJO DEL TORNEADO	73

2.4	CÁLCULO DEL TORQUE, ESTRUCTURAS HORIZONTALES (EJE “Z”, “X”)	74
2.5	SELECCIÓN DE SERVOMOTORES	78
2.6	SELECCIÓN DE LOS HUSILLOS A BOLAS	79
2.7	SELECCIÓN DE UNA TRANSMISIÓN FLEXIBLE	81
2.7.1	SELECCIÓN DE LA CORREA TRAPEZIAL	82
2.8	CONSTRUCCIÓN DE TUERCAS, BOCINES Y ACOPLER	83
2.9	CONSTRUCCIÓN DE CHUMACERAS	84
2.10	CONSTRUCCIÓN DE LA BASE PRINCIPAL DE LA MÁQUINA	84
2.11	DISPOSITIVOS PARA EL TORNO PARALELO	85
2.11.1	SELECCIÓN DEL PLATO UNIVERSAL DE 3 GARRAS	85
2.12	MONTAJE DEL SISTEMA MECÁNICO	86

CAPITULO III

SELECCIÓN Y CONFIGURACION DEL SISTEMA DE CONTROL

3.1	PARAMETROS DE SELECCIÓN PARA EL SISTEMA DE CONTROL DEL PROTOTIPO DE TORNO CNC	87
3.1.1	SISTEMA DE CONTROL PARA LOS EJES X, Z	88
3.1.1.1	SELECCIÓN DE LA TARJETA PRINCIPAL	90
3.1.1.2	SELECCIÓN DE LAS TARJETAS CONTROLADORAS DE SERVOMOTORES	95
3.1.1.3	ACTUADOR (SERVOMOTOR)	101
3.1.1.4	RETROALIMENTACIÓN	102
3.1.2	SISTEMA DE CONTROL PARA EL MANDRIL	102
3.2	PROGRAMACIÓN DEL SOFTWARE DE CONTROL	109
3.2.1	MACH3TURN	110
3.2.2	REQUISITOS DEL SISTEMA	111
3.2.3	CONFIGURACIÓN	111
3.2.4	CONTROLES DEL PROGRAMA MACH3TURN	120
3.2.5	INGRESAR UN PROGRAMA DE CÓDIGO G EN MACH3TURN	123
3.3	ENLACE CAD / CAM	124
3.3.1	GENERACIÓN DE CÓDIGOS G	129
3.4	DISEÑO DE LA INTERFASE DE COMUNICACIÓN HACIA	131

EL SISTEMA DE CONTROL	
3.4.1 INTERFASE DE COMUNICACIÓN ENTRE LA PC Y LA TARJETA PRINCIPAL	131

CAPITULO IV

IMPLEMENTACION Y PRUEBAS DEL SISTEMA

4.1 IMPLEMENTACIÓN Y MONTAJE DEL SISTEMA MECÁNICO	133
4.1.1 MONTAJE DE LA ESTRUCTURA DEL CARRO LONGITUDINAL (COORDENADA Z)	133
4.1.2 MONTAJE DE LA ESTRUCTURA DEL CARRO LONGITUDINAL (COORDENADA X)	134
4.1.3 MONTAJE DE LA ESTRUCTURA DEL CABEZAL MOVIL	134
4.1.4 MONTAJE DEL CABEZAL FIJO Y MANDRIL	135
4.2 IMPLEMENTACIÓN DE LOS SISTEMAS DE CONTROL	136
4.2.1 FUENTE DE ALIMENTACION PARA LOS ACTUADORES	136
4.2.2 FINALES DE CARRERA E INTERRUPTORES DE REFERENCIA	136
4.2.3 CAJA PRINCIPAL DE CONTROL PARA EL TORNO CNC	137
4.3 PRUEBAS Y RESULTADOS DEL SISTEMA MECÁNICO	138
4.3.1 CARROS TRANSVERSAL Y LONGITUDINAL DE LAS COORDENADAS “X”, ”Z” RESPECTIVAMENTE	138
4.4 PRUEBAS Y RESULTADOS DE LOS SISTEMAS DE CONTROL	139
4.4.1 CALIBRACION DE LAS TARJETAS DE CONTROL DE LOS SERVOMOTORES	139
4.5 PRUEBAS Y RESULTADOS DEL SOFTWARE DE CONTROL	140
4.5.1 GENERACION DE CODIGOS	140
4.5.2 ENLACE CON LAS TARJETAS CONTROLADORAS	141
4.6 PRUEBAS Y RESULTADOS DE TODO EL SISTEMA AUTOMATICO DE MOVIMIENTOS	142
4.6.1 CERO ABSOLUTO O REFERENCIA DE LA MAQUINA	142
4.6.2 MECANIZADO	143
4.6.3 CERO DE MECANIZADO O REFERENCIA DE LA PIEZA	143
4.6.4 AJUSTE DEL CERO DE LA PIEZA EN EL SOFTWARE	143

MATCH3TURN	
4.6.5 GENERACION DE CODIGOS PARA EL MECANIZADO	144
4.6.6 MECANIZADO DE LA PIEZA	145
4.6.7 RESULTADOS	
4.7 MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO	146

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES	147
5.2 RECOMENDACIONES	147

ANEXOS

BIBLIOGRAFIA

LISTADO DE FIGURAS

CAPITULO I

GENERALIDADES DEL CONTROL DEL CONTROL NUMERICO COMPUTARIZADO

	PAG.
Figura 1.1 Partes importantes de la herramienta.	12
Figura 1.2 Herramientas de corte.	16
Figura 1.3 Movimientos de corte y avance.	18
Figura 1.4 Profundidad de pasada.	19
Figura 1.5 Mesa de posicionamiento de los ejes x,y,z.	29
Figura 1.6 Operaciones de torneado.	30
Figura 1.7 Operación de cilindrado exterior.	31
Figura 1.8 Esquema de una operación de refrentado.	33
Figura 1.9 Fuerzas de corte en el torneado	34
Figura 1.10 Límite de fluencia.	35
Figura 1.11 Puerta Automática.	36
Figura 1.12 Sistema de extracción de virutas.	37
Figura 1.13 Soplado de aire a presión.	37
Figura 1.14 Eje C	38
Figura 1.15 Disco duro e interfaz Ethernet	39
Figura 1.16 Extractor de piezas	39
Figura 1.17 Contrapunto hidráulico programable	40
Figura 1.18 Volante de avance remoto.	40
Figura 1.19 Dispositivo para luneta	41
Figura 1.20 Opciones de almacenamiento	42
Figura 1.21 Medidor de herramientas	42
Figura 1.22 Medidor de piezas	43
Figura 1.23 Husillo a bolas	43
Figura 1.24 Sección transversal de una correa trapecial	46
Figura 1.25 Fijación de piezas entre puntos.	47
Figura 1.26 Motor Trifásico	47
Figura 1.27 Servomotor	48
Figura 1.28 Encoder absoluto	49

Figura 1.29	Encoder Incremental	50
Figura 1.30	Señal del canal A y B	50
Figura 1.40	Servomotor de imán permanente.	51
Figura 1.41	Señal de salida de PWM	52
Figura 1.42	Control de posición.	53
Figura 1.43	Brushless motors	55
Figura 1.44	Variador de frecuencia	56
Figura 1.45	Mandriles, mordazas, llaves T	58
Figura 1.46	Herramientas de medición para piezas	59
Figura 1.47	Llaves mixtas y allen	59

CAPITULO II

DISEÑO, SELECCIÓN Y CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA MECÁNICO

Figura 2.1	Torno didáctico	60
Figura 2.2	Traslación horizontal con carga normal	63
Figura 2.3	Estructura transversal de desplazamiento en la coordenada "X"	64
Figura 2.4	Diagrama del cuerpo libre, diagrama de fuerzas y diagrama de momentos coordenada "X".	65
Figura 2.5	Diagrama del cuerpo libre, diagrama de fuerzas y diagrama de momentos coordenada "Z"	70
Figura 2.6	Estructura transversal de desplazamiento en la coordenada "Z"	72
Figura 2.7	Transmisión de movimiento horizontal	75
Figura 2.8	Bocines tuercas y chumaceras	84
Figura 2.9	Base de apoyo de la máquina	85

CAPITULO III

SELECCIÓN Y CONFIGURACION DEL SISTEMAS DE CONTROL

Figura 3.1	Parámetros para la selección del sistema de control	87
Figura 3.2	Sistema de lazo cerrado	88
Figura 3.3	PC-2-Route Modelo M2 Rev. 1.8 (a. JP2, b. JP1)	92
Figura 3.4	PC-2-Route all in one Modelo M2 OEM	92
Figura 3.5	Funcionamiento de la tarjeta principal	93
Figura 3.6	Tarjetas de la NI	95
Figura 3.8	Gecko driver G340	96
Figura 3.9	Lugares de calibración	97
Figura 3.10	Curvas de calibración.	99
Figura 3.11	Diagrama de bloques del G340	100
Figura 3.12	Sistema a lazo abierto.	103
Figura 3.13	Pines y tornillos de Calibración para VDF.	104
Figura 3.14	Ajustes de control del motor para el mandril.	104
Figura 3.15	Configuración de puerto y pines de salida	105
Figura 3.16	Calibración de Velocidad en mandril.	105
Figura 3.17	Pantalla de control de velocidad en el Mach3.	106
Figura 3.18	Mach3turn	110
Figura 3.19	Opciones de configuración.	111
Figura 3.20	Selección del sistema de unidades	112
Figura 3.21	Configuración de puertos y ejes	112
Figura 3.22	Entrada de señales	113
Figura 3.23	Pines de salida de señal	114
Figura 3.24	Afinación del motor para el eje Z.	118
Figura 3.25	Afinación de motor para el eje X.	118
Figura 3.26	Límites o zona de trabajo.	119
Figura 3.27	Configuración lógica.	120
Figura 3.28	Controles de la pantalla principal	120
Figura 3.29	Pantalla de visualización de códigos G.	121
Figura 3.30	Pantalla de posición de la herramienta.	121
Figura 3.31	Pantalla de diagnóstico.	122
Figura 3.32	Forma de ingresar códigos G	123
Figura 3.33	Forma de ingresar el programa	123
Figura 3.34	Forma de ingresar el programa	124
Figura 3.35	Pantalla de selección de operación de torneado.	127

Figura 3.36	Tipos de torneados de forma que se pueden crear.	128
Figura 3.37	Ventana de creación de códigos G	128
Figura 3.38	Generación de códigos G.	129
Figura 3.39	Carga de códigos G para el mecanizado	131

CAPITULO IV

IMPLEMENTACION Y PRUEBAS DEL SISTEMA

Figura 4.1	Montaje del carro longitudinal.	133
Figura 4.2	Montaje del carro transversal.	134
Figura 4.3	Montaje de la estructura del Cabezal móvil	134
Figura 4.4	Montaje del cabezal fijo y mandril	135
Figura 4.5	Máquina terminada	135
Figura 4.6	Fuente de alimentación	136
Figura 4.7	Sensores del Home de las coordenadas X,Z	137
Figura 4.8	Caja de Control, parte externa e interior.	138
Figura 4.9	Encendido del mandril.	139
Figura 4.10	Generación de códigos G	140
Figura 4.11	Pantalla de diagnostico	141
Figura 4.12	Punto de referencia o cero absoluto	142
Figura 4.13	Cero pieza.	143
Figura 4.14	Ajuste cero pieza en el Match3turn.	144
Figura 4.15	Visualización de los códigos generados a través del bloque de notas	145
Figura 4.24	Operación de Mecanizado	145
Figura 4.25	Resultados Obtenidos con el Sistema Automático del Torno CNC.	146

LISTADO DE TABLAS

CAPITULO I

GENERALIDADES DEL CONTROL DEL CONTROL NUMERICO COMPUTARIZADO

PAG.

Tabla 1.1	Afilado de herramientas	14
Tabla 1.2	Velocidad de corte en el torno	26
Tabla 1.3	Avances para el torno	28

CAPITULO II

DISEÑO, SELECCIÓN Y CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA MECÁNICO

Tabla 2.1	Valores de presión de corte especifico Ks	61
Tabla 2.2	Servomotores utilizados para los movimientos de los ejes "x" y "z"	79
Tabla 2.3	Husillos a bolas.	81
Tabla 2.4	Características generales de unas correas trapeciales (Optibelt)	83

CAPITULO III

SELECCIÓN Y CONFIGURACION DEL SISTEMAS DE CONTROL

Tabla 3.1	Características de las tarjetas PC-2-Route Modelo M2 y M2 OEM	91
Tabla 3.1	Datos del servomotor	102
Tabla 3.2	Distribución de pines del adaptador	132

LISTADO DE ANEXOS

ANEXO A	VARIADOR SIEMENS SINAMIC
ANEXO A.A	Tabla de especificaciones técnicas
ANEXO A.B	Diagrama de Bloques
ANEXO A.C	Terminales de Control
ANEXO B	MOTOR TRIFASICO SIEMENS 0.75HP
ANEXO B.A	Especificaciones técnicas
ANEXO B.B	Especificaciones técnicas
ANEXO B.C	Conexiones
ANEXO C	TORNOS CNC
ANEXO C.A	Rangos de velocidad de corte y tipo de material
ANEXO C.B	Normas de seguridad
ANEXO C.C	Planos mecánicos
ANEXO C.D	Mandril de sujeción de piezas.
ANEXO C.E	Tabla de códigos G
ANEXO C.F	Propiedades Mecánicas de los bronce y aceros
ANEXO C.G	Características de los rodamientos.
ANEXO D	HUSILLOS DE BOLAS
ANEXO D.A	Especificaciones y características para la selección del Tornillo del Husillo a Bolas
ANEXO D.B	Especificaciones y características para la selección de la Tuerca del Husillo a Bolas
ANEXO E	TARJETAS DE CONTROL
ANEXO E.A	Especificaciones técnicas del G340
ANEXO E.B	Dimensiones y distribución de pines del G340
ANEXO E.C	Esquema eléctrico de conexión
ANEXO F	MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DEL TORNO AUTOMATICO CNC

CAPITULO I

GENERALIDADES DEL CONTROL NUMERICO

COMPUTARIZADO

1.1 Introducción

Con el presente trabajo de tesis de grado, se diseñara y construirá un torno CNC por egresados de la facultad de Electromecánica que servirá para la fabricación de piezas con perfiles que en forma manual serían difíciles de realizar y a la vez con mayor precisión y un sin número de estas similares gracias a la creación de códigos G que pueden ser archivados en una base de datos para la construcción en el momento que se requiera.

1.4.1 Antecedentes

La mecanización de piezas en el torno en la mayoría de talleres y empresas industriales a nivel nacional se realiza de forma manual donde los operadores utilizan un torno convencional para realizar las piezas que se necesiten, lo cual requiere una gran habilidad humana para su construcción. Es por esto que en países mejor desarrollados se ha construido máquinas destinadas a esta labor, con el uso de la automatización se ha mejorado los recursos utilizados para este proceso de mecanizado.

Con el fin de ayudar al sector industrial, se propone diseñar y construir un prototipo de un torno automático CNC, en donde se optimice los tiempos de

producción y se pueda generar piezas torneadas en forma rápida y sencilla, las mismas que puedan ser usadas en el área mecánica tales como: elementos de máquinas, piezas de contornos variados, etc.

1.4.2 Justificación e importancia

La preparación universitaria que brinda la ESPEL busca crear un amplio campo de aplicación y universalidad en los conocimientos técnicos. Orientar adecuadamente a sus egresados que pretenden iniciarse en el mundo laboral e industrial, el presente trabajo se vuelve preponderante en el sentido de que se ha establecido una oportunidad de realizar un diseño que podrá servir de guía para aplicarlo en forma real, basándose en la experiencia obtenida en este proyecto.

Actualmente existe un ambiente de grandes expectativas e incertidumbre, mucho de esto se da por los rápidos cambios de la tecnología actual, pues estos no permiten asimilarla en forma adecuada de modo que es muy difícil sacar su mejor provecho. También surgen cambios rápidos en el orden económico y político los cuales en sociedades como la nuestra (países en desarrollo) inhiben el surgimiento de soluciones propias para nuestros problemas más fundamentales.

Entre todos estos cambios uno de los de mayor influencia lo será sin duda el desarrollo de las nuevas políticas mundiales de mercados abiertos y globalización. Todo esto habla de una libre competencia y surge la necesidad de adecuar nuestras industrias a fin de que puedan satisfacer el reto de los próximos años.

Una opción o alternativa frente a esto es la reconversión de las industrias introduciendo el elemento de la automatización. Sin embargo se debe hacerse en la forma más adecuada de modo que se pueda absorber gradualmente la

nueva tecnología en un tiempo adecuado; todo esto sin olvidar los factores de rendimiento de la inversión y capacidad de producción.

Uno de los elementos importantes dentro de este resurgir de la automatización son la Máquinas Herramientas de Control Numérico Computarizado, las cuales brindan algunas ventajas adicionales que son de importancia considerar detenidamente, lo cual es el propósito de este proyecto.

1.4.3 Objetivo general.

Realizar el diseño y construcción de un prototipo de torno CNC de bajo costo para poder realizar piezas en serie o de perfiles dificultosos.

1.4.4 Objetivos específicos.

- Diseñar y construir un sistema mecánico de movimientos que nos permita desplazar a través de los dos ejes X, Z correspondientes al torno.
- Diseñar, construir o seleccionar los sistemas de control para el sistema mecánico de movimientos a través de servomotores.
- Diseñar o seleccionar un software de control para el proceso, utilizando programas como el CAD/CAM Mach3turn.
- Servir de guía para aplicar el proyecto en forma industrial basándose en la experiencia obtenida en este proyecto.
- Obtener el Título de Ingeniero en Electromecánica al finalizar este trabajo.

1.4.5 Alcances y metas.

- Poner en funcionamiento este sistema que mejore la producción de piezas mecanizadas en el torno.
- Desarrollar el control de movimiento del mandril y ejes (carros).
- Comandar los valores de avances y revoluciones.

1.5 Sistemas CAD/CAM¹

CAD/CAM, es un proceso en el cual se utilizan los ordenadores o computadoras para mejorar la fabricación, desarrollo y diseño de los productos. Estos pueden fabricarse más rápido, con mayor precisión y a menor precio, con la aplicación adecuada de tecnología informática.

Sabemos que los sistemas de Diseño Asistido por Ordenador pueden utilizarse para generar modelos con muchas, si no todas, de las características de un determinado producto. Estas características podrían ser el tamaño, el contorno y la forma de cada componente, almacenada como dibujos bi y tridimensionales. Una vez que estos datos dimensionales han sido introducidos y almacenados en el sistema informático, podemos manipularlos o modificar las ideas del diseño con mayor facilidad para avanzar en el desarrollo del producto.

La Ingeniería Asistida por Ordenador, es la tecnología que se ocupa del uso de sistemas informáticos para analizar la geometría generada por las aplicaciones de CAD, permitiendo al diseñador simular y estudiar el comportamiento del producto para refinar y optimizar dicho diseño.

Así podemos definir el termino CAD como el uso de sistemas informáticos en la creación, modificación, análisis u optimización de un producto. Dichos sistemas informáticos constarían de un hardware y un software.

¹ Sistemas CAD/CAM, Simón Millán, 2007, <http://es.wikipedia.org/wiki/CAD/CAM>

1.5.1 Técnicas de visualización del CAD/CAM

La visualización es esencial para la generación de imágenes del modelo. Los algoritmos usados dependerán del tipo de modelo, abarcando desde simples técnicas de dibujo 2D para el esquema. Es habitual utilizar técnicas específicas para la generación de documentación dependiente de la aplicación, como por ejemplo: curvas, secciones o representación de funciones sobre sólidos o superficies.

1.5.2 Técnicas de interacción grafica

Son el soporte de la entrada de información geométrica del sistema de diseño. Entre ellas, las técnicas de posicionamiento y selección tienen una especial relevancia. Las técnicas de posicionamiento se utilizan para la introducción de coordenadas 2D o 3D. Las técnicas de selección permiten la identificación interactiva de un componente del modelo, siendo por tanto esenciales para la edición del mismo.

1.5.3 Interfaz de usuario

Uno de los aspectos más importantes de una aplicación CAD/CAM es su interfaz. Del diseño de la misma depende en gran medida la eficiencia de la herramienta.

1.5.4 Base de datos

Es el soporte para almacenar toda la información del modelo, desde los datos de diseño, los resultados de los análisis que se realicen y la

información de fabricación. El diseño de las bases de datos para sistemas CAD/CAM plantea una serie de problemas específicos por la naturaleza de la información que deben soportar.

1.6 TORNOS CNC²

1.6.1 Generalidades

Los tornos de mecanizado pueden clasificarse de la siguiente manera

Por la disposición espacial de la pieza a trabajar:

- *Horizontales*: Son los más comunes y se les utiliza en todos los talleres metal-mecánicos. La pieza es colocada paralelamente al piso y su tamaño está restringido por la capacidad del torno y el pandeo existente por la acción de la gravedad, por lo que su longitud no excede, la mayor de las veces, de tres metros.

- *Verticales*: Aquí no existe pandeo, pero se necesitan aditamentos más robustos para proveer de giro a la pieza. Se les utiliza en astilleros para la elaboración de ejes para motores y transmisores de potencia de gran tamaño. La disposición de la pieza es perpendicular al piso.

Por la forma de proveer de propulsión:

² Tornos CNC, Francisco Cruz, 2007, <http://es.wikipedia.org/wiki/Torno>

- *Humana*: La pieza gira por acción del hombre sobre la máquina, es decir, el torno está dispuesto como una máquina de coser. Se necesitará actuar sobre un pedal para mover un cigüeñal y transmitir el movimiento.

- *Motor*: Un motor eléctrico y, raramente de combustión interna, es colocado en línea con las mordazas con un sistema de transmisión y relación de transmisión.

Por su operación:

- *Automáticos*: Ejemplo de estos son los tornos computarizados con asistencia por brazos mecánicos. En las operaciones el humano no tiene contacto sobre la máquina y esta realiza sus funciones indefinidamente hasta que se indique lo contrario. Se obtienen grandes volúmenes de producción y los productos obtenidos tienen un maquinado apreciable.

- *Semiautomáticos*: Son los tornos computarizados (**CNC**) en los que el humano por lo menos coloca la pieza a trabajar en las mordazas. Proveen de un alto sentido de exactitud en la maquinación de la pieza, pero esta sólo es elaborada las veces que el humano lo indique bajo su supervisión y asistencia.

- *Manuales*: El torno no contiene sistemas computacionales de control en su estructura ni fuera de esta, el mismo proceso de torneado y la colocación de las piezas es realizado por el humano.

Por la disposición de las herramientas:

- *Revolver*: Las herramientas se colocan en una disposición circular sobre un tambor giratorio en donde pueden ser intercambiadas manualmente o mediante una orden por computadora. Sólo una herramienta a la vez realizará el trabajo.

- *Fijo e intercambiable*: La herramienta tiene un receptáculo fijo y puede ser intercambiada con la remoción de un perno que la sujeta, la operación, por lo tanto, es manual. Por otro lado, existen casos en donde la herramienta siempre será fija y no podrá ser removida, este tipo de torno se conoce como de tarea específica.

Otros:

- *Torno copiator*: Los más adelantados consisten en aparatos sensores de la luz y un haz de rayo laser que incide en la superficie y es reflejado y detectado con diferentes características, a partir de esto una computadora realizará una copia y un modelo electrónico fiel al original.

Nota: Un torno común surge de la combinación de las características expuestas, por ejemplo: hay tornos verticales automáticos copiadores.

1.4 Herramientas de corte³

1.4.1 Aceros para maquinas.

Clasificación de los aceros para maquinas:

En este grupo se incluyen teóricamente todos los aceros que pueden emplearse para la fabricación de herramientas.

³ Herramientas de corte, Clifford Oliver, 2005, <http://html.rincondelvago.com/aceros-para-herramientas.html>

Hay diversos procedimientos que pueden servir para agrupar los aceros de herramientas. Uno de ellos los clasifica en función del medio de temple utilizado: así se tiene aceros de temple en agua, aceros de temple en aceite y aceros de temple al aire. El contenido en elementos de aleación también puede servir para agrupar los aceros, y en función de él se dividen en aceros de herramientas al carbono, aceros de baja aleación y aceros de aleación media.

Los aceros de herramientas más comúnmente utilizados han sido clasificados en seis grupos principales, y dentro de ellos en subgrupos, todos los cuales se identifican por una letra en la forma siguiente:

Aceros rápidos

M Aceros al molibdeno

L Aceros de baja aleación, Aceros para usos especiales

F Aceros al tungsteno

P Aceros para moldes

1.4.2 Elección de los aceros de herramientas:

En la mayoría de los casos nos encontramos con que son varios los tipos e incluso las familias de aceros que nos resolverían satisfactoriamente un determinado problema de herramientas, lo que hace que la selección se base en otros factores, tales como productividad prevista, facilidad de fabricación y costo. Los aceros de temple superficial, entre los que se encuentran los aceros de herramientas al carbono, los aceros al tungsteno, se templean por lo general en agua. Los aceros de herramientas con contenidos en carbono medios y bajos, son los que presentan mejor tenacidad y constituyen el material utilizado en la fabricación de herramientas resistentes al choque.

En comparación con los aceros aleados normales, los aceros de herramientas son mucho más difíciles de mecanizar. Los aceros de herramientas al carbono son los que menos se descarburan. Los aceros para la fabricación de herramientas para trabajos de choque presentan una resistencia a la descarburación baja; los utilizados en las herramientas para trabajos en caliente se consideran que tienen una resistencia mediana, y la mayoría de los restantes aceros de herramientas ofrecen una resistencia a la descarburación buena.

1.4.3 Aceros de herramientas de temple al agua:

Este grupo está formado fundamentalmente por aceros ordinarios al carbono, aunque algunos de los aceros de mayor contenido llevan pequeñas cantidades de cromo y vanadio con el fin de aumentar la templabilidad y mejorar la resistencia al desgaste.

1.4.5 Aceros para trabajos en frío:

Los aceros de baja aleación de temple en aceite contienen manganeso y cantidades menores de cromo y tungsteno.

1.4.7 Aceros para trabajos en caliente (grupo H):

Los aceros para trabajos en caliente pueden subdividirse en los tres grupos siguientes:

Aceros al cromo (H11 a H16)

Aceros al tungsteno (H20 a H26)

Aceros al molibdeno (H41 a H43)

Estos aceros se caracterizan por su buena tenacidad debida a su bajo contenido en carbono, por su dureza en caliente que va de buena en unos a excelente en otros, y por una resistencia y maquinabilidad regulares.

Aceros rápidos:

Entre los aceros de herramientas, este tipo es el más aleado, y los aceros que lo forman contienen normalmente grandes cantidades de tungsteno o molibdeno junto con cromo, vanadio y a veces cobalto. Los aceros rápidos se pueden clasificar en dos grupos: aceros con molibdeno y aceros con tungsteno

Aceros para usos especiales:

Los aceros al tungsteno presentan una resistencia al desgaste muy bueno, utilizándose para la construcción de herramientas de bruñir, hileras de trefilar matrices de estampar y matareis para extrusión en frío.

1.4.7 Tratamiento térmico de los aceros de herramientas:

Se utiliza el endurecimiento superficial por medio de control de temperatura, el calentamiento de estos aceros debe realizarse lentamente.

1.4.8 Herramienta de corte de torno:

Las herramientas monofilas son herramientas de corte que poseen una parte cortante (o elemento productor de viruta) y un cuerpo. Son usadas comúnmente en los tornos, tornos revólver, cepillos, limadoras, mandrinadoras y máquinas semejantes.

En la figura 1.1 se muestra una herramienta monofila típica y las partes más importantes: sus filos y superficies adyacentes.

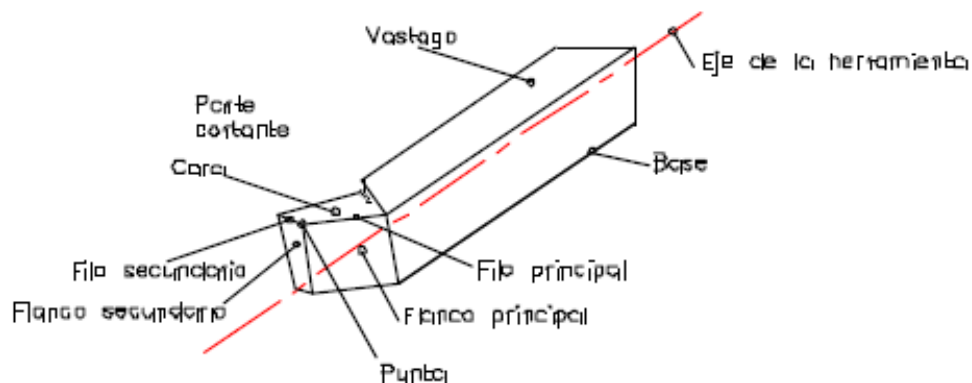


Figura 1.1 Partes importantes de la herramienta.

a) Cara: Es la superficie o superficies sobre las cuales fluye la viruta (superficie de desprendimiento).

b) Flanco: Es la superficie de la herramienta frente a la cual pasa la viruta generada en la pieza (superficie de incidencia).

c) Filo: Es la parte que realiza el corte. El filo principal es la parte del filo que ataca la superficie transitoria en la pieza. El filo secundario es la parte restante del filo de la herramienta.

d) Punta: Es la parte del filo donde se cortan los filos principales y secundarios; puede ser aguda o redondeada o puede ser intersección de esos filos.

Características y propiedades

Las herramientas de corte deben poseer como mínimo las siguientes características:

- Altamente resistentes al desgaste.
- Conservación de filos a altas temperaturas.
- Buenas propiedades de tenacidad.
- Reducido coeficiente de fricción.
- Alcance de altos niveles de recambio entre afilado y afilado.
- Alta resistencia a los choques térmicos.
- Valores de los ángulos en el arranque de la viruta

En el afilado de las herramientas de corte simple o monofilo de acero al carbono (prácticamente ya no se usa en la industria metalmecánica), actualmente son más utilizadas las cerámicas y de acero rápido (acero de alta velocidad, HSS high speed steel), es necesario controlar los ángulos de incidencia y de salida de viruta (desprendimiento), de acuerdo con el material que se vaya a mecanizar. Estos valores son recomendaciones de las casas fabricantes y cumplen una función orientativa.

En el cuadro siguiente se presentan algunos valores de herramientas de acero rápido y de metal duro, con el ánimo de diferenciar sus valores. También se encuentran unas herramientas de otros materiales como por ejemplo:

MATERIAL A MECANIZAR	MATERIAL DE LA HERRAMIENTA			
	Acero Rápido		Metal Duro	
	Incidencia	S de viruta	Incidencia	S de viruta
Acero al carbono R = 50 Kg/mm ²	6°	25°	***	***
Acero al carbono R = 60 Kg/mm ²	6°	20°	5°	12°
Acero al carbono R = 70 Kg/mm ²	6°	15°	5°	10°
Acero al carbono R = 80 Kg/mm ²	6°	10°	5°	10°
Fundición gris 140 HB	8°	15°	7°	10°
Fundición gris 180 HB	6°	10°	6°	8°
Bronce duro, Latón agrio	8°	5°	7°	10°
Aluminio, Cobre	10°	30°	8°	15°
Latón en barra	8°	20°	7°	10°

Tabla 1.1 Afilado de herramientas.⁴

Cerámicas

Las herramientas cerámicas fueron desarrolladas inicialmente con el óxido de aluminio (Al_2O_3), pero eran muy frágiles, hoy en día con el desarrollo de nuevos materiales industriales y los nuevos procedimientos de fabricación con máquinas automáticas, han ampliado su campo de acción en el mecanizado de fundición, aceros duros y aleaciones termo-resistentes, ya que las herramientas de cerámica son duras, con elevada dureza en caliente, no reaccionan con los materiales de las piezas de trabajo y pueden mecanizar a elevadas velocidades de corte.

Con un endurecimiento hasta de 66 HRC. El filo de corte soportaba una temperatura crítica de (200 a 250)° C, sin perder sus características de corte.

1.4.9 Elección de la herramienta.

En los tornos CNC, debido al alto costo que tiene el tiempo de mecanizado, es de vital importancia hacer una selección adecuada de las herramientas que permita realizar los mecanizados en el menor tiempo posible y en condiciones de precisión y calidad requeridas en la figura 1.2 se ve unos tipos de herramientas.

⁴Elección de la herramienta , Varios Autores, 2007, http://es.wikipedia.org/wiki/Torno_CNC#Elecci.C3.B3n_de_las_herramientas_para_torneado

Factores de selección para operaciones de torneado:

Diseño y limitaciones de la pieza.- Tamaño, tolerancias del torneado, tendencia a vibraciones, sistemas de sujeción, acabado superficial, etc.

Operaciones de torneado a realizar.- Cilindrados exteriores o interiores, refrentados, ranurados, desbaste, acabados, optimización par realizar varias operaciones de forma simultánea, etc.

Estabilidad y condiciones de mecanizado.- Cortes intermitente, voladizo de la pieza, forma y estado de la pieza, estado, potencia y accionamiento de la máquina, etc.

Disponibilidad y selección del tipo de torno.- Posibilidad de automatizar el mecanizado, poder realizar varias operaciones de forma simultánea, serie de piezas a mecanizar, calidad y cantidad del refrigerante, etc.

Material de la pieza: Dureza, estado, resistencia, maquinabilidad, fundición, forja, mecanizado en seco o con refrigerante, etc.

Disponibilidad de herramientas: Calidad de las herramientas, sistema de sujeción de la herramienta, acceso al distribuidor de herramientas, servicio técnico de herramientas, asesoramiento técnico.

Aspectos económicos del mecanizado: Optimización del mecanizado, duración de la herramienta, precio de la herramienta, precio del tiempo de mecanizado.

Se debe seleccionar el mayor diámetro de la barra posible y asegurarse una buena evacuación de la viruta. Seleccionar el menor voladizo posible de la barra. Seleccionar herramientas de la mayor tenacidad posible.



Figura 1.2 Herramientas de corte

1.5 Geometría de corte en el torneado.⁵

El rendimiento de una herramienta de corte depende de varios factores. De ellos, hay algunos que el operario no puede modificar a su capricho, como la potencia de la máquina, el material de la herramienta, el material de la pieza, etc.

Sin embargo, hay otros que pueden ser variados, como:

- La velocidad de corte;
- La velocidad de avance;
- La profundidad de pasada;

Más adelante se estudia cómo influyen estos factores en el rendimiento de las herramientas.

⁵ <http://www.aprendizaje.com.mx/Curso/Proceso2/Practicas/Torno-Desarrollo/Capi8.htm>

1.5.2 Velocidad de corte (Vc)

Es la velocidad del movimiento de corte o, dicho de otro modo, la velocidad relativa entre la herramienta y la pieza en el punto de máximo recorrido en que se separa la viruta.

Se expresa en metros por minuto (m/min.), excepto para las muelas abrasivas que se hace en metros por segundo.

$$V_c = \frac{\text{Espacio recorrido (en metros)}}{\text{Tiempo empleado (en minutos)}}$$

Al estudiar la velocidad de corte, ha de tenerse en cuenta si el movimiento de corte es circular o rectilíneo.

Máquinas de movimiento circular.

En estas máquinas, la velocidad de corte es igual a la longitud de la circunferencia mayor de la herramienta o de la pieza, por el número de vueltas que giran en la unidad de tiempo (figura 1.3). Por tanto, en las máquinas-herramientas como el torno, la taladradora, la fresadora y otras, la velocidad de corte viene dada por la siguiente ecuación (1):

$$V_c = \frac{\pi \cdot D \cdot N}{1000} \quad (1)$$

Vc = Velocidad de corte (m/min)

D = Diámetro de las piezas o herramienta (mm)

n = velocidad del giro (r.p.m.)

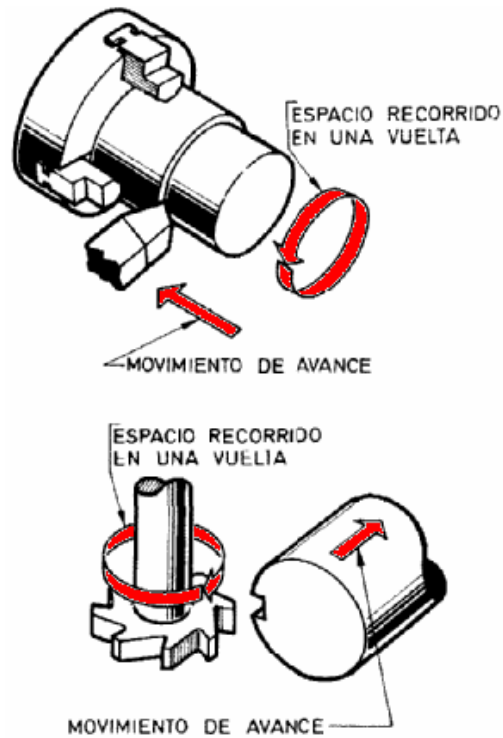


Figura 1.3 Movimientos de corte y avance.

1.5.2 Velocidad de avance (V_s)

Más conocida simplemente como avance (figura 1.3), es la velocidad del movimiento de avance o, también, la velocidad con que se desplaza el punto de aplicación de la herramienta respecto a la pieza. Se expresa en milímetros por vuelta para unas máquinas, en milímetros por minuto para otras y, en las de movimiento rectilíneo alternativo, suele hacerse en milímetros por minuto o en milímetros por carrera útil.

1.5.3 Profundidad de pasada (a)

Es el desplazamiento dado a la herramienta o a la pieza, en el movimiento de penetración (figura 1.4). Se le llama también profundidad de corte, pasada simplemente y carga. Se expresa en milímetros de desplazamiento de la herramienta o de la pieza, el cual se obtiene siempre a mano.

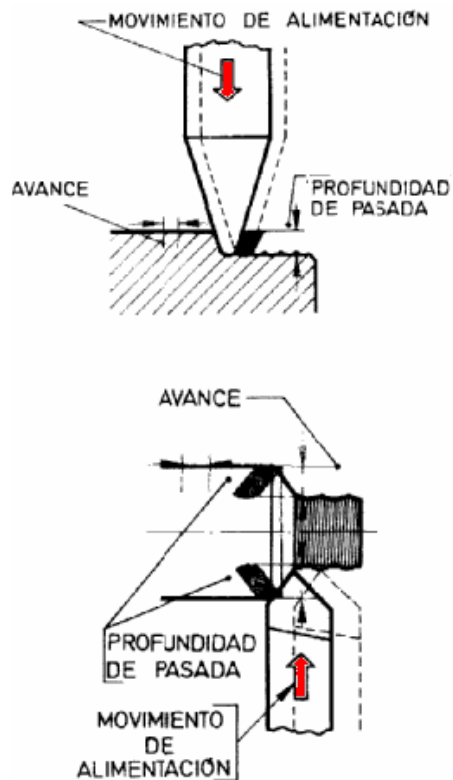


Figura 1.4 Profundidad de pasada.

1.5.4 Sección de viruta (A)

Es la superficie de la sección transversal de la viruta. Se expresa en mm y se calcula por la ecuación (2):

$$A = V_s \cdot a \quad (2)$$

V_s = avance.

a = profundidad de pasada.

1.6 Desgaste de las herramientas

La separación de la viruta en el mecanizado provoca un fuerte rozamiento de la herramienta contra la pieza, transformándose parte de la energía en calor.

Tanto el rozamiento como el calor son causas inmediatas del desgaste de las herramientas, actuando de la siguiente forma:

- El **rozamiento** desafilada la herramienta porque el material de la pieza “erosiona” la cara de incidencia, la de ataque y el filo, disminuyendo su capacidad de corte. Al perder sus ángulos de afilado, el rozamiento es mayor y el desgaste aumenta, y así sucesivamente.
- El **calor** a determinadas temperaturas, según el material de las herramientas, reblandece el filo, acelerando el desgaste por rozamiento.

Pero además, a mayor rozamiento mayor temperatura.

El desgaste de las herramientas en el transcurso del mecanizado obliga a detener el trabajo para reafilarlas, causando una disminución de la producción, por el tiempo invertido en desmontarlas, afilarlas, montarlas de nuevo y regular su posición.

1.7 Rendimiento de una herramienta.

Se llama así a la cantidad de viruta, expresada en dm^3 ó, también, en kg, que una herramienta puede cortar entre dos afilados consecutivos. Ya se ha dicho al principio de esta unidad de trabajo que el rendimiento depende de varios factores:

1.7.1 Influencia del material de la herramienta y de la pieza.

El desgaste de las herramientas es causado directamente por el rozamiento y por la elevación de la temperatura. De ello se deduce que la duración del afilado depende:

- De la dureza de la herramienta y de la temperatura hasta la que conserva dicha dureza.
- De la dureza del material que se trabaja. En general, cuanto más duro es un material mayor resistencia opone a ser cortado, y, por tanto, el rozamiento de la herramienta contra la pieza aumenta y, con él, la temperatura.

1.7.3 Influencia de la velocidad de corte

Experiencias realizadas con una determinada herramienta, trabajando el mismo material y sin modificar el avance y la profundidad de pasada, han demostrado que:

- Para bajas velocidades de corte el rendimiento es pequeño;
- Aumentando la velocidad, aumenta el rendimiento.

A partir de una velocidad de corte más elevada, el rendimiento de la herramienta disminuye notablemente, por el aumento de temperatura, que reblandece el filo.

1.7.3 Influencia del avance y de la profundidad de pasada.

Cuando se aumenta la sección de la viruta, debe disminuirse la velocidad de corte, para que la duración del afilado de la herramienta sea la misma. Sin embargo, tal reducción no es proporcional ni con el avance, ni con la profundidad de pasada. Así, por ejemplo, en las experiencias hechas por Taylor para la misma duración del afilado, aumentando el avance en el 50%, sólo es necesario reducir la velocidad de corte en un 20%, incluso con mayor producción de viruta.

Otro tanto sucede si se aumenta la profundidad de pasada en un 50%, con una disminución del 10% de la velocidad de corte. No obstante lo dicho, el avance viene determinado principalmente por:

- La fase del trabajo, desbaste o acabado, o el grado de acabado que se desee en una pieza o parte de ella;
- La robustez de la máquina;
- La robustez de la herramienta.

Así mismo, la profundidad de pasada depende, además, del grueso de material que debe eliminarse.

1.8 Elección de las condiciones de corte:

De lo dicho hasta aquí se deduce que, en cada trabajo que se realiza en una máquina del taller, se presenta un problema: determinar la velocidad de corte, el avance y la profundidad de pasada, para obtener el máximo rendimiento. Esto es debido a los muchos factores que influyen a la hora de tomar una decisión. Tales son, resumidos, los que se indican seguidamente:

A) Relativos a la herramienta

- El material.

- La forma y robustez.

B) Relativos a la pieza

- El material.
- La forma y sujeción.

C) Relativos a la máquina

- La potencia.
- La robustez.
- El estado de conservación (desajustes).

D) Relativos al trabajo de la herramienta

- La fase de mecanizado: desbaste o acabado.
- La continuidad del corte. Cuando la herramienta corta el material con interrupciones que provocan choques la velocidad de corte, avance y profundidad de pasada deben ser menores.

1.9 Velocidades y avance para corte para el torno.

Una velocidad muy baja en el torno ocasionará pérdidas de tiempo; una velocidad muy alta hará que la herramienta se desafile muy pronto y se perderá tiempo para volver a afilarla. Por ello, la velocidad y el avance correctos son importantes según el material de la pieza y el tipo de herramienta de corte que se utilice.

Velocidad de corte

La velocidad de corte para trabajo en un torno se puede definir como la velocidad con la cual un punto en la circunferencia de la pieza de trabajo pasa por la herramienta de corte en un minuto. La velocidad de corte se expresa en pies o en metros por minuto.

Por ejemplo, si el acero de máquina tiene una velocidad de corte de 100 pies (30 m) por minuto, se debe ajustar la velocidad del torno de modo que 100 pies (30 m) de la circunferencia de la pieza de trabajo pasen frente a la punta de la herramienta en un minuto. La velocidad de corte (VC) recomendada para diversos materiales aparece en la siguiente tabla. Estas velocidades de corte las han determinado los productores de metales y fabricantes de herramientas de corte como las más convenientes para la larga duración de la herramienta y el volumen de producción.

	Refrentado, torneado, rectificación					
	Desbastado		Acabado		Roscado	
Material	pies/min	m/min	Pies/min	m/min	pies/min	m/min
Acero de máquina	90	27	100	30	35	11
Acero de herramienta	70	21	90	27	30	9
Hierro fundido	60	18	80	24	25	8
Bronce	90	27	100	30	25	8
Aluminio	200	61	300	93	60	18

Tabla 1.2 Velocidad de corte en el torno⁶

Cálculo de la velocidad angular (r/min).

⁶ Velocidades de corte y avance, Sandvik Coromant, 2007, <http://www.aprendizaje.com.mx/Curso/Proceso2/Practicas/Torno-Desarrollo/Capi8.htm>

Para poder calcular las velocidades por minuto (r/min) a las cuales se debe ajustar el torno, hay que conocer el diámetro de la pieza y la velocidad de corte del material.

Aplique una de las siguientes ecuaciones para calcular la velocidad en r/min a la cual se debe graduar el torno.

Cálculo en milímetros.

Las rev/min del torno cuando se trabaja en milímetros se calculan como sigue:

$$r / \text{min} = \frac{VC(m) \times 1000}{\pi \times \text{diam pieza de trabajo}(mm)}$$

Dado que hay pocos tornos equipados con impulsiones de velocidad variable, se puede utilizar una ecuación simplificada para calcular las r/min. La (3.1416) de la línea inferior de la ecuación, al dividir al 1000 de la línea superior dará un resultado más o menos de 320. Esto da una ecuación (1) simplificada, bastante aproximada para la mayor parte de los tornos.

$$r / \text{min} = \frac{VC \times 320}{D}$$

Ejemplo:

Calcule las r/min requeridas para el torneado de acabado de una pieza de acero de máquina de 45mm de diámetro (la velocidad de corte del acero de máquina es de 30 m/min).

$$r / \text{min} = \frac{VC \times 320}{D (mm)} \rightarrow r / \text{min} = \frac{30 \times 320}{45}$$

$$r / \text{min} = \frac{9600}{45} \rightarrow r / \text{min} = 213.3$$

Avance del torno.

El avance de un torno se define como la distancia que avanza la herramienta de corte a lo largo de la pieza de trabajo por cada revolución del husillo. Por ejemplo, si el torno está graduado por un avance de 0.008 pulg (0.20mm), la herramienta de corte avanzará a lo largo de la pieza de trabajo 0.008 pulg (0.20mm) por cada vuelta completa de la pieza. El avance de un torno paralelo depende de la velocidad del tornillo o varilla de avance. Además, se controla con los engranes desplazables en la caja de engranes de cambio rápido.

AVANCES PARA DIVERSOS MATERIALES CON EL USO DE HERRAMIENTAS PARA ALTA VELOCIDAD				
	Desbastado		Acabado	
Material	Pulgadas	Milímetros	Pulgadas	Milímetros
Acero de máquina	0.010 - 0.020	0.25 - 0.50	0.003 - 0.010	0.07 - 0.25
Acero de herramientas	0.010 - 0.020	0.25 - 0.50	0.003 - 0.010	0.07 - 0.25
Hierro fundido	0.015 - 0.025	0.40 - 0.065	0.005 - 0.12	0.13 - 0.30
Bronce	0.015 - 0.025	0.40 - 0.65	0.003 - 0.010	0.07 - 0.25
Aluminio	0.015 - 0.030	0.40 - 0.75	0.005 - 0.010	0.13 - 0.25

Tabla 1.3 Avances para el torno⁷

Siempre que sea posible, sólo se deben hacer dos cortes para dar el diámetro requerido: un corte de desbastado y otro de acabado. Dado que la finalidad del corte de desbastado es remover el material con rapidez y el acabado de superficie no es muy importante, se puede usar un avance basto. El corte de acabado se utiliza para dar el diámetro final requerido y producir un buen

⁷ Velocidades de corte y avance, Sandvik Coromant, 2007, <http://www.aprendizaje.com.mx/Curso/Proceso2/Practicas/Torno-Desarrollo/Capi8.htm>

acabado de superficie; por lo tanto, se debe utilizar un avance fino. Para maquinado general, se recomiendan un avance de (0.25 a 0.38mm) para desbastar y de (0.076 a 0.127mm.) para acabado fino. En la tabla 1.3 se indican las velocidades recomendadas para cortar diversos materiales cuando se utiliza una herramienta de acero de alta velocidad.

Para ajustar el avance del torno.

1. Consulte la placa en la caja de engranes de cambio rápido par seleccionar la cantidad necesaria de avance. (Tabla 1.3).
2. Mueva la palanca dentro del agujero que está directamente debajo de la hilera en la cual se encuentra el avance seleccionado.
3. Siga hacia la izquierda la hilera en la cual se encuentra el avance seleccionado y ponga las palancas de cambio de avance en las letras indicadas en la palanca.

Esto se realiza en un torno convencional en nuestro caso las revoluciones y avances serán **controladas automáticamente con el sistema CNC.**

1.10 Cálculo del tiempo de maquinado.

A fin de calcular el tiempo requerido para maquinar cualquier pieza de trabajo se deben tener en cuenta factores tales como velocidad, avance y profundidad del corte. El tiempo requerido se puede calcular con facilidad con la ecuación (3) siguiente:

$$\text{Tiempo requerido} = \frac{\text{longitud del corte}}{\text{avance} \times r / \text{min}} \quad (3)$$

Ejemplo:

Calcule el tiempo requerido para hacer un corte de acabado con avance de 0.10mm., en una pieza de acero de máquina de 250mm de longitud por 30mm de diámetro.

$$r / \text{min} = \frac{VC \times 320}{D}$$

$$r / \text{min} = \frac{30 \times 320}{30}$$

$$r / \text{min} = 320$$

$$\text{tiempo de corte} = \frac{250}{0.10 \times 320}$$

$$\text{tiempo de corte} = 7.8 \text{ min.}$$

1.11 Movimientos principales en el torno

El torno es una de las máquinas herramientas mas utilizadas el cual nos permite obtener piezas de revolución, aunque también es posible obtener superficies planas mediante ciertas operaciones.

El movimiento principal en el torneado es de rotación y lo lleva la pieza, mientras que los movimientos de avance y penetración generalmente son rectilíneos y los lleva la herramienta pero en nuestro caso el control será simultáneo en los dos ejes de rotación.

El eje de rotación de la pieza se denomina como eje X, el eje paralelo a la bancada se denomina eje z, mientras que el y es de escasa utilización indicada en la figura 1.5.

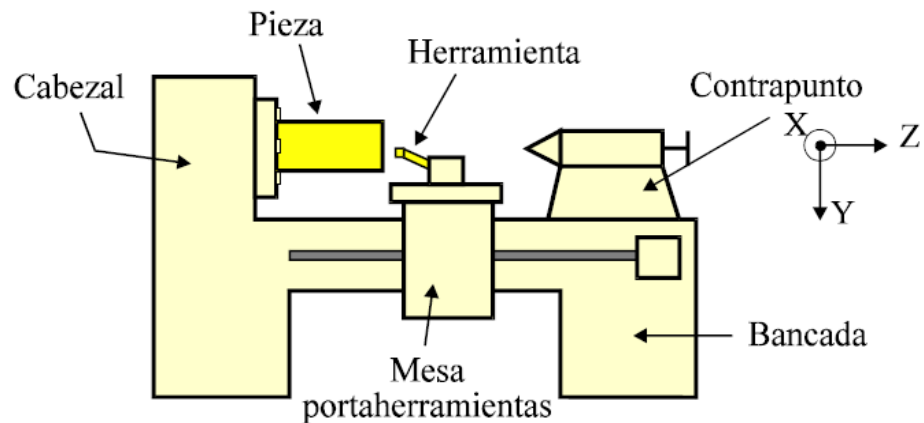


Figura 1.5 Mesa de posicionamiento en los ejes x, y, z.

1.11.1 Operaciones principales en el torneado

Las operaciones más frecuentes a realizadas en un torno se esquematizan en la figura 1.6

Cilindrado (a) permite una geometría cilíndrica tanto en exteriores como interiores.

Refrentado (b) permite la obtención de superficies planas perpendiculares al eje de rotación de la máquina.

Roscado (c) en esta operación nos permite la obtención de roscas tornillos en el caso de exterior y tuercas en el caso de interior.

Ranurado (d) permite la obtención de ranuras en revolución.

Tronzado (e) permite cortar o tronzar piezas perpendiculares al eje de rotación al eje.

Taladrado (e) permite la obtención de taladrados coaxiales con el eje de rotación de la pieza.

Moletado (f) permite el marcado de la superficie cilíndrica de la pieza a fin de facilitar la rotación manual de la misma.

De todas estas operaciones el cilindrado y refrentado son las más importantes y las que aparecen con mayor frecuencia y que más adelante serán detalladas para obtener la fuerza de corte.

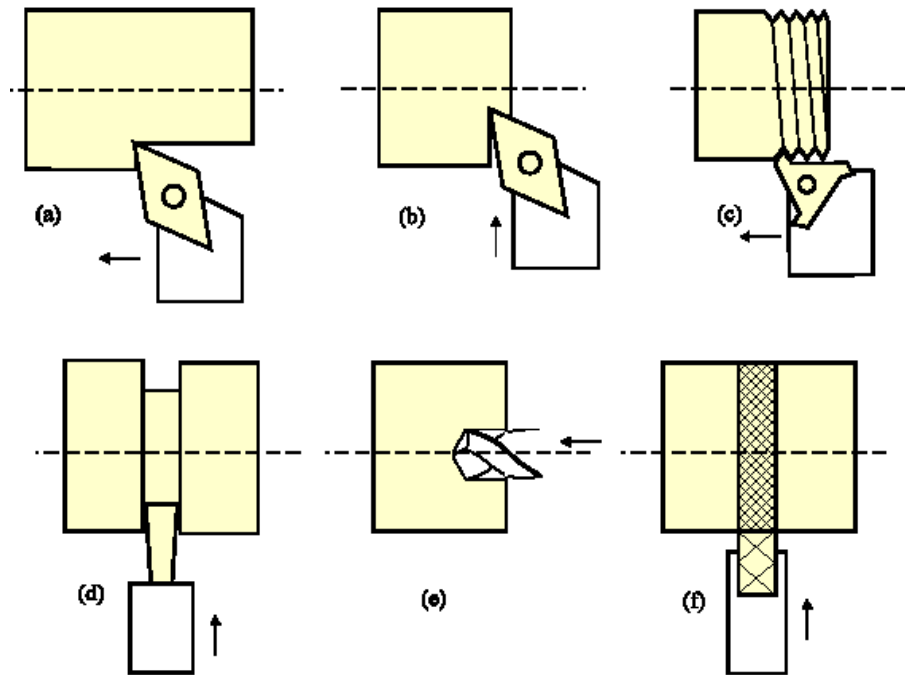


Figura 1.6 Operaciones de torneado

1.11.2 Cilindrado⁸

Tanto en variante de exteriores como en la de interiores, es la situación más frecuente la operación de cilindrado, es decir es la de modificar (reducir en exteriores e incrementar en interiores) el diámetro de una pieza, el movimiento de avance es paralelo al eje z.

En la figura 1.7 se representa una sección normal a la velocidad de corte (V) en una operación de cilindrado exterior, puede apreciarse el avance (f), la profundidad de pasada (a_p), el ancho de corte (b), el espesor de la viruta indeformada (a_c), la sección de viruta indeformada (A_c), el ángulo de posición

⁸ "Tecnologías de Fabricación. Sistemas Mecánicos - Transparencias", J. Fernández, UDLA, 2003, Pág. 28

(k_r), la velocidad de avance (v_f), la velocidad de rotación (N), el diámetro inicial (D_i) y el diámetro final (D_f).

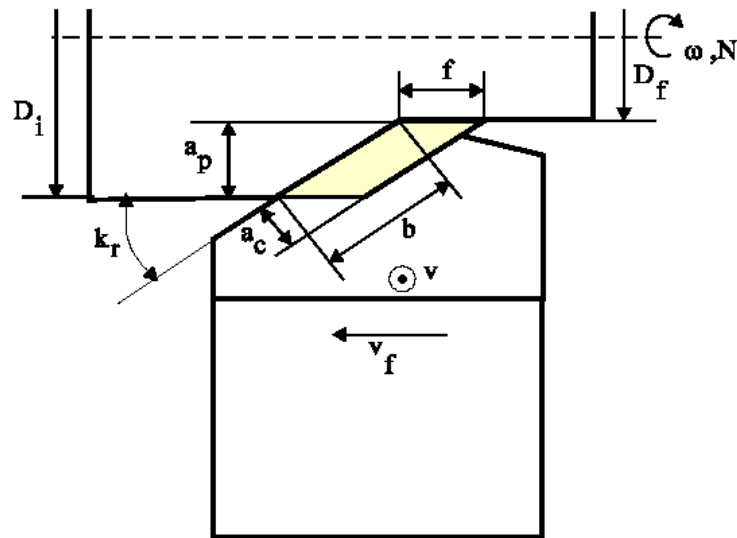


Figura 1.7 Operación de cilindrado exterior⁹

Algunas expresiones que relacionan estos parámetros son:

$$\text{Sección de viruta: } A_c = b \cdot a_c = f \cdot a_p \quad (4)$$

$$\text{Velocidad de corte: } v = \frac{\pi N D}{1000}$$

Donde N expresado rpm, D en mm, y v en m/min.

Obsérvese que la velocidad de corte es variable entre los valores de los diámetros inicial y final, por lo general, la diferencia entre estos dos diámetros suele ser pequeña en relación al valor de cualquiera de ambos, por lo que resulta práctica habitual considerar el diámetro inicial para calcular el valor de velocidad de corte que se admite constante durante la operación.

⁹ "Tecnologías de Fabricación. Sistemas Mecánicos - Transparencias", J. Fernández, UDLA, 2003, Pág. 29

$$\text{Velocidad de avance: } v_f = f \cdot N \quad (5)$$

Donde f expresado en mm/rev, N en rpm, V_f en mm/min.

$$\text{Fuerza de corte: } F_c = k_s \cdot A_c \quad (6)$$

Donde el esfuerzo específico del material k_s en (N/mm²), y la sección de corte en mm² y la F_c en N.

1.11.3 Refrentado¹⁰

La operación de refrentado permite la obtención de una superficie plana perpendicular al eje de rotación de la pieza. El movimiento del es por tanto transversal, es decir perpendicular al eje z y paralelo al eje x .

A diferencia del cilindrado, el refrentado en el supuesto de realizarse a velocidad de rotación constante, no presenta una velocidad de corte constante, siendo ésta mayor a medida que la herramienta se aleja de su eje de rotación.

Es por esta razón, en el refrentado tampoco es constante la potencia de corte, alcanzando el valor máximo de esta en el punto de contacto pieza-herramienta más alejada del eje de rotación.

En la figura 1.8 se esquematiza un proceso de refrentado, en el que esta representado el avance (f), la profundidad pasada (a_p), el ancho de corte (b), el espesor de viruta indeformada (a_c), la sección de viruta indeformada (A_c), el ángulo de posición (k_r), la velocidad de corte (v), la velocidad de avance (v_f), la velocidad de rotación (N), el diámetro interior (D_{int}) y el diámetro exterior (D_{ext}).

¹⁰ "Tecnologías de Fabricación. Sistemas Mecánicos - Transparencias", J. Fernández, UDLA, 2003, Pág. 30

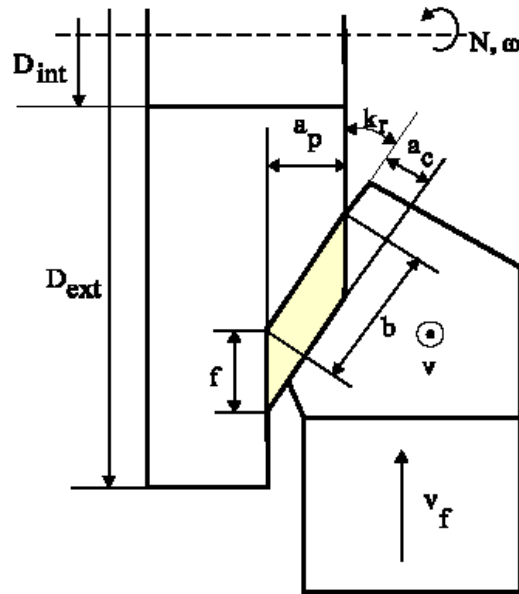


Figura 1.8 Esquema de una operación de refrentado¹¹

Las expresiones de estos parámetros son similares a las mencionadas anteriormente en el cilindrado.

1.11.4 Parámetros dependientes del torneado

Las fuerzas de corte sobre la herramienta dependen de los siguientes parámetros:

- A mayor avance mayores fuerzas.
- Un cambio en la velocidad de corte no afecta a la fuerza.
- A mayor profundidad de corte mayores fuerzas.
- La fuerza de corte aumenta con el tamaño de la viruta.
- Un fluido refrigerante reduce ligeramente las fuerzas pero aumenta considerablemente la vida de la herramienta.

¹¹ "Tecnologías de Fabricación. Sistemas Mecánicos - Transparencias", J. Fernández, UDLA, 2003, Pág. 30

- La fuerza de corte disminuye al aumentar el ángulo de ataque.
- Para la selección adecuada del motor, el diseño de la maquina y de la herramienta es necesario determinar las siguientes fuerzas representadas en la figura 1.9.

1.11.5 Parámetros para el diseño de tornos.¹²

Fuerza de corte la cual consume el 99% de potencia (F_c)

Fuerza longitudinal la cual consume el 40% de la fuerza de corte (F_l)

Fuerza radial la cual en nuestro caso es despreciable (F_r)

Potencia absorbida en el trabajo del torneado (W)

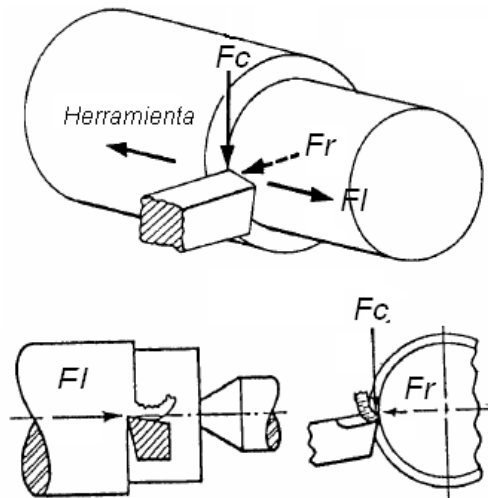


Figura 1.9 Fuerzas de corte en el torneado.

Según lo visto anteriormente la herramienta en el torno realiza un movimiento de penetración y un movimiento de avance, lo que hace que se arranque en el giro de la pieza una sección de viruta en mm^2 , y con este resultado se tiene la

¹² "Fundamentals of Manufacturing for Engineers", T. F. Waters, UCL Press, 2002, Pág 50.

fuerza necesaria para el corte que se analizo anteriormente, y con todos estos resultados podemos calcular la potencia a partir de la siguiente ecuación (7).

$$W = F_c * v \quad (7)$$

1.11.6 Propiedades del los materiales.

Límite de fluencia

El límite de fluencia es la zona máxima en la cual el modulo de young es constante. También es la zona límite a partir de la cual el material se deforma plásticamente ver figura 1.10. Indica la tensión que soporta una probeta del ensayo de tracción en el momento de producirse el fenómeno de la cedencia o fluencia. Este fenómeno tiene lugar en la zona de transición entre las deformaciones elásticas y plásticas y se caracteriza por un rápido incremento de la deformación sin aumento apreciable de la carga aplicada. Para nuestro diseño utilizaremos el límite de fluencia máx. Calculado por la formula (8).

$$\Theta_{\text{máx}} = S_y/n \quad (8)$$

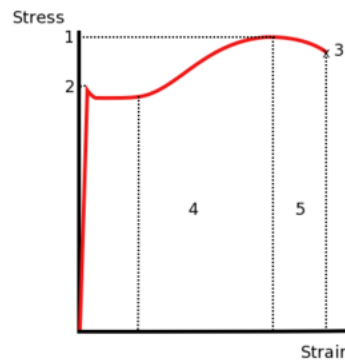


Figura 1.10 Límite de fluencia.

Se relaciona la nomenclatura AISI-SAE con los valores de resistencia, ductilidad y dureza Sirve para relacionar las propiedades mecánicas de los aceros. Ver tabla en el ANEXO CF.

1.13 Accesorios para tornos CNC y centros de torneado.¹³

En esta parte expondremos los accesorios que se pueden encontrar en un centro de torneado puesto que este trabajo es un prototipo que se puede construirlo en forma real.

1.12.1 Puerta automática

Esta opción abre la puerta de la máquina automáticamente a través del programa de CNC (figura 1.11). De este modo, el operario optimiza esfuerzos durante las operaciones de mecanizado de series de piezas, aumenta su productividad hasta un 25% y permite que no esté presente cuando se utiliza con un cargador de piezas robotizado.



Figura 1.11 Puerta Automática.

¹³ Tornos CNC Opciones y Accesorios, Hass Automation, 2007, http://www.haascnc.com/lang/LATHE/options_LATHE.asp?intLanguageCode=1034

1.12.2 Sistemas de extracción de virutas

Extractor de virutas basado en sin-fin: Muchos usuarios adquieren una máquina CNC para obtener un mayor beneficio basado en acortar el tiempo de fabricación de las piezas. No obstante, esas personas tendrán que emplear hasta una hora por turno en la recolección de viruta. Este sistema de extracción de virutas basado en un tornillo sin-fin recoge las virutas de la máquina a la vez que las comprime y extrae la taladrina como se ve en la figura 1.13. Para una mayor fiabilidad, este sistema inteligente detecta las cargas del par e invierte la marcha automáticamente si se atasca en algún punto.

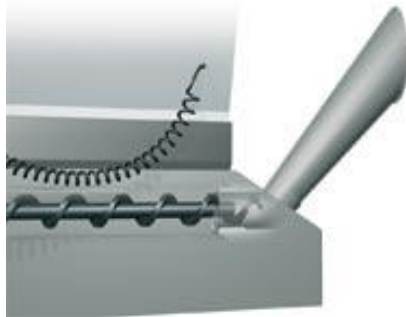


Figura 1.13 Sistema de extracción de virutas

1.12.3 Soplado de aire a presión automático

El soplado de aire activado por función M elimina las virutas y el refrigerante del plato y de la pieza al final de cada operación. Ver figura 1.12.

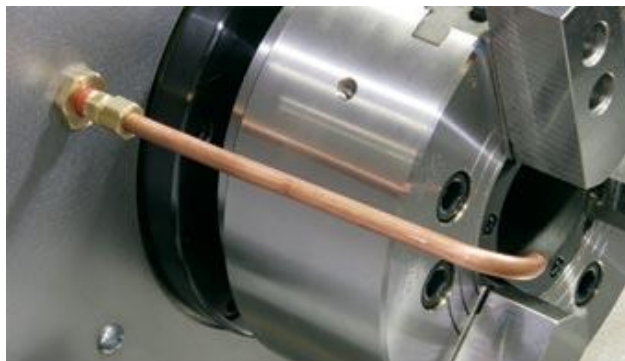


Figura 1.12 Soplado de aire a presión.

1.12.4 Movimiento del eje C

Se eliminan las operaciones secundarias e incrementa la productividad añadiendo la capacidad de fresar piezas en el centro de torneado. El eje C proporciona un movimiento de husillo bidireccional de alta precisión ($\pm 0,01$ grados) totalmente interpolado con el movimiento de X y/o Z ver figura 1.14. Está accionado por servomotor mediante un engranaje reductor que proporciona un par excepcional para un fresado preciso. La velocidad puede programarse entre 0,1 y 60 rpm y la transformación de coordenadas de cartesianas a polar permite la programación de operaciones de mecanizado frontal mediante las coordenadas tradicionales X y Y. La transformación de las coordenadas cartesianas a polares convierte los comandos de posición X y Y en movimientos del eje C rotatorio y el eje X lineal, lo que reduce en gran medida la programación necesaria para ejecutar movimientos complejos. En el sistema de coordenadas polares, el fresado de una línea recta en la superficie de la pieza requiere muchos puntos para definir el trazado; sin embargo, en el cartesiano sólo son necesarios los puntos finales



Figura 1.14 Eje C

1.12.5 Disco duro e interfaz Ethernet con soporte para USB

Esta opción ofrece una flexibilidad excepcional a la hora de transferir y almacenar programas. El disco duro de 20 GB proporciona una amplia capacidad de almacenamiento para programas y la conexión USB permite el uso de un disco Flash. La red Ethernet permite una rápida y sencilla

transmisión de datos entre la máquina y una red o un PC, y es posible acceder a los archivos desde varias máquinas. La transferencia de datos a alta velocidad permite un control numérico directo (DNC) de grandes archivos, llegándose hasta 1.000 bloques por segundo. La interfaz de Ethernet es compatible con Windows XP, ME, 2000 Pro y Server, NT 4.0, 98 y 95. Protocolo IPX/SPX o TCP/IP; fácil configuración desde la pantalla de control (figura 1.15).



Figura 1.15 Disco duro e interfaz Ethernet

1.12.6 Extractor de piezas

En aplicaciones con alimentación de barras, el extractor de piezas gira hasta la posición adecuada para recoger las piezas terminadas y colocarlas en un recipiente situado en la puerta frontal. No es necesario detener la máquina ni abrir la puerta para recoger las piezas (figura 1.16).

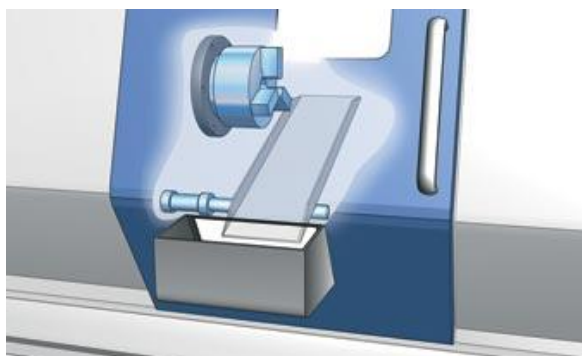


Figura 1.16 Extractor de piezas

1.12.7 Contrapunto hidráulico programable

El contrapunto hidráulico completamente programable puede activarse a través del programa de CNC o puede controlarlo el operario directamente mediante el conmutador estándar de pedal. El control de posición en lazo cerrado permite posicionar el contrapunto en cualquier lugar del recorrido (figura 1.17). Las bases de fundición gris con nervaduras proporcionan una alta rigidez y el diseño basado en dos piezas simplifica la realineación cuando ésta es necesaria (el contrapunto opcional está equipado con caña hidráulica automática y desplazamiento manual).



Figura 1.17 Contrapunto hidráulico programable

1.12.8 Volante de avance remoto

Permite ampliar el alcance del entorno de trabajo para simplificar la preparación de la pieza cuando se trabaja en centros de torneado grandes (figura 1.18). Puede utilizarse para mover todos los ejes, parar la velocidad de giro o los avances de corte y visualizar los programas bloque a bloque, además de otras utilidades.



Figura 1.18 Volante de avance remoto.

1.12.9 Dispositivo para luneta

La plataforma para luneta proporciona un mayor soporte para el torneado y taladrado de ejes largos en los tornos. Incorpora taladros de montaje estándar que la hacen compatible con la mayoría de lunetas hidráulicas automáticas existentes en el mercado. El torno proporciona la potencia hidráulica, y la luneta se activa mediante una función M (figura 1.19).

El dispositivo de soporte no incluye la luneta. Los diámetros máximo y mínimo de la pieza dependen del tamaño y el estilo de la luneta instalada en la plataforma. Los límites de recorrido máximos y mínimos se miden desde el extremo del husillo y no incluyen las dimensiones de los platos de garras ni otros porta piezas.



Figura 1.19 Dispositivo para luneta

1.12.10 Opciones de almacenamiento

En la figura 1.20 se ve una caja cubierta, la misma que permite almacenar los

portaherramientas, las herramientas de corte y los accesorios en la propia máquina, sin necesidad de hacerlo en un carro de herramientas adicional



Figura 1.20 Opciones de almacenamiento

1.12.11 Medidor de herramientas

El brazo medidor de herramientas bascula hacia abajo para un ajuste rápido de las herramientas (figura 1.21). Mediante un simple contacto de la punta de la herramienta con el palpador se modifican automáticamente los correctores de herramientas.



Figura 1.21 Medidor de herramientas

1.12.12 Medición de piezas

La opción de medición de piezas incorpora un palpador montado en la torreta, un receptor y diversas macros de medición. Esta opción puede emplearse para realizar una primera revisión rápida de las piezas, para informar del proceso y para realizar operaciones de mecanizado desatendido como se muestra en la figura 1.22. También puede utilizarse para actualizar los correctores de las piezas, garantizando así la máxima precisión



Figura 1.22 Medición de piezas

1.13 Husillos a bolas o Tornillos de bolas

Un tornillo de bolas (figura 1.23) es un actuador lineal que transmite una fuerza o movimiento con fricción mínima, la ranura tiene un ángulo de hélice que se ajusta con el ángulo de la hélice de la tuerca y de las bolas.



Figura 1.23 Husillo a bolas

Cuando el tornillo y la tuerca tienen movimientos relativos uno respecto del otro, las bolillas son apartadas de un extremo de la tuerca de bolas y son llevadas a través de la guías hasta el extremo opuesto de la tuerca, tal recirculación permite que la tuerca viaje sin restricciones con respecto al tornillo. Las pérdidas de fricción entonces son mínimas por dicho rodamiento. Esta característica es una de las ventajas más importantes que los tornillos de bolas tienen sobre los de rosca, es posible tener eficiencias de 90% o mayores en una gama muy amplia de ángulos de hélice.

Ventajas:

- Eficiencia alta (90% o mayor).
- Vida esperada predecible.
- Posicionamiento preciso y repetibilidad de posición.
- No hay tendencia de “pegarse-deslizarse” como en los otros tornillos.
- La expansión térmica debido a la fricción es despreciable.
- Facilidad de precargarse para eliminar huelgos sin aumento apreciable de rozamiento.
- Se pueden usar motores relativamente pequeños por tener bajo par de arranque.
- Movimiento suave y control en todo el recorrido.

Desventajas:

- Requiere de buena lubricación
- Debido a la alta eficiencia, su carga tiende a bajar por si misma en aplicaciones verticales, por tanto si se requiere de sistema autotrabado será necesario instalar un freno externo.
- La inclusión de basura o materias extrañas pueden reducir o terminar con la vida del tornillo.

- Debido a que la capacidad de transportar carga de un tornillo de bolas es mayor que en la de un tornillo de potencia de tamaño equivalente, este no es tan rígido como un tornillo de potencia común por lo que la deflexión y la velocidad crítica pueden ser factores muy importantes a tener en cuenta.
- Con lo revisado anteriormente se ha decidido utilizar un husillo de bolas en el movimiento longitudinal del eje “z” y así también reducir la fricción para lograr un par mínimo que debe mover el motor.

1.14 Transmisión flexible

La transmisión flexible se caracteriza por su forma especialmente sencilla, marcha silenciosa y una capacidad de absorber elásticamente los choques. Sus componentes tienen generalmente un precio reducido, que aproximadamente el 63% del de las transmisiones por engranajes cilíndricos, es por estas razones que se ha decidido utilizar este tipo de transmisión.

1.14.3 Poleas

Tres elementos distinguen esta forma de transmisión, muy utilizadas cuando se trata de velocidades elevadas las cuales son:

- Polea motriz
- Polea conducida (Mandrill)
- Correa trapezoidal

Existen tres tipos de transmisión que son:

- Transmisión sin reducción
- Elevadora de velocidad
- Reductor de velocidad

1.14.4 Correa trapezoidal

Tiene una amplia aplicación en la industria a partir de un accionamiento eléctrico. Esta correa admite una transmisión en distancias cortas entre centros.

La sección transversal de una correa trapezoidal se define por su ancho b y su alto h según la figura 1.24 esta correa tiene mayor capacidad tractiva debido a su forma de manera que la fuerza de tracción es mayor respecto al las planas.

De acuerdo a la relación b/h , las correas trapezoidales tienen una clasificación dentro de ellas:

Normales $b/h = 1.6$

Estrechas $b/h = 1.2$ estas tienen mayor capacidad tractiva por tener una mayor área de contacto aumentando la fuerza a transmitir.

Anchas $b/h = 2.5 - 3.5$ se emplea fundamentalmente en variadores de velocidad.



Figura 1.24 Sección transversal de una correa trapezoidal

1.15 Fijación de la pieza entre puntos

Las piezas a tornearse de forma alargada se colocan entre puntos del torno lo cual se llama punto, al que se aloja en el husillo y contrapunto al que se aloja en el manguito del cabezal móvil (figura 1.25). Esta formado con un cono Morse M para su fijación en la máquina, y por una punta que sostiene y centra la pieza que gira sobre un rodamiento de rodillos cilíndricos.

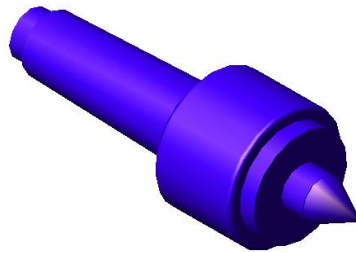


Figura 1.25 Fijación de piezas entre puntos

1.17 Actuadores (Motores)

Motores

Son equipos que transforman la energía eléctrica en energía mecánica; sirven para accionar diferentes máquinas, mecanismos y dispositivos que son usados en la industria, agricultura, comunicaciones, y en los artefactos electrodomésticos (figura 1.26). En los sistemas de control se usan servomotores y motores paso a paso.



Figura 1.26 Motor Trifásico

1.16.1 Servomotor¹⁴

Un servomotor es un motor eléctrico que tiene la capacidad de ser controlado, tanto en velocidad como en posición en la figura 1.27.



Figura 1.27 Servomotor

1.16.2 Generalidades

Un servomotor tiene integrado un detector que permita conocer su posicionamiento y/o velocidad. A los detectores de posición se les llama "encoders".

Una de las necesidades de un sistema impulsado por un motor de corriente continua es que su velocidad se pueda mantener constante, ya que en la mayoría de las aplicaciones de servomecanismos la velocidad de giro debe ser conocida y posible de ser controlada desde un circuito de comando.

Como esta característica no es propia de los motores de corriente continua, que cambian su velocidad según la carga mecánica que tienen aplicada, se necesita utilizar un sistema de medición cuya salida de señal, realimentada en el circuito de manejo de potencia, sea proporcional a la velocidad.

¹⁴ Servomotores, Ing. Marcelo Piovan, UTN-FRBB, 2006, http://robots-argentina.com.ar/MotorServo_basico.htm

Encoders:

Hay dos estilos del encoder básicos: absoluto e incremental.

Encoders absolutos (figura 1.28), se utilizan fundamentalmente para el cálculo de la posición angular, sin embargo en este caso lo que se va a medir no es el incremento de esa posición, sino la posición exacta. La disposición es parecida a la de los encoders incrementales.

También se dispone de una fuente de luz, de un disco graduado y de un fotorreceptor. La diferencia estriba en la graduación o codificación del disco. En este caso el disco se divide en un número fijo de sectores y se codifica cada uno con un código cíclico. No es necesaria ninguna mejora para detectar el sentido del giro, ya que la codificación de los distintos sectores angulares es absoluta.

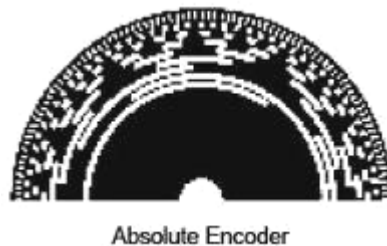


Figura 1.28 Encoder absoluto

Encoders incrementales (figura 1.29), se utilizan fundamentalmente para el cálculo de la posición angular. Básicamente constan de un disco transparente, el cual tiene una serie de marcas opacas colocadas radialmente y equidistantes entre sí; de un elemento emisor de luz (como un diodo LED); y de un elemento fotosensible que actúa como receptor. El eje cuya posición angular se va a medir va acoplado al disco.

Todos los encoders incrementales confían en un contador para determinar posición y un reloj estable para determinar la velocidad. La mayoría de los

encoders incrementales proporciona una sola marca en el disco llamado canal Z. El pulso de este canal proporciona una referencia una vez por la revolución detectando el error dentro de una revolución dada.

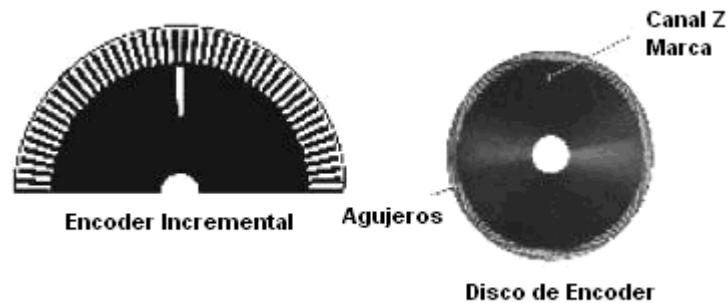


Figura 1.29 Encoder Incremental

Si un segundo modelo de banda y una segunda fuente de luz son añadidas a un encoder incremental, el resultado es un encoder de cuadratura, que es muy común en aplicaciones de mecanizado y posicionado. El canal B empieza en la mitad del ancho del pulso del canal A. eléctricamente las dos señales de salida se encuentran desfasadas 90° , (figura 1.30).

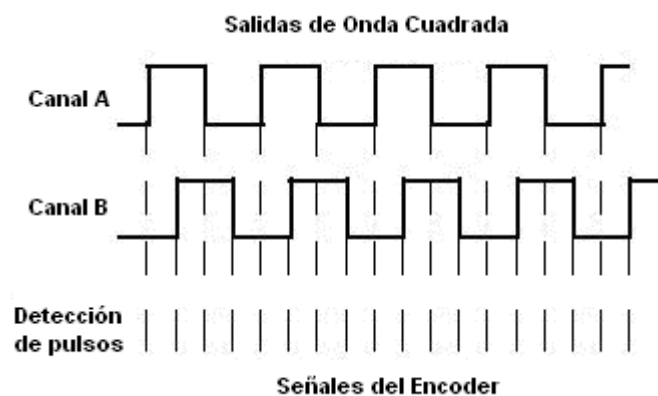


Figura 1.30 Señal del canal A y B

La resolución de estos sensores es fija y viene dada por el número de anillos que posea el disco, o lo que es lo mismo, el número de bits del código utilizado. Normalmente se usan códigos de 8 a 19 bits. Tanto los encoders absolutos

como los incrementales son dispositivos especialmente sensibles a golpes y vibraciones.

1.16.3 Servomotor de imán permanente

Este tipo de motor tiene unos imanes permanentes para tener una excitación constante en el campo. Tienen las mismas características que un motor de d.C. tipo shunt. La construcción más común de este tipo de motores tiene la forma de polos salientes como se aprecia en la figura 1.40.

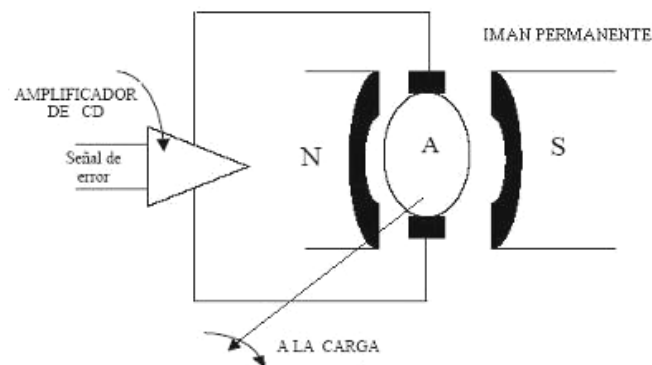


Figura 1.40 Servomotor de imán permanente.

Se fabrican generalmente para tensiones nominales de 6 y 38V. Los motores de imán permanente se compensan por medio de devanados de conmutación, para evitar la desmagnetización de los imanes de excitación cuando la tensión del inducido se invierte súbitamente.

Las corrientes parásitas y los efectos de histéresis son generalmente despreciables en este tipo de motores y las piezas polares son generalmente laminadas, para reducir las chispas en las escobillas cuando tiene lugar a un rápido cambio en la tensión de señal, se controlan por medio de la tensión del inducido, de la misma manera que los motores en derivación de inducido controlado.

1.16.4 Control de velocidad¹⁵

El control de velocidad de los servomotores se va a realizar de acuerdo a la técnica de PWM, *Pulse Width Modulation* (Modulación del Ancho del Pulso). La señal PWM (Modulador de Ancho de Pulso) (figura 1.41) es una onda cuadrada de periodo constante (T) y ancho de pulso variable (a). En una señal PWM se trabaja con relaciones de trabajo δ que representan el ancho de pulso con respecto al periodo. Lo que hace básicamente un PWM es variar dinámicamente el “ancho de pulso” de manera que el tiempo en alto disminuya o aumente y en proporción inversa, el tiempo de baja aumente o disminuya, pero eso sí manteniendo el T constante

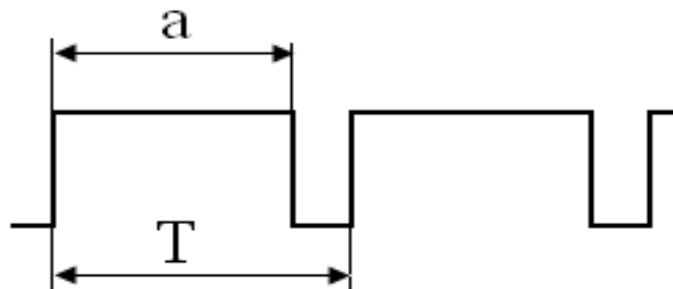


Figura 1.41 Señal de salida de PWM

Ancho de Pulso (a): El ancho de pulso está definido como el porcentaje o tiempo en alto de una señal cuadrada durante un determinado período, llamado ciclo de trabajo.

Período (T): El período se define como el intervalo de tiempo donde la señal PWM ocurre.

Frecuencia (f): Se define como el inverso del período ($1/T$).

La modulación de la anchura de pulsos es usada en diferentes aplicaciones, siendo las más comunes el control de servomotores y los sistemas de

¹⁵ PWM, Carlos Acosta, 2006, [http://www.eurobotics.org/modulación del ancho del pulso](http://www.eurobotics.org/modulación%20del%20ancho%20del%20pulso) I

comunicación. En el caso de control de servomotores el funcionamiento es el siguiente; la velocidad de rotación del motor será función de la anchura del pulso. Dado que la velocidad de rotación depende del valor medio de la tensión suministrada, cuanto más ancho sea el pulso mayor será el valor medio de la tensión aplicada al motor y por ende mayor velocidad de rotación. En caso de querer disminuir la velocidad de este, solo debemos de aplicar pulsos más estrechos los cuales nos darán como resultado un valor medio neto de tensión aplicada al motor menor que en el caso anterior.

1.16.5 Control de posición¹⁶

Existen muchos sistemas de control diseñados para el control de posición, para nuestro caso, la diferencia entre la posición real controlada y la deseada, produce un error el cual nos ayuda a corregir a la posición deseada hasta que el error sea cero.

Donde la variable de la posición real entregará el encoder, el cuál esta acoplado directamente al eje del servomotor, mientras que la variable deseada la enviará el software que controla el sistema (figura 1.42).

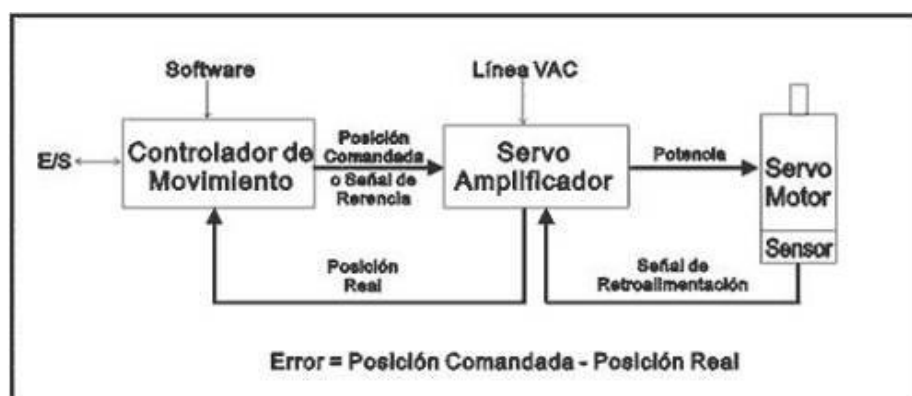


Figura 1.42 Control de posición.

¹⁶ Sistemas de Control, Mario Rossi, 2006, <http://www.rincondelvago.com/sistemasdecontrol.html>

La posición se va a controlar mediante el controlador de movimiento, para muchos "el cerebro del sistema" que se encarga de realizar el control de posición. El control de ésta variable lo realiza por medio de un algoritmo de control PID (proporcional-integral-derivativo), con algunos filtros adicionales, el cuál debe ser sintonizado para el tipo de aplicación particular, con el fin, de mantener en todo momento el error de posición lo más cercano a cero posible.

Con base en los requerimientos del programa de aplicación, el controlador corrige el error de posición en cada periodo de actualización, modificando la señal de comando enviada al servo amplificador, al reaccionar el servo motor a ese cambio, modificará la señal de retroalimentación o posición real, la cuál será recibida por el controlador y que servirá para calcular nuevamente el error en el siguiente periodo de actualización y corregirlo nuevamente.

1.18 Brushless motors.

Es un motor eléctrico sin escobillas que no emplea escobillas para realizar el cambio de polaridad en el rotor. Los motores eléctricos solían tener un colector de delgas o un par de anillos rozantes. Estos sistemas, que producen rozamiento, disminuyen el rendimiento, desprenden calor y ruido, requieren mucho mantenimiento y pueden producir partículas de carbón que manchan el motor de un polvo que, además, puede ser conductor.

Los primeros motores sin escobillas fueron los motores de alterna asíncronos. Hoy en día, gracias a la electrónica, se muestran muy ventajosos ya que son más baratos de fabricar, pesan menos y requieren menos mantenimiento, pero su control era mucho más complejo. Esta complejidad prácticamente se ha eliminado con los controles electrónicos (figura 1.43).

El inversor debe convertir la corriente alterna en corriente continua y otra vez en alterna de otra frecuencia. Otras veces se puede alimentar directamente con continua, eliminado el primer paso.

Por este motivo, estos motores de corriente alterna se pueden usar en aplicaciones de corriente continua, con un redimiendo mucho mayor que un motor de continua con escobillas. Algunas aplicaciones serían los coches y aviones con radio control, que funcionan con pilas.



Figura 1.43 Motor sin Escobillas.

1.19 Variadores de Frecuencia.¹⁷

El motor de corriente alterna, a pesar de ser un motor robusto, de poco mantenimiento, liviano e ideal para la mayoría de las aplicaciones industriales, tiene el inconveniente de ser un motor rígido en cuanto a su velocidad.

La velocidad del motor asincrónico depende de la forma constructiva del motor y de la frecuencia de alimentación. La velocidad de los motores asincrónicos es constante, salvo que se varíe el número de polos, el resbalamiento o la

¹⁷ Variadores de Frecuencia, Siemens, 2007, <http://www.siemens.es/index.jsp>

frecuencia. El método más eficiente de controlar la velocidad de un motor eléctrico es por medio de un variador de frecuencia (figura 1.44).

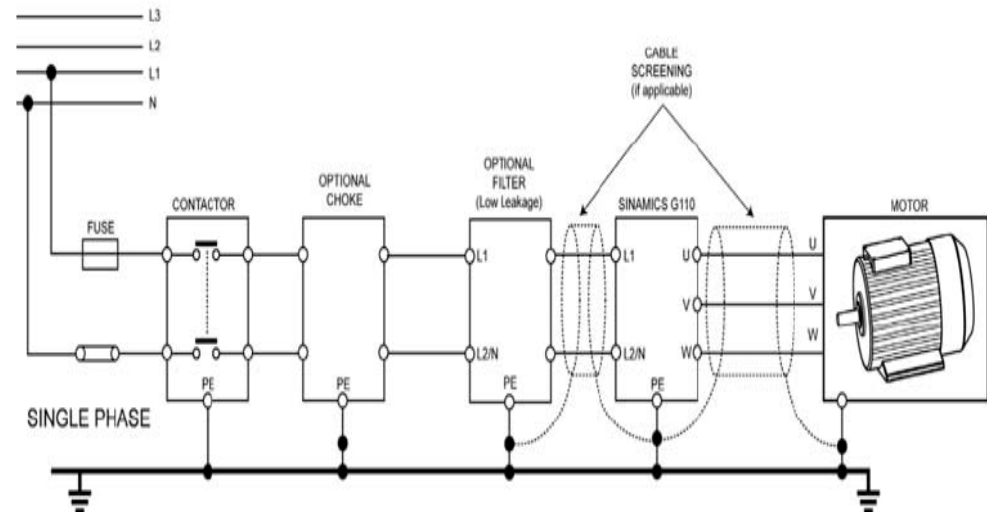


Figura 1.44 Variador de Frecuencia

El variador de frecuencia electrónico regula la frecuencia del voltaje aplicado al motor, logrando modificar su velocidad. Sin embargo, simultáneamente con el cambio de frecuencia, debe variarse el voltaje aplicado al motor para evitar la saturación del flujo magnético con una elevación de la corriente que dañaría el motor.

1.19.1 Componentes de un variador de frecuencia.

Los variadores de frecuencia están compuestos por:

- **Etapa Rectificadora.** Convierte la tensión alterna en continua mediante rectificadores de diodos, tiristores, etc.
- **Etapa intermedia.** Filtro para suavizar la tensión rectificada y reducir la emisión de armónicos.

- **Inversor o "Inverter"**. Convierte la tensión continua en otra de tensión y frecuencia variable mediante la generación de pulsos. Actualmente se emplean IGBT's (Isolated Gate Bipolar Transistors) para generar los pulsos controlados de tensión. Los equipos más modernos utilizan IGBT's inteligentes que incorporan un microprocesador con todas las protecciones por sobre corriente, sobre tensión, baja tensión, cortocircuitos, puesta a masa del motor, sobre temperaturas, etc.
- **Etapa de control**. Esta etapa controla los IGBT para generar los pulsos variables de tensión y frecuencia. Y además controla los parámetros externos en general, etc.

Los variadores mas utilizados utilizan modulación PWM (Modulación de Ancho de Pulsos) y usan en la etapa rectificadora puente de diodos rectificadores. En la etapa intermedia se usan condensadores y bobinas para disminuir las armónicas y mejorar el factor de potencia. Los fabricante que utilizan bobinas en la línea en lugar del circuito intermedio, pero tienen la desventaja de ocupar más espacio y disminuir la eficiencia del variador.

El Inversor o Inverter convierte la tensión continua de la etapa intermedia en una tensión de frecuencia y tensión variables. Los IGBT envían pulsos de duración variable y se obtiene una corriente casi senoidal en el motor.

La frecuencia portadora de los IGBT se encuentra entre 2 a 16kHz. Una portadora con alta frecuencia reduce el ruido acústico del motor pero disminuye el rendimiento del motor y la longitud permisible del cable hacia el motor. Por otra parte, los IGBT's generan mayor calor.

Las señales de control para arranque, parada y variación de velocidad (potenciómetro o señales externas de referencia) estén aisladas galvánicamente para evitar daños en sensores o controles y evitar ruidos en la etapa de control.

1.20 Herramientas y accesorios para tornos.

Para todo tipo de torneado incluido el CNC se cuenta con herramientas de medición para la comprobación de las piezas construidas así como herramientas necesarias para el ajuste de las piezas y la herramienta de corte.

Mandriles, mordazas, llaves T.

Para la sujeción de la pieza se utilizan los mandriles existen de 3 ó 4 mordazas con sus respectiva llave T para su ajuste, también se utiliza mandriles porta brocas para perforación de piezas. Ver figura 1.45.



Figura 1.45 Mandriles, mordazas, llaves T,

Herramientas para medición de piezas.

Se utilizan los calibradores pie de rey y/o micrómetros para verificar las medidas de las piezas fabricadas en la figura 1.46 se puede observar estas herramientas de medición.



Figura 1.46 Herramientas para medición de piezas

Llaves mixtas y allen.

Para nuestra aplicación utilizaremos llaves mixtas y hexagonales (allen), para el ajuste de la herramienta. Ver figura 1.47.



Figura 1.47 Llaves mixtas y allen

1.21 Normas de seguridad para tornos CNC.

Las normas de seguridad para el torneado CNC se detallan en el ANEXO C.B.

CAPITULO II

DISEÑO, SELECCIÓN Y CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA MECÁNICO

2.1 Diseño del prototipo de torno CNC.

Aunque existen diversos tipos de tornos que incorporan ciertas particularidades hemos decidido partir de un prototipo muy sencillo y básico donde se pueda aplicar las funciones y movimientos básicos del torno para lo cual partiremos del que se observa en la siguiente figura 2.1.

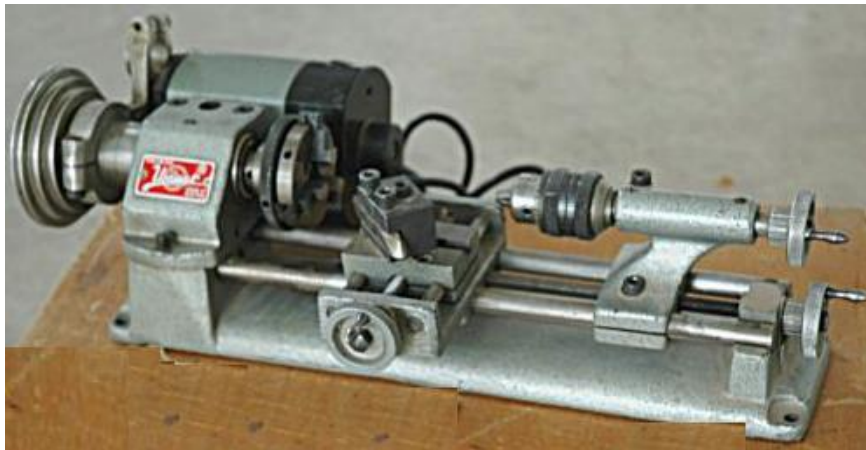


Figura 2.1 Torno didáctico

2.2 Parámetros del diseño mecánico.

Se empezará por diseñar la estructura para el recorrido longitudinal y transversal considerando el tamaño y la necesidad de desplazamiento en los

dos ejes x, z, como en nuestro caso es un prototipo didáctico se considera el siguiente recorrido.

- Recorrido longitudinal en $Z = 140 \text{ mm.}$
- Recorrido transversal en $X = 60 \text{ mm.}$
- Superficie útil del torno $Z*X = 140*60 = 8400 \text{ mm}^2$
- Diámetro máximo de maquinado $D = 45 \text{ mm.}$

El material que se maquinara en este prototipo serán materiales blandos que a continuación se muestran los valores de presión de corte específico en la tabla 2.1

MATERIAL	k_s daN/mm²
Cobre	78
Bronce	124
Latón	54
Plásticos	19

Tabla 2.1 Valores de presión de corte específico K_s ¹⁸

De aquí entonces encontraremos la fuerza de corte necesaria para realizar nuestro proyecto tomando en cuenta el párrafo 1.11.5 del capítulo 1, ecuación (6). Tomando en cuenta una sección de viruta de 0.5mm^2 , fuerza que utilizaremos para el diseño del sistema mecánico y del motor para el mandril en el ítem 2.3 de este capítulo.

$$F_c = A_c * K_s \text{ (N)}$$

$$F_c = 0.5\text{mm}^2 * 190\text{N/mm}^2 = 95\text{N}$$

¹⁸ Departamento de materiales y producción aeroespacial. Escuela Técnica Superior de Ingenieros, PDF, 2006, Pág. 49.

2.2.1 Selección de sistema mecánico para el movimiento transversal.

Cuando una carga normal se aplica a un sistema de guías, las cargas en cada una de estas son encontradas a esfuerzos los que determinaremos usando las ecuaciones (8) siguientes (figura 2.2). Estas ecuaciones también se aplican aun cuando la carga está actuando dentro del carruaje o plataforma, es importante considerar la orientación de la carga aplicada con respecto al sistema de guías. Esto significa que estas ecuaciones pueden usarse aun cuando la orientación de la carga no es horizontal, con tal que esta conserve relación con las guías.

2.2.2 Ecuaciones de Cálculo¹⁹

$$F_1 = \frac{L}{4} - \frac{L}{2} \left(\frac{d_3}{d_1} + \frac{d_4}{d_2} \right) \quad (8)$$

$$F_2 = \frac{L}{4} + \frac{L}{2} \left(\frac{d_3}{d_1} - \frac{d_4}{d_2} \right)$$

$$F_3 = \frac{L}{4} - \frac{L}{2} \left(\frac{d_3}{d_1} - \frac{d_4}{d_2} \right)$$

$$F_4 = \frac{L}{4} + \frac{L}{2} \left(\frac{d_3}{d_1} + \frac{d_4}{d_2} \right)$$

¹⁹ Mechanics of materials, Prentice Hall, Hibbeler R. C. 2005, sixth edition, Pág. 102.

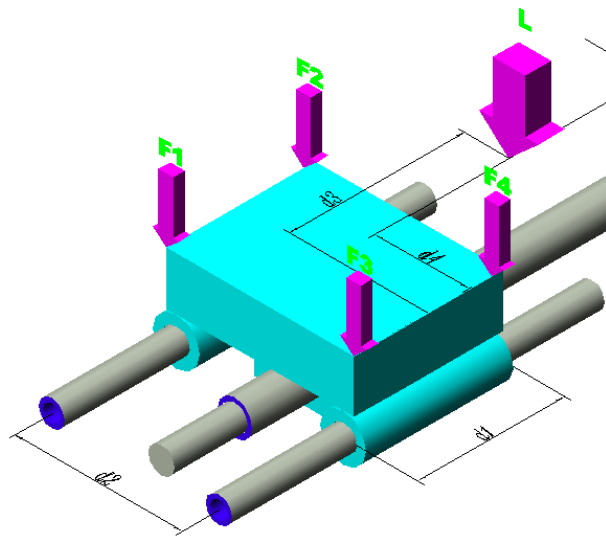


Figura 2.2 Traslación horizontal con carga normal (Ecuaciones de cálculo)

Para nuestro caso tenemos que:

L = Fuerza ejercida por la carga, dada por el peso de la estructura del portaherramientas y la fuerza de corte F_c .

W = Peso de la estructura del eje transversal coordenada "x", y el peso del portaherramientas es de 1.45 Kg.

Donde: $L = W * g = 1.45 \text{ Kg} * 9.8 \frac{m}{seg^2} = 14.21 \text{ N}$

$$F_c = 95 \text{ N}$$

$$L_{\text{total}} = 14.21 + 95 = 109.21 \text{ N}$$

Entonces utilizando las ecuaciones (8) :

$$F_1 = \frac{109.21 \text{ N}}{4} - \frac{109.21 \text{ N}}{2} \left(\frac{30 \text{ mm}}{50 \text{ mm}} + \frac{21 \text{ mm}}{57 \text{ mm}} \right) = -25.57 \text{ N}$$

$$F_2 = \frac{109.21N}{4} + \frac{109.21N}{2} \left(\frac{30mm}{50mm} - \frac{21mm}{57mm} \right) = 39.94N$$

$$F_3 = \frac{109.21N}{4} - \frac{109.21N}{2} \left(\frac{30mm}{50mm} - \frac{21mm}{57mm} \right) = 14.65N$$

$$F_4 = \frac{109.21N}{4} + \frac{109.21N}{2} \left(\frac{30mm}{50mm} + \frac{21mm}{57mm} \right) = 80.18N$$

2.2.3 Flechas o ejes guías, estructura transversal eje “X”

Tomando en cuenta que dicha estructura tiene dos ejes guías de iguales características, se considera que las fuerzas mayores son F_3 y F_4 para realizar el análisis de esfuerzos. Entonces se escogerá para el diseño los ejes guías, el momento flector máximo de la estructura (Figura 2.3) correspondiente a la estructura horizontal de coordenada “x”.

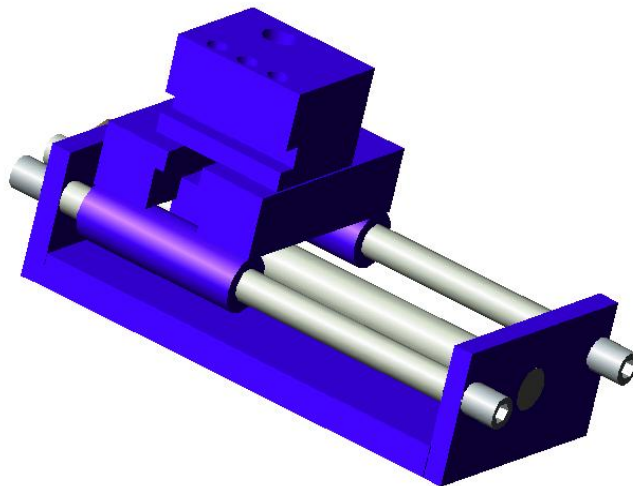


Figura 2.3 Estructura transversal de desplazamiento en la coordenada “x”

Si se considera un factor de seguridad $n = 2$ y una resistencia a la fluencia en el acero $S_y = 40 \text{ KPSI}$ (276 N/mm^2). Tomado para nuestro diseño con el cual luego realizaremos la selección de estas guías. Esta característica se reviso en el párrafo 1.11.6 del capítulo 1.

El esfuerzo normal máximo encontrado con la ecuación (8) que soporta el material será:

$$\sigma_{\max} = \frac{S_y}{n} = \frac{276}{2} = 138 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

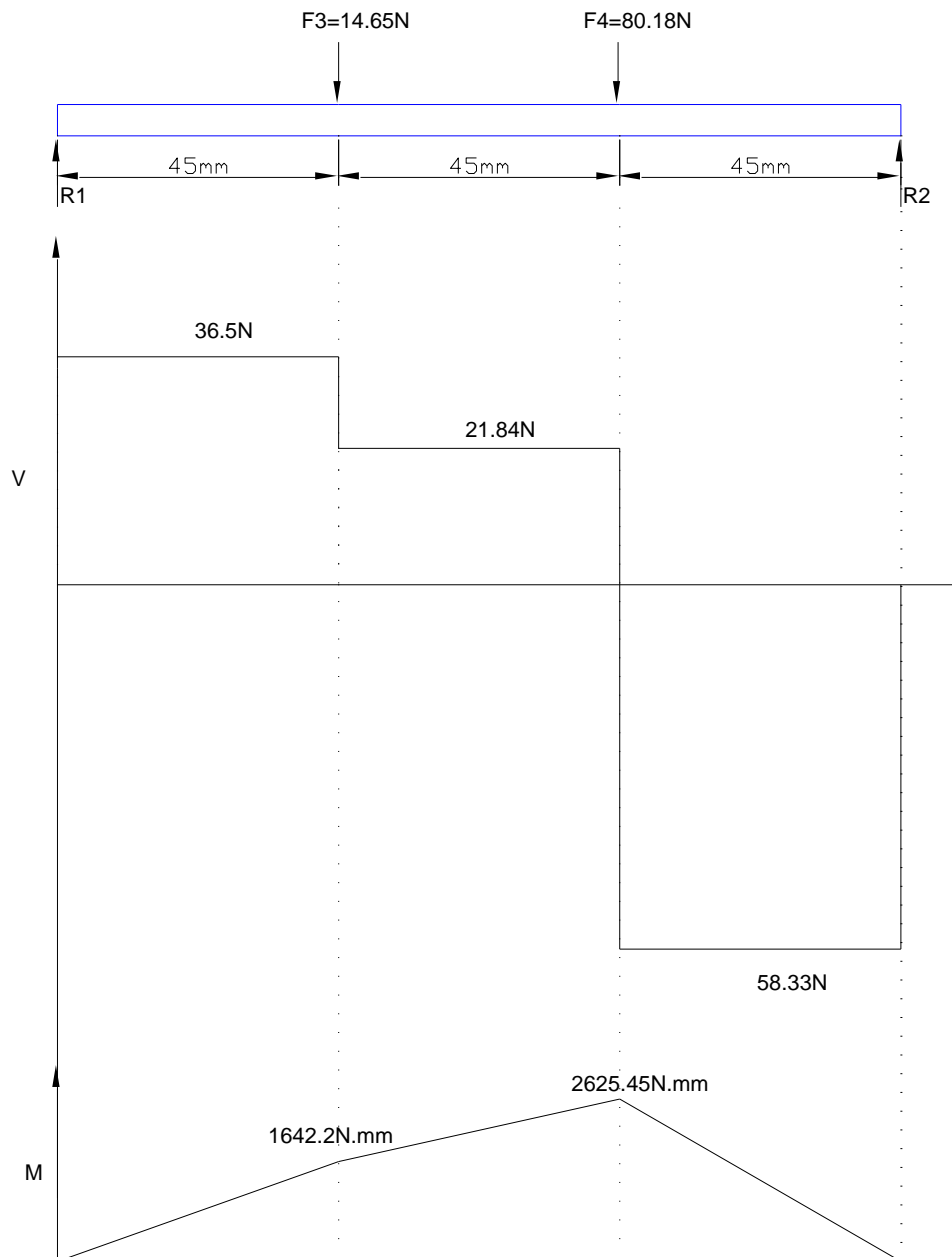


Figura 2.4 Diagrama del cuerpo libre, de fuerzas y momentos para los ejes guías del eje transversal de la coordenada "X"

Con el análisis de fuerzas y el diagrama de momentos realizado de la figura 2.4 tenemos que $M = 2625.45 \text{ N}\cdot\text{mm}$, por tanto el módulo de resistencia esta dado por:

$$S = \frac{M}{\sigma_{\max}} = \frac{2625.45}{138} = 19.025 \text{ mm}^3$$

El diámetro del eje o flecha deberá ser:

$$d = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot S}{\pi}} = \sqrt[3]{\frac{32(19.025)}{3.14}} = 5.8 \text{ mm}$$

De esta forma se ha seleccionado los ejes guías de la coordenada “x”, de un diámetro de 9 mm, el material de estas guías cilíndricas será acero plata (K-510 de Aceros Bohler), el cual se puede obtener fácilmente en nuestro país por su amplia comercialización, los dos ejes guías estarán soportados por dos pletinas en los extremos y sujetos por pernos allen M5.

2.2.4 Mecánica del tornillo de fuerza o potencia del carro transversal (eje “x”)

En el diseño del tornillo de transmisión de movimiento, se debe considerar la fuerza necesaria para mover la estructura que se desplazara portando el portaherramientas, y la fuerza de corte.

$F_a = 14.21 \text{ N}$ = Fuerza que ejerce el peso del portaherramientas.

$F_c = 95 \text{ N}$ = Fuerza de corte

La fuerza total será:

$$F_T = F_a + F_c = 14.21 + 95 = 109.21 \text{ N}$$

Si consideramos un esfuerzo permisible en el acero $\sigma = 1000 \text{ PSI}$ (6.89 N/mm^2), y la fuerza aplicada $F_T = 109.21 \text{ N}$, tenemos que la sección transversal necesaria para el tornillo deberá ser:

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad \therefore \quad A = \frac{F}{\sigma} = \frac{109.21}{6.89} = 15.85 \text{ mm}^2$$

$$A = \pi r^2$$

$$\Phi = 4.49 \text{ mm}$$

Con un factor de seguridad de 2 tenemos:

$$\Phi = 8.98 \text{ mm}$$

Con esta sección transversal, nos corresponde seleccionar un tornillo trapezoidal de diámetro 9mm, cuya área de tensión por esfuerzo a la tracción es 46.0 mm^2 , pero por la facilidad del mecanizado, construcción y tipo material que se va utilizar en este tornillo es acero plata, cuyo diámetro existente en el mercado nacional es de 12mm que corresponde a un área de tensión por esfuerzo a la tracción de 84.3 mm^2 , de manera se justifica lo que es las dimensiones del tornillo TPN 12x2 H4/h4-L, con una clase de tolerancia H4/h4 para el acoplamiento (tornillo-tuerca), donde la longitud de la tuerca es de 15 mm, que fue elegido según la norma INEN 514-516, donde se asegura la precisión en el desplazamiento reduciendo notablemente el juego.

El torque requerido para hacer girar el tornillo esta dado por la ecuación (9):

$$T = \frac{F \cdot d_m}{2} \left[\frac{p + \pi \cdot \mu \cdot d_m}{\pi \cdot d_m - \mu \cdot p} \right] \quad (9)$$

Donde:

T = Torque

F = Fuerza necesaria

d_m = diámetro medio del tornillo (11mm)

p = paso (2mm)

μ = coeficiente de fricción (0.15)

Que es el torque que se necesita para la fricción entre el tornillo y la tuerca, a más del torque que se requiere para mover la carga.

$$T = \frac{109.21N \cdot 11mm}{2} \left[\frac{2mm + \pi \cdot 0.15 \cdot 11mm}{\pi \cdot 11mm - 0.15 \cdot 2mm} \right] = 122.5 \text{ N.mm}$$

La potencia necesaria para impulsar el tornillo esta dada por la ecuación (10):

$$P = 2\pi \cdot f \cdot T \quad (10)$$

Donde: P = Potencia transmitida (W = N.m/seg)

f = frecuencia (rps ó rev/seg) para este caso es 300 rpm = 5 rps

$$P = 2\pi(5) (0.1225) = 3.85 \text{ W}$$

Con este a valor obtenemos la potencia que necesitaremos para mover el carro transversal.

2.2.5 Selección de sistema mecánico para el movimiento longitudinal.

Al igual que el diseño mecánico para el movimiento transversal aplicaremos las mismas ecuaciones de cálculo (8) para el diseño mecánico del movimiento longitudinal de la coordenada “z”

Para nuestro caso tenemos que:

L = Fuerza ejercida por la carga, dada por el peso de la estructura total de la coordenada “x”, y la fuerza de corte Fc.

W = Peso de la estructura horizontal coordenada “x”, el servo motor montado sobre la plataforma del carro transversal y la estructura de apoyo es de 6.2 Kg.

$$\text{Donde: } L = W * g = 6.2Kg * 9.8 \frac{m}{seg^2} = 60.76N$$

$$F_c = 95 N$$

$$L_{total} = 60.76 + 95 = 155.76N$$

Entonces:

$$F_1 = \frac{155.76N}{4} - \frac{155.76N}{2} \left(\frac{70.5mm}{49mm} + \frac{120mm}{70.5mm} \right) = -205.67N$$

$$F_2 = \frac{155.76N}{4} + \frac{155.76N}{2} \left(\frac{70.5mm}{49mm} - \frac{120mm}{70.5mm} \right) = 18.4N$$

$$F_3 = \frac{155.76N}{4} - \frac{155.76N}{2} \left(\frac{70.5mm}{49mm} - \frac{120mm}{70.5mm} \right) = 59.45N$$

$$F_4 = \frac{155.76 N}{4} + \frac{155.76 N}{2} \left(\frac{70.5 mm}{49 mm} + \frac{120 mm}{70.5 mm} \right) = 283.55 N$$

2.2.6 Flechas o ejes guías, de la estructura longitudinal eje "z"

De igual forma que en el caso anterior tomando en cuenta que dicha estructura tiene dos ejes guías de iguales características, se considerará las fuerzas mayores F_3 y F_4 para realizar el análisis de esfuerzos. Entonces se escogerá para el diseño los ejes guías, el momento flector máximo de la estructura (Figura 2.5) correspondiente a la estructura longitudinal de coordenada "z".

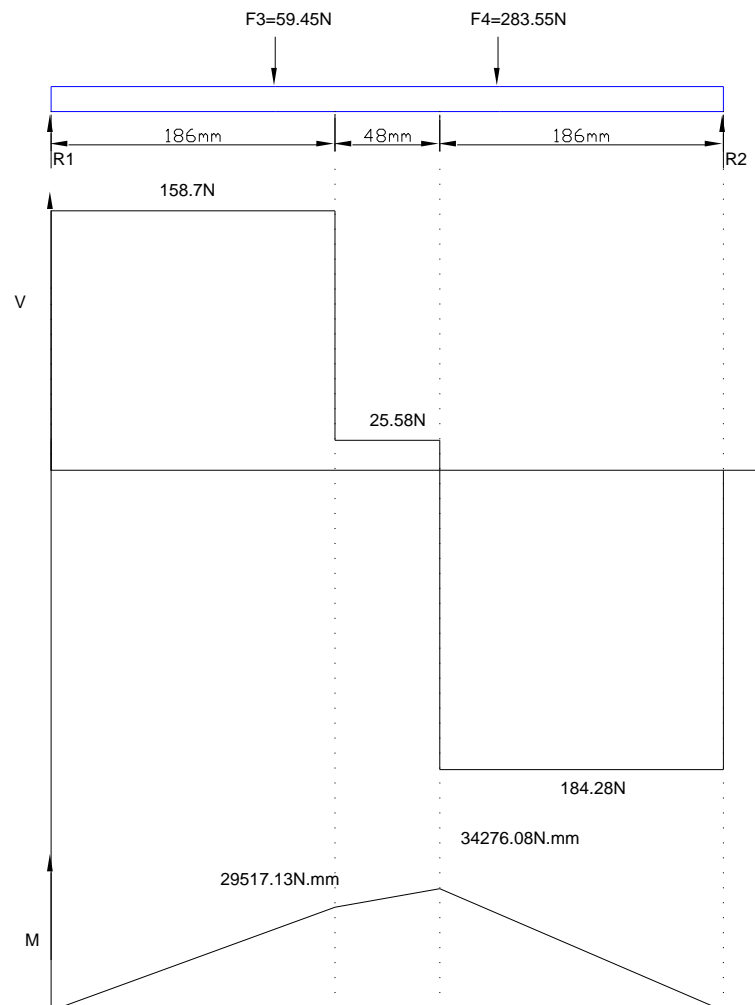


Figura 2.5 Diagrama del cuerpo libre, de fuerzas y de momentos para los ejes guías de la estructura horizontal de la coordenada "z"

Si se considera un factor de seguridad $n = 2$ y una resistencia a la fluencia en el acero $S_y = 40 \text{ KPSI}$ (276 N/mm^2). Tomado del párrafo 1.11.6 del capítulo 1 para nuestro diseño con el cual luego realizaremos la selección de estas guías.

El esfuerzo normal máximo ecuación (8) que soporta el material será:

$$\sigma_{\max} = \frac{S_y}{n} = \frac{276}{2} = 138 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Con el análisis de fuerzas y el diagrama de momentos realizado de la figura 2.5 tenemos que $M = 34276.08 \text{ N.mm}$, por tanto el módulo de resistencia está dado por:

$$S = \frac{M}{\sigma_{\max}} = \frac{34276.08}{138} = 248.37 \text{ mm}^3$$

El diámetro del eje o flecha deberá ser:

$$d = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot S}{\pi}} = \sqrt[3]{\frac{32(248.37)}{3.14}} = 13.6 \text{ mm}$$

Pero en el mercado no existe tal diámetro, por lo que se escoge un diámetro de 19mm, el material de estas guías cilíndricas será acero plata (K-510 de Aceros Bohler), el cual es de gran comercialización en nuestro país.

Igualmente dicha estructura tiene dos ejes guías, para realizar el movimiento longitudinal de la coordenada “z” estos estarán soportados en perfiles. (figura 2.6).

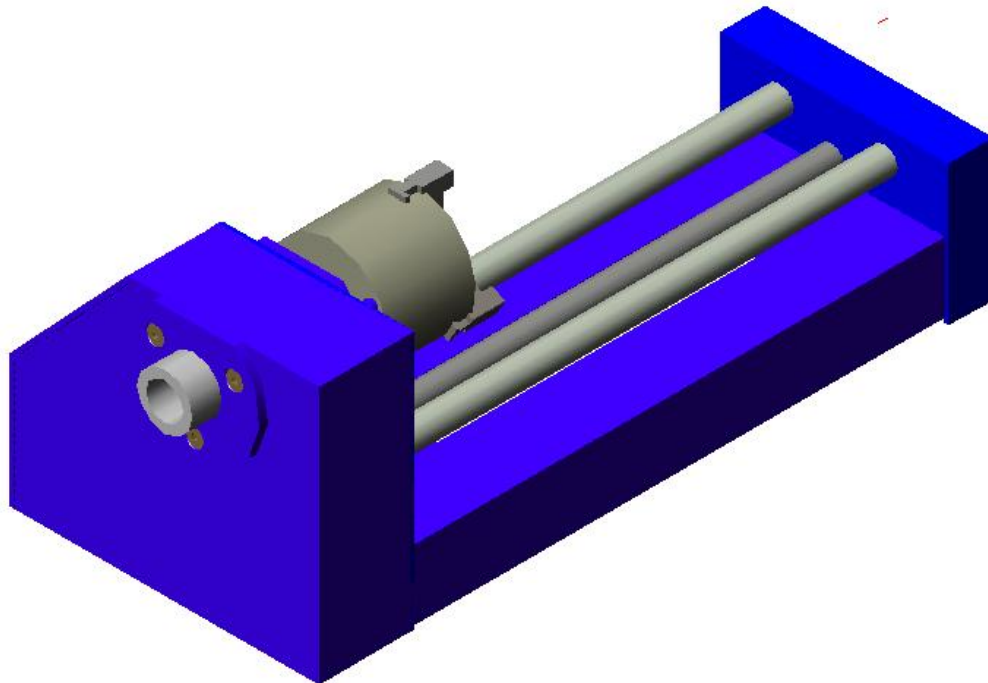


Figura 2.6 Estructura transversal de desplazamiento en la coordenada “z”

2.3 Selección del motor para el mandril.²⁰

2.3.1 Fuerza de corte.

Para determinar la fuerza de corte se utilizará el análisis realizado para la operación del cilindrado del párrafo 1.11.2 del capítulo 1, ecuación (6) donde es necesario determinar la sección de viruta A_c en (mm^2) y tomar en cuenta el esfuerzo específico del material representado en tablas K_s en (N/mm^2).

$$F_c = A_c * K_s \text{ (N)} \quad (6)$$

²⁰ Departamento de materiales y producción aeroespacial. Escuela Técnica Superior de Ingenieros, PDF, 2006, Pág. 50

La sección de viruta representa la cantidad de material que se va a desbasta del material a trabajar.

$$A_c = b \cdot a_c = f \cdot a_p$$

$$A_c = 1 \cdot 0.5 = 0.5 \text{ (mm}^2\text{)}$$

$$F_c = A_c \cdot K_s \text{ (N)}$$

$$F_c = 0.5 \text{mm}^2 \cdot 190 \text{N/mm}^2 = 95 \text{N}$$

La velocidad de corte como ya se ha mencionado depende del tipo de material a tornear y de la herramienta de corte donde ya se realizó el análisis previo del diámetro máximo de 45mm. a mecanizar en los parámetros de diseño en el párrafo 2.2 de este capítulo:

$$v = \frac{\pi ND}{1000}$$

$$v = \frac{\pi 1750 \text{rpm} \cdot 45 \text{mm}}{1000} = 247.4 \text{m / min}$$

2.3.2 Potencia absorbida en el trabajo del torneado

Según lo visto anteriormente la herramienta en el torno realiza un movimiento de penetración y un movimiento de avance, lo que hace que se arranque en el giro de la pieza una sección de viruta en mm^2 , y con este resultado se tiene la fuerza necesaria para el corte donde ya se obtuvo anteriormente, y con todos estos resultados podemos calcular la potencia (W) a partir de la siguiente expresión ecuación (7).

$$W = F_c \cdot v \tag{7}$$

Donde F_c fuerza de corte en newton (N), v en m/seg. y por lo tanto W resultaría en vatios.

$$W = 95N \cdot 4.1m/seg. = 391.7 W$$

Si consideramos el rendimiento (η), de un motor al 80% la potencia (P_m), necesaria en el cabezal deberá ser:

$$P_m = \frac{W}{\eta} \quad (W)$$

$$P_m = \frac{391.7}{0.8} = 489.6(W)$$

Además si consideraremos un factor de seguridad de 1.2 en el mecanizado se obtiene:

$$P_m = 489.6 \cdot 1.2 = 587.5W$$

La potencia del motor que demanda una operación de torneado depende la velocidad de corte y la resistencia del material como en nuestro caso el material a maquinar es plástico blando se ha decidido adquirir un motor trifásico de 3/4 Hp, 1750rpm, 60Hz el cual será controlado por medio de un variador de frecuencia. Más detalles en el ANEXO A y ANEXO B, respectivamente.

2.4 Cálculo del torque, estructuras horizontales (eje "Z", "X")²¹

Los husillos de las estructuras longitudinal Z, X solo difieren en su longitud, para lo cual realizaremos el análisis únicamente en la eje z, ya que es el que

²¹ Diseño de Máquinas. NORTON, Robert.
Diseño en Ingeniería Mecánica, SHIGLEY, Joseph.

mayor carga en tiene en el avance y también soporta todo el peso del eje transversal, tomado en cuenta esto y el consumo de la fuerza de corte se determinara las características de los servomotores.

El sistema de transmisión del movimiento es de manera similar al de la figura 2.7 en el cual el movimiento de la carga es horizontal.

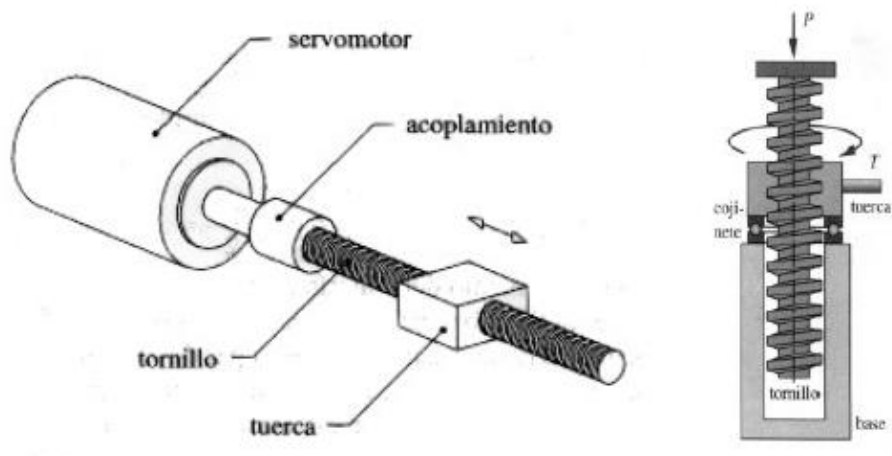


Figura 2.7 Transmisión de movimiento horizontal

El torque requerido por el motor para mover el sistema depende de los siguientes factores:

- Inercia dada por el peso de la plataforma o la carga en sí.
- Inercia creada por el husillo a bolas
- Inercia del rotor del motor que acciona el sistema
- Fuerza requerida para vencer la fricción

Por lo tanto la inercia por el peso (I_p) de la plataforma esta dada por la ecuación (11):

$$I_p = \left(\frac{W}{p^2} \right) \left(\frac{1}{2\pi} \right)^2 \quad (11)$$

Donde: W = Peso de la plataforma en libras (12.4lb)

p = Paso del tornillo en hilos por pulgada (5.08 hilos/pulgada)

Por tanto de la ecuación (11):

$$I_p = \left(\frac{12.4}{5.08^2} \right) * 0.025 = 0.0120 \text{lb.in}^2$$

La inercia dada por el tornillo (I_T), se calcula mediante la siguiente ecuación (12):

$$I_T = \frac{D^4 L}{36} \quad (12)$$

Donde: D = Diámetro del tornillo en pulgadas (16mm = 0.63in)

L = Longitud roscada del tornillo en pulgadas (400mm = 15.74in)

Por tanto de la ecuación (12):

$$I_T = 0.63^4 (15.74) (0.028) = 0.07 \text{lb.in}^2$$

La inercia de rotor del servomotor (I_M), se asume en base a las características técnicas de un motor de la marca Minertia Motor.

$$I_M = 0.3 \text{lb.in}^2$$

La inercia total (I_{eq}) esta dada por la sumatoria:

$$I_{eq} = I_p + I_T + I_M$$

Por tanto:

$$I_{eq} = 0.0120 + 0.07 + 0.3 = 0.382 \text{lb.in}^2$$

El torque requerido por la inercia total (T_A) esta dado por la ecuación (13):

$$T_A = 2 * I_{eq} * \frac{\omega}{t} * \frac{\pi \theta}{180} * \frac{1}{24} \quad (13)$$

Donde: ω = Pasos por segundo (sps) y esta dado por:

$$\text{sps} = \frac{V_{Lmax} * \text{spr} * p}{60}$$

V_{Lmax} = Velocidad lineal máxima de la plataforma (10900 mm/min ó 429.6 in/min) Que asumimos para este diseño, tomando como referencia características técnicas de maquinas para torneado.

spr = Pasos por revolución (Ciclos por revolución del encoder).

p = Paso del husillo en hilos por pulgada (5.08mm)

$$\text{sps} = \frac{429.6 * 240 * 5.08}{60} = 8730$$

θ = Angulo de desplazamiento del motor por cada pulso (pasos incrementales del motor = 1.5°)

t = Tiempo de aceleración = 0.12seg

Por tanto:

$$T_A = 2 * 0.382 * \frac{8730}{0.12} * \frac{\pi * 1.5}{180} * \frac{1}{24} = 60.62 \text{oz.in}$$

El torque requerido para vencer la fuerza de fricción (T_B) esta dado por la ecuación (14):

$$T_B = \frac{16 * F_f}{2\pi * p * \text{eff}}$$

Donde:

F_f = Fuerza de fricción requerida para mover la plataforma (6 oz = 0.375lb)

p = Paso del husillo en hilos por pulgada (5.08mm)

eff = Eficiencia del tornillo de transmisión (Husillo a bolas eff = 90 %)

Por tanto:

$$T_B = \frac{16 * 0.375}{2\pi * 5.08 * 0.9} = 0.21 \text{oz.in}$$

El torque requerido para mover la estructura y el husillo a bolas esta dado por la sumatoria de los dos torques calculados anteriormente:

$$T = T_A + T_B$$

Por tanto: $T = 60.62 + 0.21 = 60.21 \text{oz.in} = 0.41 \text{N.m}$

Con este torque obtenido podremos seleccionar los motores para mover los carros y la selección de los husillos.

2.5 Selección de servomotores

Se opto por la selección de servomotores respecto a los motores de paso y brushless motor por la disponibilidad en el mercado y a bajo costo, se pudo

conseguir de máquinas en desuso, también por la facilidad de conexión a los controladores que seleccionamos en el capítulo 2 del sistema de control.

Los motores seleccionados para mover las estructuras de las coordenadas X, Z, se determinaron en base a los torques calculados en el párrafo 2.4 anterior y se detallan a continuación en la Tabla 2.2

Estructura	Tipo de Motor	Torque con reductor de velocidad de 1:1	Torque con reductor de velocidad de 15:1	Tensión Nominal	CPR Encoder	Casa Fabricante
Coordenada X	Servomotor DC	0.48 N.m	0.032 N.m	24Vdc	100	MINERTIA
Coordenada Z	Servomotor DC	0.25 N.m	0.016 N.m	24Vdc	1000	HITACHI

Tabla 2.2 Servomotores utilizados para los movimientos de los ejes "x" y "z"²²

2.6 Selección de los Husillos a bolas

Debido a que en nuestro medio no existe maquinas herramientas y un procedimiento adecuado para la elaboración de este tipo de husillo optaremos por adquirir dicho husillos de acuerdo a las características mostradas en catálogos y de acuerdo a nuestras necesidades. Ver Tabla 2.3.

- Longitud total del tornillo
- Longitud roscada del tornillo
- Diámetro exterior de la rosca
- Paso en milímetros
- Forma de recirculación de las bolas

²² Tomado de placa de datos de los servomotores.

Teniendo en cuenta la longitud de desplazamiento del eje longitudinal “z” y la distancia que deben recorrer el mismos para cumplir con la superficie útil de mecanizado, tenemos que el diámetro interior mínimo del tornillo de 12mm y el paso dado por la siguiente ecuación:

$$\text{rpm} = \frac{V_L (\text{mm} / \text{min})}{P_T (\text{mm} / \text{rev})} \quad \therefore \quad P = \frac{V_L (\text{mm} / \text{min})}{\text{rpm}}$$

Donde:

rpm = Velocidad de rotación a la que debe girar el tornillo

Si se usa un servomotor de 3600 rpm con un reductor de velocidad con una relación de 5:1 el tornillo gira a 720 rpm.

V_L = Velocidad lineal a la que se mueve la plataforma

Para diferentes trabajos y tipos de acabados que se realiza en el los tornos tenemos que la velocidad lineal promedio es de 3000 mm/min.

P_T = Longitud que recorre la tuerca en una revolución del tornillo.

P = Paso entre crestas del tornillo.

Con esto tenemos que el paso del tornillo es:

$$P = \frac{3000 (\text{mm} / \text{min})(\text{rev})}{720 \text{ rev} / \text{min}} = 4.10 \text{mm} \quad \therefore \quad P = 5 \text{ mm}$$

Para la obtención de este husillo se adquirió de una casa comercial ubicada en USA llamada Techno Inc. con la siguientes características técnicas paso 5 mm, y con diámetro de 16mm, se debe notar que el diámetro es un poco mayor al

seleccionado mecánicamente debido a que era el diámetro mas pequeño que comercializa esta empresa pero a la vez no afectaría al diseño.

Estructura Horizontal	LT Longitud total mm.	LR Longitud Roscada mm	D Diámetro mm.	P Paso mm.	Forma de recirculación de las bolas	Código Techno Inc.
Husillo Coordenada z	425	400	16	5	---	HL5134M20752
Tuerca Coordenada z	50	30	16	5	SERIE KM	HL5234M213505

Tabla 2.3 Husillos a bolas²³

Las especificaciones y características para la selección se encuentran en el Anexos D.A y en el Anexo D.B

2.9 Selección de una transmisión flexible

De lo expuesto en el párrafo 1.14 del capítulo 1 se estudió los tipos de transmisiones seleccionamos la de poleas y correas para transmitir la potencia mecánica. Las poleas pueden tener una o varias gargantas, y es así que los diferentes diámetros de poleas y correas están normalizados.

Teniendo en claro la relación de transmisión continuamos realizando el cálculo de polea motriz (d) con la ecuación (15).

$$d = 1100 \sqrt[3]{\frac{P}{N}} \quad (15)$$

²³ Hoja de Datos, Techno-isel, 2006, <http://www.techno-isel.com>

Donde:

P = potencia en Kw.

N = revoluciones del motor rpm

$$d = 1100 \sqrt[3]{\frac{0.56Kw}{1750rpm}} = 75.2mm$$

Por lo que sabemos en el mercado no existe tal diámetro lo que se ha decidido es adquirir una polea de un diámetro de 50mm de aluminio fundido y una sola garganta debido a que se transmitirá potencias no tan elevadas.

Para la determinación de la polea conducida (D) y la relación de transmisión (i) se utilizara la siguiente expresión y usando los datos anteriormente obtenidos.

$$D = i * d$$

$$D = 2.5 * 50 = 125mm$$

Este diámetro de 125mm y 50mm en el mercado es común y el material será aluminio fundido y de una sola garganta.

De acuerdo con lo analizado anteriormente se ha optado por tener una relación de transmisión de 5:2 por los diámetros calculados anteriormente, la velocidad será controlada por el software que analizaremos en capítulo 3 y de acuerdo al material a trabajar.

2.9.1 Selección de la correa trapecial

Los perfiles más empleados en la actualidad son los estrechos por lo que se ha decidido utilizar una banda Z20 estos perfiles aunque mantiene sus

proporciones crecen en el tamaño y se identifican por las letras. Así tenemos que en el sistema métrico ISO:

Las correas normales son denominadas por la Z, A, B, C, etc. y las correas estrechas SPZ, SPA, SPB y SPC.

A continuación se observa la Tabla 2.4 características generales de correas trapeciales (Optibelt).

ho = distancia desde la línea neutra hasta la capa superior de la correa.

dmin: Diámetro mínimo recomendado para las poleas.

Perfiles	Z	A	B	C	D	SPZ	SPA	SPB	SPC
b (mm)	10	13	17	22	32	9,7	12,7	16,3	22
h (mm)	6	8	11	14	19	8	10	13	18
ho (mm)	2,5	3,3	4,2	5,7	-	2	2,8	3,5	4,8
Area (mm ²)	-	81	138	230	-	56	103	159	265
dmin	50	71	112	180	250	63	90	140	224
Máxima flexión / seg	40					100			
Velocidad máxima (m/s)	30					42			

Tabla 2.4 Características generales de unas correas trapeciales (Optibelt)²⁴

2.10 Construcción de tuercas, bocines y acoples

Los bocines de todas las estructuras se han construido de bronce fosfórico para aprovechar sus propiedades de deslizamiento y resistencia de desgaste a la corrosión, los acoplamientos se han construido de acero comercial para

²⁴ Hoja de Datos, Optibelt, 2006, <http://www.corsan.com.ar/datos%20tecnicos%20optibelt.htm>

evitar que se deforme. Además se construyó un acople para el husillo de bolas para la sujeción a la plataforma del eje transversal.

Para acoplar los ejes guías de la estructura longitudinal y transversal se ha realizado ejes roscados los cuales se ajustaran con pernos allen M5.

2.9 Construcción de bocines y chumaceras.

La finalidad principal de estos elementos, es servir de apoyo en los extremos de los husillos que transmiten el movimiento, de manera que el movimiento de las mesas sea suave y seguro en cada una de las coordenadas. Dentro de las chumaceras van montados, rodamientos seleccionados para soportar cargas axiales generadas por el cambio de giro en las operaciones del husillo. En la figura 2.8 se muestra como se construyó los bocines y chumaceras.

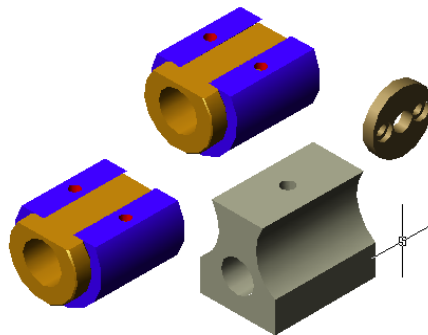


Figura 2.8 Bocines, tuerca y chumaceras

En el acoplamiento de las chumaceras a las placas de soporte se realizo mediante pernos y tuercas M4, logrando con esto una excelente firmeza y seguridad.

Las dimensiones y características del mecanizado, tanto de las ruedas de desplazamiento, tuercas, bocines, acoples y chumaceras se encuentran

detalladas dentro del plano mecánico general, que se encuentra en el ANEXO C.C.

2.10 Construcción de la base principal de la máquina

Para la construcción de base principal de la máquina, hay que considerar las dimensiones finales de las estructuras horizontales de las coordenadas X y Z, ya que sobre esta base se montaran dichas estructuras. Considerando que la estructura debe ser bastante robusta para soportar el peso de los elementos mecánicos, al mismo tiempo que debe ser de un material de fácil soldabilidad y mecanizado, se elige un material tipo ASTM A36K, el cual es disponible en el mercado y de bajo costo.

Toda la estructura mecánica del torno descansa sobre una base de madera forrada por una lámina de acero inoxidable para evitar la corrosión, además como es un equipo didáctico se lo ha colocado sobre una mesa para que sea mas fácil su operación. En la figura 2.9 se muestra como se diseño y construyó la mesa para el apoyo del la maquina.

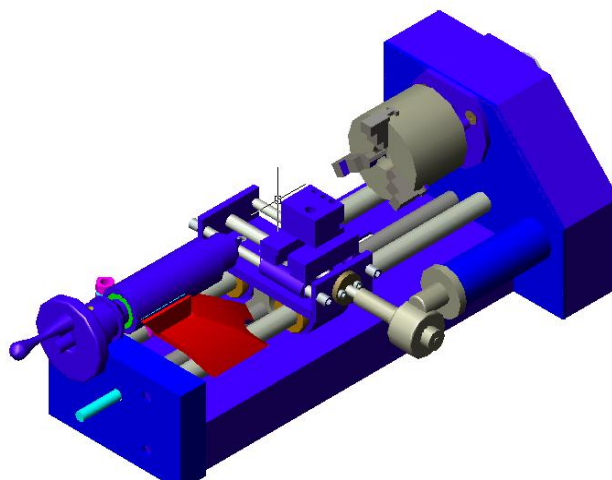


Figura 2.9 Base apoyo de la maquina

2.11 Dispositivos para el torno paralelo

2.11.1 Selección del plato universal de 3 garras

Se seleccionó un mandril donde se pueda colocar piezas de hasta 45mm de diámetro de acuerdo a nuestros parámetros de diseño. Por su dificultad de construcción y por su disponibilidad en el mercado se adquirió uno de 80mm de diámetro. Este va montado en el extremo del husillo principal del torno y sirve para sujetar las piezas de forma cilíndrica. Ver sus detalles en el ANEXO C.D.

Las mordazas y las garras son recambiables y se acciona con una llave especial "T" donde las tres mordazas se desplazan hacia el centro o hacia fuera.

El plato universal esta ensamblado en un eje hueco y apoyado en dos rodamientos 4205 el cual es un rodamiento oscilante con doble hilera de bolas con canastillas para soportar cargas radiales y absorber desplazamientos angulares. Ver sus características en el Anexo CG.

2.12 Montaje del sistema mecánico

El montaje de sus partes de muestran el en ANEXO C.C "Plano Mecánico" y su descripción en el capítulo 5.

CAPITULO III

SELECCIÓN Y CONFIGURACION DEL SISTEMAS DE CONTROL

3.1 Parámetros de selección para el sistema de control del prototipo de torno CNC.

Los sistemas de control de posición, velocidad y la interfase de comunicación son los parámetros a seleccionar y que se emplean en el proyecto, están detallados en el siguiente diagrama de bloques, figura 3.1.

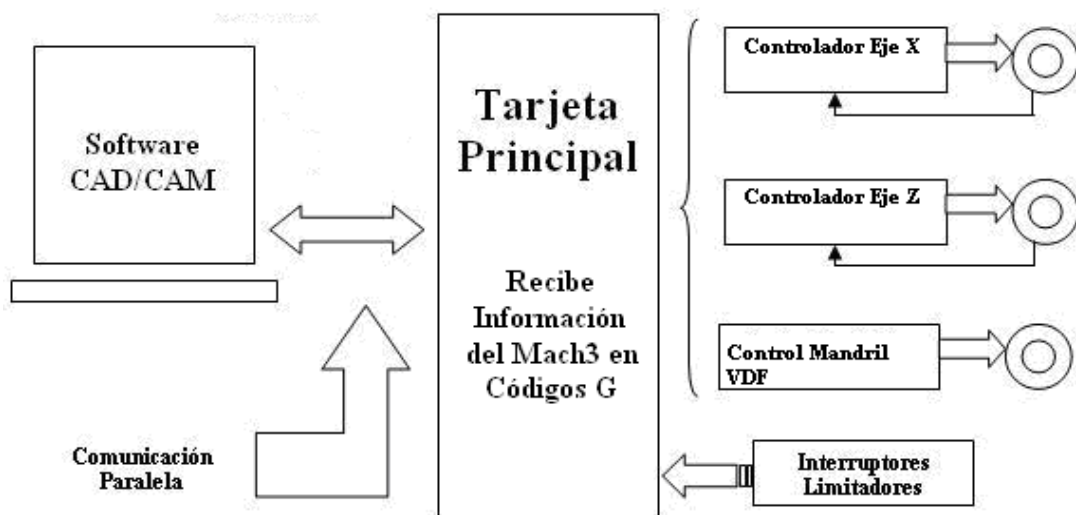


Figura 3.1. Parámetros para la selección del sistema de control.

Como se puede apreciar en la figura 3.1, se tiene dos sistemas de control a lazo cerrado para los servomotores de los ejes X y Z, un sistema de control a

lazo abierto para el motor trifásico del mandril por medio de la salida analógica en la tarjeta principal para control de velocidad e inversión de giro por medio de un Variador de Frecuencia.

3.1.1 Sistema de control para los ejes x, z

Sistema a lazo cerrado

Revisaremos este sistema para el control de los ejes X y Z, que es necesario para nuestro proyecto. El lazo de control realimentado simple sirve para ilustrar los cuatro elementos principales de cualquier lazo de control (figura 3.2).



Figura 3.2 Sistemas de lazo cerrado

Realimentación:

Es la propiedad de una sistema de lazo cerrado que permite que la salida (o cualquier otra variable controlada del sistema) sea comparada con la entrada al sistema (o con una entrada a cualquier componente interno del mismo con un subsistema) de manera tal que se pueda establecer una acción de control apropiada como función de la diferencia entre la entrada y la salida. El dispositivo de entrada es la tarjeta principal que detallaremos su funcionamiento más adelante, que es la encargada de recibir la información del software CAD/CAM y administrarla, para enviarla hacia la unidad de control.

Existe realimentación en un sistema cuando existe una secuencia cerrada de relaciones de causa y efecto entre las variables del sistema.

Cuando los dos coinciden, no se requiere acción de control. Cuando existe una diferencia entre ambas, el dispositivo de comparación suministra una señal de acción de control al controlador, o sea al mecanismo de movimientos del torno automático.

La realimentación se puede efectuar por medio de una conexión eléctrica o mecánica, la unidad de control es la encargada de recibir la información de la tarjeta principal y de la realimentación o encoder, la interpreta y la envía hacia el actuador y salida, en esta unidad se encuentran las tarjetas controladoras de los servomotores que se describirán en el párrafo 3.1.1.2 que se encuentra más adelante.

Características de la realimentación.

Los rasgos más importantes que la presencia de realimentación imparte a un sistema son:

- a) Aumento de la exactitud. Por ejemplo, la habilidad para reproducir la entrada fielmente.
- b) Reducción de la sensibilidad de la salida, correspondiente a una determinada entrada, ante variaciones en las características del sistema.
- c) Efectos reducidos de la no linealidad y de la distorsión.
- d) Aumento del intervalo de frecuencias (de la entrada) en el cual el sistema responde satisfactoriamente (aumento del ancho de banda).
- e) Tendencia a la oscilación o a la inestabilidad.

El actuador final.

Por cada proceso debe haber un actuador final, que regule el suministro de energía al proceso y cambie la señal de medición al regulador de velocidad del servomotor y posicionador.

Controlador.

El último elemento del lazo es el controlador automático, su trabajo es controlar la medición del encoder. “Controlar” significa mantener la medición dentro de límites aceptables.

Un concepto básico es que para que el control realimentado automático exista, es que el lazo de realimentación esté cerrado. Esto significa que la información debe ser continuamente transmitida dentro del lazo. El controlador debe poder mover al servo motor.

3.1.1.1 Selección de la tarjeta principal²⁵

Se comercializan tarjetas electrónicas que cumplen con las mismas funciones que se requieren para este control, de excelentes características y costos moderados, lo cual hace que sean accesibles para este proyecto. Es por esta razón que es recomendable hacer uso de tarjetas ya fabricadas y que se encuentran a la venta en la Web, en lugar de utilizar tarjetas diseñadas propiamente que involucrarían mayor tiempo en su construcción. Por esto para todo el sistema de control del proyecto, se emplearán tarjetas electrónicas

²⁵ General User's Guide, James Cullings, PDF, 2005.

existentes en el mercado, tanto para la tarjeta principal, las tarjetas controladoras de los servomotores.

La tarjeta principal fue elegida de acuerdo a la compatibilidad del software de control que vamos a emplear (Mach3turn que se detallará en el párrafo 3.2.1), dentro de éstas tarjetas existen dos, de las cuales se va a escoger una de acuerdo al trabajo que vamos a realizar veremos sus características principales en la tabla 3.1, estas son las siguientes:

- PC-2-Route Modelo M2 Rev. 1.8
- PC-2-Route all in one Modelo M2 OEM

CARACTERISTICAS	PC-2-Route Modelo M2 Rev. 1.8	PC-2-Route all in one Modelo M2 OEM
COMUNICACIÓN	Puerto paralelo	Puerto paralelo
TIPO	Tarjeta Break-out	Tarjeta Break-out
SOFTWARE COMPATIBLE	Mach2 y Mach3	Mach2 y Mach3
EJES DE CONTROL - PARA COORDENADAS	X – Y – Z – A	X – Y – Z – A
CONTROL DE LIMIT SWITCH - PARA COORDENADAS	X – Y – Z – A	X – Y – Z – A
CONTROL DE HOME SWITCH - PARA COORDENADAS	X – Y – Z – A	X – Y – Z – A
CONTROL DE VELOCIDAD DE LA HERRAMIENTA PRINCIPAL	-----	SPINDLE CONTROL
CONTROL DE BOMBA DE REFRIGERANTE	-----	RELE CONTROL DE
DESCRIPCION	Figura 3.3	Figura 3.4

Tabla 3.1 Características de las tarjetas PC-2-Route Modelo M2 y M2 OEM.



Figura 3.3 PC-2-Route Modelo M2 Rev. 1.8



Figura 3.4 PC-2-Route all in one Modelo M2 OEM (a. JP2, b. JP1)

Estas dos tarjetas tiene las mismas características, su funcionamiento es el mismo, la diferencia radica en que la primera no tiene relés para el control de

velocidad de la herramienta principal y bombas de refrigerante, para el control del torno del proyecto se requiere de la segunda tarjeta por que esta dispone del control de velocidad que necesitamos para el mandril gracias a la salida analógica de 0 a 10Vdc que a la vez controlara al variador de frecuencia que comandara el motor trifásico se detallara este control en el párrafo 3.1.2

Funcionamiento de la PC-2-Route all in one modelo M2 OEM con PC Puerto paralelo, tarjeta Break-out para Mach2 y Mach3

Su propósito radica en mantener una conexión directa entre el puerto paralelo del PC y las tarjetas controladoras de los servomotores (figura 3.5), para lo cual existen dos opto acopladores, los mismos que protegen al puerto paralelo de fallas externas; esta tarjeta interpreta los códigos G de mecanizado a través de microcontroladores que envían señales a cada una de las tarjetas que controlan los ejes. Mediante un dispositivo electrónico externo y a través de cuatro relés de estado sólido, la tarjeta puede controlar al eje o husillo principal de la máquina en sentido horario y antihorario; además posee entradas para los home y limit switches a fin de controlar los finales de carrera y el punto de referencia de la máquina.

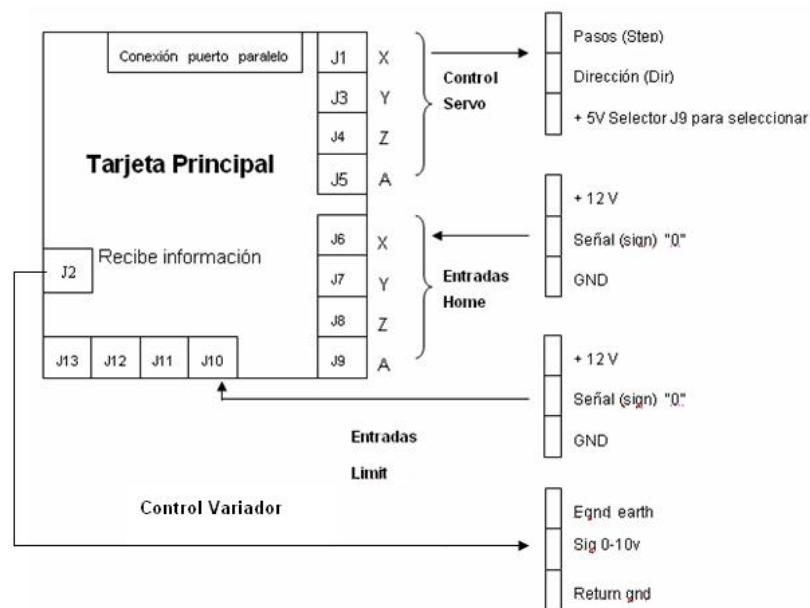


Figura 3.5 Partes constitutivas de la tarjeta principal PC2 Route Modelo M2 OEM.

Como se puede apreciar en la figura 3.5, la tarjeta posee salidas hacia las tarjetas controladoras de los actuadores, en esta tarjeta existe cuatro borneras (J1, J3, J4, J5) de tres terminales cada una, para conectar los ejes que van a ser controlados X,Y,Z y un adicional (A), dichos terminales se encuentran marcados con sus respectivos nombres (step, dir, +5V), para su fácil identificación y conexión, (J2) VFD analog signals para el control del mandril, de igual manera posee ocho borneras (J6-J13) con tres terminales de salida cada una, para los home switches y los limit switches o finales de carrera, identificados con sus nombres, la interfase de comunicación la detallaremos en el párrafo 3.4 de este capítulo.

Los rangos de voltaje de alimentación pueden ser elegidos de acuerdo a la aplicación o lugar donde se trabaje, estos rangos son:

115 VAC, que se obtiene fijando o soldando los dos puentes JP2 y JP3 (figura 3.4) (a).

220 VAC, que se obtiene fijando o soldando el puente entre JP2 y JP3 (figura 3.4b) (b).

Además posee algunas salidas de voltaje en diferentes rangos, estos son:

12V en DC para activar a los sensores de proximidad para los limit/home switches.

5V en DC, para activar los aisladores ópticos, para los controladores de los servomotores y sensores de proximidad.

Para los sensores de proximidad se debe emplear sensores inductivos y conectarlos a sus respectivas salidas en la bornera, además se puede utilizar los micro-switches conectados entre los terminales de señal y GND.

3.1.1.2 Selección de las tarjetas controladoras para servomotores.

Existen diversas tarjetas en lo que se refiere al control de servomotores entre ellas citaremos las siguientes:

a. Las tarjetas proporcionadas por la Nacional Instruments, donde se ofrece tres familias principales de controladores para movimientos, incluyendo las de la serie de bajo costo NI733x, la serie de rango medio NI734x y la serie de alto rendimiento NI735x. El controlador de la serie de bajo costo NI733x ofrece control de motores paso a paso a cuatro ejes y la mayoría de las funciones básicas que se necesitan para una gran variedad de aplicaciones, incluyendo movimientos simples y punto a punto de múltiples ejes (figura3.6).

El precio que oscila entre los \$3000 a \$4000 dólares dependiendo de la familia que utilice, y no son compatibles con la tarjeta principal, y con el software de control que se va a utilizar, por lo que no sería apta para nuestro proyecto.



Figura 3.6 Tarjetas de la NI

b. La tarjeta Gecko G340 servo drive (figura 3.8), es capaz de controlar exclusivamente servomotores, mediante la retroalimentación del encoder en

señal de cuadratura TTL, tiene un rango de operación para una corriente del motor que oscila desde 0 a 20 amperios, un control PID analógico de amortiguación y ganancia regulable mediante potenciómetros. Esta tarjeta controladora es compatible con la tarjeta principal y con el software, por cual será objeto de nuestro estudio para su utilización, las especificaciones técnicas se detallan en el anexo C.B

Tarjeta controladora de servomotores G340

Por costos y disponibilidad será adquirida para este proyecto. Esta recibe y procesar la información que envía la tarjeta principal y el encoder, para luego enviar pulsos o señales de control hacia el servomotor.



Figura 3.8 Gecko driver G340

Las características técnicas, distribución de pines para la conexión con el servomotor y las dimensiones se detallan en el ANEXO E.

Para calibrar la G340 de acuerdo al servomotor se debe seguir el siguiente procedimiento teniendo como referencia el gráfico de la figura 3.9.

Encabezado multiplicador (multiplier header), tiene cuatro opciones para 1, 2, 5, y 10 pulsos por cada entrada de pulsos de paso, con esto podemos variar

los conteos del encoder, por ejemplo si seleccionamos X10 entonces el motor debería moverse 10 conteos del encoder por cada pulso de paso que se envíe hacia la G340.

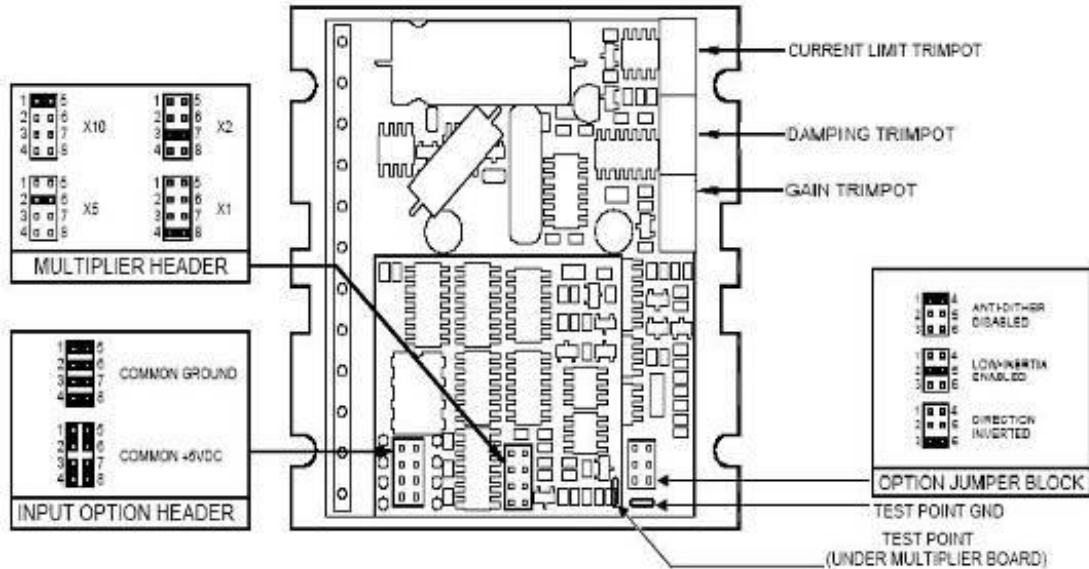


Figura 3.9 Lugares de calibración

Encabezado de opción de entrada (Input option header), se coloca en tierra común cuando se tiene solo la tierra del puerto paralelo disponible, y en voltaje común cuando el controlador es manejado por medio de transistores de colector abierto, recibiendo señales TTL estándar desde la tarjeta principal.

En lo que se refiere a la alimentación de la G340, debe estar entre los rangos de 18 a 80 Vdc, sobrepasándose en 5 V el rango de voltaje del motor, es decir el voltaje del motor mas 5V adicionales, las conexiones se deben realizar en la tarjeta de la siguiente manera: el terminal 1 a GND o tierra y el terminal 2 a Vdc.

El controlador proporciona una fuente de 5 Vdc para el encoder con una corriente inferior a 50 mA, pero cuando el encoder requiera más corriente de la que proporciona el controlador, se debe colocar una fuente adicional y además conectar una resistencia de 470Ω entre los terminales 6 y 7. Las conexiones de

los terminales de la Gecko 340 se detallan en el anexo C.C y se encuentran identificadas de la siguiente manera.

Terminal 1	→	Tierra de la fuente de alimentación de Vdc
Terminal 2	→	Voltaje de alimentación de 18 a 80 Vdc
Terminal 3	→	Terminal negativo de la armadura del servomotor
Terminal 4	→	Terminal positivo de la armadura del servomotor
Terminal 5	→	No tiene conexión
Terminal 6	→	Cable de tierra del encoder
Terminal 7	→	Cable de +Vdc del encoder
Terminal 8	→	Cable de señal de pulsos del canal A del encoder
Terminal 9	→	Cable de señal de pulsos del canal B del encoder

En los terminales 10, 11, y 12 se conectan las señales que envía o provienen de la tarjeta principal, estas señales son DIR, STEP, y +5Vdc respectivamente.

Para calibrar el límite de corriente de funcionamiento del servomotor, se realiza por medio del potenciómetro que se encuentra en la parte superior de la tarjeta (figura 3.9, CURRENT LIMIT TRIMPOT), dependiendo de las características del servomotor.

De la misma manera para calibrar la ganancia (amplitud de onda antes de la etapa de transición estable) y la amortiguación (número de ciclos necesarios para estabilización del sistema), se lo realiza maniobrando los potenciómetros respectivos (figura 3.9, DAMPING TRIMPOT y GAIN TRIMPOT), para dicha calibración se emplea un osciloscopio colocando un canal en el punto de prueba (test point) y el otro en la entrada de los pulsos de dirección (dir), hasta obtener una curva críticamente amortiguada (critically damped), es donde el

servomotor trabaja en optimas condiciones, si en el osciloscopio se tiene la curva de sobre amortiguado (overdamped) se decrementa el amortiguamiento y se incrementa la ganancia, en cambio si se tiene la curva de sub amortiguado (underdamped) se decrementa la ganancia y se incrementa el amortiguamiento, dichas curvas se observan en la figura 3.10.

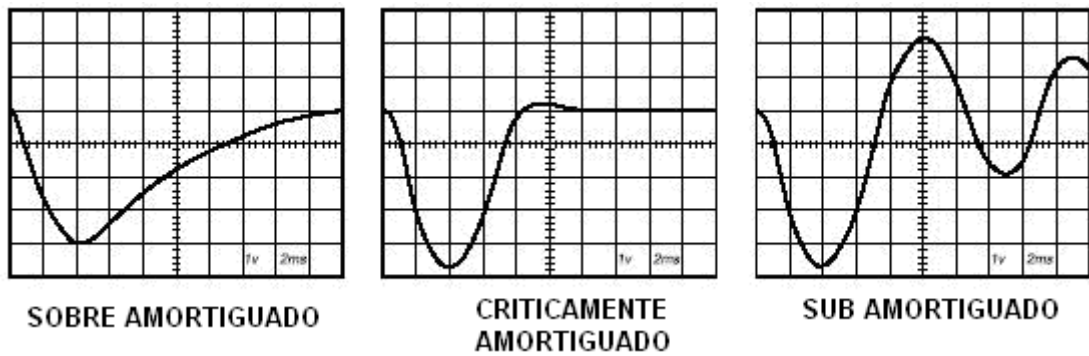


Figura 3.10 Curvas de calibración.

En el diagrama de bloques de la G340 de la figura 3.11, se detalla el funcionamiento interno del controlador, tomando como datos iniciales las señales enviadas por la tarjeta principal, los datos del encoder y del encabezado de multiplicación, en donde estas señales pasan por diferentes etapas, consiguiendo así el sistema de control de posición y de velocidad al mismo tiempo.

La tarjeta toma las señales provenientes de la tarjeta principal por los terminales DIR (10), STEP (11) y COMUN (12), y las señales del encoder (8) y (9) donde realiza la siguiente acción:

- a. Recoge las señales digitales del STEP y del encabezado multiplicador (A), junta las dos señales digitales y las convierte en analógicas (B), para luego ingresar a un control PID (C), las señales son enviadas nuevamente al encabezado multiplicador (A) y a un contador ascendente (D), en donde ingresa la señal DIR.

3.1.1.3 Actuator (servomotor)

El actuador a utilizar depende de los cálculos que se realizó en el diseño del sistema mecánico, donde se obtuvo un torque $T_z = 0.48Nm$ y $T_x = 0.25Nm$ necesario para mover las estructuras, este es el parámetro principal que permite seleccionar un servomotor, además porque el sistema de control utiliza una retroalimentación a través del encoder, ya que se requiere precisión en el control de la velocidad y posición.

Como el sistema de transmisión de movimiento emplea un reductor con una relación de 15:1, el mismo que permite reducir la velocidad e incrementar el torque de trabajo, logrando con esto que se requiera de un servomotor más pequeño, entonces gracias a este reductor el torque se incrementa directamente con la reducción de la velocidad, de esta manera:

$$i = \frac{N1}{N2} = \frac{T2}{T1} \quad \therefore \quad i = \frac{T2}{T1} = \frac{15}{1}$$

Por lo tanto el torque T2, es quince veces mayor que el T1, es decir con un motor de torque pequeño a la entrada, se puede multiplicar el torque a la salida, por lo tanto, el torque que se requiere para el servomotor esta dado por:

$$T_{2z} = \frac{0.48Nm}{15} = 0.032Nm. \quad T_{2x} = \frac{0.25Nm}{15} = 0.0166Nm.$$

Con este $T_{2z} = 0.084 N.m$ y $T_{2X} = 0.0166 N.m$ se selecciona la capacidad de los servomotores, el cual no se pudo encontrar en el mercado nacional, pero se opto por un servomotor existente en el mercado con un $T = 0.137 N.m$ y uno de $0.685 N.m$ el cual cumple con los requerimientos necesarios para mover el sistema mecánico, sus características técnicas y datos de placa se detallan en la tabla 3.2.

COORDENADAS	EJE Z	EJE X
VOLTAJE	24 VDC	24 VDC
AMPERAJE	1.9 A	1.5 A
POTENCIA	53 W	17 W
TORQUE	0.137 N.m	0.0685 N.m
VELOCIDAD	3700 RPM	3700 RPM

Tabla 3.2 Datos del servomotor.

3.1.1.4 Retroalimentación

El dispositivo empleado por el servomotor para la retroalimentación, es un encoder incremental de 894 ciclos por revolución CPR, el funcionamiento de este tipo de sensor se detalló en el capítulo I, párrafo 1.8.1.1.

Este sensor comúnmente posee cuatro cables, dos para control donde: el cable amarillo entrega señales de pulsos en cuadratura del canal A y el blanco del canal B; y dos cables para alimentación del sensor donde: el cable rojo se conecta a +5Vdc y el verde a tierra GND.

3.1.2 Sistema de control para el Mandril

Sistema a lazo abierto

Son los sistemas en los cuales la salida no tiene efecto sobre la acción de control, en otras palabras en este sistema no se mide la salida ni se realimenta para compararla con la entrada (figura 3.12).



Figura 3.12 Sistema a lazo abierto.

De igual manera como en el sistema a lazo cerrado, la unidad de entrada es la tarjeta principal, a la vez posee un control de velocidad que será utilizado para el mandril el cual ingresa incrementos de velocidad y dirección del Mach3, convierte estos incrementos a señales de 0 a 5V ó de 0 a 10V analógicos DC que se utilizan para controlar Variadores de Frecuencia (VDF) o Motores DC.

Se debe tener cuidado con la tierra de la señal de VDFs, pues no es una tierra fija. Se pueden tener voltajes superiores a 300V en esta. La tarjeta principal utiliza una fuente de poder aislada y esta utiliza un aislador óptico para que el instalador y operador tenga una buena protección contra estos voltajes elevados.

Ajustes y calibraciones.²⁶

No se debemos conectar el control de velocidad a la tarjeta principal cuando esta este alimentada misma.

Primero para configurar el Mach3 para proporcionar las señales de incremento y dirección del mandril en los pines correspondientes.

Ubicamos los pines y tornillos de calibración en la tarjeta principal y las ventanas de ajustes en el software Mach3.

²⁶ General User's Guide, James Cullinns, PDF, 2005

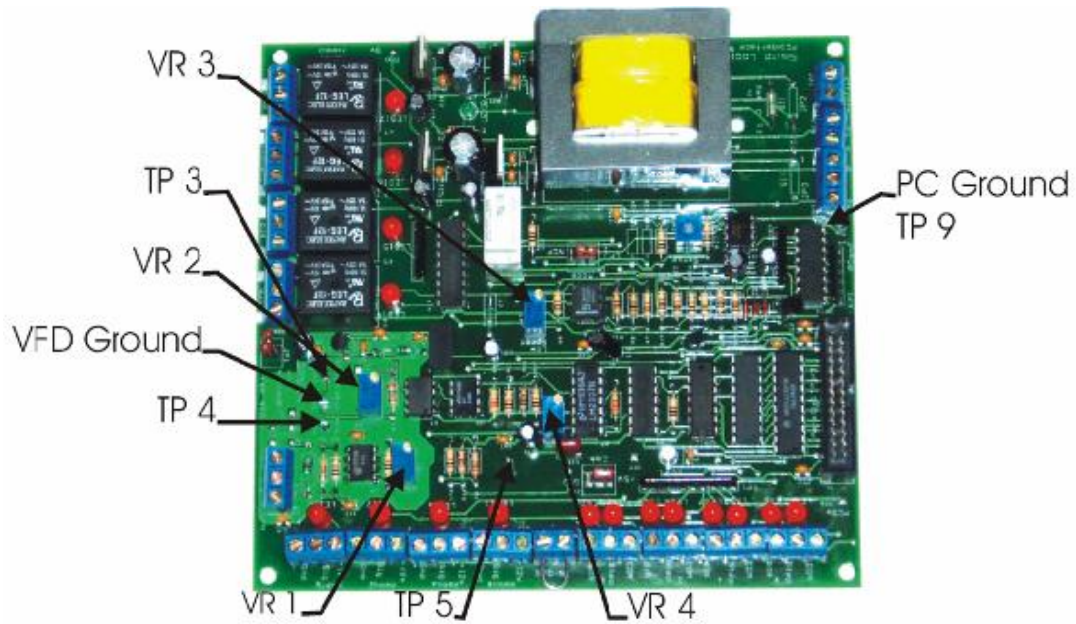


Figura 3.13 Pines y tornillos de Calibración para VDF. (Detallados en la Pág.90).

Los más importantes ajustes son: puertos y pines, bajo control del motor, seleccionar la salida para el motor, seleccionar el incremento y dirección para el motor del mandril. Seleccionamos “Pulley #4” ponemos un valor mínimo de 100 y un máximo de 1000rpm. Clic en aplicar y luego OK.

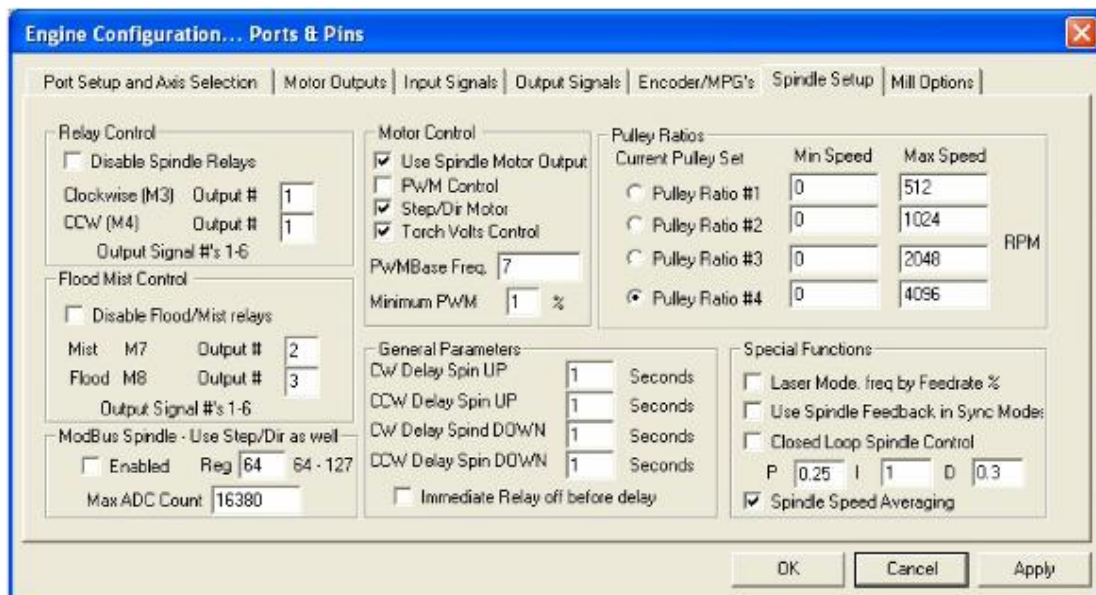


Figura 3.14 Ajustes de control del motor para el mandril.

Para las señales de salida en el puerto y pines, seleccionamos salida #1 puerto 1 pin 1 y salida #2 puerto 1 pin 14 damos clic en aplicar luego en OK.

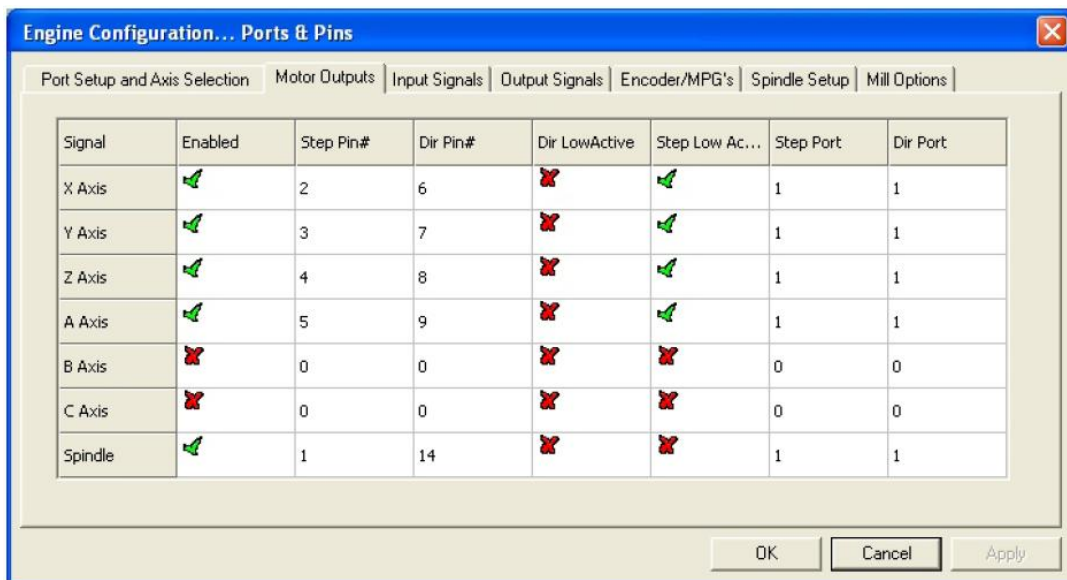


Figura 3.15 Configuración de puerto y pines de salida

En la ventana de “motor tuning” damos clic en la opción spindle y seleccionamos la velocidad de 540 y el incremento por unidad a 1000, la aceleración seleccionamos a 5000, el mínimo ancho de pulso a 1 y la dirección a 0.

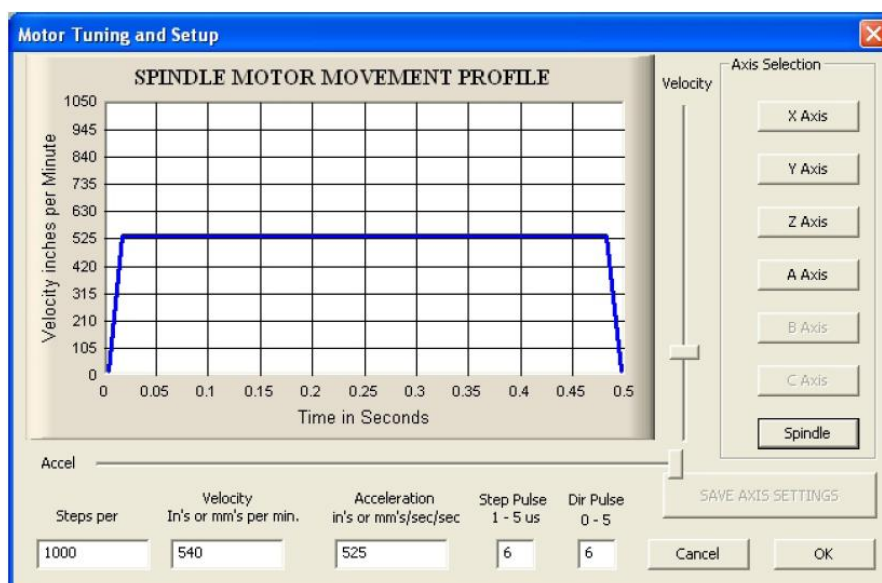


Figura 3.16 Calibración de Velocidad en mandril.

Una vez configurado esto en Mach3 se debe garantizar que esté apagada la fuente a la tarjeta principal.

Conectamos el cable con el control de velocidad a la tarjeta principal. No se debe conectar el VDF hasta este momento.

Entramos en la pantalla de control de velocidad en el Mach3. Para nuestro ejemplo ponemos 3600 y debemos ir comprobando la salida con diferentes valores y anotar el valor ingresado en la pantalla y el valor que se obtiene a la salida de voltaje.

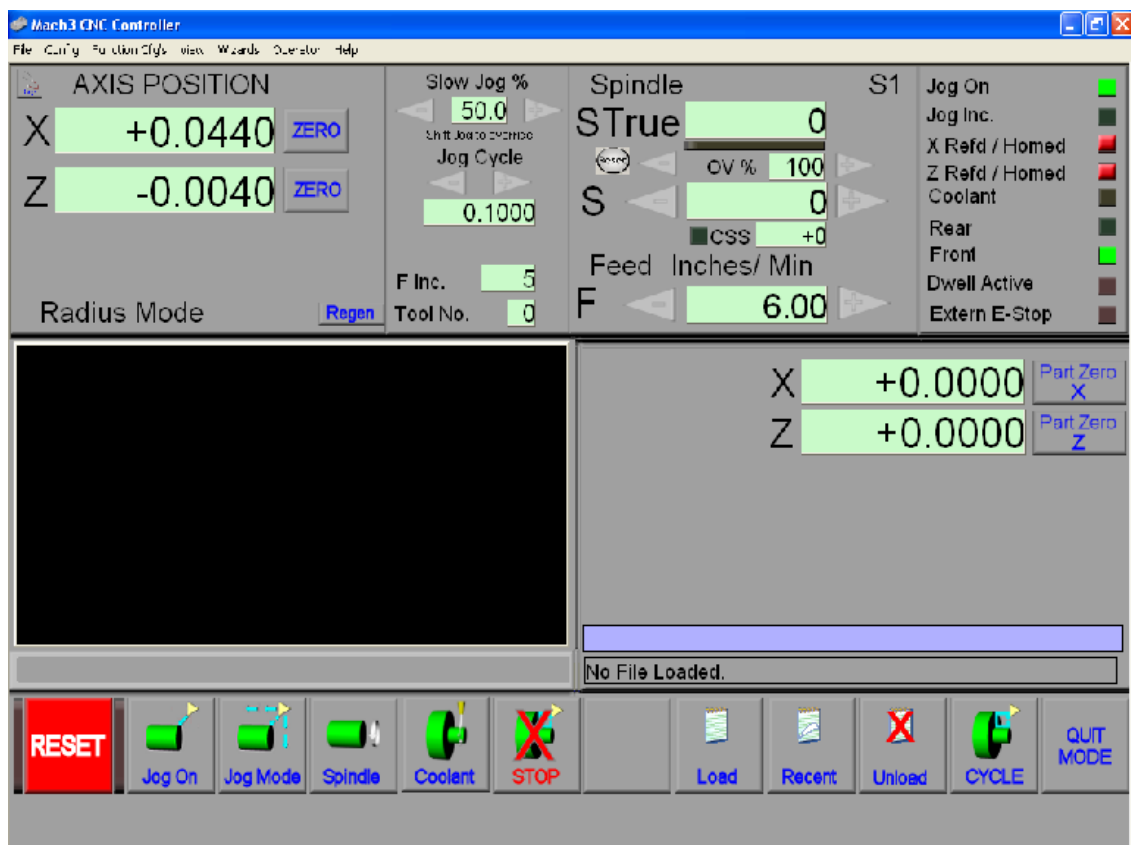


Figura 3.17 Pantalla de control de velocidad en el Mach3.

- Colocamos la punta de tierra del multímetro a PC gnd TP9.
- Colocamos la punta positiva del medidor en TP5 F/V.

- Ponemos en servicio el mandril.
- Ajustamos VR4 a 5V.
- Movemos la punta de tierra del multímetro a VDF gnd TP2 (El variador debe estar apagado).
- Movemos la punta positiva al pin TP3.
- Ajustamos VR2 a 5V.
- Movemos la punta positiva al pin de ganancia TP4.
- Ajustamos VR4 a 10V pues el control de nuestro variador es de 0 a 10V en caso de ser un control a 5V se debe ajustar a ese valor.
- Ajustamos en el control de velocidad 100 o el valor mínimo de velocidad que se requiera.
- Ajustamos VR3 en contra de las manecillas del reloj hasta que el rele de activación RUN se active.
- Ajustamos VR3 en sentido de las manecillas del reloj hasta que se desactive poniendo la velocidad mas baja que requerimos.
- Quitamos las puntas del multímetro, apagamos la tarjeta conectamos el VDF utilizando cable blindado y el blindaje lo aterrizamos al chasis. Finalizamos la conexión del VDF.
- Energizamos la tarjeta teniendo precaución necesaria.
- Conexiones al Variador de Frecuencia (VDF).
- Identificamos los bornes de entradas al VDF teniendo cuidado con la parte de alto voltaje 220VAC.
- La conexión analógica simplemente conectamos de los bornes de la tarjeta J2 que es la salida del control de velocidad, la tierra debe conectarse a la tierra analógica de esta salida.

La tarjeta controla dos tipos de VDF; algunos arrancan al aplicar una señal de dirección o sentido de giro esta es normalmente FWD y REV. Otros donde se

da una señal de dirección con la entrada FWD y REV y otra para dar marcha al motor.

Si el VDF es del primer tipo se instala el puente JP1 en el control de velocidad PCB. La tarjeta es enviada con esta conexión.

Rele de dirección de giro DIR:

NC a FWD del VDF.

NO a REV del VDF.

Dejar COM abierto. La tierra a tu VDF vendrá del terminal del tornillo COM en el bloque de terminales del rele de funcionamiento (Rele RUN). Internamente el terminal COM en el bloque de terminales del rele DIR está conectado con el terminal normalmente abierto en el bloque de terminales del rele RUN.

Rele de funcionamiento RUN.

NC abierto.

A la entrada de arranque o RUN de VDF.

COM a la entrada GND del VDF

Si el VDF es del segundo tipo se desinstala el puente JP1 en el control de velocidad y colocarlo en uno de los tornillos para guardarlo. Se realiza la siguiente conexión:

Rele de dirección de giro DIR

NC a FWD del VDF.

NO a REV del VDF.

COM a la entrada GND del VDF.

Rele de funcionamiento RUN.

NC abierto.

A la entrada de arranque o RUN de VDF.

COM a la entrada GND del VDF

3.2 Programación del software de control

Para controlar el proyecto, se requiere de un software de control, el mismo que debe vincularse con las tarjetas controladoras de forma adecuada, ya que en el mercado existen software como Labview incluido con las tarjetas controladoras pero de alto costo alrededor de USD 2890.00, Visual Basic de difícil entorno para la programación, por lo que se elijo un programa existente en el Internet, que además de ser gratuito (versión estudiantil) es compatible con las tarjetas de control ya seleccionadas y permite el control adecuado de los movimientos de los carros y control del usillo del mandril.

El software para controlar los movimientos en los ejes X, Z y la velocidad del usillos, existen dos que me permiten realizar estas acciones estos son:

El Mach2, es un software para máquinas CNC que puede ser utilizado en fresadoras, tornos, máquinas cortadoras por plasma; para fresadoras se tiene un archivo Mach2mill, para el torno se emplea un archivo Mach2turn y para el plasma emplean un archivo THC300M2

El Mach3 es un software para máquinas CNC que puede ser utilizado en fresadoras, tornos, y se esta incorporando para máquinas cortadoras por plasma; para fresadoras se tiene un archivo Mach3mill, para el torno se emplea un archivo Mach3turn y para el plasma emplean un archivo THC300M3, el que

encontramos una versión actualizada la que permite generar formas, roscas automáticamente ingresando datos en un link del software.

Entonces observando las ventajas y desventajas de los dos se seleccionó el software Mach3turn para la automatización de tornos, el cual será objeto de nuestro estudio.

3.2.1 Mach3turn.

Es un programa para máquinas CNC que permite controlar los movimientos de los ejes X, Z y controlar la velocidad del mandril mediante códigos G, (figura 3.18). Este programa posee un link con formas mas comunes que se trabajan en un torno y se ingresa los datos para que este genere los códigos G para el maquinado de la pieza en nuestro torno luego se envía los datos hacia las tarjetas y posteriormente hacia los actuadores, más adelante se explicará con un ejemplo todo este procedimiento.

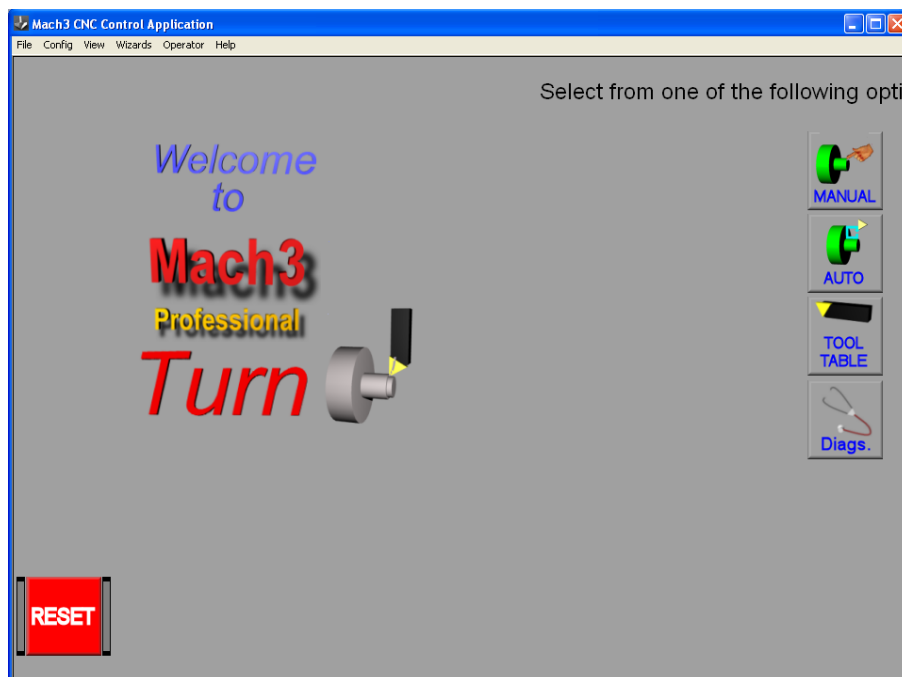


Figura 3.18 Mach3turn

3.2.2 Requisitos del sistema

Mach3 tiene su instalador llamado Mach3 Versión R2.0.0.025 con una capacidad de 11.3 MB, y requiere de un sistema operativo Windows XP (o Windows 2000), con un procesador de 1GHz para su óptimo funcionamiento, adicionalmente debe tener 1 puerto paralelo, para enviar información hacia las tarjetas y actuadores, al momento de ejecutar el icono de Mach3 en el escritorio seleccionar la opción Match3turn para iniciar la pantalla (figura 3.18).

3.2.3 Configuración

En la barra de menú se encuentra la opción de configuración, donde se ingresara los parámetros adecuados para que el software y hardware funcione correctamente, en esta opción se encuentran 20 puntos que deben ser configurados, como por ejemplo el sistema de medida (unidades), motores, encoders y demás elementos (figura 3.19).

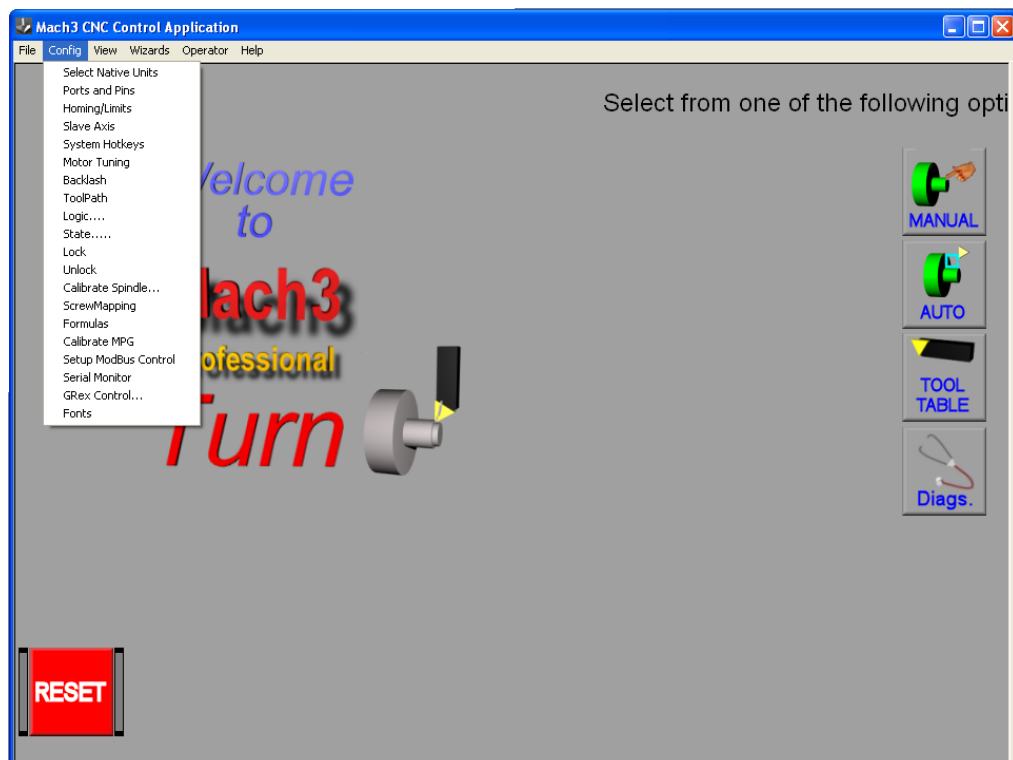


Figura 3.19 Opciones de configuración.

Definiendo unidades: ir a la barra de menú config>setup units, aquí se selecciona el sistema de unidades en el cual se desea trabajar, pudiendo ser este el sistema métrico o el sistema inglés (figura 3.20).

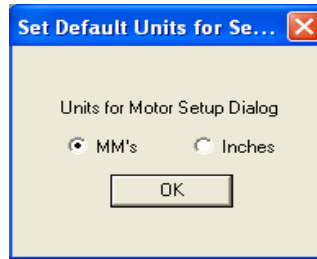


Figura 3.20 Selección del sistema de unidades

Esto es muy importante ya que de esto dependerá en que unidades se va a trabajar e influirá en la creación de los códigos G, el G20 es para el sistema inglés y el G21 para el sistema métrico.

Selección de puertos, ejes y pines: ir hacia barra de menú config>Ports and Pins, se desplegará la siguiente pantalla (figura 3.21).

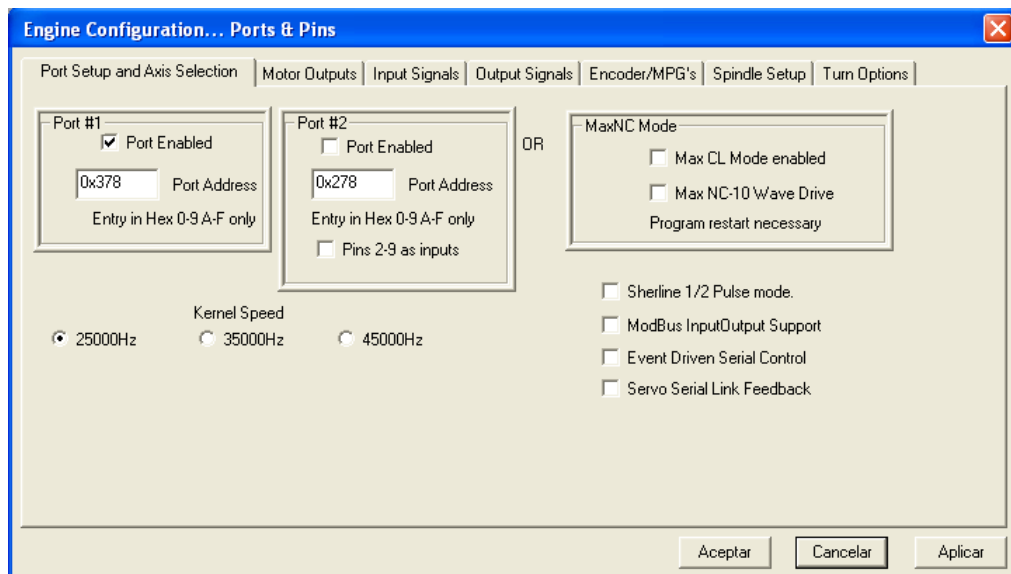


Figura 3.21 Configuración de puertos y ejes

Si se usa un solo puerto paralelo se debe colocar la dirección en hexadecimal del puerto paralelo de la impresora, de emplearse un segundo puerto paralelo se debe ingresar la dirección en hexadecimal.

Además se debe especificar la frecuencia de trabajo; el Mach3 trabaja con frecuencias de 25,000 Hz (pulsos por segundo), 35,000 Hz y 45,000 Hz esto dependerá de la velocidad del procesador que se utilice, con una frecuencia de trabajo de 25,000 se trabaja cuando se tiene un procesador inferior a 1GHz, para la de 35,000 Hz trabaja con un procesador de 1 a 2 GHz, y para 45,000 Hz se trabaja con un procesador superior a 2 GHz.

Nota: siempre de debe dar un clic en el botón aplicar, cuando se realice alguna modificación en la configuración.

Para definir la entrada de señales: ir a la barra de menú config>Ports and Pins>Input signals (figura 3.22), esto se realiza dependiendo de las entradas que se requiera.

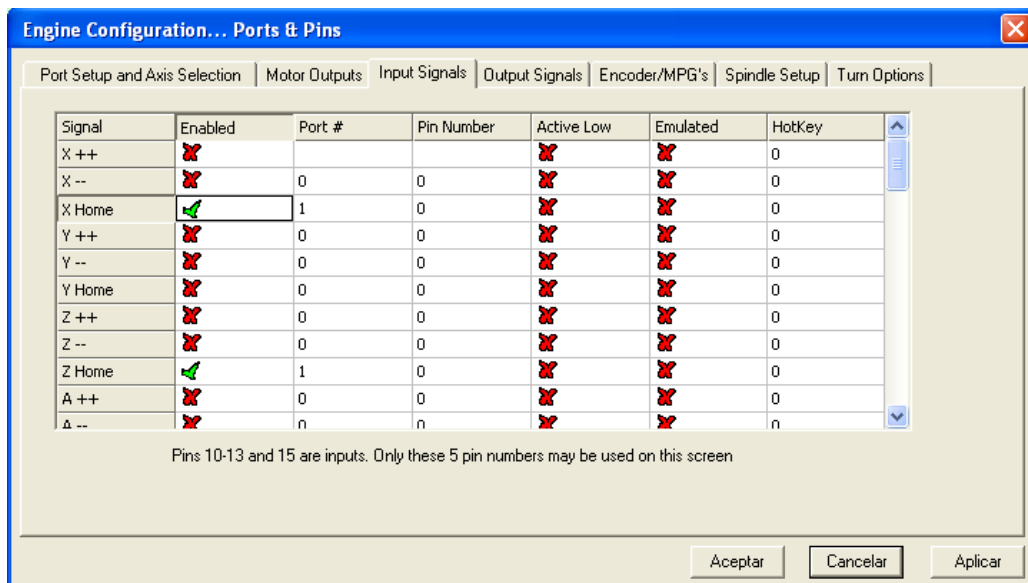


Figura 3.22 Entrada de señales

Así como se definió las señales de entrada, también se debe definir los pines de los puertos paralelos por donde van a ingresar las señales

De la misma manera se debe definir los pines de salida de señal desde el software hacia la tarjeta principal (figura 3.23).

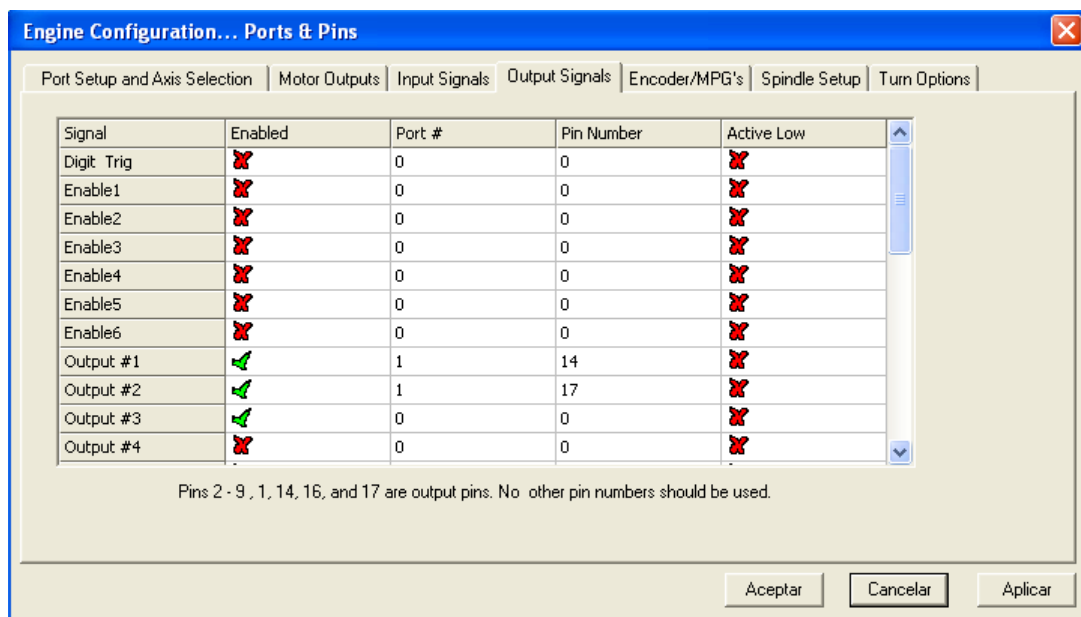


Figura 3.23 Pines de salida de señal

Afinación de motores (Tuning motors): en este punto debemos ingresar los parámetros de velocidad, aceleración y el número de pasos por unidad Mach3 en los diferentes ejes, los datos de velocidad, aceleración y desaceleración se puede calcular de acuerdo a las masas de las partes, momentos de inercia del motor y tornillos, fuerzas de fricción y del torque disponible, pero el software recomienda colocar los valores realizando pruebas de funcionamiento de arranque y frenado, para obtener un sonido confortable; no es un método científico pero da buenos resultados, para los datos del número de pasos por unidad Mach3, se calcula en función de la unidad mecánica, las propiedades del motor a pasos o del encoder del servomotor de la siguiente manera:

Pasos por unidad Mach3 = Pasos por rev. Mach3 * Rev. del motor por unidad.

Donde:

Pasos por rev. Mach3 = Pasos por rev. del motor.

Para los servomotores depende del número de CPR o ciclos por revolución que genera el encoder, para los servomotores que tienen un encoder de 1024 CPR, este dato se multiplica por 4 dando un resultado de 4096 pasos por rev. del motor, con una velocidad de 740 rpm.

Para tornillos en milímetros.

Rev. del motor por unidad = (rev. tornillo por unidad x Ns)/Nm.

La relación de este dato debe ser 1 o inferior a 1 cuando se trata de milímetros y cuando se trata de pulgadas debe ser superior a 1.

Donde:

Rev. Tornillo por unidad = 1 / paso efectivo del tornillo.

Ns = Número de dientes del engranaje que se encuentra acoplado al tornillo.

Nm = Número de dientes del engranaje que se encuentra acoplado al eje del motor.

Paso efectivo del tornillo = La distancia que mueve el eje por una rev. Tornillo.

Cuando se tiene un tornillo con múltiples entradas, se debe multiplicar el paso efectivo por el número de entradas.

Para tornillo en pulgadas son las mismas ecuaciones, la diferencia radica que se emplean los hilos por pulgada (hpp), esto ingresa en el paso efectivo del tornillo de la siguiente manera:

$$\text{Paso efectivo del tornillo} = 1/\text{hpp}$$

De igual manera si se tiene múltiples entradas en el tornillo, se debe multiplicar el número de entradas por el paso efectivo.

Cálculos para los ejes Z

Datos:

Paso efectivo del tornillo: 5mm

$$N_s = 15$$

$$N_m = 1$$

$$\text{CPR} = 894$$

Rev. Tornillo por unidad = $1 / \text{paso efectivo del tornillo}$.

$$\text{Rev. Tornillo por unidad} = 1 / 5 = 0.2$$

Rev. Motor por unidad = $(\text{rev. del tornillo por unidad} \times N_s) / N_m$.

$$\text{Rev. Motor por unidad} = (0.2 \times 15) / 1 = 3.$$

Como el eje Z se maneja mediante un servomotor, se acoge los datos que son para dichos actuadores, por lo tanto se tiene:

Pasos por rev. Mach3 = Pasos por rev. del motor.

$$\text{Pasos por rev. Mach3} = 3576 \text{ pasos por rev. Mach3}$$

Pasos por unidad Mach3 = Pasos por rev. Mach3 x Rev. del motor por unidad.

Pasos por unidad Mach3 = 3576 x 3 = 10728 pasos por unidad Mach3.

Cálculos para el eje X.

Datos:

Paso efectivo del tornillo: 2mm

Ns = 15

Nm = 1

CPR = 200

Rev. Tornillo por unidad = 1 / paso efectivo del tornillo.

Rev. Tornillo por unidad = 1 / 2 = 0.5

Rev. Motor por unidad = (rev. del tornillo por unidad x Ns)/Nm.

Rev. Motor por unidad = (0.5 x 15) / 1 = 7.5.

Como el eje X se maneja mediante un servomotor, se acoge los datos que son para dichos actuadores, por lo tanto se tiene:

Pasos por rev. Mach3 = Pasos por rev. del motor.

Pasos por rev. Mach3 = 800 pasos por rev. Mach3

Pasos por unidad Mach3 = Pasos por rev. Mach3 x Rev. del motor por unidad.

Pasos por unidad Mach3 = 800 x 7.5 = 6000 pasos por unidad Mach3.

Una vez obtenidos estos valores se ingresan en el cuadro de diálogo de Motor tuning, como se aprecia en la figura 3.24 para el ejes Z. Para el eje X en la

figura 3.25. Cada vez que se realice un cambio de configuración en cualquier eje, siempre debe pulsar el botón de Save Axis Tuning para guardar los cambios realizados.

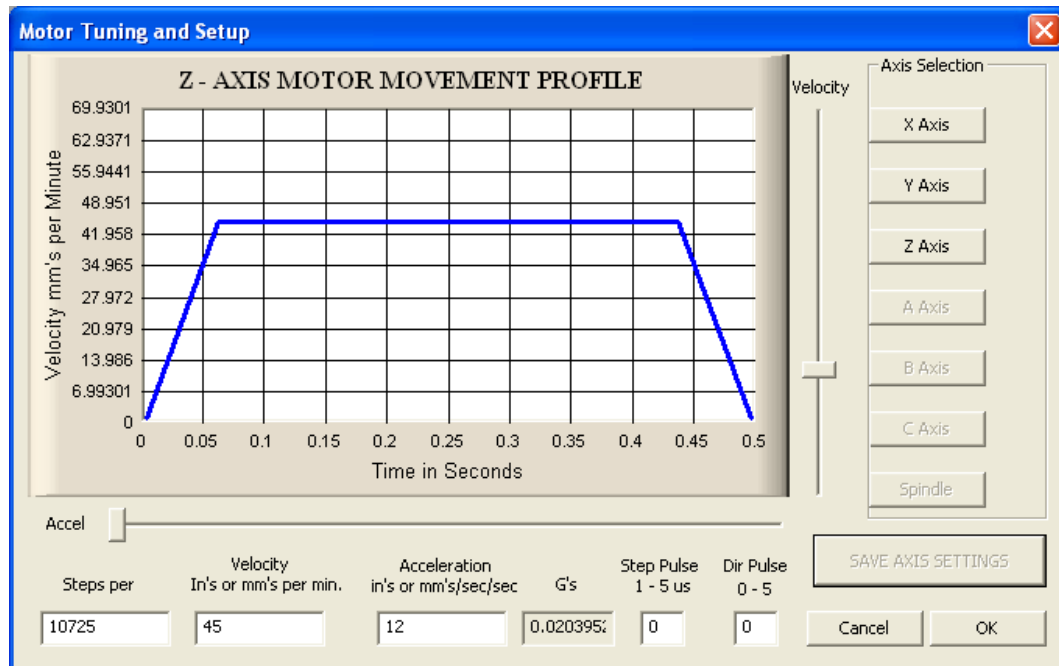


Figura 3.24 Afinación del motor para el eje Z.

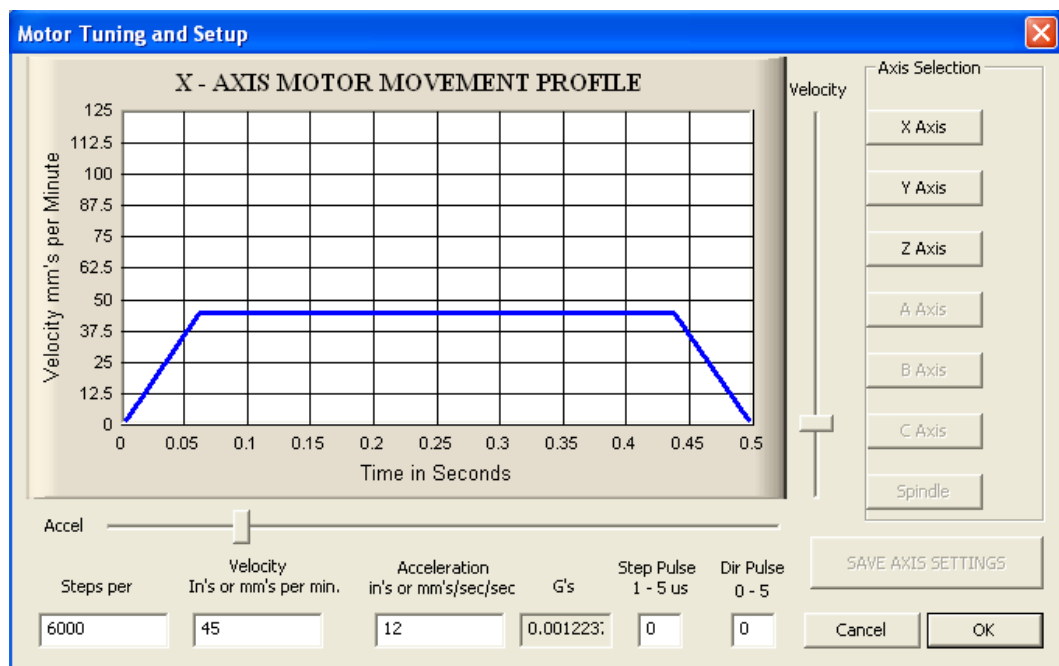


Figura 3.25 Afinación de motor para el eje X

Configuración de HOMES.

Para la configuración de los límites de trabajo se debe ingresar al cuadro de dialogo de configuración de Home and Soft limits como se ve en la figura 3.26, permite definir lo que suceda cuando se manda a home o a una referencia de operación esta se realiza con un switch de home definido. La velocidad de referencia es usada para mover un eje a velocidad completa cuando se busca este home o referencia.

Cuando se da instrucción el Mach3 no tiene idea de la posición de los ejes, la dirección depende de los cuadros HOME NEG CHECK.

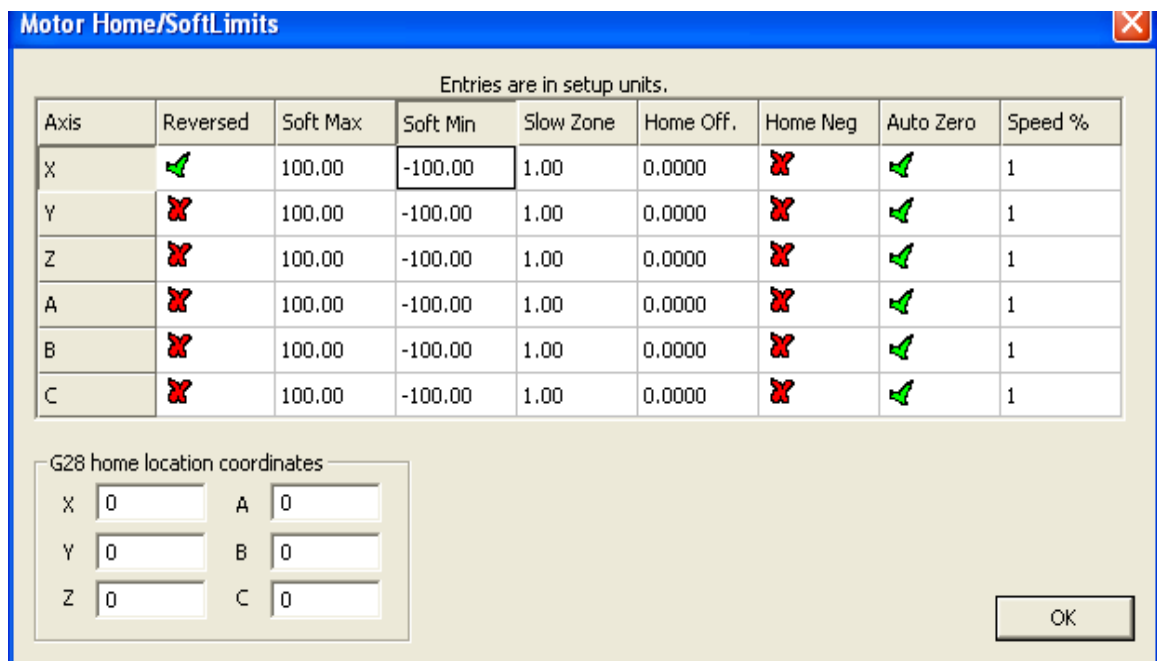


Figura 3.26 Límites o zona de trabajo.

Para la configuración lógica, los valores son los mismos por default, como se aprecia en la figura 3.27.

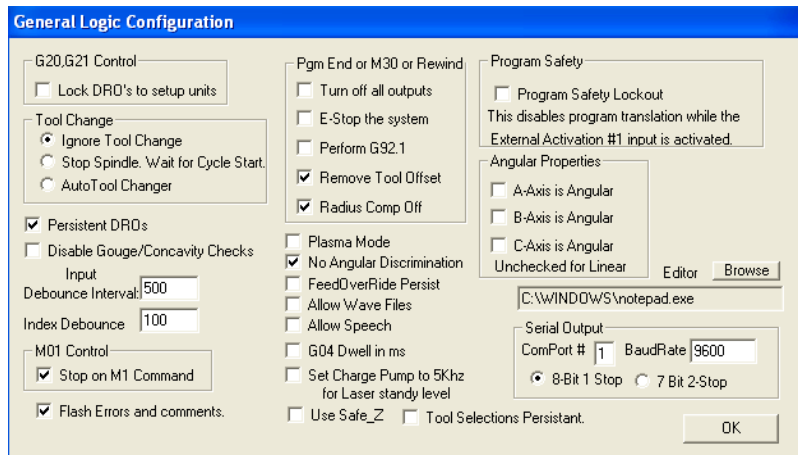


Figura 3.27 Configuración lógica

Para las demás configuraciones no se debe alterar o cambiar ningún dato, ya que se trabaja con los datos que proporciona el programa.

3.2.4 Controles del programa Mach3turn

Aquí se detalla los controles que posee la pantalla principal de ejecución del programa para el control de la maquina en forma automática (figura 3.28).

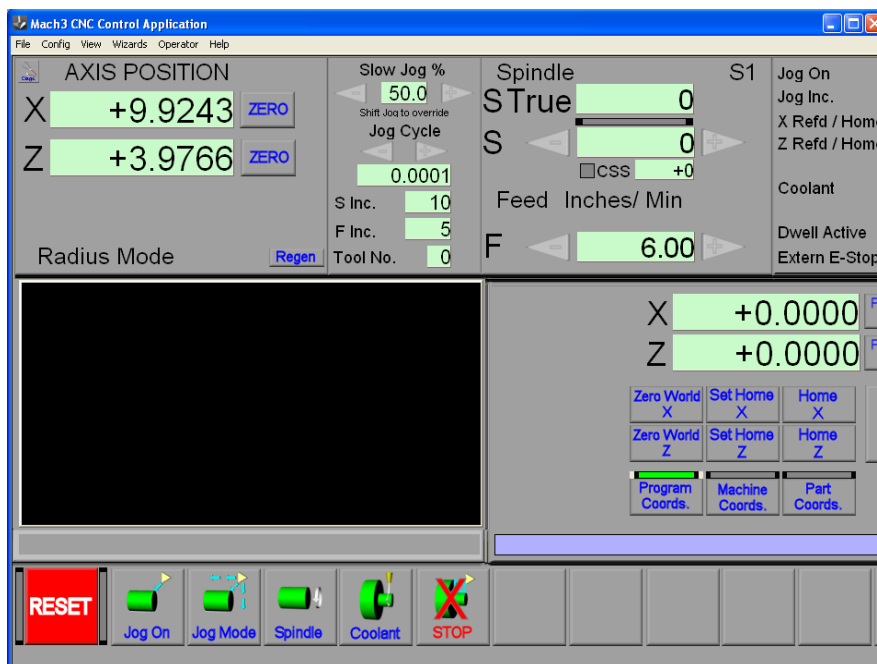


Figura 3.28 Controles de la pantalla principal

La pantalla de visualización del grafico es de fondo negro (figura 3.28), la pantalla de visualización de los códigos G donde se observa el código generado y las líneas de código, así como las coordenadas o distancias que deben desplazarse se observa en la siguiente grafica (figura 3.29).

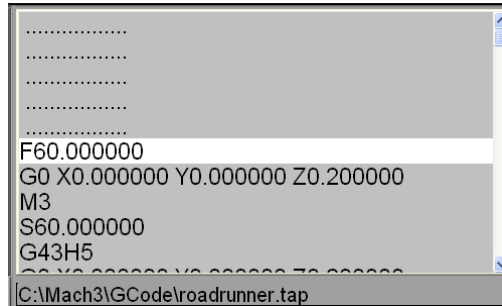


Figura 3.29 Pantalla de visualización de códigos G

La pantalla de posición de la herramienta, muestra la posición o distancia que se desplaza cada eje al momento de ejecutar un código G, además se puede hacer cero todos los ejes al momento de llegar al punto de referencia o Home (figura 3.30).

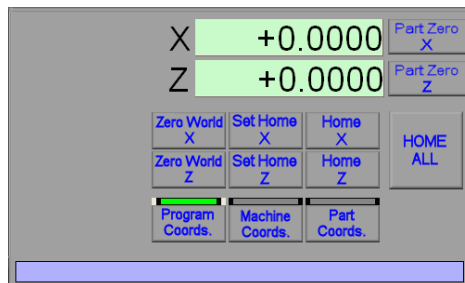


Figura 3.30 Pantalla de posición de la herramienta

Como se puede apreciar en la figura 3.31, la pantalla posee algunos controles como los que se detallan a continuación:

Cycle: Este botón sirve para comenzar a ejecutar el programa.

Stop: Con este se detiene el control de los ejes rápidamente.

Rewind: Nos permite rebobinar el actual programa.

Zero all: Permite colocar a cero todos los ejes.

Zero Z: Coloca a cero solo el eje Z.

Reload: Permite recargar nuevamente el programa, cuando se hace cero todos los ejes, y se desea repetir el mismo proceso.

Spindle: Este activa o desactiva el mandril al ser pulsado y se activa también cuando se ejecuta el código M3 ó M4 para la inversión de giro y se desactiva cuando se ejecuta el código M5.

Reset: Este permite apagar o parar al programa

Load: Aquí el operario puede cargar un programa desde una dirección específica.

Recent: Abre todos los archivos usados recientemente.

Unload: Limpia la pantalla de códigos G del programa que este carga do en ese momento.

Diagnostic: Esta opción nos muestra una pantalla de diagnostico (figura 3.31), donde se visualiza las entradas y salidas que se encuentran activadas y desactivadas, antes y durante la ejecución del programa.

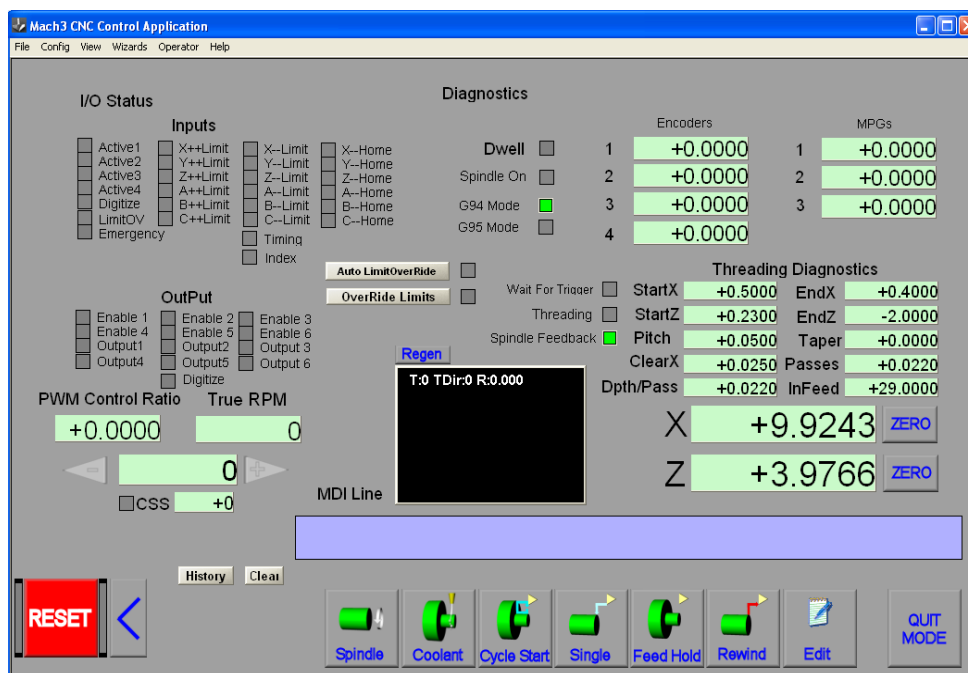


Figura 3.31 Pantalla de diagnóstico.

Se tiene la opción MDI Line (entrada de datos manualmente), donde se puede ingresar los códigos y ser ejecutados manualmente mediante el teclado, esta función se emplea cuando existe alguna anomalía en el programa o parada de emergencia, entonces se ingresa el código a fin de retornar al punto de origen; también se emplea para realizar pruebas (figura 3.32).



Figura 3.32 Forma de ingresar códigos G

3.2.5 Ingresar un programa de código G en Mach3turn.

Para ingresar un programa de códigos al Mach3turn, se ingresa el programa mediante el menú File>Load G-code y se selecciona el archivo que se va a mecanizar o reproducir (figura 3.33), se debe tener un archivo donde ya se encuentren producidos los códigos G.

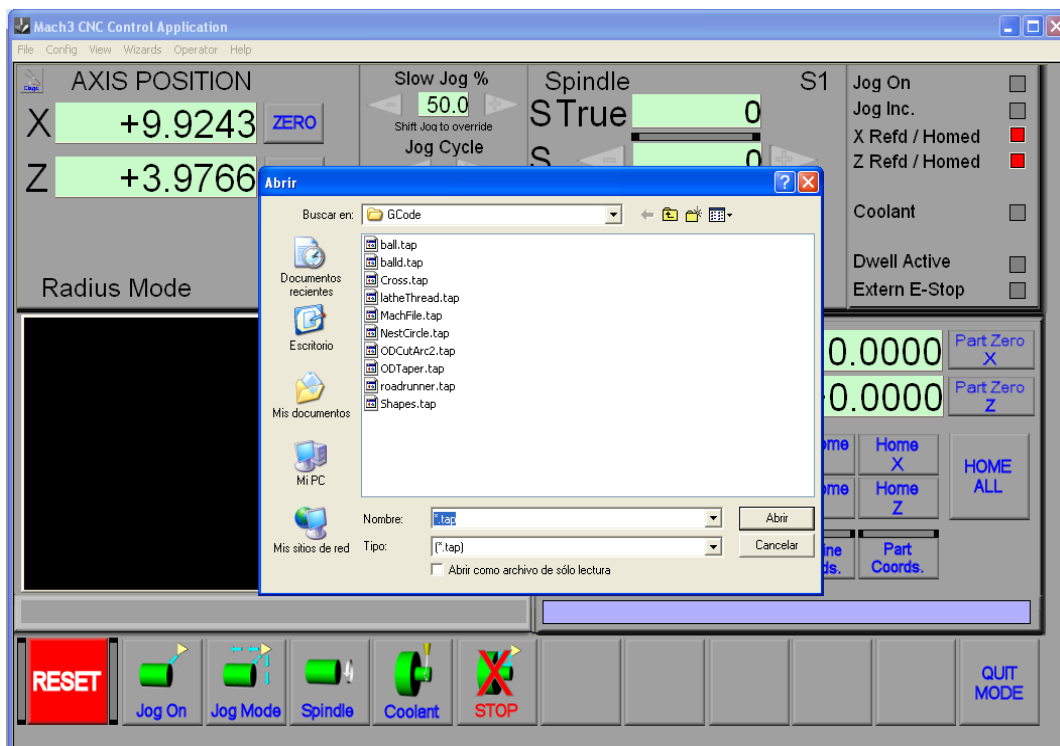


Figura 3.33 Forma de ingresar el programa

También se puede ingresar mediante el botón recent, que se encuentra en la pantalla principal del programa, en donde se despliega una pantalla como la que se ilustra en la figura 3.34 donde se muestra los archivos abiertos recientemente, y ahí se escoge el archivo que se va utilizar.

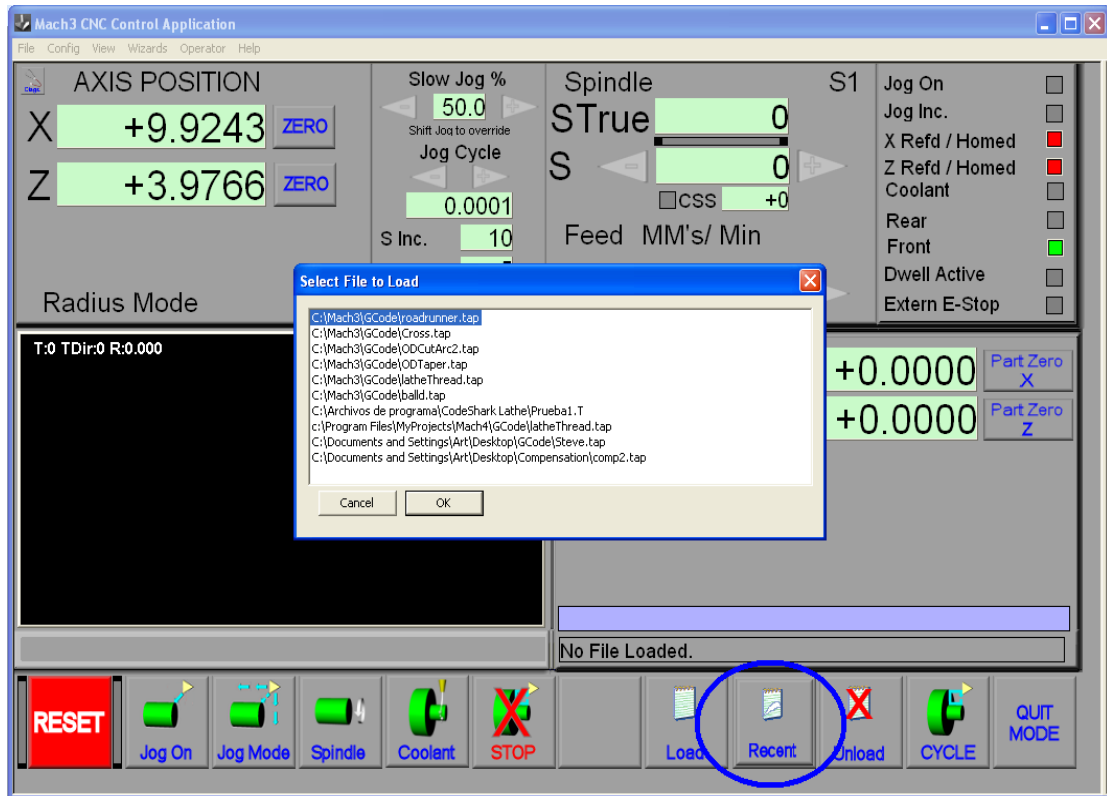


Figura 3.34 Forma de ingresar el programa

3.3 ENLACE CAD / CAM

El diseño asistido por computador, abreviado como DAO pero más conocido por las siglas inglesas CAD (Computer Aided Design), es el uso de una amplio rango de herramientas computacionales que asisten a ingenieros, arquitectos y a otros profesionales del diseño en sus respectivas actividades. También se llega a encontrar denotado con una adicional "D" en las siglas CADD, diseño y bosquejo asistido por computadora (Computer Aided Drafting and Design).

El diseño asistido por computadora es, además, la herramienta principal para la creación de entidades geométricas enmarcadas dentro de procesos de administración del ciclo de vida de productos (Product Lifecycle Management), y que involucra software y algunas veces hardware especiales.

Los usos de estas herramientas varían desde aplicaciones basadas en vectores y sistemas de dibujo en 2 dimensiones (2D) hasta modeladores en 3 dimensiones (3D) a través del uso de modeladores de sólidos y superficies paramétricas. Se trata básicamente de una base de datos de entidades geométricas (puntos, líneas, arcos, etc.) con la que se puede operar a través de una interfaz gráfica. Permite diseñar en dos o tres dimensiones mediante geometría alámbrica, esto es, puntos, líneas, arcos, splines, superficies y sólidos para obtener un modelo numérico de un objeto o conjunto de ellos.

La fabricación asistida por computadora, también conocida por las siglas en inglés CAM (Computer Aided Manufacturing), hace referencia al uso de un extenso abanico de herramientas basadas en los ordenadores que ayudan a ingenieros, arquitectos y otros profesionales dedicados al diseño en sus actividades.

Los datos creados con el CAD, se mandan a la máquina para realizar el trabajo, con una intervención del operador mínima.

Algunos ejemplos de CAM son: el fresado programado por control numérico, la realización de agujeros en circuitos automáticamente por un robot, soldadura automática de componentes SMD en una planta de montaje.

CAM (Computer Aided Manufacturing o Manufactura asistida por computadora): La manufactura asistida por computadora (CAM, de computer aided manufacturing), implica el uso de computadores y tecnología de cómputo

para ayudar en todas las fases de la manufactura de un producto, incluyendo la planeación del proceso y la producción, maquinado, calendarización, administración y control de calidad. El sistema CAM abarca muchas de las tecnologías. Debido a sus ventajas, se suelen combinar el diseño y la manufactura asistidos por computadora en los sistemas CAD/CAM.

Esta combinación permite la transferencia de información dentro de la etapa de diseño a la etapa de planeación para la manufactura de un producto, sin necesidad de volver a capturar en forma manual los datos sobre la geometría de la pieza. La base de datos que se desarrolla durante el CAD es almacenada; posteriormente ésta es procesada por el CAM, para obtener los datos y las instrucciones necesarias para operar y controlar la maquinaria de producción, el equipo de manejo de materiales y las pruebas e inspecciones automatizadas para establecer la calidad del producto.

Una función de CAD/CAM importante en operaciones de maquinado, es la posibilidad de describir la trayectoria de la herramienta para diversas operaciones, como por ejemplo torneado, fresado y taladrado con control numérico. Las instrucciones o programas se generan en computadora, y pueden modificar el programador para optimizar la trayectoria de las herramientas. El ingeniero o el técnico pueden entonces mostrar y comprobar visualmente si la trayectoria tiene posibles colisiones con prensas, soportes u otros objetos.

En cualquier momento es posible modificar la trayectoria de la herramienta, para tener en cuenta otras formas de piezas que se vayan a maquinar. También, los sistemas CAD/CAM son capaces de codificar y clasificar las piezas en grupos que tengan formas semejantes, mediante codificación alfanumérica.

Para el sistema CAD se emplea el Mach3turn para generar el contorno de las piezas a mecanizar, y para el CAM se emplea el mismo Mach3turn mediante el cual se controla el proceso aquí nos damos cuenta de la potencialidad del software que genera los códigos en el mismo Mach3turn directamente para ejecutar el mecanizado.

Primeramente se ingresa en el menú del software Wizards donde se despliega otra pantalla (figura 3.35) donde podemos escoger las opciones de trabajo: torneado que deseamos realizar el cual puede ser el de cilindrado o cualquier forma predeterminada de pieza, además de la operación de roscado.

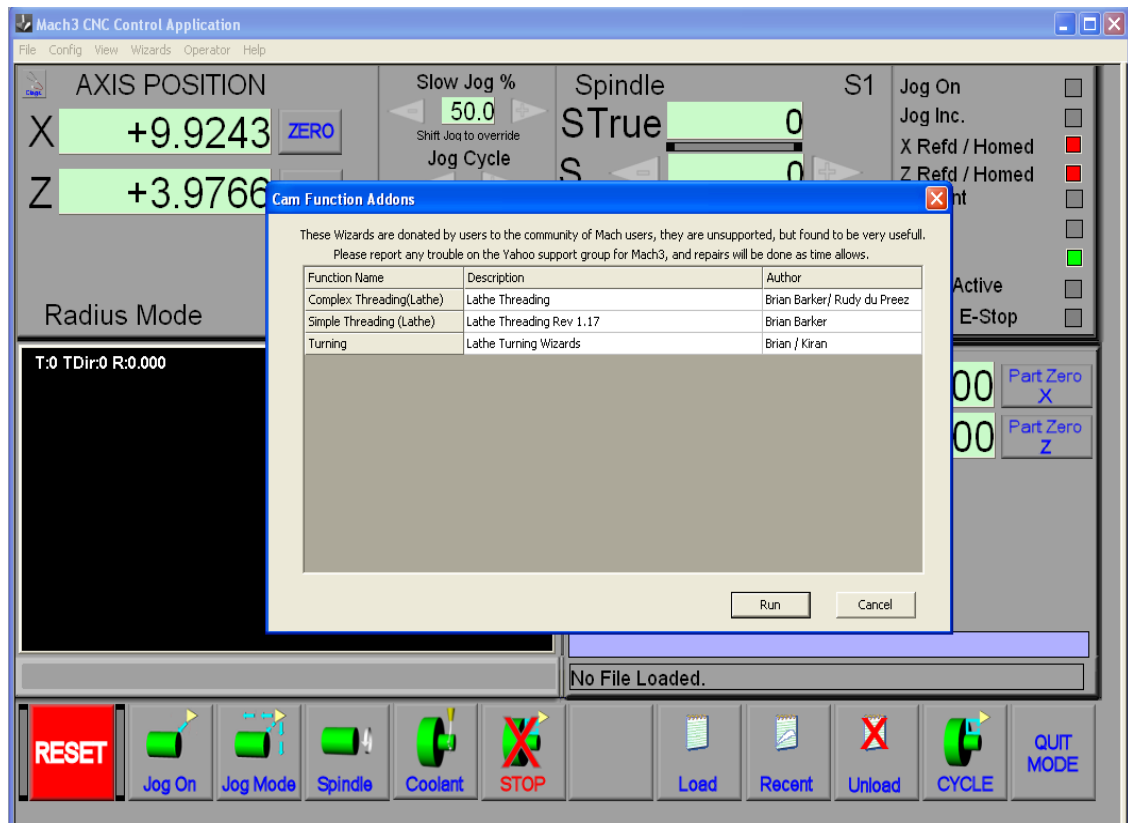


Figura 3.35 Pantalla de selección de operación de torneado.

Al escoger la función Turnig se despliega otra pantalla (figura 3.36) donde se selecciona el tipo de torneado de forma que se va realizar.

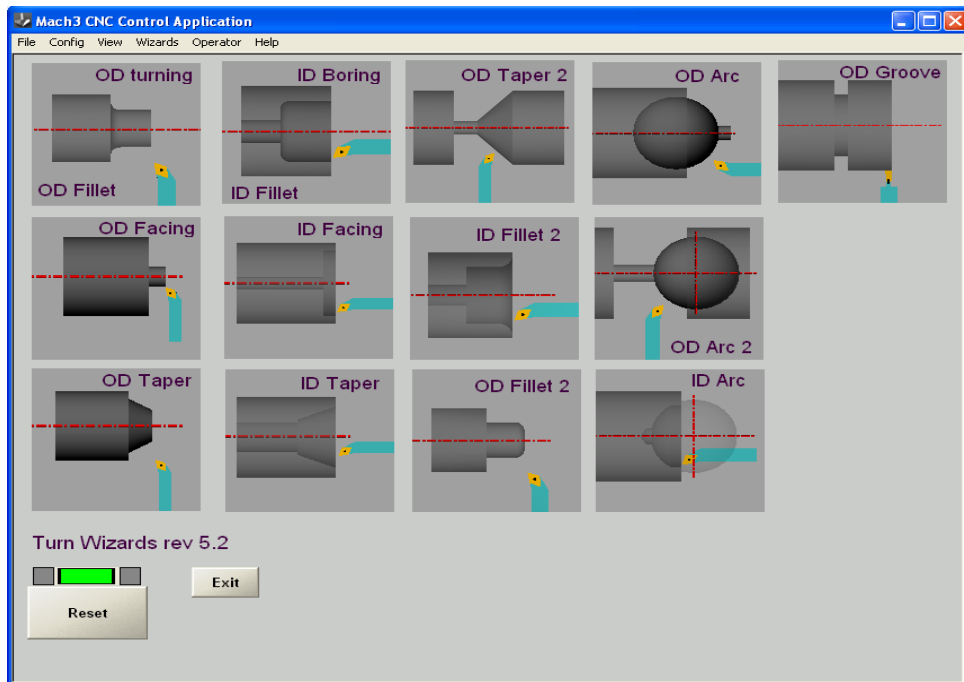


Figura 3.36 Tipos de torneados de forma que se pueden crear.

Como se observa tenemos una serie de torneados de forma que podemos realizar con este CAD dando clic en una de estos tipos se nos abre otro cuadro de dialogo ver figura 3.37 donde se ingresa los datos requeridos para la creación de los códigos G que serán utilizados para la manufactura de la pieza a mecanizar.

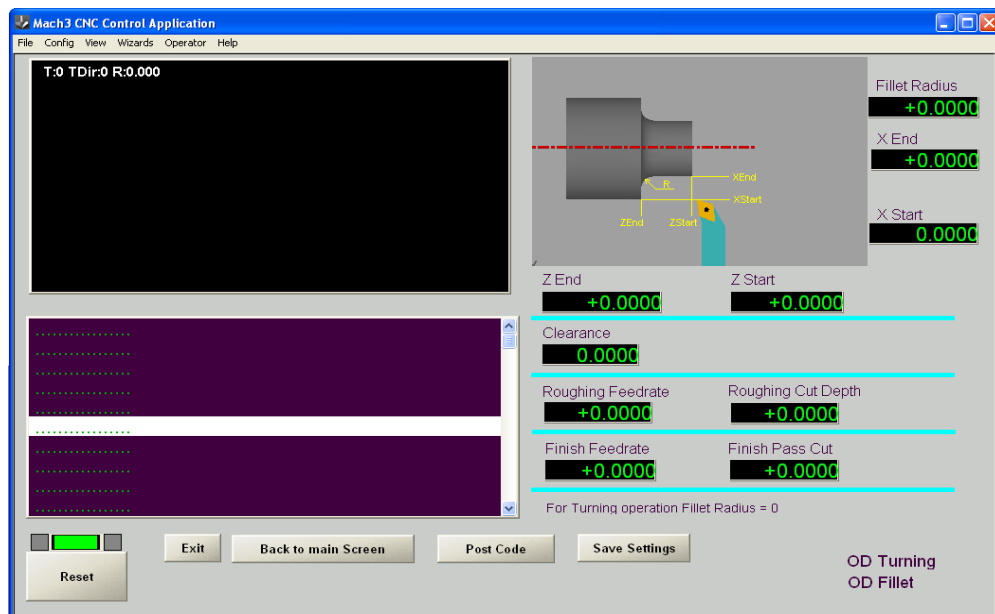


Figura 3.7 Ventana de creación de códigos G

3.3.1 Generación de códigos G

Finalmente queda realizar la generación de códigos G, para ello se ingresan los datos en el cuadro de dialogo anterior de acuerdo a las características del material a ser maquinado para ingresar velocidades de avance y profundidades de corte, es conveniente guardar el código G generado en un archivo con extensión TAP, o dejar que el Mach3turn inserta la extensión automáticamente (figura 3.38) este archivo es guardado automáticamente en la carpeta GCode del software.

Podemos ver aquí como se crean automáticamente los códigos G al dar clic en le botón Post Code de acuerdo a los datos ingresados y además tenemos una pantalla de visualización de la pieza tridimensional, donde se puede ver el número de pasadas que se darán en la construcción de la misma. Al momento de generar los códigos G también se generan los códigos M.

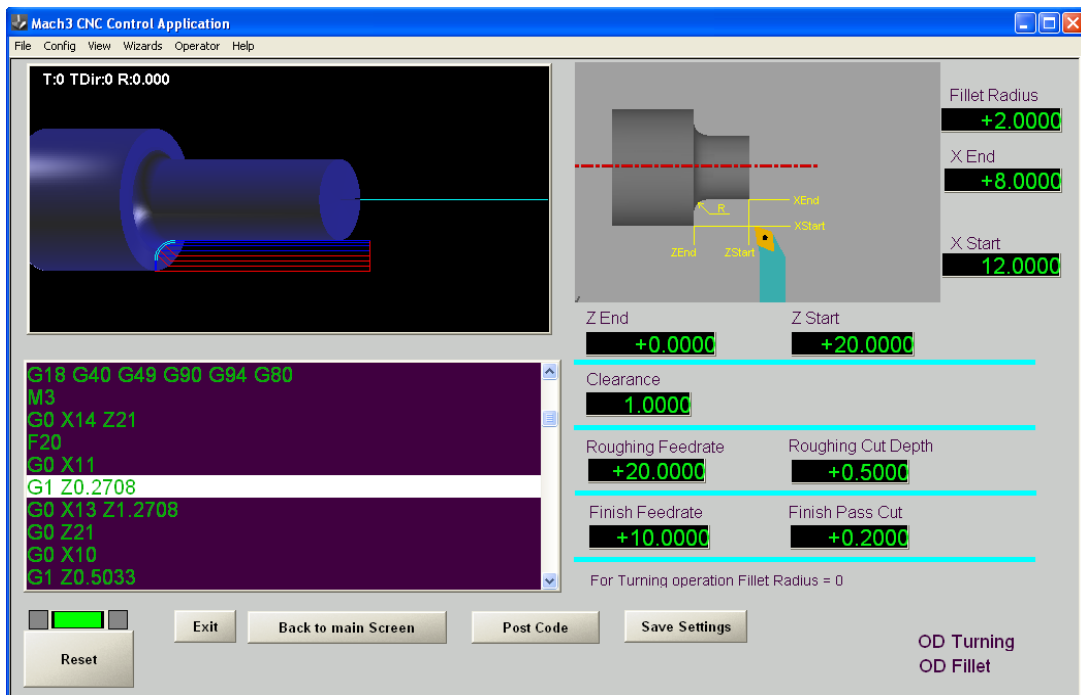


Figura 3.38 Generación de códigos G.

Los datos más importantes y que se encuentra en las demás formas de torneado son:

X End: Radio final de la pieza luego de mecanizar.

X Start: Radio de la pieza antes de mecanizar, estos datos dependen de diámetro del material a ser mecanizado.

Z End: Posición final del mecanizado del carro longitudinal.

Z Start: Posición inicial de la pieza en el carro longitudinal, de estas dos posiciones depende la longitud del trabajo de la pieza.

Clearance: Espacio existente antes de realizar la penetración de la herramienta de corte en la pieza.

Roughing Feedrate: Velocidad de avance para el mecanizado en el desbastado del material.

Roughing Cut Depth: Profundidad de corte en el desbastado del material.

Finish Feedrate: Velocidad de avance para el mecanizado en el final de este para el afinado de la pieza.

Finish Pass Cut: Profundidad de corte para el afinado de la pieza.

Finalmente se carga el código generado en el Mach3turn CAM donde se realizan los ajustes necesarios para la fabricación de la pieza (figura 3.39).

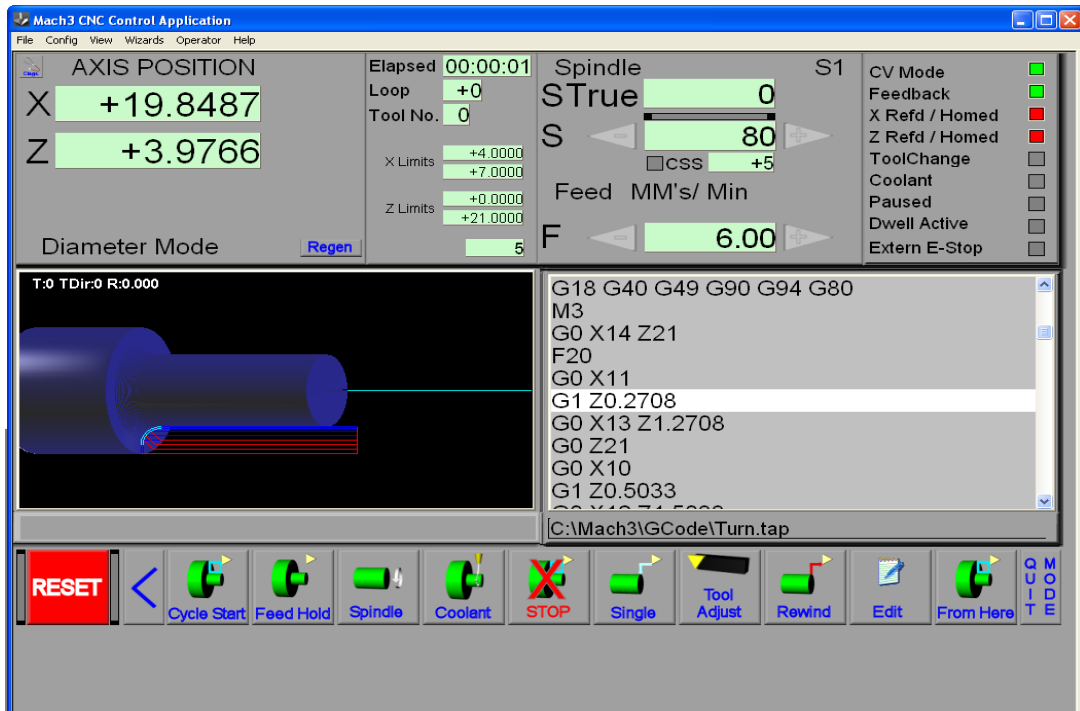


Figura 3.39 Carga de códigos G para el mecanizado

3.4 Diseño de la interfase de comunicación hacia el sistema de control

Es necesario especificar la interfase de comunicación que se maneja entre la PC y la tarjeta principal.

3.4.1 Interfase de comunicación entre la PC y la tarjeta principal

La comunicación entre la PC y la tarjeta principal es paralela, por aquí se envían los datos hacia los actuadores y se recibe las señales de los limit y home switches del torno.

Se utiliza la comunicación paralela porque el software Mach3turn emplea esta interfase y además porque es muy fácil enviar señales TTL de 0 ó 5 Voltios “0L” o “1L”.

Se realiza por intermedio de un cable, que tiene una longitud de 305mm (12in.), con dos conectores DB25 machos en sus extremos, que se conectan entre el puerto de la impresora de la PC y la tarjeta principal, a través de un adaptador en el cual uno de sus extremos tiene un conector DB25 hembra, que se conecta al cable de la interfase y el otro tiene un conector DB26 que se conecta a la tarjeta principal. La distribución de pines del adaptador se presenta en la tabla 3.3.

Pin1	Salida 1
Pin2	Pasos para el eje X
Pin3	Pasos para el eje Y
Pin4	Pasos para el eje Z
Pin5	Pasos para el eje A
Pin6	Dirección para el eje X
Pin7	Dirección para el eje Y
Pin8	Dirección para el eje Z
Pin9	Dirección para el eje A
Pin10	Parada o Estop.
Pin11	Home X
Pin12	Home Y
Pin13	Home Z
Pin14	Salida 2
Pin15	Home A
Pin16	Salida 3
Pin17	Salida 4 pin para cargar bomba
Pin18 a 26	PC GND.

Tabla 3.3 Distribución de pines del adaptador

CAPITULO IV

IMPLEMENTACIÓN Y PRUEBAS DEL SISTEMA

4.1 Implementación y montaje del sistema mecánico

Terminado el diseño del sistema mecánico, realizamos el montaje e implementación de sus partes.

4.1.1 Montaje de la estructura del carro longitudinal (coordenada “Z”)

El mecanismo que va montado en las guías principales del torno como se muestra en la figura 4.1 y que soportara el peso del carro transversal su acople para el movimiento se realiza con el usillo de bolas con su respectiva tuerca para dar movimiento al torno en su coordenada Z.



Figura 4.1 Montaje del carro longitudinal.

4.1.2 Montaje del carro transversal a la estructura del carro longitudinal (coordenada “X”)

El carro transversal esta sujeto al carro por medio de tornillos al carro longitudinal, este consta también de guías de deslizamiento acoplados a un tornillo M12 para poder realizar el movimiento del trono en la coordenada X. En la figura 4.2 se muestra el montaje de dicho carro.

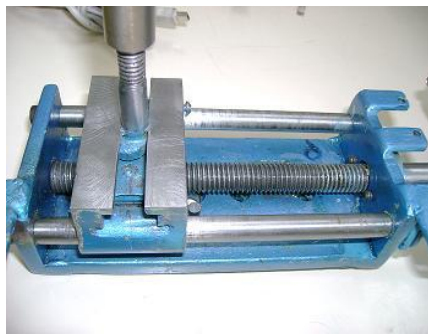


Figura 4.2 Montaje del carro transversal.

4.1.3 Montaje de la estructura del Cabezal Móvil

La estructura del Cabezal móvil al igual que el carro longitudinal esta acoplado a las guías principales del torno. En la figura 4.3 se observa como la estructura esta montada es las guías, posee un tornillo de fijación para fijar el cabezal móvil cuando se trabaje con contrapunto o se realice una perforación al material.



Figura 4.3 Montaje de la estructura del Cabezal móvil

4.1.4 Montaje del Cabezal Fijo y mandril.

Este cabezal va montado en la base principal o bancada del torno como se muestra en la figura 4.4. Para la fijación del mandril utilizamos rodamientos axiales y un eje en donde se acopla el mismo mediante tornillos el mismo que termina siendo acoplado al motor principal trifásico por medio de un sistema de poleas y banda para la transmisión de movimiento.

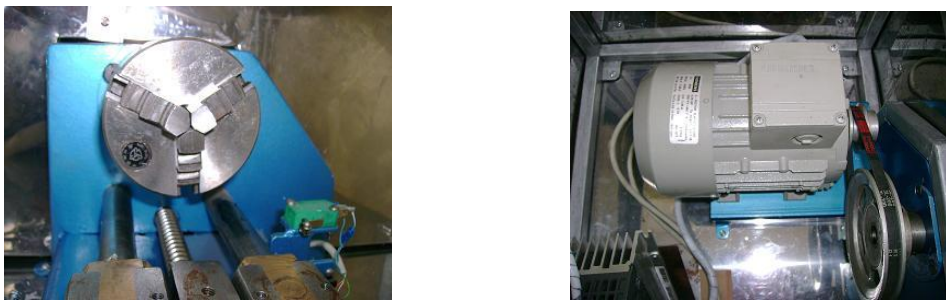


Figura 4.4 Montaje del Cabezal Fijo y Mandril.

Una vez acoplado los sistemas mecánicos de movimiento a la bancada del torno montamos la misma sobre una mesa para que se soporte la maquina y a la ves se realiza una estructura para evitar que ocurra un accidente cuando el torno este realizando el mecanizado automáticamente esta protección cuenta con una mica transparente que nos permitirá ver como se realiza el trabajo. En la figura 4.5 podemos apreciar la maquina terminada.



Figura 4.5 Maquina Terminada

4.2 Implementación de los sistemas de control

4.2.1 Fuente de alimentación para los actuadores (motores)

En la implementación de los sistemas de control es de considerable importancia, el diseño de la fuente que alimenta cada uno de los motores, por lo cual fue necesario diseñar una fuente de voltaje de 30 Vdc a 5A, ya que este valor de voltaje cumple con los requerimientos de las tarjetas que controlan los servomotores. Para esta fuente se construyó un transformador de 110Vac a 22Vac a una corriente de 6A, y una placa electrónica dotada de un puente rectificador y dos condensadores para filtrar la señal continua que será enviada a las tarjetas. En la figura 4.6 se observa el diseño de la fuente de alimentación.

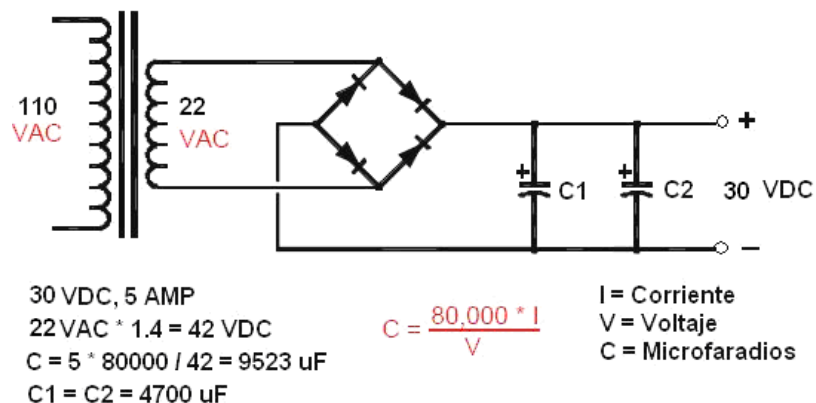


Figura 4.6 Fuente de alimentación

4.2.2 Finales de carrera e interruptores de referencia

Los límites de recorrido en las coordenadas X, Z están controlados mediante switches limitadores de carrera, de los cuales se usan los contactos normalmente abiertos que envían una señal a la tarjeta principal para que detengan el programa, una vez que se sale de los límites de trabajo.

El Home o punto de referencia es importante para la posición inicial de la herramienta, por lo tanto en las estructuras de las coordenadas X,Z se implemento dos sensores ópticos, los cuales tienen una buena sensibilidad, lo que permite los carros longitudinal y transversal se ubiquen en el punto de coordenadas 0,0 de donde iniciará su trabajo; de estos sensores se utilizan los contactos normalmente abiertos los cuales envían la señal a la tarjeta principal, una vez que el sensor detecta la posición de los carros en la coordenada 0,0 de los carros X,Z, se detiene movimiento de los servomotores y permite programa encerrar la posición de la herramienta en el punto de referencia o Home de la maquina. En la figura 4.7 se observa los sensores ópticos del Home de las coordenadas X,Z.

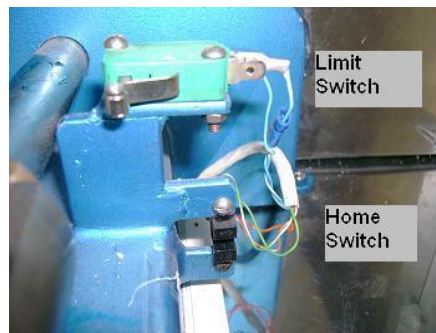


Figura 4.7 Sensores del Home de las coordenadas X,Z

4.2.3 Caja principal de control para el Torno CNC

Cumplida la selección de las tarjetas controladoras y el diseño de la fuente de alimentación, queda por realizar una caja de control principal, donde se colocaran los distintos elementos para el control automático del torno.

En la parte interior de esta caja de control (figura 4.8) se han implementado los siguientes elementos: Transformador (1) y fuente de alimentación a 30VDC (2), dos tarjetas controladoras para los servomotores (3), tarjeta de señales para finales de carrera y home (4), un adaptador DB25 hembra para la interfase de la PC con la tarjeta principal (5), tarjeta principal (6), una fuente de alimentación a 12 y 5 VDC (7), y el ventilador disipador de calor (8), un tomacorriente para la

alimentación de la PC (9), un pulsador de paro de emergencia (10), variador de velocidad (11), un breaker termo magnético de alimentación de línea (12), pulsadores independientes on/off para las tarjetas controladoras (13) y luces piloto (14).

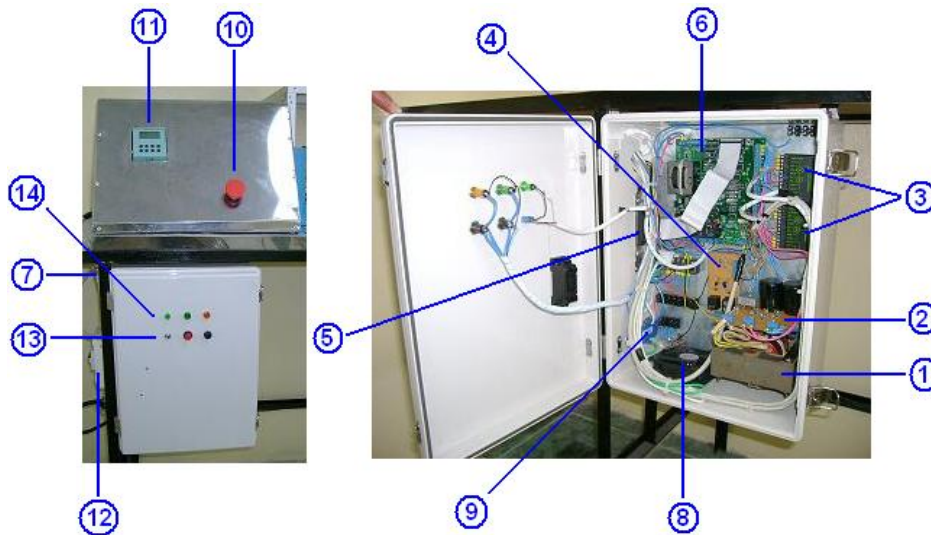


Figura 4.8 Caja de Control, parte externa e interior.

4.3 Pruebas y resultados del sistema mecánico

Finalizando la implementación del sistema mecánico queda efectuar las pruebas de funcionamiento de los carros en las coordenadas X,Z, la calibración de los carros y el movimiento de los mismos a través de los motores, observando que los mecanismos no tengan atascamientos y sin ruidos extraños.

4.3.1 Carros transversal y longitudinal de las coordenadas “X”,”Z” respectivamente

Se realizó la calibración y verificación del movimiento del carro transversal a lo largo del eje X, así como también la calibración y verificación del movimiento del carro longitudinal a lo largo del eje Z.

4.3.2 Encendido del Mandril.

Se procede a configurar los valores necesarios para encenderle mandril, para lo cual se verifica: la alimentación eléctrica de la máquina, una vez terminado este proceso de calibración se realiza el encendido del mandril (figura 4.9), tomando en cuenta las precauciones necesarias para el arranque del mismo.



Figura 4.9 Encendido del mandril.

4.4 Pruebas y resultados de los sistemas de control

Aquí realizaremos las pruebas correspondientes para verificar el funcionamiento del sistema mecánico, hardware y software mediante el sistema de control utilizado en este proyecto.

4.4.1 Calibración de las tarjetas de control de los servomotores

Determinado la distribución de terminales en los servomotores tanto los de la armadura como los del encoder y verificadas las conexiones de alimentación, como se muestra en el plano eléctrico (anexo), se encienden cada uno de los servomotores a través de las tarjetas controladoras, se observa su comportamiento en el arranqué y durante el funcionamiento, para lo cual se calibra las variables de corriente, amortiguación y ganancia, girando los

potenciómetros hasta encontrar las condiciones óptimas de operación; terminado este proceso se verifica que el sentido de giro, velocidad y posición están acordes a los datos enviados por las tarjetas controladoras.

4.5 Pruebas y resultados del software de control

4.5.1 Generación de Códigos

Finalmente queda realizar la generación de códigos G, para ello se ingresan los datos en el cuadro de dialogo revisado en el párrafo 3.3 del capítulo 3,

Al momento de generar los códigos G también se generan los códigos M. (figura 4.10).

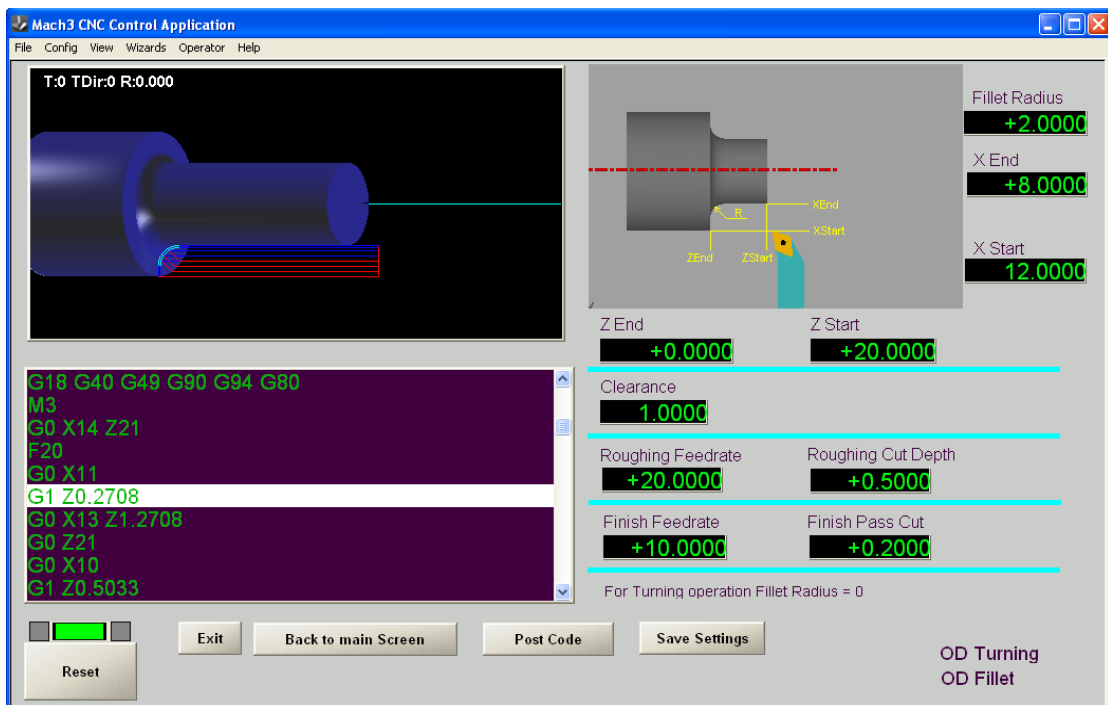


Figura 4.10. Generación de códigos G

Finalizada esta prueba se pudo notar que los códigos generados por el Mach3turn, tienen relación con las coordenadas de la pieza generada en la opción wizards del menú del software.

4.5.2 Enlace con las tarjetas controladoras

Después de comprobar la conexión de la interfase de comunicación, entre la PC-2-Route all in one Modelo M2 OEM seleccionada en el item 3.1.1.1 del capítulo 3 con el computador, queda por comprobar si existe comunicación con el software de control, por lo tanto se realiza las pruebas respectivas verificando si el programa envía las señales a la tarjeta y viceversa, observando en la pantalla de diagnostico las siguientes acciones (figura 4.11):

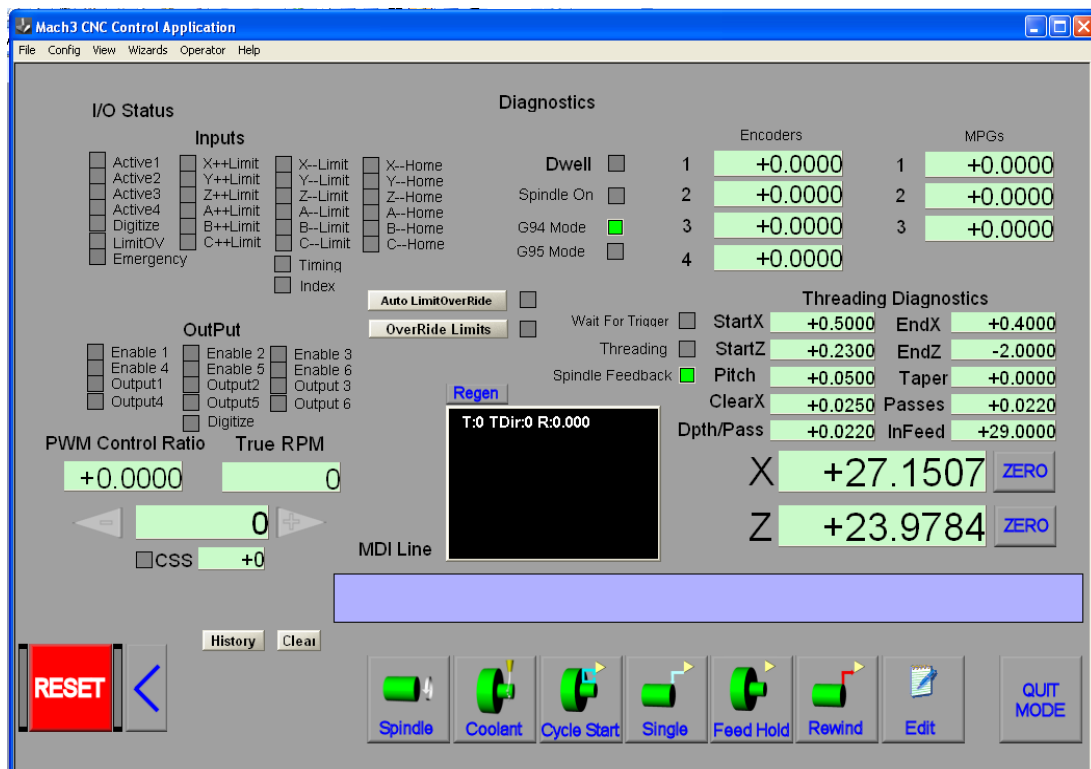


Figura 4.11 Pantalla de diagnostico

- Al pulsar cualquiera de los finales de carrera de las coordenadas X,Z se enciendan los leds indicadores en la pantalla de diagnostico del Mach3turn.
- Al sensor cualquiera de los Home Switchs de las coordenadas X,Z se enciendan los leds indicadores en la pantalla de diagnostico del Mach3turn.
- Al pulsar el boton Spindle del Mach3turn se enciende el mandril, se debe ingresar el valor de las rpm que se desea a la salida.
- Que al correr el programa, el sistema mecánico de movimientos de los carros actué conforme los datos enviados, es decir que la punta de la herramienta se desplace de acuerdo a la forma o contorno de la superficie.

4.6 Pruebas y resultados de todo el sistema automático de movimientos

4.6.1 Cero Absoluto o referencia de la máquina.

Grabado el contorno de la pieza a mecanizar en el programa Mach3turn y configurados los parámetros de velocidad con los que deben desplazarse los carros, realizamos una llamada con los pulsadores del Home en las coordenadas X,Z hasta que los sensores de referencia o cero absoluto detengan los carros en la coordenada 0,0 de la máquina. En la figura 4.12 se puede observar el punto donde los carros se posicionan y esperan la orden de inicio.

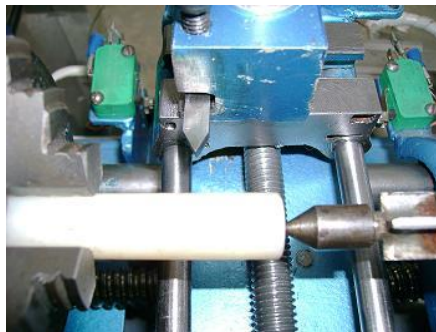


Figura 4.12 Punto de referencia o cero absoluto

4.6.2 Mecanizado

Para realizar una explicación detallada de los ensayos que se realizaron en las pruebas de mecanizado, se diseñó un torneado de forma con un chaflán, que una vez terminado permitió determinar que el sistema automático del torno funcionan correctamente.

4.6.3 Cero de Mecanizado o referencia de la pieza.

El software Match3turn debe tener una referencia de la máquina respecto al inicio de maquinado de la pieza denominado Cero Pieza debemos guiarnos en los datos generados en los codigos G según como ingresamos los valores de los diámetros y longitudes de torneado. Ver figura 4.13. Para llegar a esta posición debemos del home movernos manualmente en la coordenada X hasta que la herramienta llegue al centro del mandril (Referencia de la herramienta).

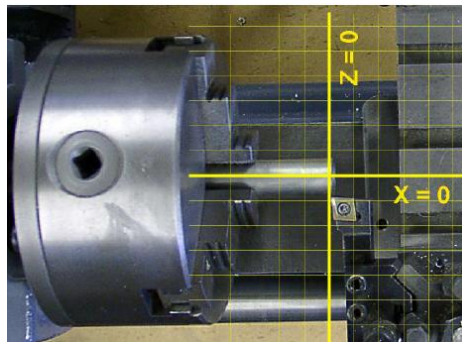


Figura 4.13 Cero pieza.

4.6.4 Ajuste del cero de la pieza en el software Match3turn.

Al estar en esta coordenada explicada anteriormente en software Mach3turn pasamos al la pantalla de modo auto damos clic en Part Cero X y Part Cero Z

botones que se muestran en la figura 4.14 para que este sepa donde está este punto.

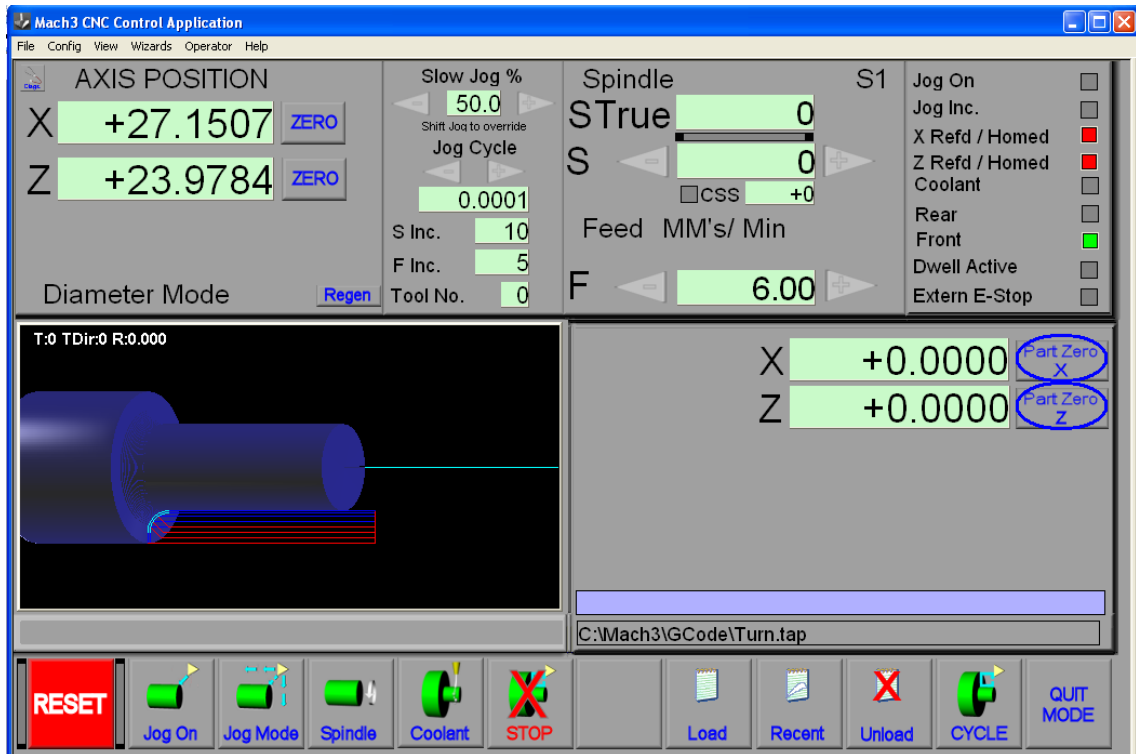


Figura 4.14 Ajuste cero pieza en el Match3turn.

4.6.5 Generación de códigos para el mecanizado

De igual forma como se explicó en el párrafo 4.5.1, el Mach3turn genera automáticamente los códigos que serán enviados a las tarjetas e interpretados por el sistema de control, mandando al sistema mecánico que realice los movimientos y el encendido del mandril, en base a las dimensiones de la pieza a mecanizar según el diseño gráfico.

Los códigos generados para el mecanizado de la pieza se pueden apreciar a través de un bloque de notas, el mismo que se puede obtener con el botón EDIT desde la pantalla principal del Mach3turn. En la figura 4.15 muestra los códigos generados por el programa durante las pruebas de mecanizado.

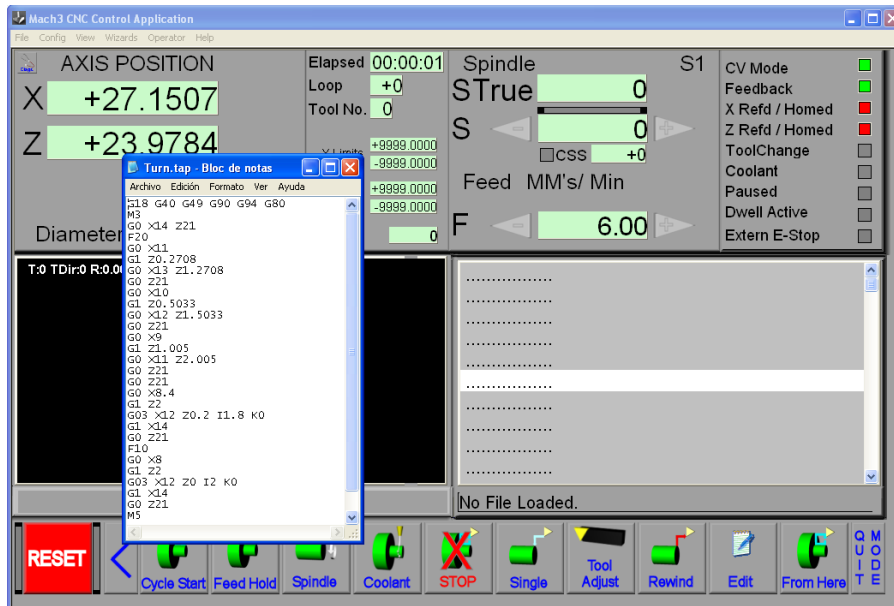


Figura 4.15 Visualización de los códigos generados a través del bloque de notas

4.6.6 Mecanizado de la pieza.

Se procedió a correr el programa y se observó que durante la tarea de mecanizado tanto el sistema mecánico de movimientos de los carros, los sistemas de control y el software funcionan adecuadamente en base a las condiciones establecidas por el operador.

En la figura 4.24 se muestra el mecanizado de la pieza generada.

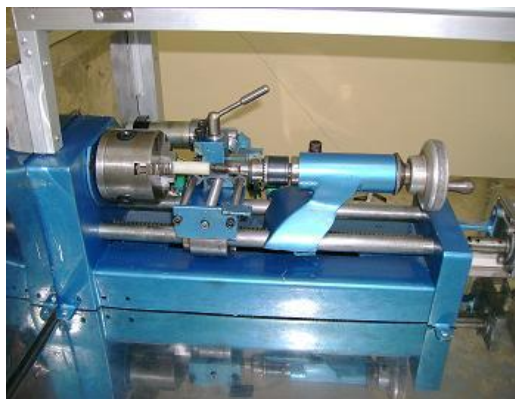


Figura 4.24 Operación de Mecanizado.

4.6.7 Resultados.

Para ver los resultados del tornado de forma se realizó unas piezas de ajedrez peones y una torre donde se obtuvo las piezas de acuerdo al diseño previo realizado.

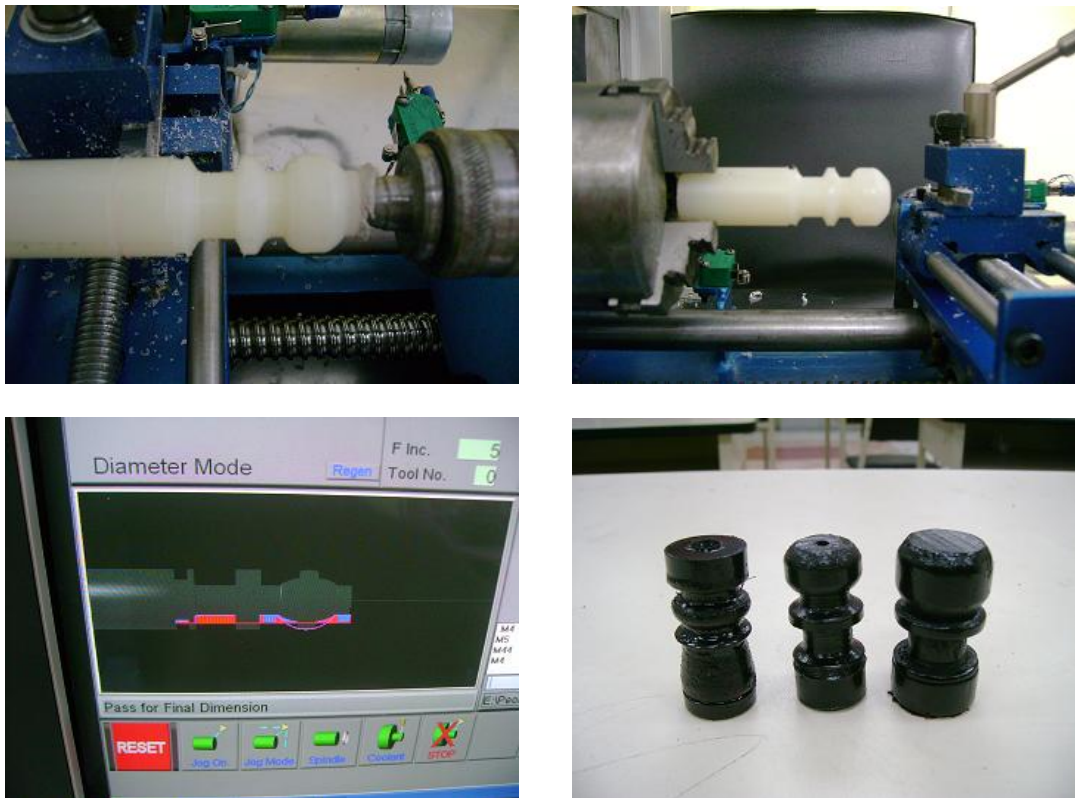


Figura 4.25 Resultados Obtenidos con el Sistema Automático del Torno CNC.

4.7 Manual de Operación y Mantenimiento

Ver los detalles de la operación y mantenimiento del Torno Automático Mediante Control Numérico Computarizado CNC en el ANEXO D.

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- Se diseño y construyó un prototipo de torno CNC, con un costo moderado y se pudo realizar piezas de perfiles dificultosos y de acuerdo al diseño previo.
- Logramos producir piezas en serie gracias a la generación de los códigos G que pueden ser almacenados en una base de datos.
- Se logró realizar un sistema de control apto para dar los movimientos a los carros longitudinal y transversal del proyecto.
- Se pudo seleccionar el software adecuado para el sistema CAD/CAM de nuestro proyecto utilizando el Mach3turn como soporte.
- Logramos que la velocidad de giro del cabezal, el avance de los carros longitudinal y transversal y los cotos de ejecución de la pieza están programadas y por tanto, exentas de fallos humanos imputables al operario de la máquina.

5.2 RECOMENDACIONES.

- Utilizar el torno CNC siempre y cuando se conozca las características técnicas de la máquina y su funcionamiento, el primer paso es leer el manual de instrucciones que se encuentra en el ANEXO F de este documento.
- Durante el proceso de mecanizado se debe cumplir con todas las normas de seguridad tanto para el equipo como para el personal, ya que el sistema puede causar lesiones graves.

- Para el óptimo funcionamiento del sistema de control y protección de las tarjetas electrónicas se debe chequear conexiones y ajuste de borneras.
- Impulsar a las futuras generaciones, a implicarse en el campo de la investigación y construcción de sistemas mecatrónicos, ya que esto congrega varias áreas del conocimiento.
- Otro factor importante a determinar es que todo programa debe indicar el lugar de posición que se ha elegido para referenciar la pieza que se llama "cero pieza". A partir del cero pieza se establece toda la geometría del programa de mecanizado.
- Propagar la aplicación de este sistema automático CNC en las grandes industrias del país.

ANEXO A

ANEXO A.A

VARIADOR SIEMENS SINAMIC

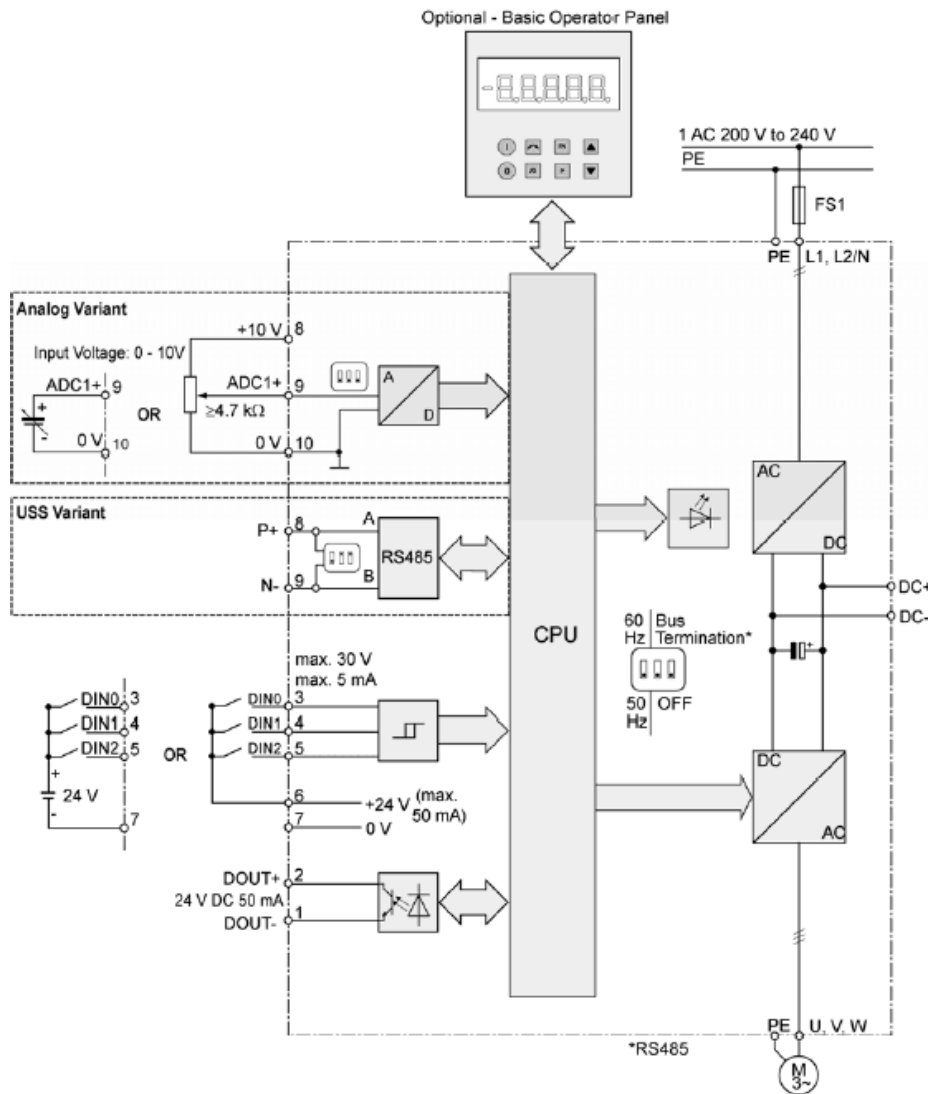
Tabla de especificaciones técnicas.

Tensión de red y gamas de potencia	1 AC 200 V a 240 V ±10%	0,12 kW a 3,0 kW	
Frecuencia de red	47 Hz a 63 Hz		
Frecuencia de salida	0 Hz a 650 Hz		
cos phi	≥ 0,95		
Rendimiento del convertidor	en equipos < 0,75 kW en equipos ≥ 0,75 kW	90% a 94% ≥ 95%	
Capacidad de sobrecarga	Corriente de sobrecarga 1,5 x corriente de salida asignada (es decir, de 150% capacidad de sobrecarga) durante 60 s, entonces 0,85 x corriente de salida asignada durante 240 s, tiempo de ciclo 300 s		
Corriente de precarga	no superior a la corriente asignada de entrada		
Método de control	Característica V/f lineal (con elevación de tensión parametrizable); característica V/f cuadrática; característica multipunto (característica V/f parametrizable)		
Frecuencia de pulsación	8 kHz (estándar)	2 kHz a 16 kHz (en escalones de 2 kHz)	
Frecuencias fijas	3, parametrizables		
Bandas de frecuencia inahibibles	1, parametrizable		
Resolución de consigna	0,01 Hz digital 0,01 Hz serie 10 bits analógica (potenciometro motorizado 0,1 Hz)		
Entradas digitales	3 entradas digitales parametrizables, sin aislamiento galvánico; tipo PNP, compatibles con SIMATIC		
Entrada analógica (variante analógica)	1, para consigna (0 V a 10 V, escalable o utilizable como cuarta entrada digital)		
Salida digital	1 salida por optoacoplador con aislamiento galvánico (24 V DC, 50 mA, óhm., tipo NPN)		
Puerto serie (variante USS)	RS485, para servicio con protocolo USS		
Distancia del cable del motor	máx. 25 m (apantallado)	máx. 50 m (sin apantallar)	
Compatibilidad electromagnética	convertidor disponible con filtro CEM integrado para sistemas de accionamiento en instalaciones de categoría C2 (disponibilidad restringida), el valor límite cumple EN 55 011, clase A, grupo 1	además todos los equipos dotados de filtro cumplen, si se utilizan cables apantallados de una longitud máx. de 5 m, los límites especificados en EN 55 011, clase B	
Frenado	por inyección de corriente continua		
Grado de protección	IP20		
Temperatura de servicio	-10 °C a +40 °C	hasta +50 °C con derating (desclasificación)	
Temperatura de almacenamiento	-40 °C a +70 °C		
Humedad relativa del aire	95% (condensación no permitida)		
Altitud de instalación	hasta 1000 m sobre el nivel del mar sin reducción de potencia	<ul style="list-style-type: none"> intensidad de salida asignada para 4000 m sobre nivel mar: 90% tensión de red hasta 2000 m sobre nivel mar: 100% para 4000 m sobre nivel mar: 75% 	
Funciones de protección para	Mínima tensión, sobretensión, defecto a tierra, cortocircuito, vuelco del motor, protección térmica del motor I ² t, sobrettemperatura en convertidor, sobrettemperatura en motor		
Conformidad con las normas	UL, cUL, CE c-tick		
Marcado CE	según directiva sobre baja tensión 73/23/CEE		
Pesos y dimensiones (sin accesorios)	Tamaño constructivo FS (Frame Size)	A x A x P mm	Peso, aprox. (kg) sin filtro con filtro
	A ≤ 0,37 kW	150 x 90 x 116	0,7 0,8
	A 0,55 kW y 0,75 kW	150 x 90 x 131	0,8 0,9
	A ≤ 0,37 kW con disipador plano	150 x 90 x 101	0,6 0,7
	A 0,55 kW y 0,75 kW con disipador plano	150 x 90 x 101	0,7 0,8
	B 1,1 kW y 1,5 kW	160 x 140 x 142	1,4 1,5
	C 2,2 kW	181 x 184 x 152	1,9 2,1
	C 3,0 kW	181 x 184 x 152	2,0 2,2

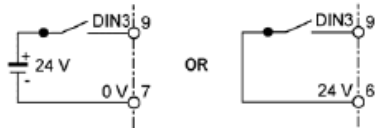
ANEXO A.B

VARIADOR SIEMENS SINAMIC

Diagrama de Bloques.




The analog input circuit can be alternatively configured to provide an additional digital input (DIN3) as shown:

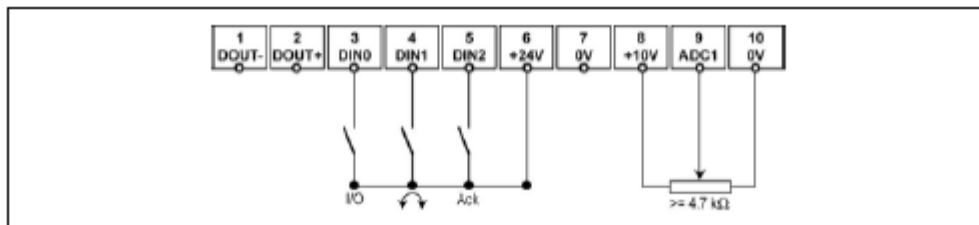


ANEXO A.C

VARIADOR SIEMENS SINAMIC

Terminales de Control.

Term.	Designation	Function		
1	DOUT-	Digital output (-)		
2	DOUT+	Digital output (+)		
3	DIN0	Digital input 0		
4	DIN1	Digital input 1		
5	DIN2	Digital input 2		
6	-	Isolated output +24 V / 50 mA		
7	-	Output 0 V		
	Variant	Analog		USS
8	-	Output +10 V		RS485 P+
9	ADC	Analog input		RS485 N-
10	-	Output 0 V		



ANEXO B

ANEXO B.A

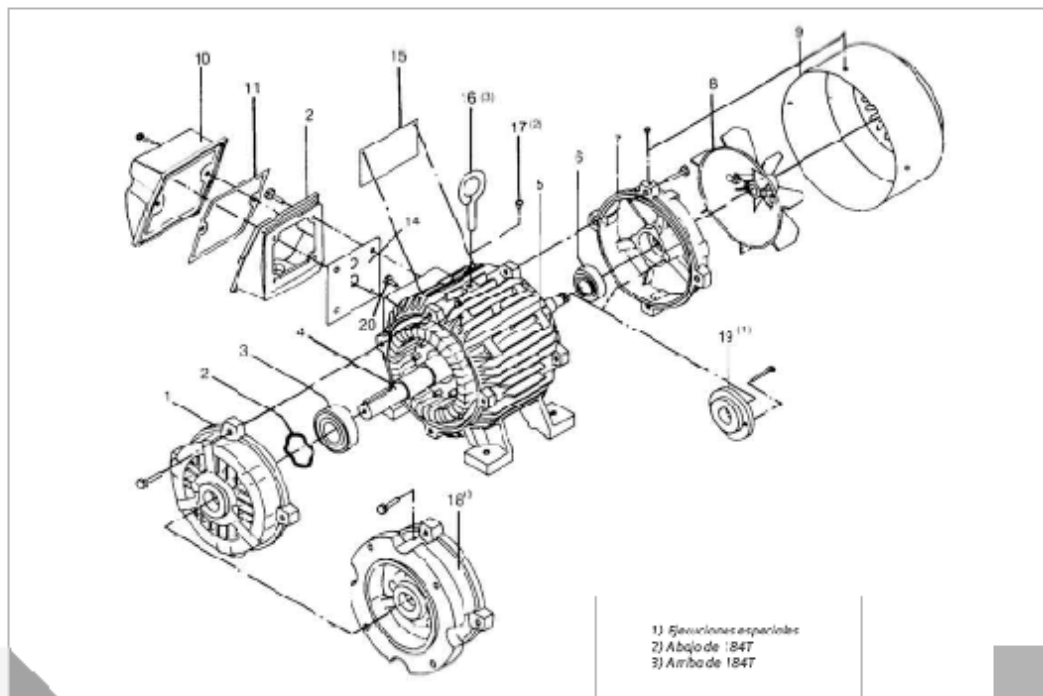
MOTOR TRIFASICO SIEMENS 0.75HP

Especificaciones técnicas.

Notas técnicas. Lista de partes

Lista de partes para motores trifásicos cerrados de alta eficiencia


1. Escudo soporte de rodamiento, lado accionamiento ("A").
2. Arandela de presión.
3. Rodamiento de bolas lado ("A")
4. Eje con paquete rotor y cuña espiga
5. Carcasa con paquete estator bobinado.
6. Rodamiento de bolas lado "E"
7. Escudo soporte de rodamiento, lado ventilador ("B").
8. Ventilador de plástico.
9. Capuchón de lámina.
10. Tapa caja de conexiones.
11. Empaque tapa base caja de conexiones.
12. Base caja de conexiones.
14. Empaque base caja de conex-carcasa.
15. Placa de características.
16. Cincamo.
17. Tapón para rosca cincamo.
18. Escudo soporte de rodamiento, con brida "C" e "D".
19. Tapa balero interior lado ventilador ("B").
20. Tornillo de tierra.



ANEXO B.B

MOTOR TRIFASICO SIEMENS 0.75HP

Especificaciones técnicas.

Motores trifásicos jaula de ardilla, alta eficiencia, totalmente cerrados		
Totalmente cerrados con ventilación exterior Montaje: Horizontal (F1) Asamblaje Clase F Diseño Nema B según Norma MG-1 33°C temp. ambiente a una altitud de 2300msnm 40°C temp. ambiente a una altitud de 1000msnm	Motores a prueba de explosión para atmósferas de División 1, Clase 1, Grupo D - Clase 2, Grupos F&G Para otra clasificación, favor de consultarnos. factor de servicio: 1.0 Motores RGZESD 1.15 Motores RGZE y RGZESD 1.25 Motores RGZF y RGZFSO Armazones 143T a 256T en 2 y 4 Polos	

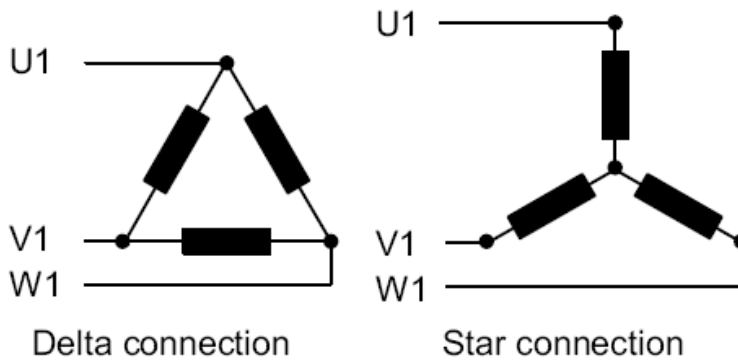
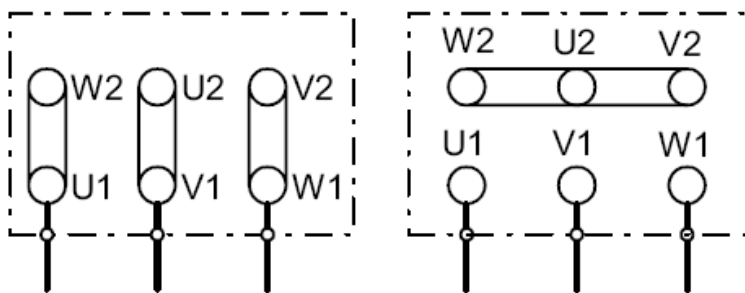
Potencia en HP	Descripción			Modelo			
	Velocidad en RPM	Tensión a 60 Hz en Volts	Tamaño Armazón NEMA	RGZE	RGZESD	RGZESD	
				Uso general Catálogo Spiridon	Servicio pesado No. de parte	A prueba de explosión Catálogo Spiridon	
0.5	900	220/440	143T	1LA01438YK30	NA	NA	
	0.75	1800	220/440	143T	1LA01434YK30	NA	1MJ91434YP30
		1200	220/440	143T	1LA01436YK30	NA	1MJ91436YP30
		900	220/440	145T	1LA01458YK30	NA	NA
1.5	3600	220/440	143T	1LA01432YK30	1LA91432YK30*	1MJ91432YP30	
	1800	220/440	143T	1LA01444YK30	1LA91444YK30*	1MJ91444YP30	
	1200	220/440	145T	1LA01456YK30	1LA91456YK30*	1MJ91456YP30	
	900	220/440	182T	1LA01828YK30	1LA91828YK30*	1MJ91828YP30	
	3600	220/440	143T	1LA01442YK30	1LA91442YK30*	1MJ91442YP30	
	1800	220/440	145T	1LA01454YK30	1LA91454YK30*	1MJ91454YP30	
2	1200	220/440	182T	1LA01826YK30	1LA91826YK30*	1MJ91826YP30	
	900	220/440	184T	1LA01848YK30	1LA91848YK30*	1MJ91848YP30	
	3600	220/440	145T	1LA01452YK30	1LA91452YK30*	1MJ91452YP30	
	1800	220/440	145T	1LA01464YK30	1LA91464YK30*	1MJ91464YP30	
3	1200	220/440	184T	1LA01846YK30	1LA91846YK30*	1MJ91846YP30	
	900	220/440	213T	1LA02138YK30	1LA92138YK30*	1MJ92138YP30	
	3600	220/440	182T	A788250006685	1LA91822YK30*	1MJ91822YP30	
	1800	220/440	182T	1LA01824YK30	1LA91824YK30*	1MJ91824YP30	
5	1200	220/440	213T	1LA02136YK30	1LA92136YK30*	1MJ92136YP30	
	900	220/440	215T	1LA02158YK30	1LA92158YK30*	1MJ92158YP30	
	3600	220/440	184T	1LA01842YK30	1LA91842YK30*	1MJ91842YP30	
	1800	220/440	184T	1LA01844YK30	1LA91844YK30*	1MJ91844YP30	
7.5	1200	220/440	215T	1LA02156YK30	1LA92156YK30*	1MJ92156YP30	
	900	220/440	254T	1LA02548YK30	1LA92548YK30*	1MJ92548YP30	
	3600	220/440	213T	1LA02132YK30	1LA92132YK30*	1MJ92132YP30	
	1800	220/440	213T	1LA02134YK30	1LA92134YK30*	1MJ92134YP30	
10	1200	220/440	254T	1LA02546YK30	1LA92546YK30*	1MJ92546YP30	
	900	220/440	256T	1LA02568YK30	1LA92568YK30*	1MJ92568YP30	
	3600	220/440	215T	1LA02152YK30	1LA92152YK30*	1MJ92152YP30	
	1800	220/440	215T	1LA02154YK30	1LA92154YK30*	1MJ92154YP30	
15	1200	220/440	256T	1LA02566YK30	1LA92566YK30*	1MJ92566YP30	
	900	220/440	284T	1LA02848FE71	1LA02848FE71*	*	
	3600	220/440	254T	1LA02542FE71	1LA92542YK30*	1MJ92542YP30	
	1800	220/440	254T	1LA02544FE71	1LA92544YK30*	1MJ92544YP30	
20	1200	220/440	284T	1LA02846FE71	1LA02846FE71*	*	
	900	220/440	286T	1LA02868FE71	1LA02868FE71*	*	
	3600	220/440	256T	1LA02562FE71	1LA92562YK30*	1MJ92562YP30	
	1800	220/440	256T	1LA02564FE71	1LA92564YK30*	1MJ92564YP30	
25	1200	220/440	286T	1LA02866FE71	1LA02866FE71*	*	
	900	220/440	324T	1LA03248FE71	1LA03248FE71*	*	
	3600	220/440	284T	1LA02842FE72	1LA02842FE72*	*	
	1800	220/440	284T	1LA02844FE71	1LA02844FE71*	*	
30	1200	220/440	324T	1LA03246FE71	1LA03246FE71*	*	
	900	220/440	326T	1LA03268FE71	1LA03268FE71*	*	
	3600	220/440	286T	1LA02862FE72	1LA02862FE72*	*	
	1800	220/440	286T	1LA02864FE71	1LA02864FE71*	*	
40	1200	220/440	326T	1LA03266FE71	1LA03266FE71*	*	
	900	220/440	364T	*	1LA03648FE71*	*	
	3600	220/440	324T	1LA03242FE72	1LA03242FE72*	*	
	1800	220/440	324T	1LA03244FE71	1LA03244FE71*	*	
40	1200	220/440	364T	1LA03646FE71	1LA03646FE71*	*	
	900	220/440	362T	*	1LA03628FE71*	*	

ANEXO B.C

MOTOR TRIFASICO SIEMENS 0.75HP

Conexiones.

IEC Motor



e.g.: Volts 230 V (Delta connection) / 400 V (Star connection)

ANEXO C

ANEXO C.A

TORNOS CNC.

Rangos de velocidad de corte y tipo de material.





	Refrentado, torneado, rectificación					
	Desbastado		Acabado		Roscado	
Material	pies/min	m/min	pies/min	m/min	pies/min	m/min
Acero de máquina	90	27	100	30	35	11
Acero de herramienta	70	21	90	27	30	9
Hierro fundido	60	18	80	24	25	8
Bronce	90	27	100	30	25	8
Aluminio	200	61	300	93	60	18
Polímeros	230	70	330	100	85	25

Velocidades de Avance.

AVANCES PARA DIVERSOS MATERIALES CON EL USO DE HERRAMIENTAS PARA ALTA VELOCIDAD				
	Desbastado		Acabado	
Material	Pulgadas	Milímetros	Pulgadas	Milímetros
Acero de máquina	0.010 - 0.020	0.25 - 0.50	0.003 - 0.010	0.07 - 0.25
Acero de herramientas	0.010 - 0.020	0.25 - 0.50	0.003 - 0.010	0.07 - 0.25
Hierro fundido	0.015 - 0.025	0.40 - 0.065	0.005 - 0.12	0.13 - 0.30
Bronce	0.015 - 0.025	0.40 - 0.65	0.003 - 0.010	0.07 - 0.25
Aluminio	0.015 - 0.030	0.40 - 0.75	0.005 - 0.010	0.13 - 0.25

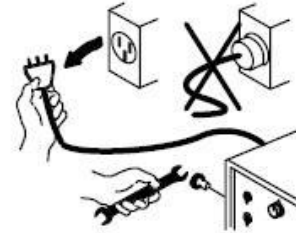
ANEXO C.B

Normas de seguridad.

NORMAS DE SEGURIDAD	
<ul style="list-style-type: none">En este equipo de trabajo será necesario la utilización de gafas de protección debido a que se producen proyecciones de material mecanizado	
<ul style="list-style-type: none">También será necesario la utilización de botas de seguridad debido a que se trabaja con piezas metálicas y puede producirse caída de las mismas durante su manipulación.	
<ul style="list-style-type: none">Es conveniente llevar ropa bien ajustada y guantes para la manipulación de las piezas, si se requiere.	
<ul style="list-style-type: none">Una descarga eléctrica del cableado, le puede matar.	
<ul style="list-style-type: none">Desconecte el enchufe de entrada o la potencia de entrada antes de trabajar en la máquina. No haga conexiones de entrada si usted no puede distinguir los colores, o es daltoniano.Inspeccione con frecuencia el cordón de entrada para determinar que no haya alambres averiados o desnudos; repare o reemplace el cordón inmediatamente si tiene averías. Asegúrese que el alambre de tierra de entrada esté conectado apropiadamente a un	

terminal de tierra en la caja de desconexión o disyuntor.

- Instale el equipo y conecte a la tierra de acuerdo al manual del operador y los códigos nacionales estatales y locales.



- Use protección de cuerpo completo. Use ropa protectora que no tenga aceite tal como guantes de cuero (piel), una camisa pesada, pantalones sin bastas y botas altas.

Antes de tornear.

Antes de poner la máquina en marcha para comenzar el trabajo de torneado, se realizarán las comprobaciones siguientes:

1. Que el mandril y su seguro contra el aflojamiento, estén correctamente colocados.
2. Que la pieza a tornear está correcta y firmemente sujeta y que en su movimiento no encontrará obstáculos.
3. Que se ha retirado del mandril la llave de apriete.
4. Que están firmemente apretados los tornillos de sujeción del portaherramientas.
5. Que la palanca de bloqueo del portaherramientas está bien apretada.

6. Si se usa contrapunto, comprobar que esté bien anclado a la bancada y que la palanca de bloqueo del husillo del contrapunto está bien apretada.
7. Que las carcasas de protección de transmisiones están correctamente colocadas y fijadas.
8. Que no hay ninguna pieza o herramienta abandonada sobre el torno, que pueda caer o salir despedida.
9. Que la cubierta de protección del mandril está correctamente colocada.
10. Que la pantalla transparente de protección contra proyecciones de virutas se encuentra bien cerrada.

Durante el torneado

1. Para trabajar, la persona que vaya a tornear se situará de forma segura, lo más separado que pueda de las partes que giran.
2. Todas las operaciones de comprobación, ajuste, etc., deben realizarse con el torno completamente parado; especialmente las siguientes:
 - Sujeción de la pieza
 - Cambio de la herramienta
 - Medición o comprobación del acabado
 - Limpieza
 - Ajuste de protecciones o realización de reparaciones
 - Alejamiento o abandono del puesto de trabajo
3. No se debe frenar nunca el mandril con la mano. Es peligroso llevar anillos o alianzas; ocurren muchos accidentes por esta causa.

4. Para medir, verificar o comprobar, la cuchilla deberá protegerse con un trapo o un capuchón de cuero. Así se evitan heridas en los brazos.

Orden, limpieza y conservación

1. El torno debe mantenerse en buen estado de conservación limpio y correctamente engrasado.
2. Asimismo hay que cuidar el orden, limpieza y conservación de las herramientas, utillaje y accesorios; tener un sitio para cada cosa y cada cosa en su sitio.
3. La zona de trabajo y las inmediaciones del torno deberán estar limpias y libres de obstáculos. Los objetos caídos y desperdigados pueden provocar tropezones y resbalones peligrosos, por lo que deberán ser recogidos antes de que esto suceda.
4. Se deben retirar las virutas con regularidad, sin esperar al final de la jornada.
5. Las herramientas deben guardarse en un armario o lugar adecuado. No debe dejarse ninguna herramienta u objeto suelto sobre el torno. Las cuchillas se protegerán con capuchones de plástico o cuero.
6. Tanto las piezas en bruto como las ya mecanizadas han de apilarse de forma segura y ordenada, o bien utilizar contenedores adecuados si las piezas son de pequeño tamaño. Se dejará libre un amplio pasillo de entrada y salida al torno. No debe haber materiales apilados detrás del operario.
7. Eliminar las basuras, trapos o cotones empapados en aceite o grasa, que pueden arder con facilidad, echándolos en contenedores adecuados. (metálicos y cerrados).
8. Las averías de tipo eléctrico del torno, solamente pueden ser investigadas y reparadas por un electricista profesional; a la menor anomalía de este

tipo desconecte la máquina, ponga un cartel de Máquina Averiada y avise al electricista.

- 9.** Las conducciones eléctricas deben estar protegidas contra cortes y daños producidos por las virutas y/o herramientas. Vigile este punto e informe a su inmediato superior de cualquier anomalía que observe.
- 10.** Durante las reparaciones coloque en el interruptor principal un cartel de No tocar Peligro Hombres trabajando. Si fuera posible, ponga un candado en el interruptor principal o quite los fusibles.

ANEXO C.D

MANDRIL DE 3 MORDAZAS AUTO CENTRANTE.

Características.

- Plato para torno de 3 mordazas autocentrante, totalmente templado y rectificado con 6 mordazas para interior y exterior marca CIM origen Taiwan – China.

DIAMETROS DISPONIBLES
80 mm
130 mm
160 mm
200 mm



ANEXO C.E

Tabla de códigos G.

Summary of G-codes	
G0	Rapid positioning
G1	Linear interpolation
G2	Clockwise circular/helical interpolation
G3	Counterclockwise circular/Helical interpolation
G4	Dwell
G10	Coordinate system origin setting
G12	Clockwise circular pocket
G13	Counterclockwise circular pocket
G15/G16	Polar Coordinate moves in G0 and G1
G17	XY Plane select
G18	XZ plane select
G19	YZ plane select
G20/G21	Inch/Millimetre unit
G28	Return home
G28.1	Reference axes
G30	Return home
G31	Straight probe
G40	Cancel cutter radius compensation
G41/G42	Start cutter radius compensation left/right
G43	Apply tool length offset (plus)
G49	Cancel tool length offset
G50	Reset all scale factors to 1.0
G51	Set axis data input scale factors
G52	Temporary coordinate system offsets
G53	Move in absolute machine coordinate system
G54	Use fixture offset 1
G55	Use fixture offset 2
G56	Use fixture offset 3
G57	Use fixture offset 4
G58	Use fixture offset 5
G59	Use fixture offset 6 / use general fixture number
G61/G64	Exact stop/Constant Velocity mode
G73	Canned cycle - peck drilling
G80	Cancel motion mode (including canned cycles)
G81	Canned cycle - drilling
G82	Canned cycle - drilling with dwell
G83	Canned cycle - peck drilling
G84	Canned cycle - right hand rigid tapping
G85	Canned cycle - boring, no dwell, feed out
G86	Canned cycle - boring, spindle stop, rapid out
G88	Canned cycle - boring, spindle stop, manual out
G89	Canned cycle - boring, dwell, feed out
G90	Absolute distance mode
G91	Incremental distance mode
G92	Offset coordinates and set parameters
G92.x	Cancel G92 etc.
G93	Inverse time feed mode
G94	Feed per minute mode
G95	Feed per rev mode
G98	Initial level return after canned cycles
G99	R-point level return after canned cycles

ANEXO C.F

Propiedades Mecánicas de los bronce y aceros.

δ 10 ⁻² mm	P psi	P N	σ N/mm ²	ϵ	δ 10 ⁻² mm	P psi	P N	σ N/mm ²	ϵ
0	0	0	0	0.0178	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0.0357	10	0	0	0	0.0122
20	0	0	0	0.0535	20	20	1081.92	2152.65	0.0245
30	0	0	0	0.0714	30	100	5409.6	10763.23	0.0367
40	10	540.96	407.56	0.0892	40	200	10819.2	21526.46	0.0490
50	50	2704.8	2037.82	0.1071	50	250	13524	26908.1	0.0612
60	100	5409.6	4075.64	0.125	60	300	16228.8	32289.7	0.0735
70	250	8114.4	6113.46	0.1428	70	350	18933.6	37671.30	0.0857
80	275	14876.4	11208.02	0.1607	80	400	21638.4	43052.92	0.0980
90	300	16228.8	12226.92	0.1785	90	550	29752.8	59197.8	0.1102
100	325	17581.2	13245.83	0.2142	100	700	37867.2	75342.62	0.1125
120	350	18933.6	14264.74	0.25	120	850	45981.6	91487.46	0.1470
140	360	19474.56	14672.31	0.2857	140	950	51391.2	102250.7	0.1716
160	370	20015.52	15079.88	0.3214	160	1000	54096	107632.31	0.1960
180	400	21638.4	16032.57	0.3561	180	1050	56800.8	113013.93	0.2205
200	400	21638.4	16032.57	0.3928	200	1100	59505.6	118395.54	0.2450
220	425	22990.8	17321.48	0.4285	220	1150	62210.4	123777.2	0.2696
240	450	24343.2	18340.39	0.4642	240	1150	62210.4	123777.2	0.2941
260	450	24343.2	18340.39	0.5	260	1150	62210.4	123777.2	0.3186
280	450	24343.2	18340.39	0.5357	280	1100	62210.4	123777.2	0.3431

ANEXO C.G

Características Del rodamiento 4205



Rodamientos rígidos de bolas, de dos hileras

Tolerancias , ver también el texto
 Juego radial interno , ver también el texto
 Ajustes recomendados
 Tolerancias del eje y del alojamiento

Dimensiones principales			Capacidades de carga		Carga límite de fatiga	Velocidades		Masa	Designación
d	D	B	C	C ₀	P _u	Velocidad de referencia	Velocidad límite		
mm			kN		kN	rpm		kg	-
10	30	14	9,23	5,2	0,224	40000	22000	0,049	4200 ATH9
12	32	14	10,6	6,2	0,26	36000	20000	0,053	4201 ATH9
12	37	17	13	7,8	0,325	34000	18000	0,092	4301 ATH9
15	35	14	11,9	7,5	0,32	32000	17000	0,059	4202 ATH9
15	42	17	14,8	9,5	0,405	28000	15000	0,12	4302 ATH9
17	40	16	14,8	9,5	0,405	28000	15000	0,09	4203 ATH9
17	47	19	19,5	13,2	0,56	24000	13000	0,16	4303 ATH9
20	47	18	17,8	12,5	0,53	24000	13000	0,14	4204 ATH9
20	52	21	23,4	16	0,68	22000	12000	0,21	4304 ATH9
25	52	18	19	14,6	0,62	20000	11000	0,16	4205 ATH9
25	62	24	31,9	22,4	0,95	18000	10000	0,34	4305 ATH9
30	62	20	26	20,8	0,88	17000	9500	0,26	4206 ATH9
30	72	27	41	30	1,27	16000	8500	0,5	4306 ATH9
35	72	23	35,1	28,5	1,2	15000	8000	0,4	4207 ATH9
35	80	31	50,7	38	1,63	14000	7500	0,69	4307 ATH9
40	80	23	37,1	32,5	1,37	13000	7000	0,5	4208 ATH9
40	90	33	55,9	45	1,9	12000	6700	0,95	4308 ATH9
45	85	23	39	36	1,53	12000	6700	0,54	4209 ATH9
45	100	36	68,9	56	2,4	11000	6000	1,25	4309 ATH9
50	90	23	41	40	1,7	11000	6000	0,58	4210 ATH9
50	110	40	81,9	69,5	2,9	10000	5300	1,7	4310 ATH9
55	100	25	44,9	44	1,9	10000	5600	0,8	4211 ATH9
55	120	43	97,5	83	3,45	9000	5000	2,15	4311 ATH9
60	110	28	57,2	55	2,36	9500	5300	1,1	4212 ATH9
60	130	46	112	98	4,15	8500	4500	2,65	4312 ATH9

ANEXO D

ANEXO D.A

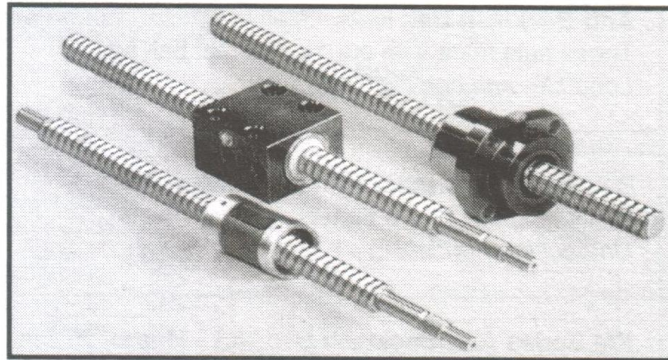
Especificaciones y características para la selección del Tornillo del Husillo a Bolas



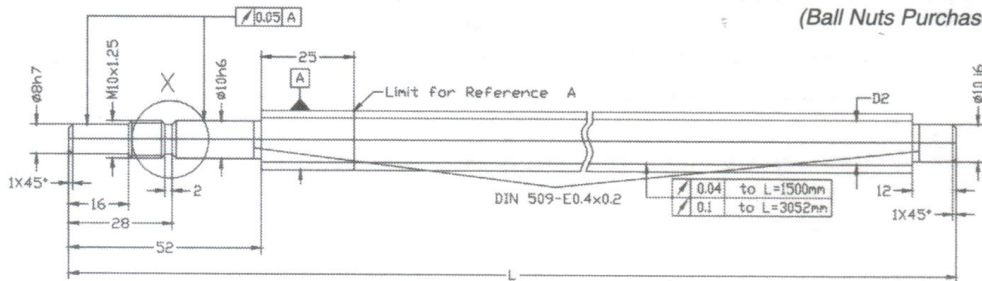
Ball Screws (16 mm dia.)

FEATURES

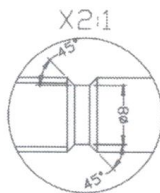
- $\varnothing 16$ mm, precision rolled and polished.
 - Material Cf 53, induction hardened to HRC 62 ± 2 .
 - Pitch accuracy ≤ 0.1 mm / 300 mm, ISO class 7.
 - Screw pitches of 2.5, 4, 5, 10 and 20 mm.
 - Available with machined and unmachined ends in lengths up to 3 m.
- High life expectancy.
 - Excellent cost/performance ratio.
 - Produce greater than 90% efficiency in converting rotary to linear motion.
 - Machined screws are designed to be held by a double bearing on one side and on the other, either a floating bearing, or no bearing and a guiding ball nut.



(Ball Nuts Purchased Separately)



ROOT DIA. D2 = 12.98 FOR 5, 10, 20 mm PITCH
 ROOT DIA. D2 = 13.34 FOR 2.5 mm PITCH



CATALOG NUMBER
 HL513 M 2

Pitch Code (mm)	Machining	Length Code	Length (mm)	Length Code	Length (mm)
2 - 2.5	0 - Unmachined	045	452	125	1252
3 - 4	2 - Machined	055	552*	155	1552
4 - 5		065	652	205	2052*
5 - 10		075	752	305	3052*
6 - 20		085	852		
		095	952		
		105	1052*		

* 552, 1052, 2052, 3052: available unmachined.

ANEXO D.B

Especificaciones y características para la selección de la Tuerca del Husillo a Bolas



KM Series Anti-Backlash Ball Nuts* (16 mm dia.)

FEATURES:

- Ball nut features patented adjustable anti-backlash design when used with our mounting blocks.
 - Made of steel, Cf 53, hardened, ground and polished.
 - Ball nut is 50 mm long by 28 mm diameter.
 - 2 optional mounting brackets allow for flange mounting or base mounting. Both feature standard lubrication ports and are made of steel with a black oxide finish.
- Available in 2.5, 5, 10 and 20 mm pitch.
 - Produce greater than 90% efficiency in converting rotary to linear or linear to rotary motion.
 - Repeatability < 0.01 mm, accuracy < 0.1 mm/ 300 mm when used with our screws.
 - Optional wipers available.
 - Compatible with 16 mm diameter ball screws only.

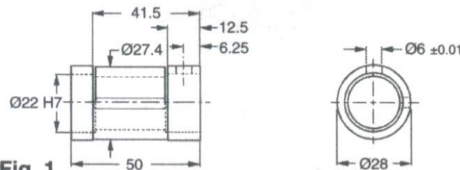


Fig. 1



Fig. 1

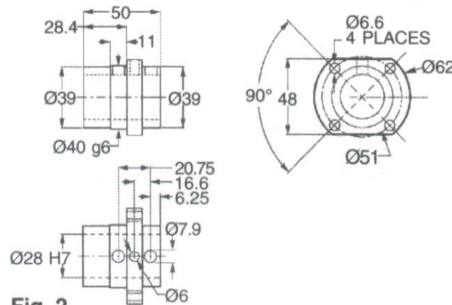


Fig. 2

Pitch	Catalog Number (fig. 1)
2.5 mm	HL5232M213503
5 mm	HL5234M213505
10 mm	HL5235M213510
20 mm	HL5236M213520

Mounting Blocks

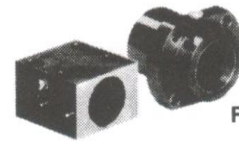


Fig. 2

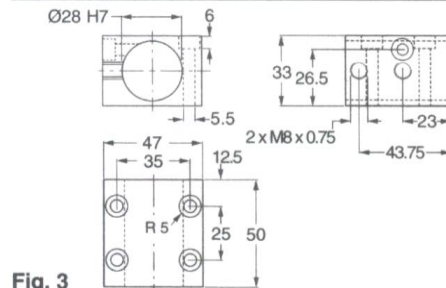


Fig. 3

Catalog Numbers	
FLANGE MOUNTING BLOCK (fig. 2)	HL5200M213501
BASE MOUNTING BLOCK (fig. 3)	HL5200M213500
WIPER SET (2 pieces) not shown	HL5200M613502

* This *isel* Ball Nut is Patented.

ANEXO E

ANEXO E.A

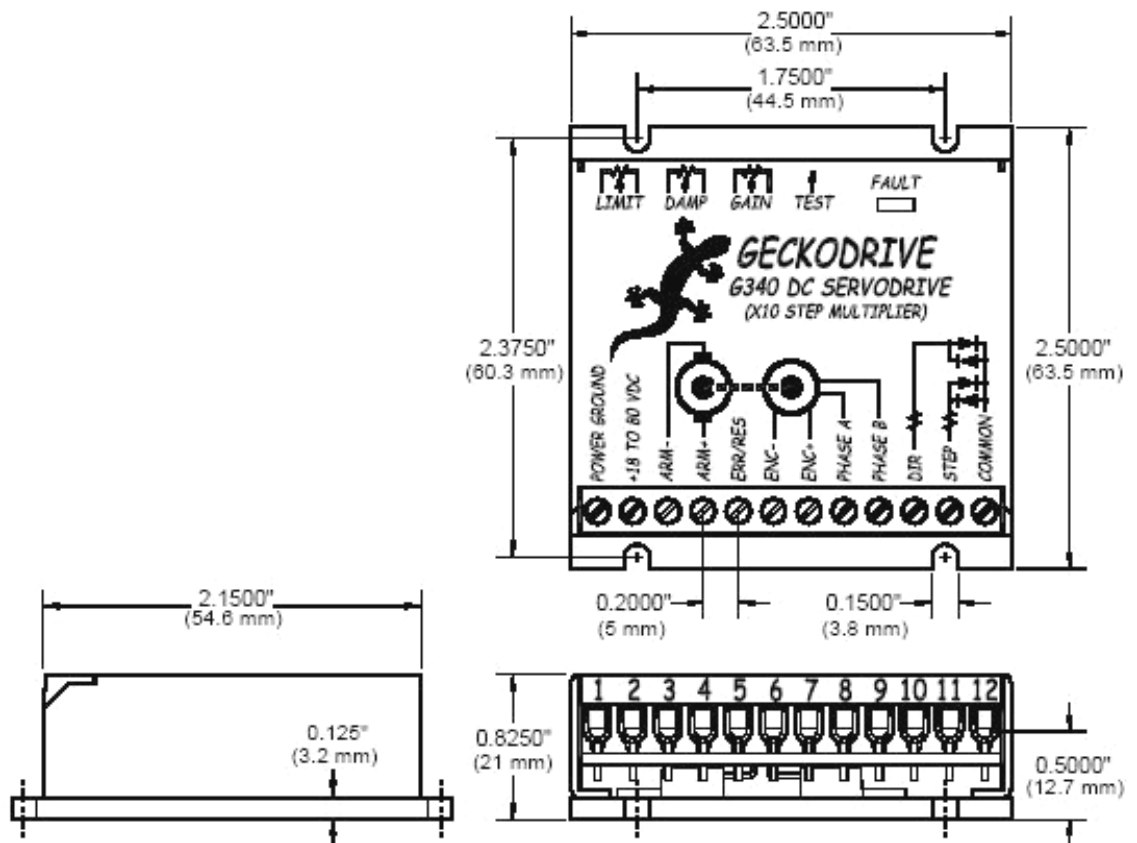
Especificaciones técnicas del g340

G340 especificaciones:

- Fuente de voltaje 18 a 80 VDC
- Corriente del motor 0 a 20 Amps
- Rango de conteos +/- 128 count following error
- Retroalimentación del encoder en señal cuadratura TTL Encoder
- Resolución de la retroalimentación del encoder por línea X4
- Frecuencia de switcheo 25 kHz
- Límite de corriente ajustable de 0 a 20 Amp, mediante potenciómetro
- PID analógico amortiguación y ganancia mediante potenciómetro
- Frecuencia de los pulsos de paso 0 a 250 kHz
- Tiempo de los pulsos de paso (Step Pulse "0") 0.5 microsegundos
- Tiempo de los pulsos de paso (Step Pulse "1") 3.5 microsegundos
- Opción de multiplicador X1, X2, X4, X5 y X10
- Tamaño 2.5" X 2.5" X 0.825" (63.5X63.5X21mm)
- Peso 3.6 oz (100gm)
- Fuente de voltaje para el encoder +5VDC, 50 mA max
- Precio \$165,90

ANEXO E.B

Dimensiones y distribución de pines del g340



ANEXO F

MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DEL TORNO AUTOMATICO CNC.



DESCRIPCIÓN

El torno automático CNC, se encuentra construida sobre una bancada metálica, la misma que permite la sujeción y el acoplamiento de los carros transversal (Eje X) y el carro longitudinal (Eje Z).

Para la sujeción del material durante el proceso de mecanizado se cuenta con un mandril que debe apretar la pieza a mecanizar.

Para el control de posición y velocidad de las coordenadas X e Y se emplean servomotores, y para el control de la velocidad del mandril se cuenta con un motor trifásico con un variador de frecuencia.

El control de este sistema automático esta basado en dos partes: la parte de software y hardware, en la parte de software interviene el Mach3turn, y en el hardware se encuentran la tarjeta principal, las tarjetas controladoras de los servomotores y motor del mandril que se encuentran en una caja de control, la misma que posee interruptores de encendido on/off y un interruptor de paro de emergencia.

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

SISTEMA MECANICO.

Superficie de Trabajo:	140mm x 60mm
Distancia entre puntos:	180mm
Volteo sobre las guías:	60mm
Desplazamiento del carro longitudinal:	135mm
Desplazamiento del carro transversal:	75mm
Sección de la herramienta:	1/4 "
Giro del porta herramientas:	360°
Avances de los carros:	0.6mín 100máx (mm/min)

HUSILLOS DE DESPLAZAMIENTO

Eje "Z"

Estructura Horizontal	LT Longitud total mm.	LR Longitud Roscada mm	D Diámetro mm.	P Paso mm.	Forma de recirculación de las bolas	Código Techno Inc.
Husillo Coordenada Z	452	400	16	5	---	HL5134M20752
Tuerca Coordenada Z	50	30	16	5	SERIE KM	HL5234M213505

Eje "X"

Estructura Horizontal	LT Longitud total mm.	LR Longitud Roscada mm	D Diámetro mm.	P Paso mm.
Husillo Coordenada X	145	100	12	2
Tuerca Coordenada X	22	22	12	2

MOTORES

Estructura	Tipo de Motor	Torque	Tensión Nominal	CPR Encoder	Casa Fabricante
Coordenada X	Servomotor DC	0.48 N.m	24Vdc	240 (100)	MINERTIA
Coordenada Z	Servomotor DC	0.25 N.m	24Vdc	240 (100)	HITACHI

REQUERIMIENTOS

SISTEMA COMPUTACIONAL

2GHz Pentium IV

Windows XP (o Windows 2000)

256 MB RAM, 512 recomendado

20 MB disponibles en disco duro

CD-ROM

1 puertos paralelos

Monitor VGA

PAQUETES INFORMÁTICOS

Mach3R2.0.025

SISTEMA ELÉCTRICO.

120Vac, 15Amp para el sistema de control.

220VAac, 15Amp para alimentación al variador de frecuencia.

PESO Y DIMENSIONES

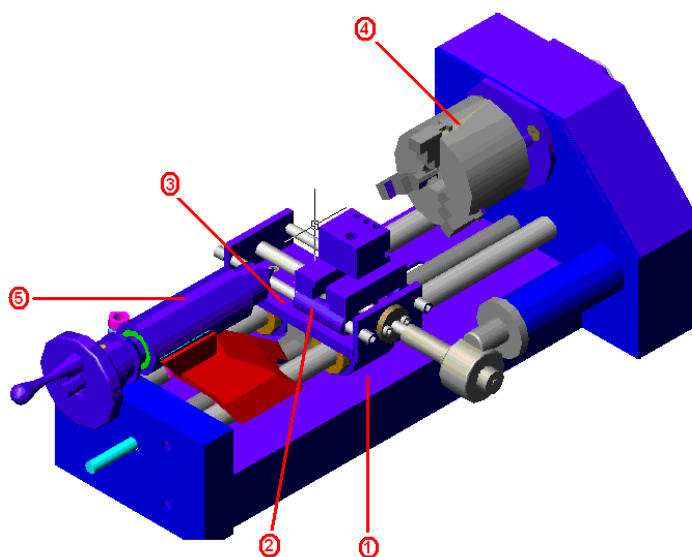
Peso bruto: 50Kg

Ancho: 600mm

Largo: 1650mm

Altura: 1200mm

PARTES PRINCIPALES



Nº	PARTES
1	Base principal.
2	Estructura coordinada X (carro X)
3	Estructura coordinada Z (carro Z)
4	Cabezal fijo
5	Cabezal móvil y contrapunto

ACCESORIOS Y HERRAMIENTAS

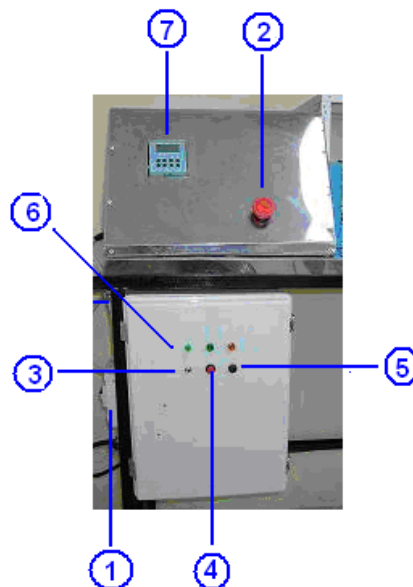
Mandril con mordazas para sujeción exterior e interior CIM

Llave de mandril, llaves mixtas y allen

Variador de Velocidad Siemens Sinamic g110

Motor trifásico 0.75 Hp Siemens.

ELEMENTOS DE MANDO Y CONTROL



Nº	MANDO	Nº	MANDO
1	Interruptor principal	5	Interruptor de sistemas de control
2	Paro de emergencia	6	Luces piloto
3	Selector del variador de velocidad	7	Panel del variador de velocidad
4	Interruptor de la tarjeta principal		

INSTRUCCIONES PARA LA OPERACIÓN DE LA MAQUINA

- 1.** Montar el material a mecanizar en el mandril de sujeción de las piezas.
- 2.** Revisar las conexiones del puerto paralelo hacia la caja de control.
- 3.** Encender el interruptor principal de la tarjeta principal.
- 4.** Encender lo interruptor de sistemas de control.
- 5.** Encender el selector del encendido del variador de velocidad.
- 6.** Encender la PC.
- 7.** Abrir el software Mach3turn CNC.
- 8.** Pulsar el botón reset en el programa.
- 9.** Realizar el diseño gráfico en el Mach3turn de la pieza a mecanizar utilizando la herramienta wizard.
- 10.** Siguiendo la secuencia pulsar Post code para generar los códigos G
- 11.** Presionar Exit y ponerse en la pantalla Auto presionar Cycle.
- 12.** Revisar, el archivo diseñado por el operador debe observarse en la pantalla principal del Mach3turn.
- 13.** Pasarse a la pantalla manual.
- 14.** Pulsar los botones Home X, Z para que los carros se desplacen al cero absoluto de la máquina.
- 15.** Setar el cero de la pieza en forma manual antes de iniciar el mecanizado de la pieza.
- 16.** Una vez concluido con los pasos anteriores regresar a la pantalla de modo Auto
- 17.** Pulsar el botón CYCLE START para comenzar a mecanizar la pieza generada.
- 18.** Estar pendiente del mecanizado, si se produce alguna anomalía pulsar el botón Reset/Stop o el pulsador de emergencia.

MANTENIMIENTO

HOJA DE MANTENIMIENTO

EQUIPO: TORNO AUTOMATICO		FECHA DE REVISIÓN			
CNC		DIA	MES	AÑO	
DEPARTAMENTO: ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA		28	03	2007	
ÁREA: LABORATORIOS DE ELECTROMECAÁNICA					
CÓDIGO		CÓDIGO			
ACCIÓN	RESULTADOS	FRECUENCIA			
O = Limpiar	S = Satisfactorio	D = Diario	T = Trimestral		
I = Inspeccionar	R = Reparar	S = Semanal	E = Semestral		
M = Medir	C = Cambiar	M = Mensual	A = Anual		
L = Lubricar	V = Visto				
P = Probar					
<i>A = Ajuste</i>					
PUNTOS DE INSPECCION	Acción	Frecuencia	Resultado	Vto. Bno	Obs.
Máquina en general					
Carro Longitudinal (Coordenada Z)	I/O/L	D	S		
- Finales de carrera y Home switch	I/O/A I/O/L	D D	S S		
- Guías	I/O/L I/O/A	D D	S S		
- Bocines deslizamiento	I/O	S	S		
- Husillo a bolas	I/O/L O/L	D D	S S		
- Reductor.	I/O/L	D	S		
- Servomotor	I/O/L	S	S		
Carro Transversal (Coordenada X)	I/O/M/A				
- Finales de carrera y Home switch	I/O/L I/O/P/A	D M	S S		
- Guías	I/O	D	S		
- Bocines de deslizamiento	I/O/L O/L	M D	S S		
- Tornillo de desplazamiento.	I/O/L	D	S		
- Reductor.	I/O/L	D	S		
- Servomotor	I/O	S	S		

Mandril	I/O/L	D	S		
Base principal de la maquina	I/O/P/A	D	S		
Sistemas de control		D	S		
		M			
Trabajos adicionales					
Lubricación total de la máquina después de una jornada de trabajo					
Cambio anual de cojinetes en el mandril.					
Ajuste de borneras en todo el sistema de control periódicamente.					
Inspector: Lema Cristian / Javier Veintimilla		8-03-2007	Encargado: Ing. Fausto Acuña		

FUNCIONAMIENTO DEL EQUIPO

FECHA	MOTIVO	PRUEBAS REALIZADAS	NIVEL DE PRACTICA	NOVEDADES
15-03-2007	Revisión de encendido	Caja de control principal	Bueno	Sin novedad
15-03-2007	Revisión de encendido	Equipo de corte PAC	Normal	Sin novedad
15-03-2007	Revisión de movimientos	Sistema mecánico	Bueno	Sin novedad
15-03-2007	Revisión de funcionamiento	Sistema de control	Bueno	Sin novedad
15-03-2007	Revisión de funcionamiento	Software de control	Bueno	Sin novedad
15-03-2007	Lubricación	Maquina en general	Normal	Sin novedad

RECORD DEL EQUIPO

MAQUINA		MODELO: 0001	FABRICANTE: ESPE-L			
TORNO AUTOMATICO CNC		MARCA: CLXV	Nro. DE SERIE: 000001			
VENDEDOR:		DIRECCIÓN: ECUADOR				
AÑO DE CONSTRUCCIÓN: 2007		UBICACIÓN: LAB. DE ELECTROMECAÁNICA				
ANCHO: 600mm.		LARGO: 1650mm.			ALTURA: 1200 mm.	
DATOS ADICIONALES						
<p>Recorrido del carro horizontal (coordenada Z): 135mm.</p> <p>Recorrido del carro horizontal (coordenada X): 75mm.</p> <p>Diámetro del husillo a bolas (coordenadas Z): 16mm.</p> <p>Paso del husillo a bolas (coordenadas Z): 5mm.</p> <p>Diámetro del tornillo (coordenada X): 12mm.</p> <p>Paso del tornillo (coordenada X): 2mm.</p>						
No	MARCA	TIPO	POTENCIA	VOLTAJE	AMPERAJE	CICLOS Y FASES
1	Prototipo Torno CNC		1.5 Kw	110/220 V	3.5A	60 / 1
2	Sistema de control		0.5 Kw	110 V	1A	60 / 1
ACTUADORES		R.P.M.	UTILIDADES			
Servomotor Minertia motor		3700	Movimiento de la estructura horizontal de la coordenada Z			
Servomotor Hitachi		3700	Movimiento de la estructura horizontal de la coordenada X			

BIBLIOGRAFÍA.

- TECHNO INC., **“LINEAR MOTION PRODUCT”**, Catalog H834, Cuarta Edición, Ed. Techno Os Designatronics. Inc, USA, 2001.
- TECHNO INC., **“LINEAR MOTION COMPONENTS”**, Catalog H860, Cuarta Edición, Ed. Techno Os Designatronics. Inc, USA, 2002.
- TEODORE BAUMEISTER-MARKS, **“MANUAL DEL INGENIERO MECÁNICO DE MARKS”**, Cuarta Edición, Ed. Mc-GrawHill, Inc., México, 1994.
- NICOLAS LARBURÚ, **“PRONTUARIO DE MÁQUINAS HERRAMIENTAS”**, Sexta Edición, Ed. Paraninfo S.A., Madrid – España, 1994.
- SKF, **“MANUAL DE MANTENIMIENTO Y RECAMBIO DE RODAMIENTOS”**, Catálogo 3014 Sp., SKF Inglaterra, Abril 1977.
- IRVING L. KOSOW. PH.D, **“MÁQUINAS ELÉCTRICAS Y TRANSFORMADORES”**, Edición en español, Editorial Reverté S.A, Barcelona – España, 1975.
- MOTT ROBERT L., **“DISEÑO DE ELEMENTOS DE MÁQUINAS”**, Segunda Edición, Ed. Prenticehall Hispanoamericana, Mexico D. F., 1995.
- "Tecnologías de Fabricación. Sistemas Mecánicos - Transparencias", J. Fernández.
- T. F. WATERS, UCL PRESS., **“FUNDAMENTALS OF MANUFACTURING FOR ENGINEERS”**.
- HIBBELER, R. C. **“MECHANICS OF MATERIALS”**, sixth edition. Prentice Hall 2005.
- Departamento de materiales y producción aereoespacial. Escuela Técnica Superior de Ingenieros
- CASILLAS, A. L. **“MÁQUINAS: CÁLCULOS DE TALLER”**. Madrid: Ed. Máquinas.
- NORTON, Robert. **“DISEÑO DE MÁQUINAS”**.

ENLACES:

- <http://www.techno-isel.com>
- <http://www.siemens.com>
- <http://www.linearmotion.skf.com>
- <http://www.techno-isel.com/lmc/Products/AcmeMetric.htm>
- [http://www.eurobotics.org/modulación del ancho del pulso I](http://www.eurobotics.org/modulación%20del%20ancho%20del%20pulso%20I)
- http://robots-argentina.com.ar/MotorServo_basico.htm
- <http://www.hiwin.com.tw/ballscrews.htm>
- <http://www.cnczone.com>
- <http://www.campbelldesigns.com>
- <http://www.campbelldesigns.com/plasma-torch-height-control.php>
- <http://www.campbelldesigns.com/breakout-board.php>
- <http://www.geckodrive.com>
- <http://www.artofcnc.ca>
- <http://es.wikipedia.org/wiki/CAD/CAM>
- <http://html.rincondelvago.com/aceros-para-herramientas.html>
- [http://es.wikipedia.org/wiki/Torno_CNC#Elecci.C3.B3n_de_las_herramientas
_para_torneado](http://es.wikipedia.org/wiki/Torno_CNC#Elecci.C3.B3n_de_las_herramientas_para_torneado)
- [http://es.wikipedia.org/wiki/Torno#Elecci.C3.B3n_de_las_herramientas_para
_torneado](http://es.wikipedia.org/wiki/Torno#Elecci.C3.B3n_de_las_herramientas_para_torneado)
- [http://www.aprendizaje.com.mx/Curso/Proceso2/Practicas/Torno-
Desarrollo/Capi8.htm](http://www.aprendizaje.com.mx/Curso/Proceso2/Practicas/Torno-Desarrollo/Capi8.htm)
- [http://www.haascnc.com/lang/LATHE/options_LATHE.asp?intLanguageCode
=1034](http://www.haascnc.com/lang/LATHE/options_LATHE.asp?intLanguageCode=1034)
- http://robots-argentina.com.ar/MotorServo_basico.htm
- [http://www.rincondelvago.com/control-numerico-computarizado-en-
mecanizado.html](http://www.rincondelvago.com/control-numerico-computarizado-en-mecanizado.html)
- [http://www.eurobotics.org/modulación del ancho del pulso](http://www.eurobotics.org/modulación%20del%20ancho%20del%20pulso)
- http://www.elprisma.com/apuntes/ingenieria_mecanica/transmisioncorrea/
- <http://www.machsupport.com/documentation/>